

## **Francisco Miragaia Peruzzo**

Licenciado em Química pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Araraquara.  
Professor de Química em escolas de ensino médio.

## **Eduardo Leite do Canto**

Licenciado em Química pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).  
Doutor em Ciências pelo Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas.  
Professor de Química em escolas de ensino médio.

# **QUÍMICA**

## **na abordagem do cotidiano**



## **Química Orgânica**

Componente curricular: QUÍMICA

4ª edição

São Paulo, 2006

 **Moderna**

Título original: *Química na abordagem do cotidiano*  
© Francisco Miragaia Peruzzo, Eduardo Leite do Canto 2006

**Coordenação editorial:** Rita Helena Bröckelmann

**Edição de texto:** Luis Fernando Furtado (coordenação), Renata Rosenthal, Rebeca Yatsuzuka, Fabiana Asano

**Assistência editorial:** Josy Malone Simões Gomes

**Consultoria didático-pedagógica:** Anna Canavarro Benite

**Coordenação de design e projetos visuais:** Sandra Botelho de Carvalho Homma

**Projeto gráfico:** Marta Cerqueira Leite, Ulhôa Cintra Comunicação Visual e Arquitetura Ltda.

**Capa:** Everson de Paula

Fotos: Grãos torrados de café. © Rui Peruquetti/Kino; Xícaras, grãos de café e chocolates. © Corbis-Stock Photos

**Coordenação de produção gráfica:** André Monteiro, Maria de Lourdes Rodrigues

**Coordenação de arte:** Wilson Gazzoni Agostinho

**Edição de arte:** Wilson Gazzoni Agostinho

**Editoração eletrônica:** Setup Bureau Editoração Eletrônica

**Coordenação de revisão:** Elaine Cristina del Nero

**Revisão:** Ana Cortazzo, Viviane T. Mendes

**Coordenação de pesquisa iconográfica:** Ana Lucia Soares

**Pesquisa iconográfica:** Camila D'Angelo, Flávia Aline de Moraes, Maria Magalhães

**Coordenação de bureau:** Américo Jesus

**Tratamento de imagens:** Evaldo de Almeida, Fabio N. Precendo

**Pré-impressão:** Helio P. de Souza Filho, Marcio Hideyuki Kamoto

**Coordenação de produção industrial:** Wilson Aparecido Troque

**Impressão e acabamento:**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Peruzzo, Francisco Miragaia  
Química na abordagem do cotidiano / Francisco  
Miragaia Peruzzo, Eduardo Leite do Canto. —  
4. ed. — São Paulo : Moderna, 2006.

Obra em 3 v.  
Conteúdo : V. 1 Química geral e inorgânica —  
V. 2. Físico-química — V. 3 Química orgânica  
Bibliografia.

1. Química (Ensino médio) I. Canto, Eduardo  
Leite do. II. Título.

06-5801

CDD-540-7

**Índices para catálogo sistemático:**

1. Química : Ensino médio 540-7

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Todos os direitos reservados

**EDITORA MODERNA LTDA.**

Rua Padre Adelino, 758 - Belenzinho  
São Paulo - SP - Brasil - CEP 03303-904  
Vendas e Atendimento: Tel. (0\_ \_11) 2602-5510  
Fax (0\_ \_11) 2790-1501  
www.moderna.com.br

2010  
Impresso no Brasil

1 3 5 7 9 10 8 6 4 2

# Apresentação

Este livro, fruto de vários anos de trabalho e de pesquisa, integra uma coleção em três volumes destinada ao ensino de Química no Ensino Médio. A obra pretende auxiliar o aluno a compreender conceitos, aprimorar o letramento científico e desenvolver competências científicas desejáveis a qualquer cidadão.

Cada capítulo se inicia com uma foto relacionada ao tema, seguida de uma lista dos principais conteúdos conceituais nele abordados. A imagem de abertura muitas vezes tem relação com o dia a dia, de modo a propiciar um ponto de partida motivador e instigar o desejo de aprender uma ciência extremamente vinculada à realidade. Na segunda página do capítulo, a atividade em grupo denominada *O que você pensa a respeito?* permite um debate acerca das concepções prévias dos estudantes sobre assuntos ligados ao capítulo. Também nessa segunda página encontra-se o texto organizador *Pare e situe-se!*, no qual se comenta a relação do capítulo com o que já foi estudado e/ou sua inserção na Química e sua importância.

No desenvolvimento dos conteúdos ao longo dos capítulos, nesta nova edição, modificações foram realizadas. A utilização de imagens (fotos, esquemas, diagramas etc.) foi incrementada. Os exercícios foram atualizados, contemplando os vestibulares das diversas regiões brasileiras. Eles aparecem agora em duas seções: *Exercícios essenciais* e *Exercícios adicionais*. Os essenciais são inseridos logo após um bloco de teoria e podem ser utilizados em classe e/ou como tarefa, a critério do(a) professor(a). Os adicionais vêm logo em seguida e têm por meta revisar o tema, estabelecer inter-relações e aplicar conceitos a novas situações, mais elaboradas.

Aspectos relacionados às descobertas científicas, às modernas linhas de pesquisa e suas aplicações tecnológicas ou sua presença no cotidiano são apresentados na nova seção *Informe-se sobre a Química*, ao final dos capítulos. As atividades da seção *Você entendeu a leitura?* propiciam o trabalho em grupo na interpretação das informações apresentadas, na aplicação de suas informações a outras situações, na percepção de relações interdisciplinares e no estabelecimento de ligações com a vida cotidiana. A seção *Reavalie o que você pensa a respeito*, que fecha cada capítulo, proporciona a retomada das concepções prévias, sua reformulação e a percepção do aprendizado realizado.

Novos mapas conceituais foram acrescentados para encadear conceitos relevantes. Entre eles, mapas de página inteira constituem a nova seção *Estabeleça conexões*, inserida ao final de diversos capítulos e que trata das relações entre conceitos fundamentais da Química. Ao final do livro, outro mapa conceitual de página inteira oferece uma possível visão geral dos principais temas do volume.

Como nas edições anteriores, procuramos primar pela linguagem correta e acessível, mantendo sempre o necessário rigor na exposição de fatos, conceitos, definições, princípios, leis e teorias. Grande esforço foi realizado na busca de dados corretos e para que as convenções científicas em vigor sejam sempre seguidas na obra.

Agradecemos aos professores que nos têm honrado com o uso desta obra em suas edições anteriores e, com muita satisfação, apresentamos esta nova edição, cujo objetivo continua sendo o de tornar eficiente e prazeroso o ensino e o aprendizado da fantástica ciência que é a Química.

**Os autores**

# Estrutura dos capítulos deste livro

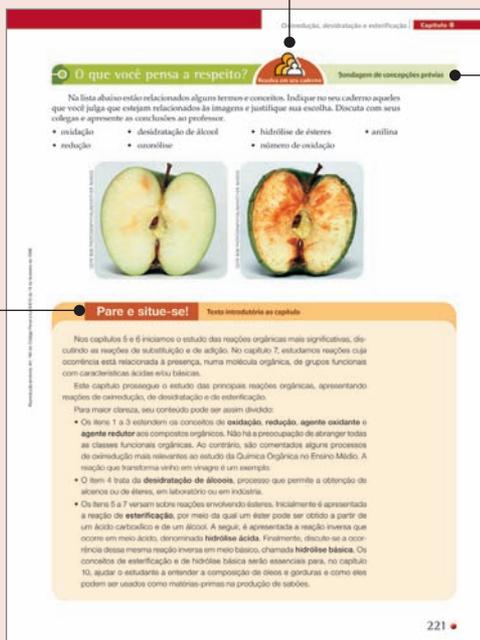


Todo capítulo inicia-se com uma foto com o objetivo de contextualizar o assunto que será tratado.

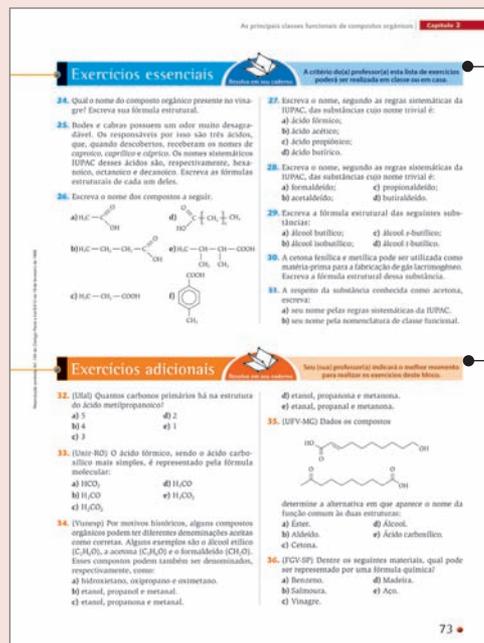
Na abertura do capítulo apresenta-se um resumo dos principais conteúdos a serem abordados.

Este ícone aparece em seções nas quais atividades em grupo são oportunas.

Uma atividade em grupo inicia o capítulo. Discuta com seus colegas as relações entre a Química e a imagem mostrada.



Um texto no começo de cada capítulo trata do tema abordado em termos gerais, fazendo conexões com o cotidiano ou temas estudados em outros capítulos.



As atividades estão divididas em duas seções: *Exercícios essenciais*, que permitem uma fixação imediata do assunto trabalhado, e *Exercícios adicionais* de aprofundamento.

temperaturas mais baixas. Usando o ferro muito quente, elas começam a ficar pegajosas, evidenciando um início de amolecimento por fusão. O algalgido, uma fibra natural, resista temperaturas mais altas. Contudo, se for exageradamente aquecido, passa por um processo de decomposição, ficando inicialmente amarelado e emstando cheio de queimados. O aspecto mais prolongado de novo peito, compreendendo a ocorrência de carbonização (produção de carvão).

**ENTENDENDO AS ETIQUETAS DAS ROUPAS**

**LAVAGEM**

- Pode ser lavado em máquina. O símbolo indica a temperatura máxima da água durante o lavagem. Não exceder a temperatura máxima indicada a 60 °C.
- Não lavar em água quente.
- Não lavar em água fria.
- Não lavar em água morna.
- Não lavar em água quente.
- Não lavar em água quente.

**LAVAGEM A SECO**

- Não lavar a seco.

**SECAGEM**

- Não secar em secadora.

**PASSAR A FERRO**

- Não passar a ferro.

262

Fotografias são amplamente utilizadas para contextualizar os assuntos tratados e ilustrar aspectos experimentais.

Avisos de segurança alertam sobre perigos potenciais no manuseio de reagentes e equipamentos.

**6 Benzeno e compostos aromáticos**

**6.1 A fórmula molecular do benzeno é C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>**

Quando vestimos jeans ou uma roupa de poliéster, quando nos sentamos em um sofá de espuma ou se ingerimos certos alimentos industrializados, estamos tomando contato com corantes, fibras sintéticas, materiais sintéticos, conservantes de alimentos e outras substâncias que podem ter vindo indiretamente de benzeno.

**6.2 Ressonância no benzeno**

Vamos colocar em cada carbono do benzeno um número de 1 a 6. Mudando apenas a posição das ligações duplas, sem alterar a posição dos carbonos e hidrogênios, podemos escrever outra fórmula estrutural para o benzeno. Essa situação é chamada de **ressonância**.

**Resonância** é o termo usado para descrever uma situação na qual, sem mudar a posição dos átomos, podemos escrever mais de uma fórmula estrutural diferente, mudando apenas a posição de alguns elétrons.

As estruturas **I** e **II** são chamadas de estruturas de **ressonância**. Nenhuma delas isoladamente representa bem o benzeno. Os elétrons das ligações duplas não se localizam nem como está mostrado em **I** nem como em **II**. Dizemos que os elétrons das ligações duplas estão **delocalizados** (ou **deslocalizados**) e que o benzeno é um híbrido de **ressonância**.

**ATENÇÃO**

O símbolo  $\leftrightarrow$  diz que o benzeno é um misto de ambas as estruturas. Não o confundam com o símbolo de equilíbrio químico  $\rightleftharpoons$ .

Por causa da **ressonância**, a maneira mais usada para representar o benzeno é:

em que o círculo central indica a **ressonância**.

16

Os capítulos são permeados por uma variedade de quadros contendo definições, complementações da teoria, aplicações cotidianas e dicas para facilitar a aprendizagem.

No encerramento de um capítulo ou conjunto de capítulos, você é motivado a interpretar e completar no caderno um dos possíveis mapas conceituais envolvendo a temática em questão.

**Responda sobre alguns compostos presentes em nosso meio** Capítulo 19

O acetamido de sódio é, há muito tempo, objeto de controvérsias. Em experiências com animais de laboratório, no final da década de 1960, foram obtidas evidências de que pode estar associado ao aumento da incidência de câncer. Não houve, no entanto, comprovação definitiva dessas supostas e muita polêmica ainda sobre suas comercialização e uso, permitidos em nosso país.

O aspartame é um dos adoçantes mais utilizados. É usado em bebidas, gelatinas, gomas de mascar e diretamente como adoçante para café, chá, suco etc. Trata-se de um dipeptido derivado da união de dois aminoácidos e seu uso é tido como relativamente seguro, exceto para as pessoas portadoras de uma deficiência denominada fenilcetonúria (representada pela sigla inglesa PKU). Os seus portadores não podem ingerir grandes quantidades de aminoácido fenilalanina, sob risco sério de saúde. Acontece que a fenilalanina é justamente um dos aminoácidos empregados na elaboração do aspartame, que não deve, portanto, ser ingerido por fenilcetonúricos. Provavelmente você já viu em embalagens de refrigerantes diet ou light adoçados com aspartame inscrições do tipo: "Atenção fenilcetonúricos: contém fenilalanina".

O aspartame apresenta valor calórico igual ao de açúcares, 4 kcal por grama. Então por que ele é considerado adoçante de baixas calorias? A resposta reside no fato de ser 180 vezes mais potente que a sacarose como adoçante. Assim, é necessária uma quantidade muito pequena (180 vezes menor) para obter o mesmo sabor doce.

**Você entendeu a leitura?** Responda em seu caderno

1. A fórmula estrutural do adoçante aspartame permite que se reconheça nele um dipeptido.

2. Segundo o texto, o aspartame apresenta valor calórico igual ao da sacarose, 4 kcal por grama. Se o valor calórico de ambos é o mesmo, qual a vantagem em usar-se o aspartame em regimes alimentares?

3. Um copo SPT de nossos heróis estourou em presença dos dois copos sobre a mesa, indicando que teria passado mais algum por aí. Além disso...

**Reavalie o que você pensa a respeito**

Reveja sua resposta à atividade da segunda página deste capítulo, releia o que escreveu, discuta com seus colegas e, se julgar necessário, elabore novas justificativas ou aprimore as que tinha escrito. Apresente-as ao professor.

299

Reavalie e, quando for o caso, reformule suas respostas dadas à atividade de abertura do capítulo.

Textos dos autores, de jornais de circulação nacional, de agências de notícias e de livros de divulgação científica são utilizados nessa seção de leitura. Atividades sobre o tema seguem a leitura.

**ESTABELEÇA CONEXÕES**

**MAPA CONCEITUAL - OXIDREDUÇÃO, DESIDRATAÇÃO E ESTERIFICAÇÃO**

Reveja os conceitos estudados e decida como podem ser completados os locais em que aparecem os números.

**Reações orgânicas**

**Oxidação**

Alcool (pode oxidar, por exemplo)

Alcool primário → Aldeído → Ácido carboxílico

Alcool secundário → Cetona

Alcool terciário → não é oxidado

**Oxidação enérgica**

Quebra da cadeia

Teste de Bayer

Repleno da dupla

**Desidratação**

Desidratação intermolecular

Desidratação intramolecular

**Hidrólise básica de éster**

245

# Sumário

## Capítulo 1 – Introdução à Química dos compostos de carbono ..... 8

1. O que é Química Orgânica? ..... 10
2. Alguns exemplos de compostos orgânicos..... 11
3. Cadeia carbônica ..... 12
4. Fórmulas estruturais simplificadas ..... 13
5. Classificação dos carbonos ..... 15
6. Benzeno e compostos aromáticos ..... 16
7. Classificação das cadeias carbônicas..... 19
8. O petróleo e os hidrocarbonetos ..... 26
9. Nomenclatura de hidrocarbonetos ..... 32

**Informe-se sobre a Química** – Breve histórico da Química Orgânica e Como pensam os cientistas..... 49

**Estabeleça conexões** – Substâncias que contêm carbono 53

**Estabeleça conexões** – Hidrocarbonetos ..... 54

**Exercícios essenciais:** 14, 18, 21, 31, 34, 39, 44, 47

**Exercícios adicionais:** 15, 22, 31, 34, 44, 48

## Capítulo 2 – As principais classes funcionais de compostos orgânicos..... 55

1. Classes funcionais na Química Orgânica ..... 57
2. Álcoois..... 59
3. Aldeídos..... 65
4. Cetonas..... 67
5. Ácidos carboxílicos ..... 70
6. Outras formas de nomenclatura para ácidos carboxílicos, aldeídos, álcoois e cetonas..... 71
7. Éteres ..... 74
8. Ésteres ..... 74
9. Aminas..... 77
10. Amidas..... 78
11. Compostos halogenados..... 80
12. Fenóis..... 82
13. Nitrocompostos..... 83
14. Nitrilas e ácidos sulfônicos..... 85
15. Compostos organometálicos..... 86

**Informe-se sobre a Química** – Antraz e guerra biológica .. 88

**Informe-se sobre a Química** – Alho e enxofre ..... 90

**Estabeleça conexões** – Classes funcionais..... 92

**Exercícios essenciais:** 64, 68, 73, 76, 79, 82, 84, 88

**Exercícios adicionais:** 65, 69, 73, 76, 80

## Capítulo 3 – Ligações intermoleculares na Química Orgânica ..... 93

1. Modelo da repulsão dos pares eletrônicos da camada de valência (VSEPR) ..... 95

2. Geometria dos átomos de carbono..... 98
3. Representação da estereoquímica do carbono saturado ..... 99
4. Polaridade de ligações..... 103
5. Polaridade de moléculas ..... 105
6. Polaridade e solubilidade ..... 109
7. Tamanho da cadeia e solubilidade ..... 112
8. Ligações intermoleculares ..... 119
9. Forças intermoleculares e ponto de ebulição..... 125

**Informe-se sobre a Química** – Cristais líquidos..... 132

**Estabeleça conexões** – Interações entre moléculas orgânicas ..... 135

**Exercícios essenciais:** 100, 108, 110, 115, 122, 128

**Exercícios adicionais:** 102, 116, 124, 131

## Capítulo 4 – Isomeria..... 136

1. Isomeria constitucional (isomeria plana)..... 138
2. Isomeria geométrica (ou isomeria *cis-trans*) ..... 141
3. Isomeria óptica..... 147

**Informe-se sobre a Química** – Fármacos quirais: catálise assimétrica dá Prêmio Nobel..... 159

**Estabeleça conexões** – Isomeria ..... 163

**Exercícios essenciais:** 140, 146, 156

**Exercícios adicionais:** 141, 146, 157

## Capítulo 5 – Reações de substituição ..... 164

1. Substituição em alcanos ..... 166
2. Substituição em aromáticos..... 170

**Informe-se sobre a Química** – A Química Verde e A prevenção da poluição..... 176

**Exercícios essenciais:** 168, 172, 175

**Exercícios adicionais:** 169, 175

## Capítulo 6 – Reações de adição..... 180

1. Reações de adição a alcenos..... 182
2. Reações de adição a alcinos..... 187
3. Os aromáticos e as reações de adição ..... 191
4. Ciclanos: adição × substituição ..... 193

**Informe-se sobre a Química** – Terpenos..... 196

**Informe-se sobre a Química** – Metátese dá prêmio a dois americanos e um francês ..... 198

**Estabeleça conexões** – Reações de hidrocarbonetos ..... 200

**Exercícios essenciais:** 184, 190, 193, 195

**Exercícios adicionais:** 186, 190

## Capítulo 7 – Noções de acidez e de basicidade em compostos orgânicos..... 201

1. Acidez na Química Orgânica..... 203
2. Basicidade na Química Orgânica..... 209
3. Caráter anfótero na Química Orgânica..... 214

**Informe-se sobre a Química** – Protetores solares ..... 216

**Estabeleça conexões** – Ácidos e bases orgânicos ..... 219

**Exercícios essenciais:** 206, 208, 212, 216

**Exercícios adicionais:** 207, 213

## Capítulo 8 – Oxirredução, desidratação e esterificação..... 220

1. Oxidação e redução de compostos orgânicos ..... 222
2. Oxidação de álcoois ..... 225
3. Oxidação de alcenos..... 229
4. Desidratação de álcoois ..... 233
5. Esterificação ..... 235
6. Hidrólise ácida de ésteres..... 235
7. Hidrólise básica de ésteres ..... 236

**Informe-se sobre a Química** – Oxidação dos alimentos e Antioxidantes naturais..... 238

**Informe-se sobre a Química** – O que é um pró-fármaco? e O que penicilina tem a ver com pincel?..... 241

**Estabeleça conexões** – Oxirredução, desidratação e esterificação..... 245

**Exercícios essenciais:** 223, 228, 232, 234, 236

**Exercícios adicionais:** 224, 228, 232, 237

## Capítulo 9 – Polímeros sintéticos ..... 246

1. Polímeros de adição..... 248
2. Polímeros de condensação..... 253
3. Uso da palavra plástico ..... 258
4. Fibras têxteis ..... 261

**Informe-se sobre a Química** – A importância das propriedades físicas dos polímeros na reciclagem..... 265

**Estabeleça conexões** – Polímeros ..... 269

**Exercícios essenciais:** 251, 263

**Exercícios adicionais:** 252, 264

## Capítulo 10 – Noções sobre alguns compostos presentes em seres vivos..... 270

1. Triacilgliceróis..... 272
2. Sabões e detergentes ..... 277
3. Proteínas ..... 282
4. Carboidratos..... 289
5. Ácidos nucleicos..... 294

**Informe-se sobre a Química** – Doçura e Adoçantes artificiais..... 296

**Estabeleça conexões** – Compostos orgânicos biológicos ..... 300

**Exercícios essenciais:** 274, 280, 285, 292

**Exercícios adicionais:** 275, 281, 286, 293

## Capítulo 11 – A Química Orgânica e o ambiente .... 301

1. Petróleo..... 303
2. Carvão mineral..... 309
3. Efeito estufa..... 314
4. Biogás ..... 317
5. O lixo e seu destino ..... 319

**Informe-se sobre a Química** – Resíduos viram lucrativa biomassa e Fábrica faz briquetes a partir do bagaço de cana e mandioca..... 326

**Exercícios essenciais:** 307, 312, 317, 324

**Exercícios adicionais:** 308, 313, 318

● **Mapa conceitual de Química Orgânica..... 329**

● **Respostas..... 330**

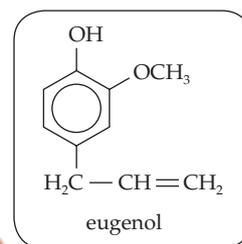
● **Siglas de vestibulares..... 337**

● **Índice remissivo ..... 339**

● **Bibliografia..... 342**

● **Tabela periódica ..... 344**

# Introdução à Química dos compostos de carbono



## Alguns conteúdos importantes:

▲ O eugenol é uma substância presente no cravo-da-índia, que lhe confere aroma característico. Pode ser extraído para uso como anestésico local. Sua fórmula será um dos exemplos deste capítulo.

- ✓ Cadeias carbônicas e sua classificação
- ✓ Noções sobre a composição do petróleo e seu aproveitamento
- ✓ Subdivisões dos hidrocarbonetos
- ✓ Nomenclatura dos hidrocarbonetos
- ✓ Breve histórico da Química Orgânica

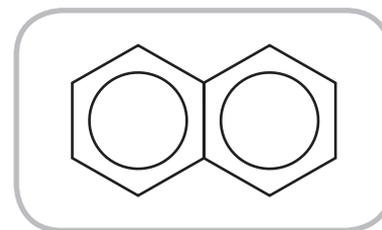
## O que você pensa a respeito?



Sondagem de concepções prévias

Na lista abaixo estão relacionados alguns termos e conceitos. Indique no seu caderno aqueles que você julga que estejam relacionados à imagem e justifique sua escolha. Discuta com seus colegas e apresente as conclusões ao professor.

- átomos de oxigênio
- colmeia de abelha
- composto aromático
- hidrocarboneto
- composto orgânico
- anestésico
- anel benzênico



## Pare e situe-se!

Texto introdutório ao capítulo

Neste capítulo iniciamos o estudo da **Química Orgânica**, um dos importantes ramos de atuação da Química, com vastas aplicações em nosso cotidiano.

Veremos inicialmente um breve comentário sobre a origem da expressão *Química Orgânica* e qual o seu significado atual.

Todos os ramos do conhecimento humano se utilizam de símbolos para facilitar a comunicação entre os profissionais de cada área. Na Química Orgânica não é diferente. Dominar diferentes tipos de representações usados para os compostos orgânicos é essencial ao entendimento de tudo que será apresentado ao longo dos próximos capítulos. Assim, um dos objetivos deste capítulo é mostrar modos de representar as substâncias orgânicas.

Apresentar o conceito de **cadeia carbônica** e como se faz sua classificação é outra importante meta deste capítulo.

Os compostos orgânicos podem ser divididos em uma série de categorias diferentes (que, oportunamente, denominaremos *classes funcionais*), de acordo com suas propriedades. Até o final do próximo capítulo, conheceremos as principais categorias de substâncias orgânicas e suas características. Os **hidrocarbonetos** correspondem à mais simples delas, e serão vistos neste capítulo.

E uma vez que os hidrocarbonetos são provenientes do petróleo e constituem importantes combustíveis e matérias-primas industriais, estudaremos, também, o que vem a ser o petróleo e como é feito seu aproveitamento como fonte de combustíveis e de matérias-primas industriais.

Ainda neste capítulo, teremos um primeiro contato com regras da IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada) para a nomenclatura de compostos orgânicos.

# 1

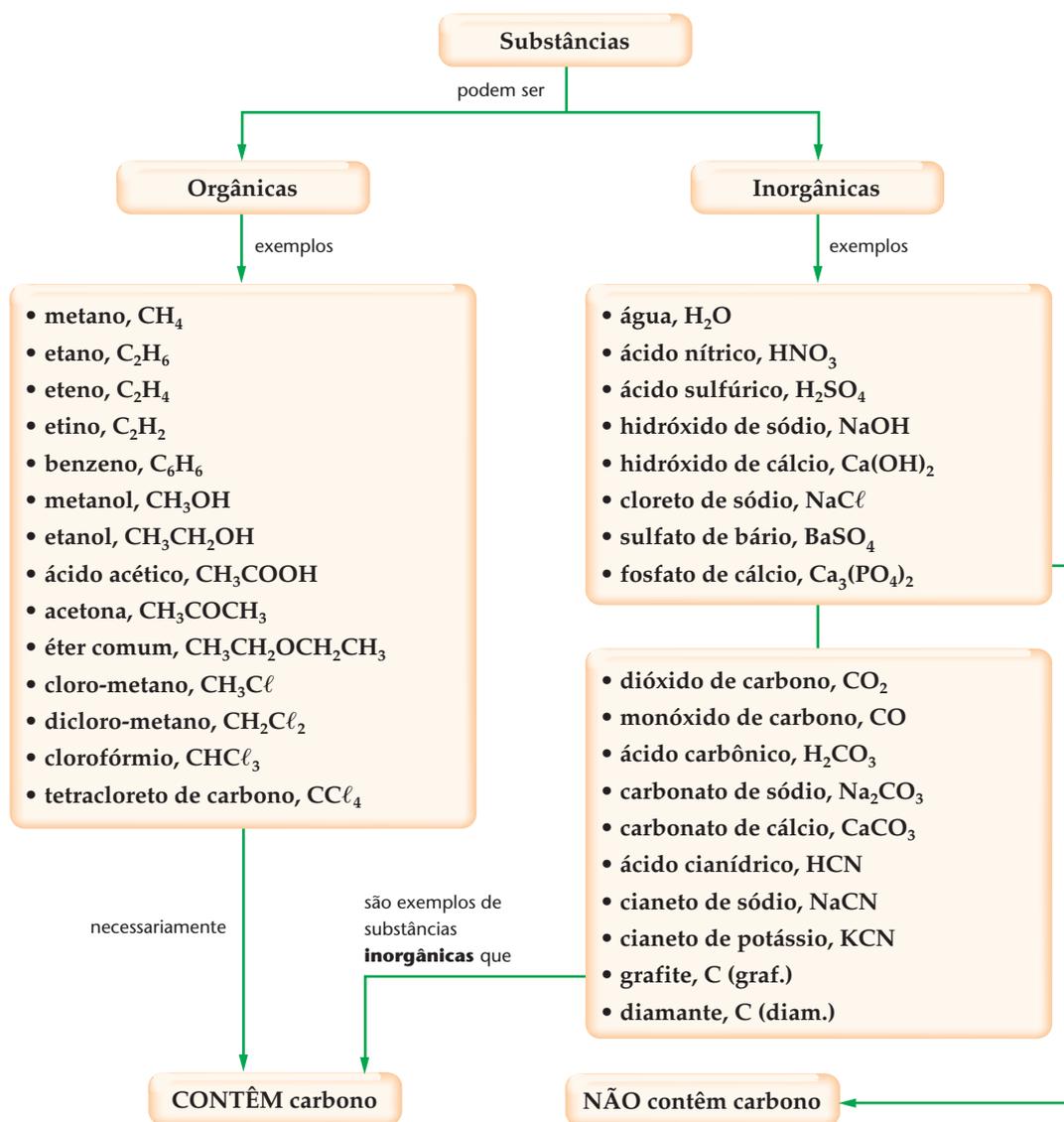
## O que é Química Orgânica?

Há mais de 200 anos surgiu a expressão **compostos orgânicos** para designar as substâncias produzidas por organismos vivos — animais ou vegetais. Por razões históricas relacionadas com o próprio desenvolvimento da Química como Ciência, os químicos **não** utilizam mais tal expressão com esse significado. Atualmente, são chamados de compostos orgânicos os compostos que contêm carbono, **sejam ou não** produzidos por organismos vivos.

**Química Orgânica** é o ramo da Química que estuda os **compostos que contêm carbono**, chamados de **compostos orgânicos**.

A Química Orgânica possui um papel importantíssimo na compreensão dos processos que ocorrem nos seres vivos. Mas essa não é sua única importância. Plásticos, detergentes e muitos dos medicamentos são exemplos de substâncias orgânicas **não** encontradas em nenhum ser vivo; ao contrário, são fabricadas em indústrias. Portanto, não se deixe confundir pela palavra *orgânica*.

**Química Orgânica é a química dos compostos de carbono.** Neste capítulo, iniciamos o estudo desse ramo da Química, um assunto interessante, moderno, em contínuo desenvolvimento e muito presente em nosso cotidiano.

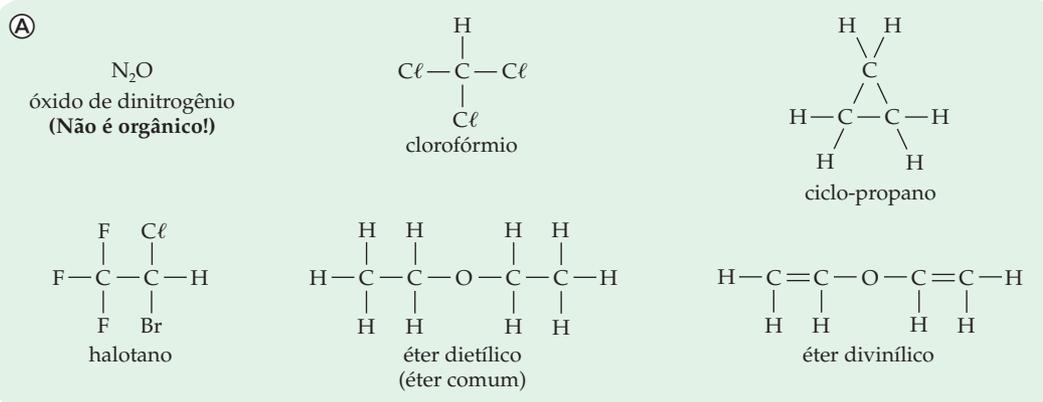


Existem algumas substâncias que, embora contenham carbono, não são consideradas substâncias orgânicas. As mais importantes são a grafite, o diamante, o monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o ácido carbônico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), o ácido cianídrico (HCN) e os carbonatos e cianetos (sais derivados do ácido carbônico e do ácido cianídrico), como, por exemplo, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub> e NaCN. Boa parte dessas substâncias já era conhecida e estudada antes mesmo que surgisse a Química Orgânica. Suas propriedades assemelham-se muito mais às das substâncias inorgânicas (aquelas que não contêm carbono) do que às das orgânicas e, assim, os químicos as classificam como inorgânicas.

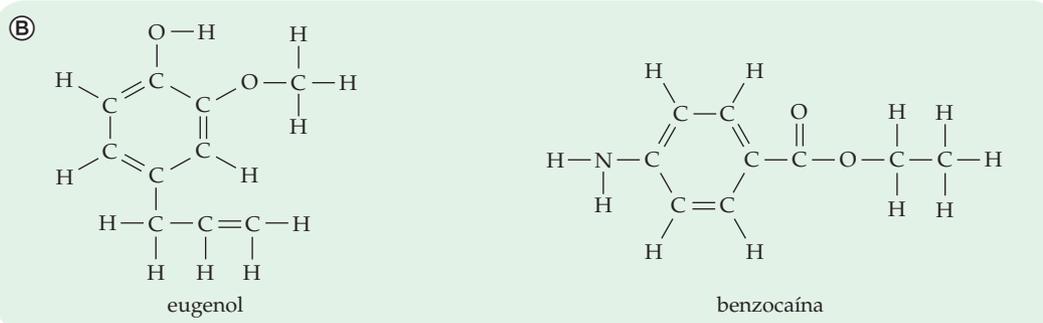
## 2 Alguns exemplos de compostos orgânicos

Há cerca de 200 anos existiam pouquíssimos medicamentos, quase todos extraídos de plantas. As cirurgias eram difíceis de realizar, entre outros motivos, devido à inexistência de **anestésicos**. Só em 1800 foi descoberto o primeiro anestésico geral, o N<sub>2</sub>O. Éter e clorofórmio só passaram a ser utilizados a partir de 1840.

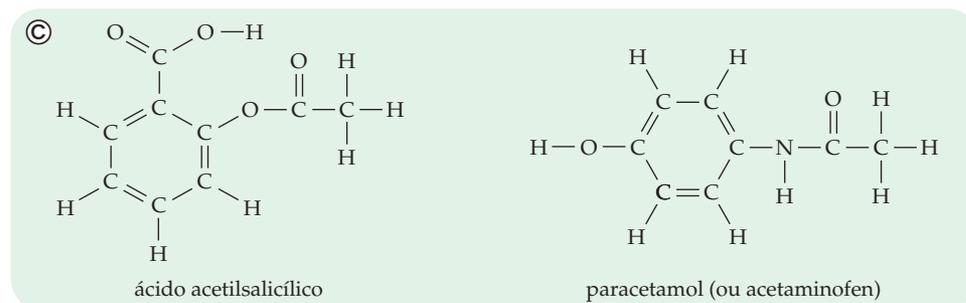
**Anestésicos gerais** causam inconsciência e, conseqüentemente, insensibilidade à dor. As fórmulas de alguns anestésicos gerais são mostradas no quadro **A**. Como você pode perceber, os anestésicos mostrados são compostos orgânicos, exceto o N<sub>2</sub>O, que não contém carbono. Atualmente, não se utiliza mais o clorofórmio, pois está comprovado que causa danos irreparáveis ao fígado. Evita-se também o uso do ciclo-propano, do éter dietílico e do éter divinílico por serem inflamáveis.



Extrair um dente é um procedimento que não requer anestesia geral, sendo utilizados nesses casos os **anestésicos locais**, substâncias que insensibilizam o tato de uma região e, dessa forma, eliminam a sensação de dor. Você já pode ter tomado contato com eles no dentista ou se o médico lhe receitou pomada para aliviar a dor de queimaduras. Exemplos de anestésicos locais são o eugenol e a benzocaína, cujas fórmulas estruturais aparecem no quadro **B**.



Para aliviar a dor, os médicos geralmente receitam **analgésicos**, medicamentos que combatem a dor sem causar inconsciência ou insensibilidade. Exemplos de analgésicos são o ácido acetilsalicílico e o paracetamol (também chamado de acetaminofen), cujas fórmulas estruturais estão no quadro ©.



Os exemplos dos quadros (A), (B) e (C) nos ajudarão a entender alguns conceitos apresentados adiante.

### 3 Cadeia carbônica

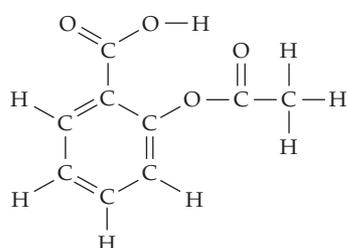
Átomos do elemento **carbono** estão presentes em **todas** as moléculas orgânicas. E átomos do elemento hidrogênio, na maioria delas. Os átomos de carbono formam o “esqueleto” de uma molécula orgânica.

Qualquer átomo em uma molécula orgânica que **não** seja de carbono ou de hidrogênio é denominado **heteroátomo**.\* Quando um ou mais heteroátomos estão presentes entre dois carbonos (quimicamente ligados a eles), os cientistas consideram-nos como também fazendo parte do “esqueleto” da molécula orgânica. Se um heteroátomo não está entre carbonos, ele não é considerado como parte do “esqueleto” molecular. Assim, no “esqueleto” das duas moléculas representadas ao lado não existe apenas carbono. Existe também um heteroátomo; no caso, o oxigênio. Para que certo heteroátomo possa estar entre carbonos é necessário que ele faça **pelo menos duas** ligações covalentes. É o caso, por exemplo, dos átomos dos elementos O, S, N e P, mas não de F, Cl, Br e I.

No lugar da expressão “esqueleto” da molécula, os químicos utilizam a expressão **cadeia carbônica**.

**Cadeia carbônica** é a estrutura formada por todos os **átomos de carbono** de uma molécula orgânica e também pelos **heteroátomos que estejam posicionados entre esses carbonos**.

Por exemplo, na fórmula estrutural do ácido acetilsalicílico, mostrada a seguir, dos quatro heteroátomos presentes, apenas um faz parte da cadeia carbônica.



▲ Fórmula estrutural do ácido acetilsalicílico.



▲ Cadeia carbônica do ácido acetilsalicílico.

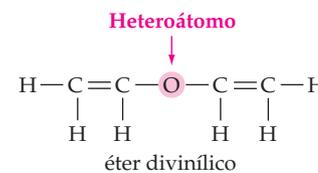


▲ Fórmula estrutural do ácido acetilsalicílico.

#### • ATENÇÃO

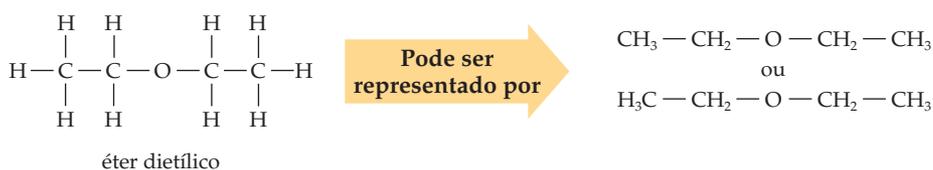
O consumo de medicamentos sem orientação médica, a automedicação, é uma atitude perigosíssima à saúde.

**JAMAIS SE AUTOMEDIQUE.**

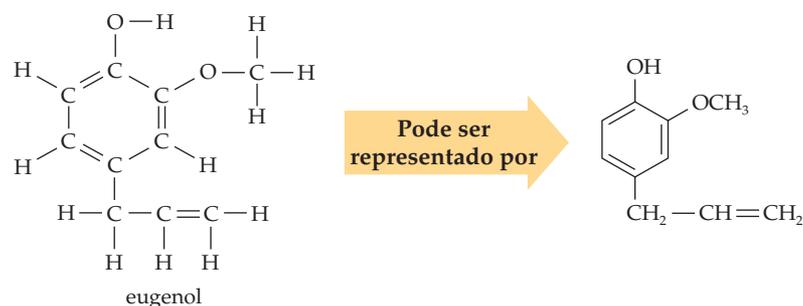
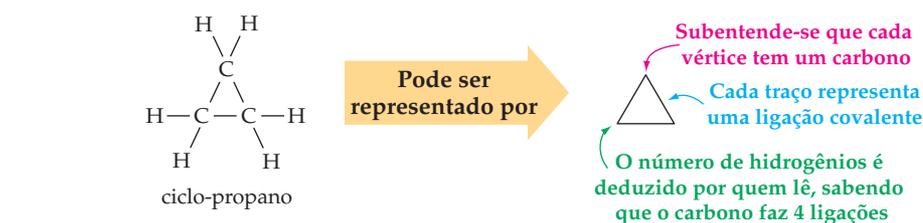


## 4 Fórmulas estruturais simplificadas

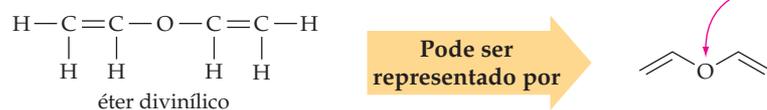
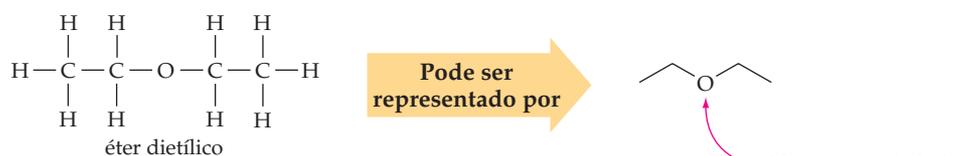
Para poupar tempo e tornar as fórmulas estruturais mais fáceis de escrever e de ler, os químicos buscaram uma representação mais sensata: a **fórmula estrutural simplificada**.



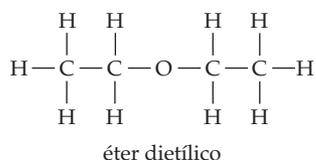
Moléculas com estrutura cíclica possuem uma representação ainda mais resumida, que alguns denominam **representação** ou **estrutura em bastão**.



A representação em bastão também pode ser aplicada a compostos que não tenham estrutura cíclica. Outros elementos que não sejam o carbono e o hidrogênio precisam ser explicitamente representados. Os átomos de hidrogênio que estejam ligados a outros elementos que não sejam carbono também precisam ser representados.



Outro modo frequente de simplificar fórmulas orgânicas consiste em omitir os traços de ligação.



Pode ser representado por



## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

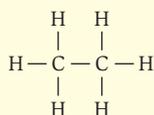
1. Qual o significado atual do termo *composto orgânico*?

### Exercício Resolvido

2. Escreva a fórmula estrutural do etano,  $\text{C}_2\text{H}_6$ .

#### Resolução

Como o carbono faz quatro ligações e o hidrogênio apenas uma, concluímos que ambos os carbonos devem estar ligados entre si nessa molécula. Assim:



3. Escreva a fórmula estrutural dos seguintes compostos:

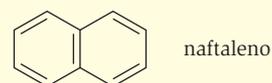
- |                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| a) $\text{C}_2\text{H}_4$ | d) $\text{CH}_2\text{O}$ |
| b) $\text{C}_2\text{H}_2$ | e) $\text{HCN}$          |
| c) $\text{CH}_4\text{O}$  | f) $\text{COCl}_2$       |

4. Reescreva as seguintes estruturas, completando com o número adequado de hidrogênios.

- |  |  |
|--|--|
| a) $\begin{array}{c} \text{C} - \text{C} - \text{C} \\   \\ \text{C} \end{array}$  | f) $\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{C} - \text{C} - \text{N} \end{array}$                                       |
| b) $\begin{array}{c} \text{C} \\   \\ \text{C} - \text{C} - \text{C} \\   \\ \text{C} \end{array}$                                   | g) $\text{C} - \text{O} - \text{C}$  |
| c) $\begin{array}{c} \text{C} \quad \text{C} \\   \quad   \\ \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} \\   \\ \text{C} \end{array}$ | h) $\text{C} - \text{C} - \text{O}$  |
| d) $\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{C} - \text{C} - \text{C} \end{array}$   | i) $\text{C} - \text{C} - \text{N}$  |
| e) $\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{C} - \text{C} - \text{O} \end{array}$   | j) $\begin{array}{c} \text{C} \\   \\ \text{C} = \text{C} \\ // \quad \backslash \\ \text{C} \quad \text{C} \end{array}$ |

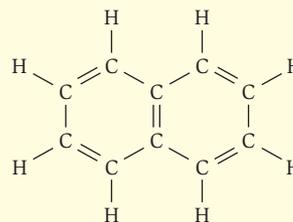
### Exercício Resolvido

5. O naftaleno, substância (**tóxica!**) comercializada sob o nome de naftalina, apresenta a seguinte fórmula estrutural:



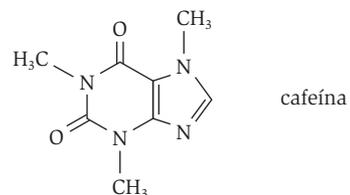
Escreva a fórmula molecular do naftaleno.

#### Resolução

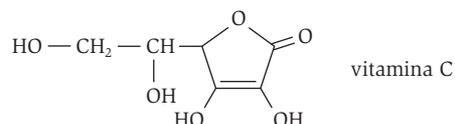


A fórmula molecular do naftaleno é, portanto,  $\text{C}_{10}\text{H}_8$ .

6. A cafeína é uma substância presente nas sementes de café. Ela age, quando ingerida, sobre o sistema nervoso, deixando a pessoa mais alerta. Porém, é tóxica em altas doses. Sua fórmula estrutural é dada a seguir. Quantos átomos de hidrogênio estão presentes numa molécula de cafeína?



7. A vitamina C apresenta a fórmula estrutural mostrada abaixo. Qual a fórmula molecular dessa vitamina?

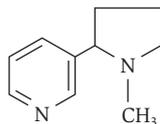


## Exercícios adicionais

Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

8. (Uece) A “nicotina” pode ser representada pela fórmula a seguir. Quantos átomos de carbono e quantos hidrogênios existem em uma molécula desse composto?



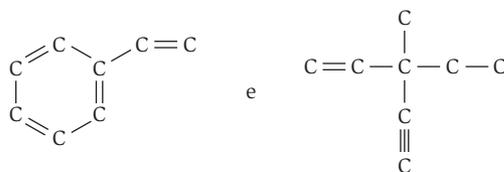
- a) 10 e 13    b) 10 e 14    c) 9 e 12    d) 8 e 14

9. O cubano é uma substância que não existe na natureza e foi artificialmente sintetizada em 1964. Sua estrutura é:



Determine a fórmula molecular dessa substância.

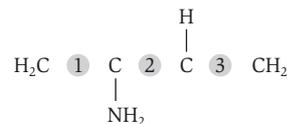
10. (UCDB-MS) Os números de átomos de hidrogênio das seguintes substâncias orgânicas



são, respectivamente:

- a) 9 e 13    d) 8 e 12  
b) 7 e 10    e) 13 e 10  
c) 14 e 12

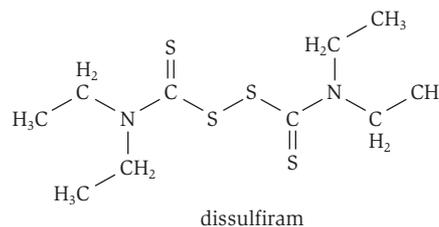
11. (UVA-CE) Na estrutura



as ligações representadas pelos algarismos são, respectivamente:

- a) simples, dupla, simples.    c) simples, tripla, dupla.  
b) dupla, simples, dupla.    d) dupla, tripla, simples.

12. (Unicamp-SP) O medicamento *dissulfiram*, cuja fórmula estrutural está representada abaixo, tem grande importância terapêutica e social, pois é usado no tratamento do alcoolismo. A administração de dosagem adequada provoca no indivíduo grande intolerância a bebidas que contenham etanol.



- a) Escreva a fórmula molecular do *dissulfiram*.  
b) Quantos pares de elétrons não compartilhados existem nessa molécula?  
c) Seria possível preparar um composto com a mesma estrutura do *dissulfiram*, no qual os átomos de nitrogênio fossem substituídos por átomos de oxigênio? **Responda sim ou não** e justifique.

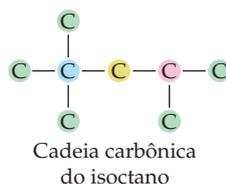
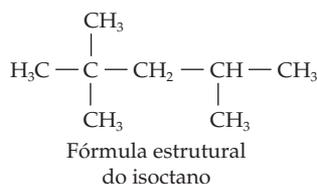
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

## 5 Classificação dos carbonos

**Classificar um carbono** significa dizer *a quantos outros carbonos ele se encontra ligado* na cadeia carbônica. Isso é feito por meio de uma linguagem apropriada, que utiliza as seguintes definições:

Carbono **primário**: ligado a **um** ou **nenhum** outro carbono.  
Carbono **secundário**: ligado a **dois** outros carbonos.  
Carbono **terciário**: ligado a **três** outros carbonos.  
Carbono **quaternário**: ligado a **quatro** outros carbonos.

Assim, para exemplificar, vamos considerar a molécula do isoctano, um dos componentes da gasolina.



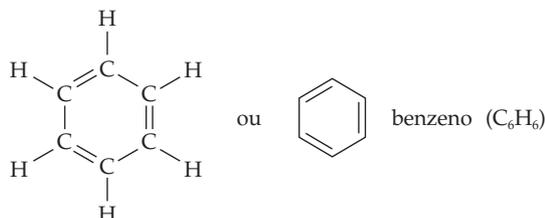
Legenda:

- carbonos primários
- carbono secundário
- carbono terciário
- carbono quaternário

## 6 Benzeno e compostos aromáticos

### 6.1 A fórmula molecular do benzeno é $C_6H_6$

Quando vestimos *jeans* ou uma roupa de poliéster, quando nos sentamos em um estofado de espuma ou se ingerimos certos alimentos industrializados, estamos tomando contato com corantes, fibras têxteis, materiais sintéticos, conservantes de alimentos e outras substâncias que podem ter vindo indiretamente do benzeno.



### 6.2 Ressonância no benzeno

Vamos colocar em cada carbono do benzeno um número, de 1 a 6. Mudando apenas a posição das ligações duplas, sem alterar a posição dos carbonos e hidrogênios, podemos escrever outra fórmula estrutural para o benzeno. Essa situação é chamada de **ressonância**.



**Ressonância** é o termo usado para descrever uma situação na qual, sem mudar a posição dos átomos, podemos escrever **mais de uma** fórmula estrutural diferente, mudando **apenas** a posição de alguns elétrons.

As estruturas A e B são chamadas de **estruturas de ressonância**. Nenhuma delas isoladamente representa bem o benzeno. Os elétrons das ligações duplas não se localizam nem como está mostrado em A nem como em B. Dizemos que **os elétrons das ligações duplas estão delocalizados (ou deslocalizados)** e que o benzeno é um **híbrido de ressonância**.



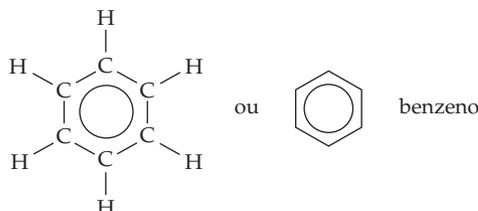
As setas mostradas em azul esclarecem que alterações na posição dos pares de elétrons convertem essa estrutura de ressonância na outra

#### ATENÇÃO

O símbolo  $\leftrightarrow$  diz que o benzeno é um misto de ambas as estruturas.

**Não o confunda** com o símbolo de equilíbrio químico  $\rightleftharpoons$ .

Por causa da ressonância, a maneira mais usada para representar o benzeno é:



em que o círculo central indica a ressonância.



TÓXICO

ADILSON SECCO

#### • ATENÇÃO

O benzeno é um líquido incolor, altamente inflamável e de cheiro forte e característico.

Seus vapores, se inalados, podem causar, por exemplo, tontura, dor de cabeça, vômitos, distúrbios visuais e inconsciência.

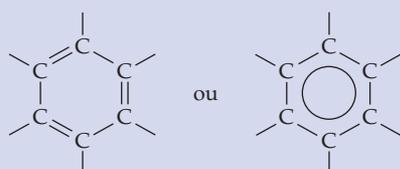
A exposição ao benzeno por períodos prolongados pode provocar leucemia.

### 6.3 Compostos aromáticos

Há muitos compostos em que aparece na molécula a cadeia carbônica do benzeno, chamada de **anel benzênico**. Como os primeiros desses compostos a serem conhecidos apresentavam um aroma forte e característico, foram chamados de **compostos aromáticos**. Atualmente, sabe-se que a presença do anel benzênico nada tem a ver com o fato de a substância apresentar aroma. No entanto, o nome ficou e:

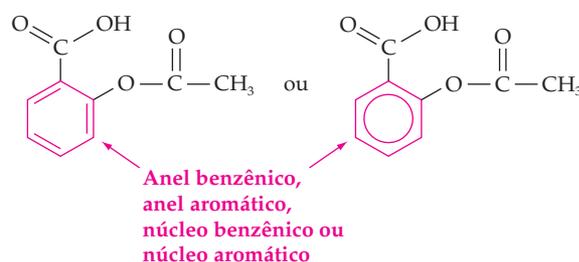
As substâncias que têm **anel benzênico** na sua estrutura são chamadas **compostos aromáticos**.

Por esse motivo o anel benzênico também é chamado anel aromático.

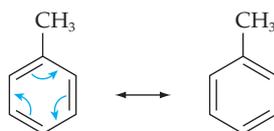


Anel benzênico, anel aromático, núcleo benzênico ou núcleo aromático

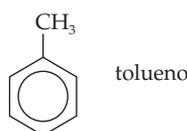
O ácido acetilsalicílico é um exemplo de substância que apresenta anel benzênico em sua molécula:



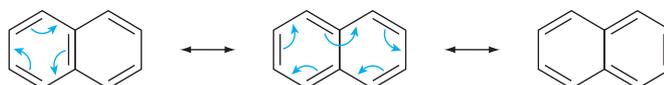
Todos os compostos aromáticos exibem o fenômeno da ressonância. Para o tolueno, as estruturas de ressonância são:



Em consequência, o tolueno é mais comumente representado da seguinte maneira:



Para o naftaleno, temos:



e, consequentemente, ele é representado assim:



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

#### ATENÇÃO

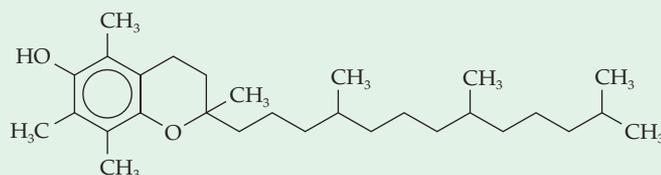
#### TÓXICO!

Tolueno e naftaleno causam irritação nos olhos e vias respiratórias, além de dores de cabeça, tontura e náuseas. São tóxicos aos rins e ao fígado.

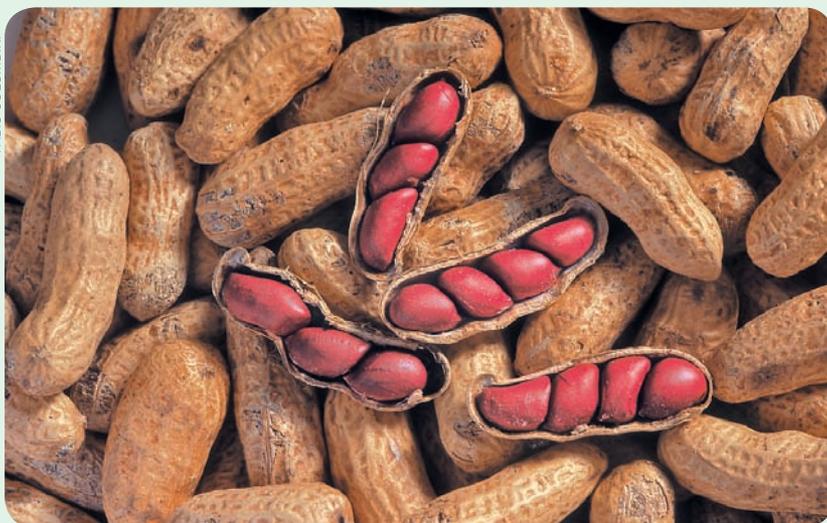
## NEM TODO COMPOSTO AROMÁTICO É TÓXICO!

O fato de o benzeno ser tóxico, assim como o tolueno e o naftaleno, **não** significa que todos os compostos aromáticos também sejam.

De fato, há compostos importantes para a saúde que contêm anel benzênico, entre os quais as vitaminas B<sub>2</sub>, E e K. Veja, por exemplo, a fórmula estrutural da vitamina E, também chamada de tocoferol:



vitamina E (tocoferol)



FABIO COLOMBINI

◀ O amendoim é uma das fontes de vitamina E. Não se deve, contudo, exagerar na ingestão desse alimento porque ele é  **muito calórico**. Além disso, é necessário verificar se o amendoim e os produtos feitos com ele têm selo de certificação, pois a armazenagem incorreta propicia o desenvolvimento de fungos que produzem **afatoxinas**, substâncias com efeito extremamente tóxico sobre o fígado.

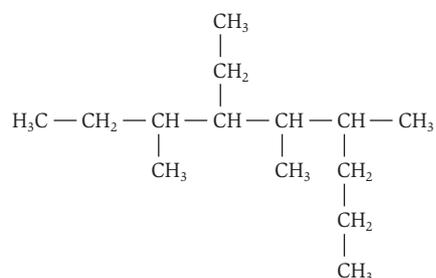
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

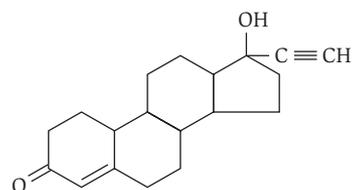
13. (UFMS-RS) No composto



as quantidades totais de átomos de carbono primário, secundário e terciário são, respectivamente:

- a) 5, 2 e 3      c) 4, 3 e 5      e) 5, 6 e 5  
b) 3, 5 e 2      d) 6, 4 e 4

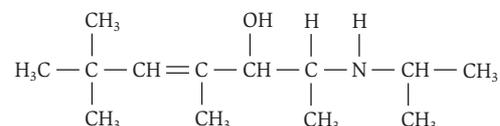
14. (Uerj) A maior parte das drogas nos anticoncepcionais de via oral é derivada da fórmula estrutural plana abaixo:



O número de carbonos terciários presentes nessa estrutura é:

- a) 5      c) 7  
b) 6      d) 8

15. (FGV-SP) O composto de fórmula:



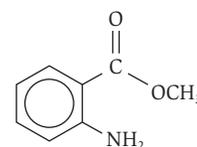
apresenta quantos carbonos primários, secundários, terciários e quaternários, respectivamente?

- a) 5, 5, 2 e 1                      d) 6, 4, 1 e 2  
 b) 5, 4, 3 e 1                      e) 7, 3, 1 e 2  
 c) 7, 4, 1 e 1

16. (UFRGS-RS) O número de pares covalentes que ocorre em uma molécula como o benzeno é:

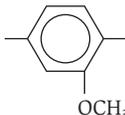
- a) 6                                      d) 15  
 b) 9                                      e) 18  
 c) 12

17. O aroma das uvas se deve, entre outras, à substância cuja fórmula estrutural está abaixo.



Qual é a fórmula molecular dessa substância?

18. (PUC-RS) No eugenol, composto de odor agradável de

fórmula  $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH}_2 -$   utilizado como

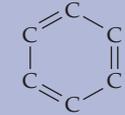
antisséptico bucal, o número de átomos de carbono secundário é:

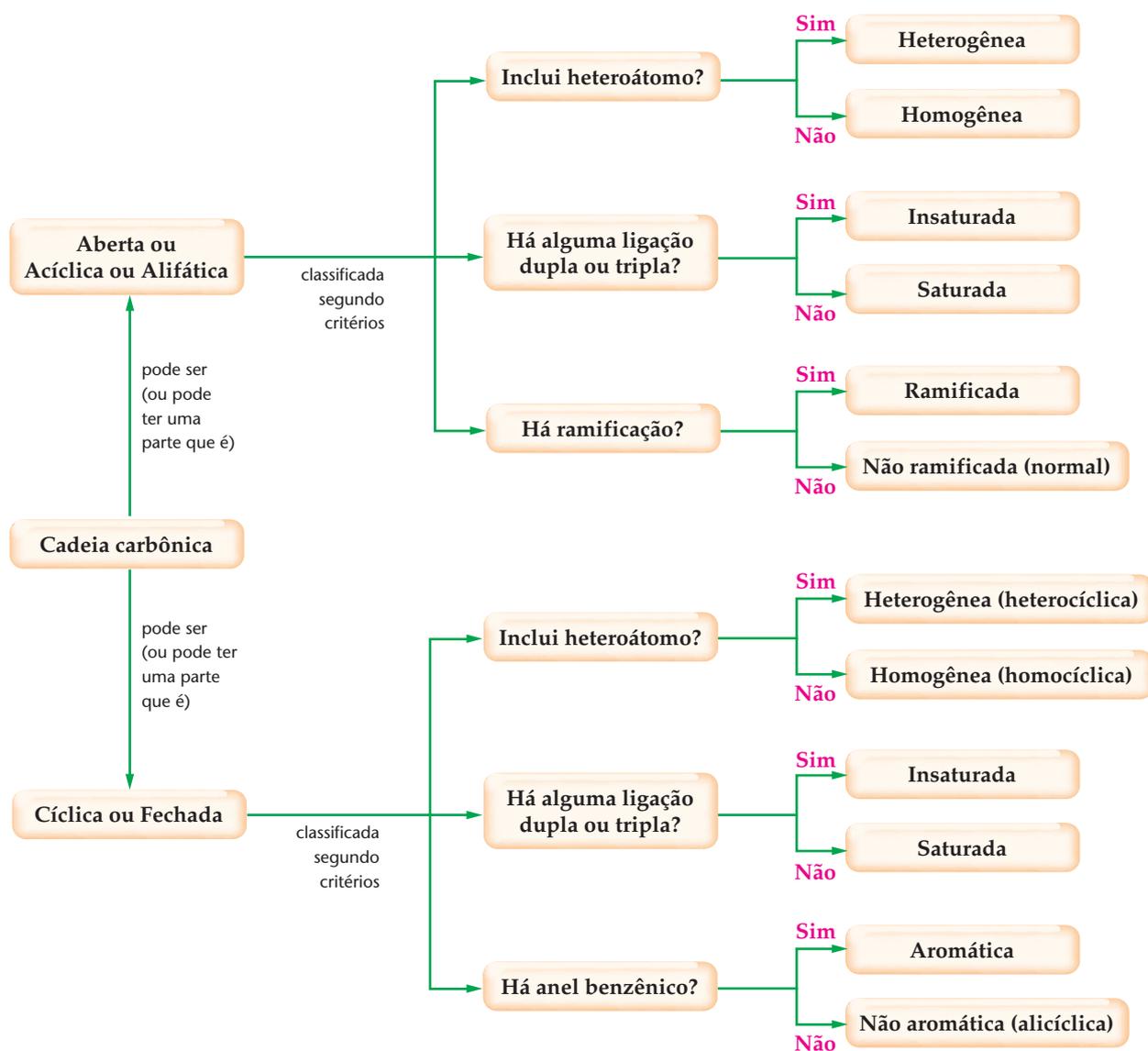
- a) 2            b) 3            c) 7            d) 8            e) 10

## 7

## Classificação das cadeias carbônicas

Para facilitar a comunicação, os químicos estabeleceram uma linguagem apropriada para descrever a maneira como os átomos estão unidos, formando a cadeia carbônica. Essa linguagem é a classificação das cadeias carbônicas, exemplificada nos quadros abaixo. Uma cadeia pode ser **aberta** ou **fechada**, pode ser **heterogênea** ou **homogênea**, pode ser **insaturada** ou **saturada**. Uma cadeia aberta pode ser **ramificada** ou **não ramificada** (também chamada de **normal**) e uma cadeia fechada pode ser **aromática** ou **não aromática** (também chamada de **alícíclica**). Quando uma cadeia tem uma parte cíclica e pelo menos um carbono fora desse ciclo, ela é chamada de **cadeia mista** (alguns a denominam **fechada ramificada**).

$\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}$	Cadeia ABERTA (ou ACÍCLICA ou ALIFÁTICA)		Cadeia FECHADA (ou CÍCLICA)
$\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{C}$ <i>Heteroátomo</i>	Cadeia HETEROGÊNEA Apresenta heteroátomo.	$\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}$	Cadeia HOMOGÊNEA Não apresenta heteroátomo.
$\text{C}=\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}$ <i>Insaturação</i>	Cadeia INSATURADA Apresenta pelo menos uma ligação dupla ou tripla.	$\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}$	Cadeia SATURADA Não apresenta ligação dupla nem tripla.
$\begin{array}{c} \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \\   \\ \text{C} \end{array}$	Cadeia RAMIFICADA Possui mais de duas extremidades.	$\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}$	Cadeia NÃO RAMIFICADA (ou NORMAL) Possui apenas duas extremidades.
	Cadeia AROMÁTICA Possui anel benzênico.		Cadeia NÃO AROMÁTICA (ou ALICÍCLICA) Não possui anel benzênico.



Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

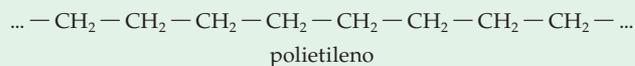
## POR QUE O CARBONO É ESPECIAL?

O carbono tem a notável propriedade de formar cadeias, que podem chegar a ter, em certos casos, milhares de átomos.

Nenhum outro elemento forma cadeias tão longas e estáveis como as cadeias carbônicas.

É graças a essa propriedade que surge a **enorme variedade de compostos orgânicos**, entre os quais estão substâncias como os carboidratos, os lipídios, as proteínas e os ácidos nucleicos, presentes nos seres vivos (capítulo 10).

Longas cadeias carbônicas também existem em algumas substâncias produzidas artificialmente, como, por exemplo, os polímeros sintéticos (capítulo 9), dos quais o polietileno é um exemplo:



▲ Corda feita de polietileno, um polímero sintético cujas moléculas podem ter cadeias com cerca de 100 mil átomos de carbono.

STUDIO MODE/ALAMY/OTHER IMAGES

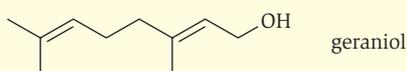
## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

### Exercício Resolvido

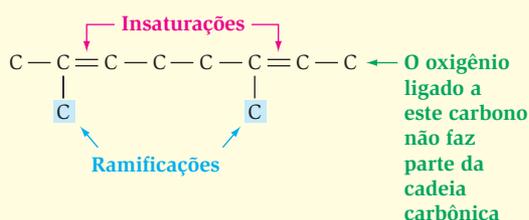
19. O geraniol é um dos responsáveis pelo aroma dos gerânios e das rosas.



Classifique sua cadeia carbônica.

#### Resolução

A cadeia carbônica do geraniol é:

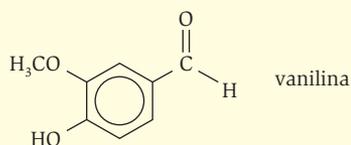


Sua classificação é:

- aberta ou acíclica ou alifática
- homogênea (não inclui heteroátomos)
- insaturada (há duas insaturações C=C)
- ramificada

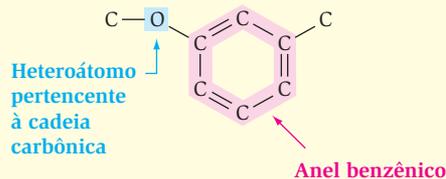
### Exercício Resolvido

20. O aroma de baunilha se deve à vanilina. Classifique a cadeia carbônica desse composto.



#### Resolução

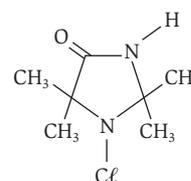
A cadeia carbônica da vanilina é:



cuja classificação é a seguinte:

- mista (ou cíclica ramificada)
- heterogênea (caso o heteroátomo estivesse na parte cíclica, a cadeia poderia ser designada como heterocíclica)
- insaturada
- aromática

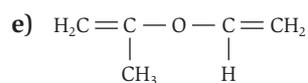
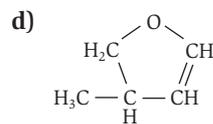
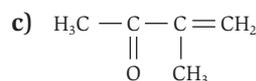
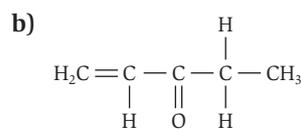
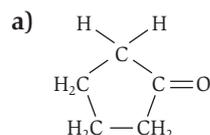
21. (Uerj) Na fabricação de tecidos de algodão, a adição de compostos do tipo N-haloamina confere a eles propriedades biocidas, matando até bactérias que produzem mau cheiro. O grande responsável por tal efeito é o cloro presente nesses compostos.



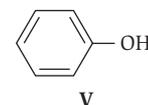
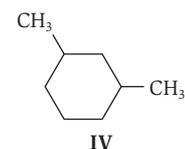
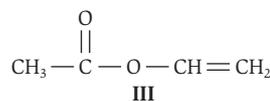
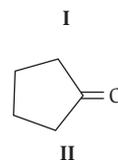
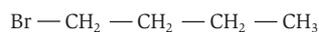
A cadeia carbônica da N-haloamina acima representada pode ser classificada como:

- homogênea, saturada, normal.
- heterogênea, insaturada, normal.
- heterogênea, saturada, ramificada.
- homogênea, insaturada, ramificada.

22. (UFPA) A estrutura do composto orgânico de fórmula molecular  $C_5H_8O$  que apresenta cadeia ramificada, insaturada, heterogênea e alicíclica é:



23. (Ufes) Dentre as opções a seguir:



O composto que apresenta cadeia carbônica saturada, homogênea e somente com carbonos secundários é:

- a) I                      c) III                      e) V  
b) II                      d) IV

24. (Mackenzie-SP) Dentre os átomos mencionados abaixo, aquele que pode ser um heteroátomo, numa cadeia carbônica, é o:

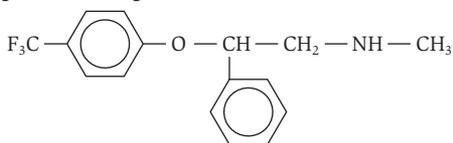
- a) N (Z = 7).            c) Cl (Z = 17).        e) Na (Z = 11).  
b) H (Z = 1).            d) F (Z = 9).

## Exercícios adicionais

Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

25. (PUC-RS) A “fluoxetina”, presente na composição de antidepressivos, apresenta fórmula estrutural

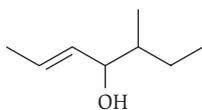


Com relação a este composto, é correto afirmar que apresenta:

- a) cadeia carbônica cíclica e saturada.  
b) cadeia carbônica aromática e homogênea.  
c) cadeia carbônica mista e heterogênea.  
d) somente átomos de carbonos primários e secundários.  
e) fórmula molecular  $C_{17}H_{16}ONF$ .

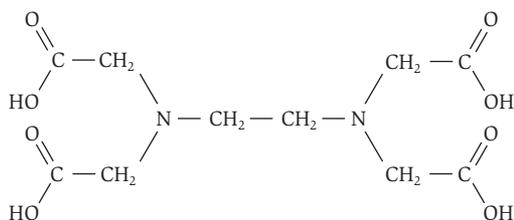
26. (Ufam) A cadeia carbônica ao lado é classificada como:

- a) aberta, ramificada, insaturada, heterogênea.



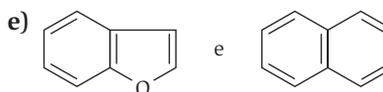
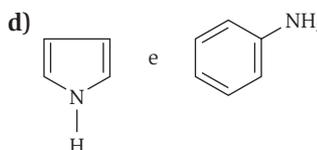
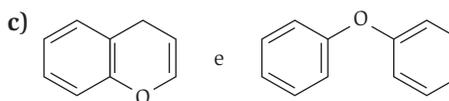
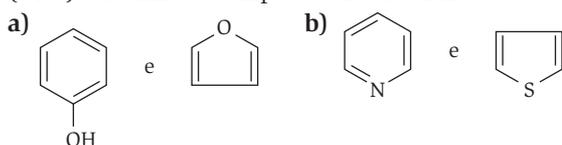
- b) alicíclica, ramificada, insaturada, heterogênea.  
c) acíclica, ramificada, insaturada, homogênea.  
d) alifática, linear, saturada, homogênea.  
e) aberta, linear, saturada, heterogênea.

27. (UFF-RJ) O ácido etilenodiaminotetracético, conhecido como EDTA, utilizado como antioxidante em margarinas, de fórmula

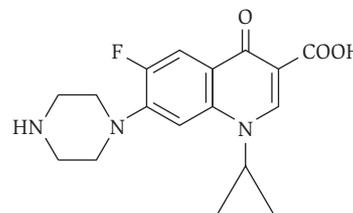


apresenta cadeia carbônica:

- a) acíclica, insaturada, homogênea.  
b) acíclica, saturada, heterogênea.  
c) acíclica, saturada, homogênea.  
d) cíclica, saturada, heterogênea.  
e) cíclica, insaturada, homogênea.
28. (Ufes) São ambos compostos heterocíclicos:



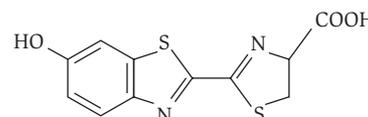
29. (UFSCar-SP) O ciprofloxacino é um antibiótico administrado por via oral ou intravenosa, usado contra infecções urinárias e, recentemente, seu uso tem sido recomendado no tratamento do antraz, infecção causada pelo microrganismo *Bacillus anthracis*. A fórmula estrutural desse antibiótico é mostrada na figura.



- a) Qual a fórmula molecular desse antibiótico?  
b) Qual a porcentagem em massa de carbono?

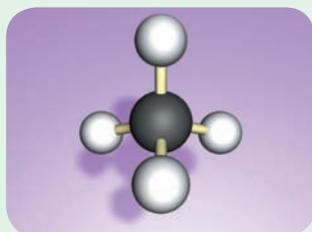
▲ **COMENTÁRIO DOS AUTORES:**  
Consulte a tabela periódica.

30. (UFG-GO) O Parque Nacional das Emas, localizado no extremo sudoeste do estado de Goiás, é caracterizado pelo agrupamento de cupinzeiros, que servem como local de desenvolvimento de larvas de vaga-lumes. Pela emissão de luz, elas atraem outros insetos que lhes servem de alimento. Esse fenômeno de emissão de luz é chamado de bioluminescência e ocorre, principalmente, pela oxidação de uma substância química conhecida por luciferina, representada a seguir:

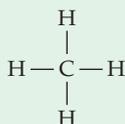


Determine a fórmula molecular, a massa molecular e a composição percentual da luciferina.

## MODELOS MOLECULARES “ESFERA E VARETA”



metano

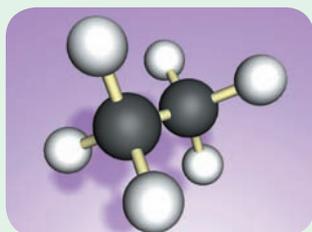


As imagens mostradas nesta e nas duas páginas a seguir são de modelos moleculares do tipo “esfera e vareta”, uma das maneiras usadas pelos químicos para representar tridimensionalmente as moléculas. Junto de cada imagem, aparecem o nome e a fórmula estrutural da substância.

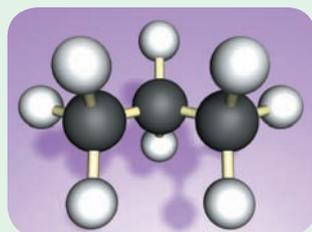
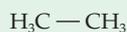
Note, por meio dos exemplos aqui apresentados, que a fórmula estrutural geralmente não permite representar de modo adequado a geometria de uma molécula orgânica, pois a fórmula estrutural é escrita em um plano (papel, lousa etc.) e as moléculas, em geral, não possuem estrutura planar, mas sim tridimensional.

Ilustrações de modelos moleculares aparecerão em várias partes deste livro, a fim de ajudá-lo a adquirir uma noção da estrutura espacial das moléculas orgânicas.

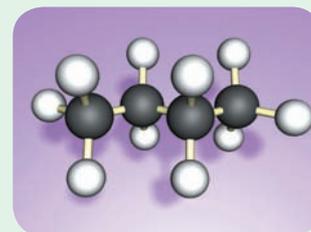
Nos modelos desta página e das duas seguintes, os átomos estão representados por esferas (em cores fantasiosas e fora de proporção) e as varetas indicam ligações covalentes.



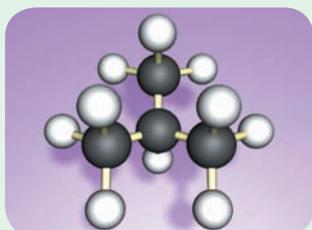
etano



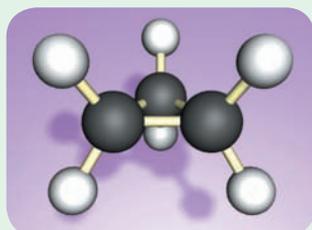
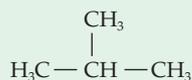
propano



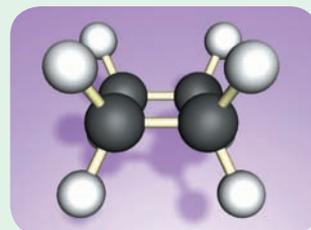
butano



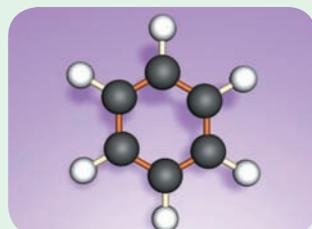
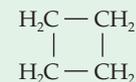
metil-propano



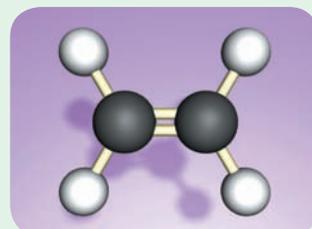
ciclo-propano



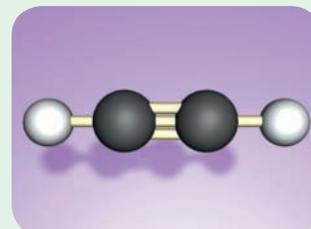
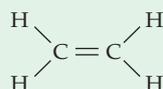
ciclo-butano



benzeno

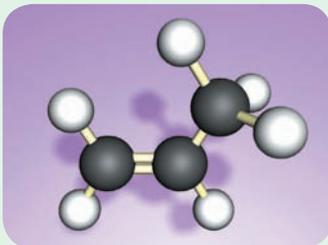


eteno

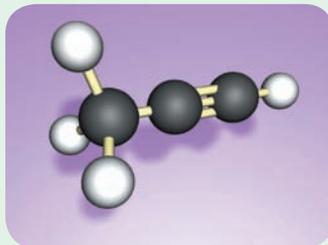


etino

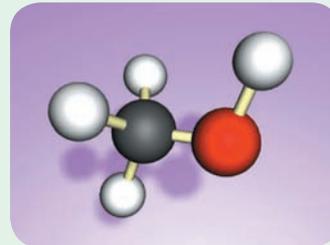




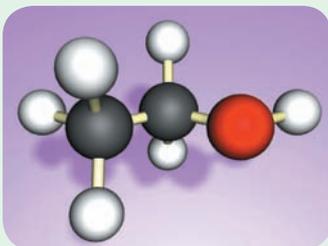
propeno  
 $\text{H}_2\text{C} = \text{CH} - \text{CH}_3$



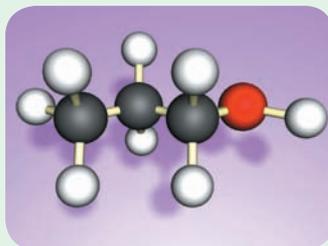
propino  
 $\text{H}_3\text{C} - \text{C} \equiv \text{CH}$



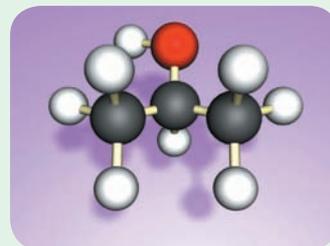
metanol  
 $\text{H}_3\text{C} - \text{OH}$



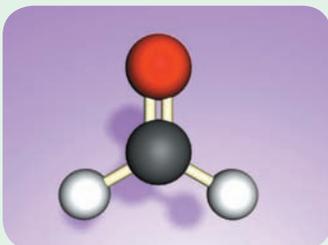
etanol  
 $\text{H}_3\text{C} - \text{CH}_2 - \text{OH}$



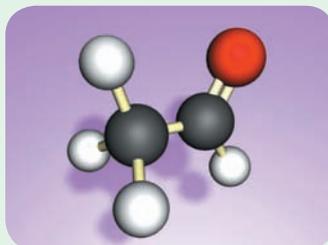
propan-1-ol  
 $\text{H}_3\text{C} - \text{CH}_2 - \underset{\text{OH}}{\text{CH}_2}$



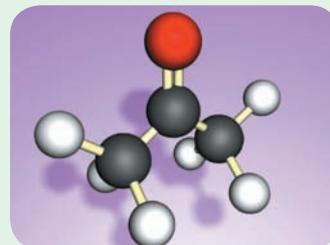
propan-2-ol  
 $\text{H}_3\text{C} - \underset{\text{OH}}{\text{CH}} - \text{CH}_3$



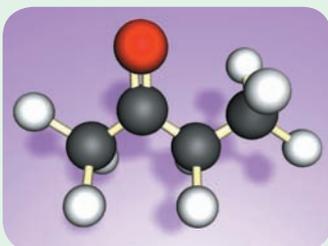
metanal  
 $\text{H} - \text{C} \begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H} \end{matrix}$



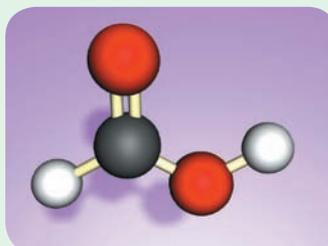
etanal  
 $\text{H}_3\text{C} - \text{C} \begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H} \end{matrix}$



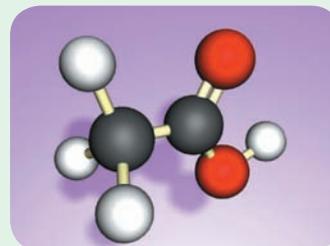
propanona  
 $\text{H}_3\text{C} - \overset{\text{O}}{\parallel} \text{C} - \text{CH}_3$



butanona  
 $\text{H}_3\text{C} - \overset{\text{O}}{\parallel} \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$



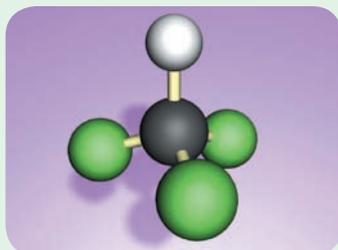
ácido metanoico  
 $\text{H} - \text{C} \begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{OH} \end{matrix}$



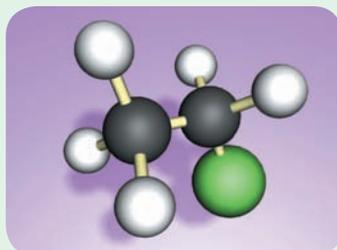
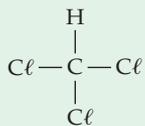
ácido etanoico  
 $\text{H}_3\text{C} - \text{C} \begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{OH} \end{matrix}$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

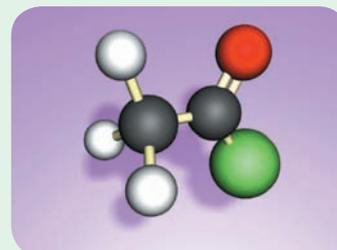
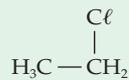
ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES



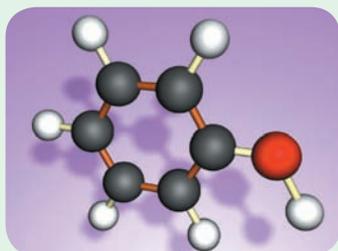
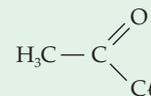
tricloro-metano



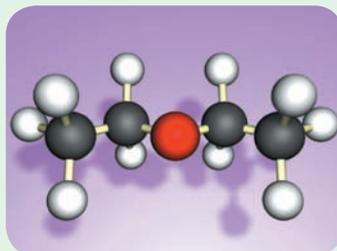
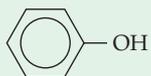
cloro-etano



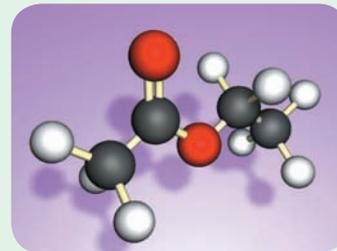
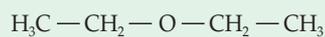
cloreto de acetila



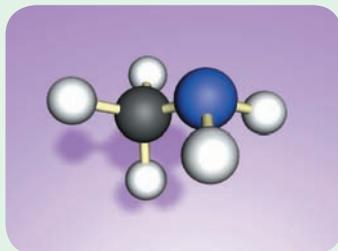
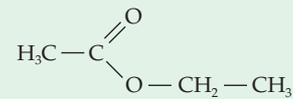
benzenol



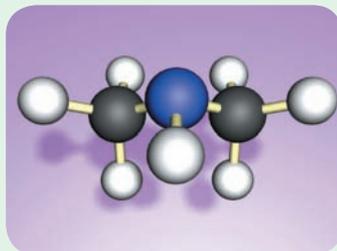
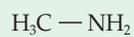
éter dietílico



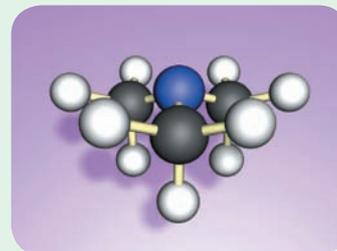
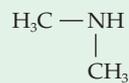
acetato de etila



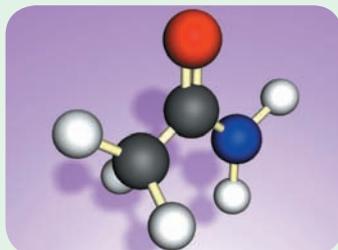
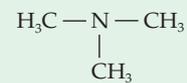
metilamina



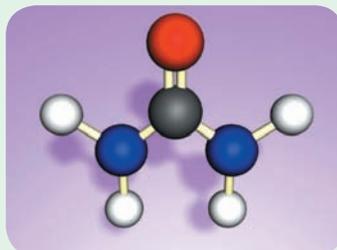
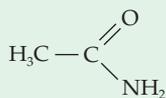
dimetilamina



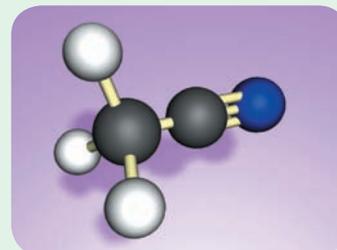
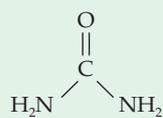
trimetilamina



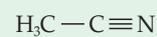
etanamida



ureia



etanonitrila



ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES



## PETRÓLEO: FONTE DE COMBUSTÍVEIS E DE MATÉRIAS-PRIMAS

Fundamentalmente, podemos dizer que o petróleo tem duas grandes aplicações.

A primeira delas é como **fonte de combustíveis**. A segunda é como **fonte de matérias-primas industriais**, ou seja, reagentes para reações químicas que, realizadas em indústrias adequadamente equipadas, permitem a obtenção de novas substâncias de interesse da sociedade.

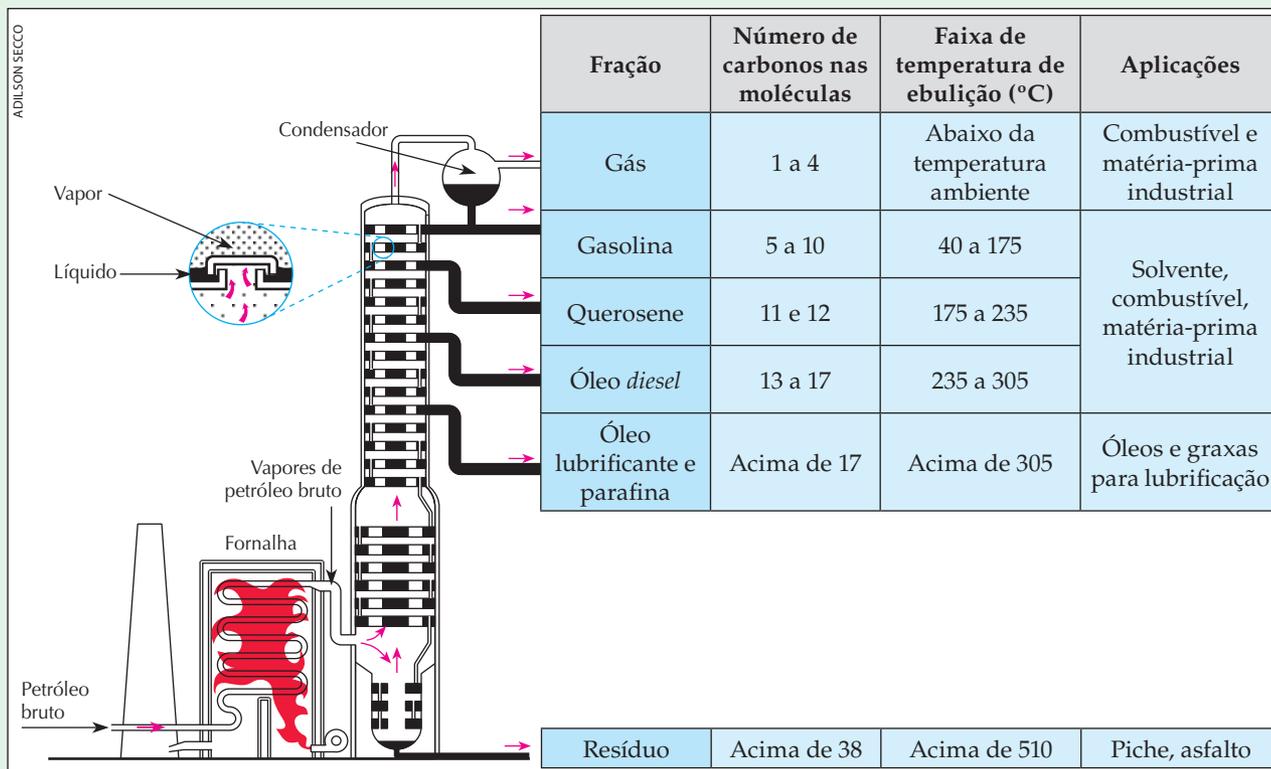
Em ambos os casos, o petróleo bruto (aquele que sai do poço) deve passar por uma separação de seus componentes. Essa separação pode ser bastante geral e fornecer as frações do petróleo, que são misturas de substâncias nele presentes e que têm pontos de ebulição relativamente próximos. O processamento do petróleo visando à obtenção de suas frações é realizado em **refinarias de petróleo**. Após essa separação mais geral, cada uma das frações pode sofrer processos mais elaborados de fracionamento, que fornecem substâncias com alto grau de pureza, destinadas à utilização como matéria-prima. **Indústria petroquímica** é o nome usado para designar o ramo da indústria química que utiliza derivados do petróleo como matéria-prima para a fabricação de novos materiais.

Para atender ao grande consumo de gasolina, as refinarias processam muito petróleo e, em consequência, sobra óleo. Não haveria algum meio de transformar esse excesso de óleo em mais gasolina? A resposta é sim, bastando quebrar, por exemplo, uma molécula de óleo com 16 átomos de carbono em duas moléculas com 8, que correspondem à gasolina. Essa quebra, feita sob aquecimento e utilizando um catalisador apropriado, é chamada de **pirólise** ou **craqueamento catalítico**. (A palavra *pirólise* vem do grego *pyros*, “fogo”, e *lysis*, “quebra”. A palavra *craqueamento*, do inglês *to crack*, “quebrar”.)



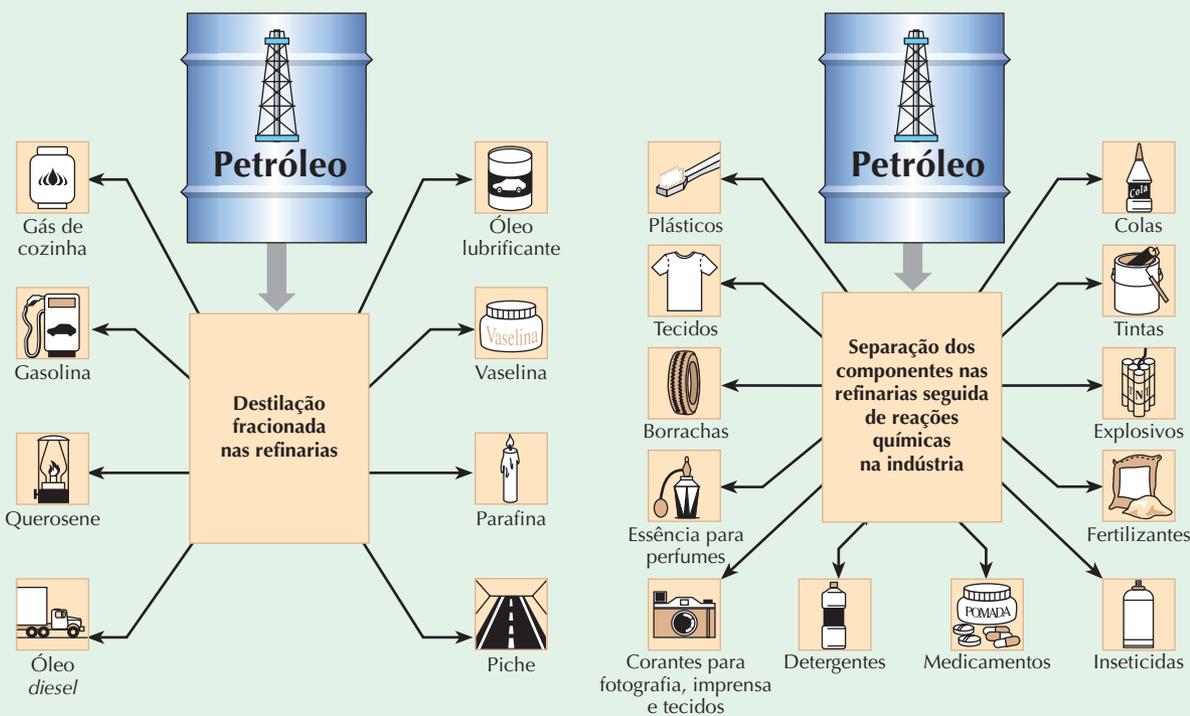
JUCA MARTINS/OLHAR IMAGEM

▲ Torres de fracionamento de petróleo. A destilação fracionada baseia-se na diferença de volatilidade entre os vários componentes do petróleo. Mauá, SP, 1996.



▲ Esquema de uma torre de fracionamento (coluna de destilação fracionada) de petróleo, em corte. (Cores fantasiosas, fora de proporção.)

Fonte: Elaborado a partir de KOTZ, J. C. et al. *The chemical world*. Orlando: Saunders, 1994. p. 557; THOMAS, J. E. (org.) *Fundamentos de engenharia de petróleo*. Rio de Janeiro: Interciência, 2001. p. 5.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

▲ O petróleo é uma importante fonte de combustíveis e de matéria-prima para a indústria. Nesse esquema aparecem alguns dos muitos produtos usados no cotidiano que podem ser obtidos do petróleo. (Representações sem escala.)

Há três diferentes formas de combustão, que ilustramos usando metano ( $\text{CH}_4$ ) como **combustível**.

• **Combustão completa:**



• **Combustão incompleta, com formação de monóxido de carbono:**



• **Combustão incompleta, com formação de carbono (fuligem):**



Comparando essas equações, notamos que, além da diferença no produto contendo carbono ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  e  $\text{C}$ ), existe também uma diferença na quantidade do oxigênio necessário. **O maior consumo de  $\text{O}_2$  (comburente) se dá na combustão completa e o menor na incompleta, formando carbono.** Os hidrocarbonetos são combustíveis, formando  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  ou  $\text{C}$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , conforme o tipo de combustão sofrida. Daí a importância do petróleo como fonte de combustíveis.

Dentro dos motores de automóveis ocorre, além da combustão completa, também a incompleta, com formação de  $\text{CO}$ . Esse composto é um *gás sem cor, sem cheiro e extremamente tóxico*. Quando o inalamos, suas moléculas se unem à hemoglobina, proteína responsável pelo transporte de oxigênio no sangue, impedindo-a de executar esse transporte. Isso pode causar desde uma ligeira perturbação do sistema nervoso até estado de coma e morte, dependendo da quantidade de monóxido de carbono inalado.

Motores desregulados favorecem também a formação do carbono ( $\text{C}$ ), que sai do escapamento na forma de minúsculas partículas negras, chamadas de **fuligem, pó de carvão ou negro de fumo**. A presença de grandes quantidades de fuligem na atmosfera pode provocar problemas respiratórios.

• **ATENÇÃO**

Cuidado com experimentos caseiros envolvendo reações de combustão.

Nenhum experimento deve ser realizado por conta própria, **por mais simples que pareça**. A eventual realização deve ter **autorização e supervisão** do(a) professor(a).



GÁS TÓXICO

• **ATENÇÃO**

O monóxido de carbono se liga de modo irreversível à hemoglobina, impedindo-a de levar o oxigênio às diversas partes do organismo.

ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

## VEJA ALGUMAS FRAÇÕES DO PETRÓLEO

Estas fotos mostram algumas das frações do petróleo. Note que as frações que possuem moléculas maiores escorrem com mais dificuldade, ou seja, são mais viscosas.



PAUL RAPSON/SCIENCE PHOTO  
LIBRARY/LATINSTOCK

▲ **Gasolina.** Como existem diferentes variedades, corantes costumam ser adicionados a ela.



PAUL RAPSON/SCIENCE PHOTO  
LIBRARY/LATINSTOCK

▲ **Querosene.** Solvente e combustível.



PAUL RAPSON/SCIENCE PHOTO  
LIBRARY/LATINSTOCK

▲ **Combustível de aviação.** Uma fração próxima do querosene.



PAUL RAPSON/SCIENCE PHOTO  
LIBRARY/LATINSTOCK

▲ **Diesel.** Combustível em motores de ônibus, caminhões e alguns utilitários.



PAUL RAPSON/SCIENCE PHOTO  
LIBRARY/LATINSTOCK

▲ **Óleo lubrificante médio.** Pode ser usado, por exemplo, em motores.



PAUL RAPSON/SCIENCE PHOTO  
LIBRARY/LATINSTOCK

▲ **Óleo lubrificante pesado.** É mais viscoso e serve para engrenagens e juntas móveis de máquinas pesadas.



PAUL RAPSON/SCIENCE PHOTO  
LIBRARY/LATINSTOCK

▲ **Piche, betume ou asfalto.** Misturado com pedras adequadas forma o revestimento de ruas e estradas.

## GÁS NATURAL

Denomina-se **gás natural** a mistura de gases aprisionada em bolsões no subsolo de algumas regiões. Geralmente aparece junto com o petróleo, evidenciando a origem comum de ambos, que foram formados a partir de restos de antigos organismos marinhos.

Embora sua composição seja bastante variável, dependendo do local onde é encontrado, o constituinte majoritário é sempre o metano ( $\text{CH}_4$ ). Outros componentes são etano ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), propano ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) e, geralmente em quantidades menores, butano ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), metil-butano ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ), nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) e outros.

A principal aplicação do gás natural é como combustível. Para as indústrias, ele apresenta algumas vantagens em relação ao carvão e ao óleo combustível. Seu transporte é bem mais simples — é levado por uma tubulação (gasoduto) até o local de utilização —, sua combustão emite menos  $\text{CO}$  e  $\text{SO}_2$  do que o carvão mineral ou os derivados do petróleo, e não deixa resíduos nos fornos e nas caldeiras.

No Brasil, é usado há alguns anos em veículos motorizados.



MARCOS FERONKINO

▲ Automóvel sendo abastecido com GNV (gás natural veicular). Campinas, SP, 2005.

### Nem todo composto orgânico é combustível

Alguns exemplos importantes de substâncias orgânicas que não são combustíveis são:

- $\text{CCl}_4$  — tetracloreto de carbono
- $\text{CHCl}_3$  — clorofórmio

Ambos são líquidos incolores e **tóxicos**.

## O BENZENO QUEIMA COM FORMAÇÃO DE FULIGEM

A combustão fuliginosa (isto é, com formação de fuligem) ocorre quando há pouco  $\text{O}_2$  no local da reação.

Os **compostos aromáticos**, como o benzeno, mesmo na presença de suprimento suficiente de  $\text{O}_2$ , **tendem a queimar formando fuligem**.

### • ATENÇÃO

O benzeno é tóxico e, por isso, esse experimento **NÃO deve ser feito** pelo aluno.

Caso o professor deseje realizá-lo, o procedimento deve ser feito em capela com a exaustão ligada. O cadinho e o pires devem ser de porcelana refratária. Avental, luvas e óculos de segurança são obrigatórios.



SÉRGIO DOTTI, JR./CID

Combustão fuliginosa do benzeno. ▶

## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

31. (Unirio-RJ) Campos de Goytacazes, na região norte do estado do Rio de Janeiro, pode ser considerada a capital nacional do petróleo: a Bacia de Campos produz em média 900 mil barris/dia de petróleo cru. A operação que permite isolar tanto a gasolina quanto o querosene do petróleo cru é a:
- a) decantação.                      d) catação.  
b) destilação.                      e) extração com água.  
c) filtração.
32. (UnB) Julgue se a afirmativa é certa ou errada: Na destilação do petróleo, os hidrocarbonetos de menor massa molar são os primeiros a serem vaporizados pelo aquecimento do óleo cru.
33. (PUC-RS) Os hidrocarbonetos de menor ponto de ebulição obtidos a partir da destilação fracionada do petróleo estão presentes:
- a) na gasolina.                      d) no querosene.  
b) na parafina.                      e) no gás de cozinha.  
c) no óleo *diesel*.
34. (UEPB) O gás natural, que tem como principal constituinte o **metano**, possui grande importância econômica e ambiental. Depois de processado e tratado pode ser utilizado domesticamente, no comércio, nas indústrias e em veículos automotores. A combustão desse gás tem efeito menos poluente que os demais combustíveis, como gasolina, óleo *diesel*, a queima da madeira etc., devido às quantidades reduzidas de monóxido de carbono, óxido de nitrogênio e óxido de enxofre produzidas durante o processo. Com relação ao **gás natural** é correto afirmar que:
- a) é resultante do craqueamento do xisto.  
b) provém da gaseificação do carvão mineral.  
c) é encontrado na natureza em reservatórios subterrâneos.  
d) é obtido na destilação do alcatrão da hulha.  
e) é obtido em laboratório, pela reação com o reagente de Tollens.
35. (PUC-RS) O GNV, gás natural veicular, usado em Porto Alegre como combustível automotivo, é constituído principalmente de **■** e, em geral, sua combustão não deixa resíduo, sendo expressa pela equação **■**.
- a) metano                       $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{C} + 2 \text{H}_2\text{O}$   
b) metano                       $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$   
c) 1-buteno                       $\text{C}_4\text{H}_8 + 2 \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{C} + 4 \text{H}_2\text{O}$   
d) etanol                       $\text{C}_2\text{H}_6\text{O} + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 3 \text{H}_2\text{O}$   
e) etanol                       $\text{C}_2\text{H}_6\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{C} + 3 \text{H}_2\text{O}$
36. O gás de cozinha contém propano ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) e, predominantemente, butano ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ). Escreva, para cada um deles, as equações que representam as três formas de combustão.
37. É comum encontrarmos, dentro de túneis muito longos, placas com dizeres do tipo: “Desligue o motor em caso de congestionamento.” Justifique essa preocupação.
38. No interior da chaminé de uma lareira ou de uma churrasqueira encontramos um revestimento preto que sujará nossos dedos se o tocarmos.
- a) Qual a composição química dessa “sujeira”?  
b) Como se forma?
39. Como você já sabe, uma transformação (reação) química altera a composição da matéria, produzindo novas substâncias. Quais das transformações a seguir são químicas?
- a) Fracionamento do petróleo.  
b) Obtenção de um plástico a partir do petróleo.  
c) Craqueamento catalítico.  
d) Combustão de um hidrocarboneto.
40. (UnB) Julgue se a afirmativa é certa ou errada: A separação dos diversos constituintes do petróleo é um processo químico fundamentado na variação da temperatura de ebulição das substâncias participantes.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

## Exercícios adicionais

Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

41. (Uesb-BA) Dos hidrocarbonetos obtidos no refino do petróleo, os que possuem menores massas molares são os que constituem:
- a) a gasolina.  
b) o GLP (gás liquefeito de petróleo).  
c) o asfalto.  
d) o óleo combustível leve.  
e) a parafina.
42. (UFU-MG) A alternativa que correlaciona corretamente os materiais abaixo como sendo (a) mistura ou (b) substância pura é:
- I. Bicarbonato de sódio.                      III. Ar atmosférico.  
II. Gasolina.                                      IV. Água do mar.
- a) I(b); II(a); III(a); IV(b)                      d) I(b); II(a); III(a); IV(a)  
b) I(a); II(a); III(a); IV(a)                      e) I(a); II(b); III(b); IV(a)  
c) I(b); II(b); III(b); IV(b)

43. (Vunesp) Considere as seguintes informações sobre três substâncias no estado gasoso:

- I. Encontra-se na estratosfera, ao redor de 20 km de altitude, funciona como protetor natural da vida.
- II. É muito útil: apaga incêndios e é utilizado nos refrigerantes.
- III. É o comburente presente na atmosfera, principalmente em baixas altitudes, e é indispensável a muitos processos vitais.

As informações I, II e III referem-se, respectivamente, a:

- a)  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_3$
- b)  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_2$
- c)  $\text{O}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$
- d)  $\text{O}_3$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$
- e)  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_2$

44. (Vunesp) A Bolívia é um grande produtor de gás natural (metano) e celebrou com o Brasil um acordo para a utilização deste importante recurso energético. Para seu transporte até os centros consumidores, há um gasoduto ligando os dois países, já tendo chegado ao interior do estado de São Paulo.

Escreva a equação para a reação de combustão do metano e o nome dos produtos formados.

45. (Unifesp) Um indivíduo saudável elimina cerca de 1 L de gases intestinais por dia. A composição média desse gás, em porcentagem de volume, é: 58% de nitrogênio, 21% de hidrogênio, 9% de dióxido de carbono, 7% de metano e 4% de oxigênio, todos absolutamente inodoros. Apenas 1% é constituído de gases malcheirosos, derivados da amônia e do enxofre. O gás inflamável que apresenta maior porcentagem em massa é o:

- a) nitrogênio.
- b) hidrogênio.
- c) dióxido de carbono.
- d) metano.
- e) oxigênio.



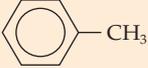
**COMENTÁRIO DOS AUTORES:**

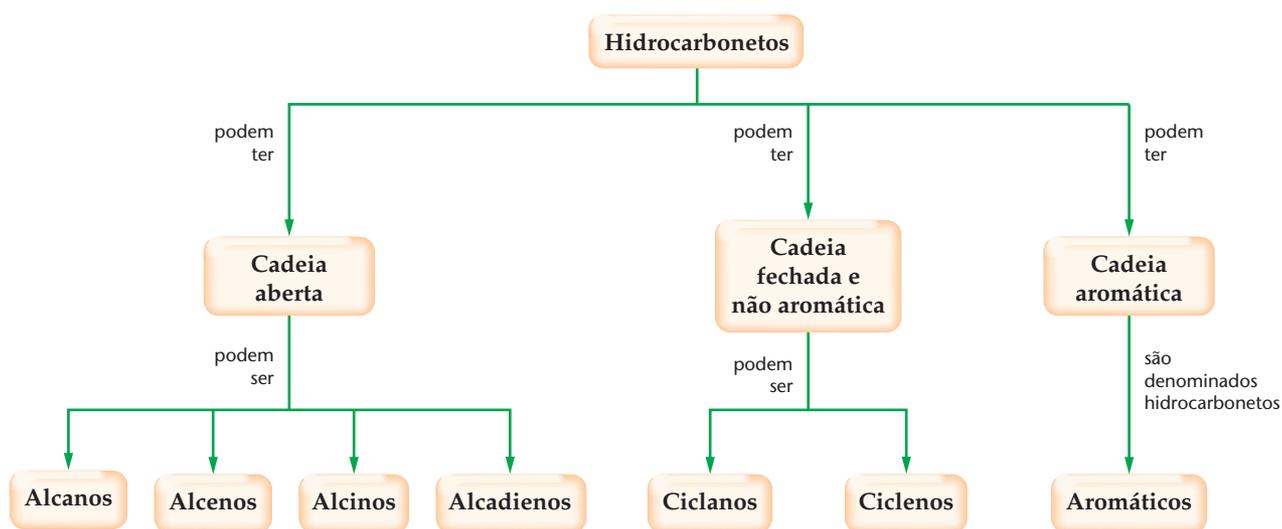
Atente bem às palavras **volume** e **massa**.

## 9 Nomenclatura e hidrocarbonetos

### 9.1 Subdivisões dos hidrocarbonetos

A fim de facilitar o estudo e a nomenclatura dos hidrocarbonetos, eles são divididos em subgrupos, alguns dos quais são mostrados na tabela 1.

TABELA 1 Algumas subdivisões importantes dos hidrocarbonetos			
Subgrupo	Característica	Exemplo	Fórmula geral
Alcanos ou parafinas	Cadeia aberta Ligações simples	$\text{H}_3\text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	$\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$
Alcenos, alquenos ou olefinas	Cadeia aberta 1 ligação dupla	$\text{H}_2\text{C} = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	$\text{C}_n\text{H}_{2n}$
Alcinos ou alquinos	Cadeia aberta 1 ligação tripla	$\text{HC} \equiv \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	$\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$
Alcadienos ou dienos	Cadeia aberta 2 ligações duplas	$\text{H}_2\text{C} = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH}_2$	$\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$
Ciclanos	Cadeia fechada Ligações simples		$\text{C}_n\text{H}_{2n}$
Ciclenos	Cadeia fechada 1 ligação dupla		$\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$
Aromáticos	Contêm anel benzênico		—



◀ Queima de metano formado na decomposição anaeróbica do lixo em aterro sanitário. O metano é o mais simples dos alcanos. Na foto, aterro sanitário em São Paulo, SP, 2001.



◀ O butano ( $C_4H_{10}$ ) é o principal componente do gás de isqueiro e do gás de cozinha. O propano ( $C_3H_8$ ) é o segundo. Ambos são alcanos.



▲ Uma vaca no pasto pode liberar, por dia, dezenas de litros de gás metano, produzido por microorganismos existentes em seu intestino.



▲ O acetileno ( $C_2H_2$ ), combustível usado em maçaricos, é o mais simples dos alcinos. Campinas, SP, 2006.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

MÔNICA ZARATTINI/AGÊNCIA ESTADO

EUROPHOTO/AGE-KEYSTOCK

DANIEL BARILLOT/MASTERFILE-OTHER IMAGES

DELFIN MARTINS/PULSAR IMAGENS

MARCOS PERON/KINO

## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

46. (UFS-SE) O hidrocarboneto de fórmula  $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH}_2$  pertence à série dos:
- alcanos.
  - alcenos.
  - alcinos.
  - alcadienos.
  - alcatrienos.
47. (UFV-MG) A fórmula molecular de um alquino, com três átomos de carbono, é:
- $\text{C}_3\text{H}_{10}$
  - $\text{C}_3\text{H}_8$
  - $\text{C}_3\text{H}_6$
  - $\text{C}_3\text{H}_4$
  - $\text{C}_3\text{H}_2$
48. (UEL-PR) Qual das fórmulas moleculares representa um ciclano?
- $\text{C}_6\text{H}_{14}$
  - $\text{C}_6\text{H}_{12}$
  - $\text{C}_6\text{H}_{10}$
  - $\text{C}_6\text{H}_8$
  - $\text{C}_6\text{H}_6$
49. (UFU-MG) A substância de fórmula  $\text{C}_8\text{H}_{16}$  representa um:
- alcano de cadeia aberta.
  - alceno de cadeia aberta.
  - alcino de cadeia aberta.
  - composto aromático.
  - alcino de cadeia fechada.
50. (UEL-PR) Um dos hidrocarbonetos de fórmula  $\text{C}_5\text{H}_{12}$  pode ter cadeia carbônica:
- cíclica saturada.
  - acíclica heterogênea.
  - cíclica ramificada.
  - aberta insaturada.
  - aberta ramificada.
51. (Unifor-CE) Qual é a série dos hidrocarbonetos que têm fórmula mínima  $\text{CH}_2$ ?
- alcanos
  - alcinos
  - alcadienos
  - ciclanos
  - ciclenos

## Exercícios adicionais

Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

52. Um alcano de fórmula  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  apresenta um carbono terciário. Escreva sua fórmula estrutural.
53. Um alcano de fórmula  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  apresenta dois carbonos secundários. Escreva sua fórmula estrutural.
54. Um alcano de fórmula  $\text{C}_5\text{H}_{12}$  apresenta um carbono quaternário. Escreva sua fórmula estrutural.
55. Um alcano de fórmula  $\text{C}_5\text{H}_{12}$  apresenta um carbono terciário. Escreva sua fórmula estrutural.
56. Um alcano de fórmula  $\text{C}_5\text{H}_{12}$  apresenta três carbonos secundários. Escreva sua fórmula estrutural.
57. Um alceno de fórmula  $\text{C}_4\text{H}_8$  apresenta um carbono terciário. Escreva sua fórmula estrutural.

## 9.2 Nomenclatura de hidrocarbonetos de cadeia não ramificada

Os químicos elaboraram um método lógico para dar nome aos compostos orgânicos, pois é impossível decorar tantos nomes diferentes.

A nomenclatura de compostos orgânicos segue as regras elaboradas pela IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada). Segundo essas regras, o nome de um composto orgânico é formado unindo três fragmentos:

prefixo + infixo + sufixo

O **prefixo**, a parte inicial, indica o **número de átomos de carbono** presentes na molécula (veja a tabela 2). O **infixo** indica o **tipo de ligação entre os átomos de carbono** (veja a tabela 3). E o **sufixo**, a parte final, indica o **grupo de substâncias orgânicas a que o composto pertence** (veja a tabela 4). Por enquanto conhecemos apenas o grupo dos hidrocarbonetos e, por isso, utilizaremos apenas o sufixo **o**, que indica se tratar de um hidrocarboneto.

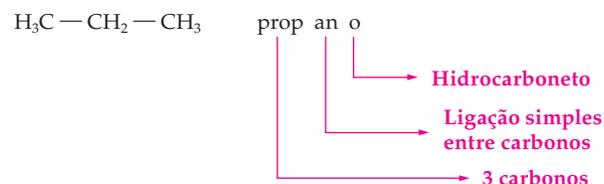
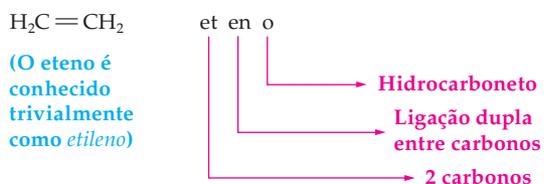
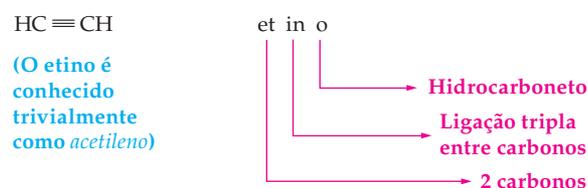
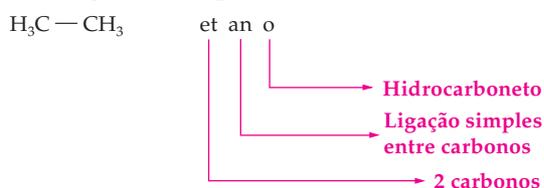
TABELA 2 Prefixos que indicam o número de carbonos	
Prefixo	Número de carbonos
met	1
et	2
prop	3
but	4
pent	5
hex	6
hept	7
oct	8
non	9
dec	10

TABELA 3 Infixos para a nomenclatura orgânica	
Infixo	Tipo de ligação
an	simples
en	dupla
in	tripla

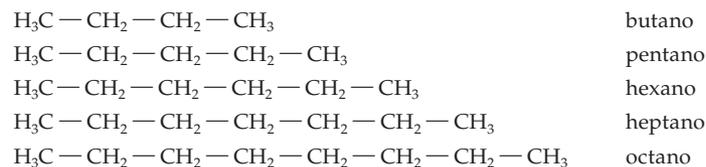
TABELA 4 Sufixos para a nomenclatura de alguns tipos de compostos orgânicos*	
Sufixo	Indica que o composto é um
o	hidrocarboneto
ol	álcool
al	aldeído
ona	cetona
oico	ácido carboxílico

\* Neste capítulo trabalhamos os hidrocarbonetos. Os demais serão estudados no próximo capítulo.

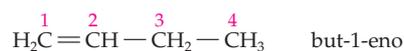
Veja alguns exemplos:



e assim por diante:

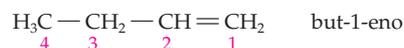


É necessário indicar no nome a **localização da insaturação** quando houver mais de uma posição possível para ela. Essa indicação é feita numerando-se os carbonos **a partir da extremidade mais próxima da insaturação** e escrevendo, **antes** do infixo **en** ou **in**, o menor dos dois números que recaem sobre os carbonos da insaturação. Veja exemplos com dupla ligação:



MOLÉCULAS DIFERENTES NOMES DIFERENTES

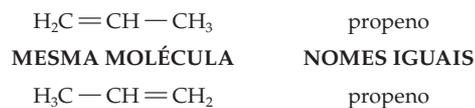
MESMA MOLÉCULA NOMES IGUAIS



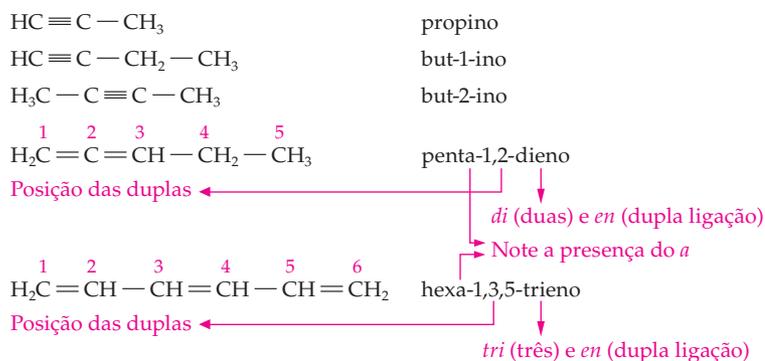
Para o but-1-eno, o nome but-3-eno é considerado **incorreto**, pois, de acordo com a regra, a numeração é iniciada a partir da extremidade mais próxima da insaturação.



Em alguns casos, como o do propeno, não é necessário colocar o número para localizar a insaturação, pois a posição é óbvia.



Veja agora exemplos com uma ligação tripla e também exemplos com mais de uma ligação dupla:



### Fique ligado!

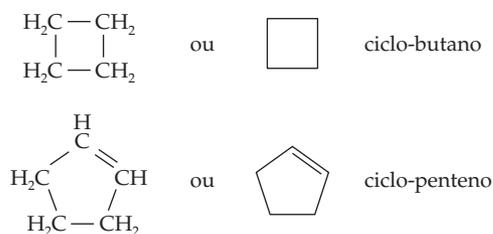
#### Nomes antigos estão por aí!

As regras de nomenclatura apresentadas neste livro encontram-se atualizadas com as recomendações da IUPAC. No entanto, em algumas publicações e alguns exames vestibulares, os nomes de certos compostos orgânicos ainda seguem recomendações anteriores da IUPAC.

Por exemplo, em vez das grafias but-1-eno, but-2-eno, pent-1-ino e hex-3-ino, é comum encontrarmos 1-buteno, 2-buteno, 1-pentino e 3-hexino, pois a **recomendação anterior** da IUPAC era para que se colocasse o número antes do nome.

**Tenha isso em mente** ao consultar outras publicações e, sobretudo, **ao resolver exercícios de vestibular**.

Quando uma molécula apresenta cadeia cíclica, devemos acrescentar o prefixo ciclo- antes do nome:

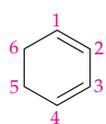


Note que, no caso do ciclo-penteno, não há necessidade de indicar a posição da dupla ligação por meio de um número.

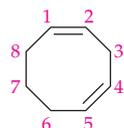


Mesma molécula escrita de modos diferentes no papel

Em casos como os seguintes, é necessário localizar as duplas ligações. A numeração deve ser feita de modo que as insaturações sejam representadas com os menores números possíveis.



ciclo-hexa-1,3-dieno



ciclo-octa-1,4-dieno

## ESTE LIVRO E AS REGRAS DA IUPAC

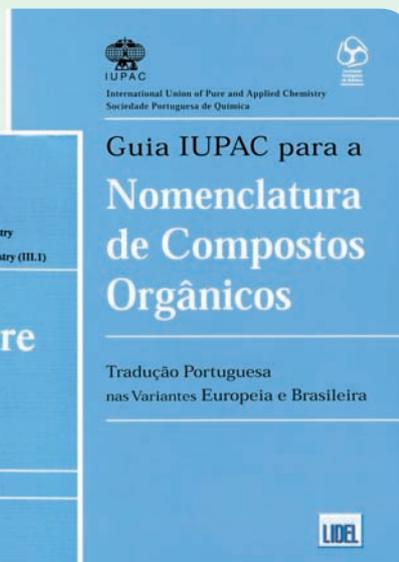
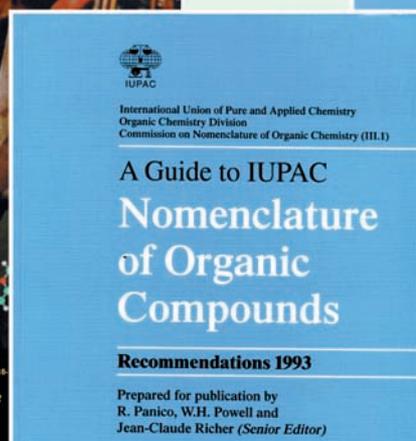
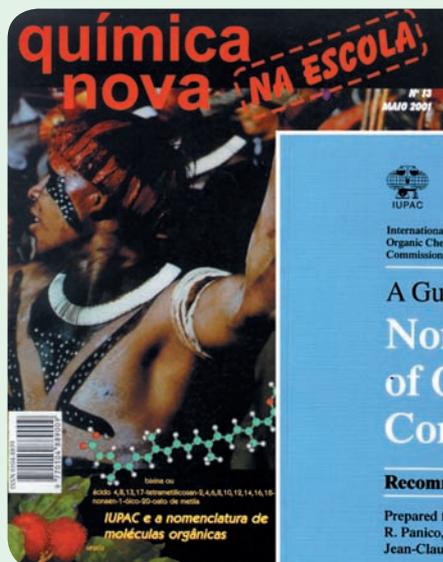
A sigla inglesa IUPAC significa União Internacional de Química Pura e Aplicada. Sua primeira reunião visando tratar a questão da nomenclatura orgânica aconteceu em 1892, em Genebra (Suíça). Desde então, as regras da **nomenclatura sistemática** (isto é, seguindo um sistema lógico) **de compostos orgânicos** vêm sendo continuamente aprimoradas. Tais regras são muito abrangentes e, por vezes, de uso complexo em consequência das enormes variações possíveis em estruturas orgânicas.

Este livro emprega **as regras mais recentes de nomenclatura da IUPAC**. Contudo, três alertas devem ser feitos.

Primeiramente, em muitos casos, a IUPAC aceita mais de uma sistemática de nomenclatura. Por isso, **um mesmo composto pode ter mais de um nome sistemático IUPAC**. Mas, para evitar ambiguidade, **um nome IUPAC jamais pode corresponder a dois ou mais compostos diferentes**.

Em segundo lugar, na Química Orgânica há muitos casos de compostos que recebem **nomes triviais** (nomes não sistemáticos). Mais de um século após a primeira reunião da IUPAC visando à unificação das regras de nomenclatura orgânica, muitos deles ainda persistem. Sempre que os julgarmos importantes, serão citados. Graças ao amplo uso e aceitação, **alguns nomes triviais são aceitos pela IUPAC**.

Em terceiro lugar, devemos ressaltar que os enunciados de exercícios de vestibular nem sempre seguem rigorosamente as regras da IUPAC.



REPRODUÇÃO

Publicações normatizando a nomenclatura orgânica.

## O ETILENO

O mais simples dos alcenos é o **eteno**, trivialmente chamado de **etileno** (nome **não** reconhecido pela IUPAC para esse composto).

Ele é uma das substâncias orgânicas mais importantes para as indústrias químicas e é obtido do petróleo, principalmente como subproduto do craqueamento catalítico e de outros procedimentos envolvendo o processamento petroquímico.

O etileno ocorre em pequena quantidade na natureza, sendo liberado por certas plantas e atuando como hormônio vegetal responsável, entre outras coisas, pelo amadurecimento de frutos.

Fruticultores se aproveitam dessa propriedade do etileno. Eles podem apanhar frutos ainda verdes, transportá-los sem que haja perda apreciável por apodrecimento e forçar a maturação submetendo-os a um ambiente contendo o gás.

Os dois tomates estavam igualmente verdes quando foram colocados nesses frascos. E a banana estava madura. O eteno desprendido pela banana acelerou não só o início do apodrecimento da própria banana, como também o amadurecimento do tomate que está no mesmo frasco.



▲ Bananas produzem e liberam eteno

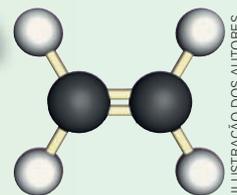


ILUSTRAÇÃO DOS AUTORES

▲ Modelo molecular do eteno. (Cores fantasiosas, fora de proporção.)



SÉRGIO DOITTA JR./CID

## O ACETILENO

O mais simples dos alcinos é o **etino**, conhecido pelo nome trivial de **acetileno** (aceito pela IUPAC).

O acetileno possui largas aplicações. Pode ser utilizado como combustível nos chamados **maçaricos de oxiacetileno**, uma vez que sua chama é extremamente quente (3.000 °C). (Esses maçaricos destinam-se a soldar ferragens ou cortar chapas metálicas.) O acetileno não deve ser armazenado puro sob pressão, pois pode explodir quando comprimido. Costuma ser guardado em tambores, dissolvido em acetona, sendo esse método de estocagem mais seguro.

Sob o ponto de vista industrial, o acetileno constitui uma das mais importantes matérias-primas. A partir dele pode-se obter grande variedade de outros compostos usados para fabricar plásticos, tintas, adesivos, fibras têxteis etc.



MARCOS PERONKINO



ILUSTRAÇÃO DOS AUTORES

▲ Modelo molecular do etino. (Cores fantasiosas, fora de proporção.)

◀ Soldador utilizando um maçarico de oxiacetileno. Campinas, SP, 2006.

## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

58. Dê o nome dos seguintes compostos, segundo a IUPAC:

- a)  $\text{H}_3\text{C} - \text{CH}_3$   
 b)  $\text{H}_2\text{C} = \text{CH}_2$   
 c)  $\text{HC} \equiv \text{CH}$   
 d)  $\text{H}_3\text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$   
 e)  $\text{H}_2\text{C} = \text{CH} - \text{CH}_3$   
 f)  $\text{H}_3\text{C} - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$   
 g)  $\text{HC} \equiv \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$   
 h)  $\text{H}_3\text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{C} \equiv \text{C} - \text{CH}_3$   
 i)  $\text{H}_2\text{C} = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH}_2$

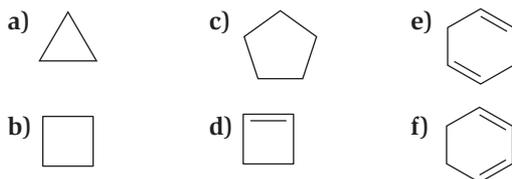
59. Escreva a fórmula estrutural simplificada dos seguintes compostos:

- a) metano. e) but-2-eno.  
 b) hexano. f) pent-2-ino.  
 c) propeno. g) ciclo-hexano.  
 d) but-1-eno. h) ciclo-hexeno.

60. De acordo com a IUPAC, o composto prop-1-eno pode ser chamado apenas de propeno? Explique.

61. De acordo com a IUPAC, o composto but-1-eno pode ser chamado apenas de buteno? Explique.

62. Escreva o nome proposto pela IUPAC para os compostos:

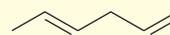


63. (FCAP-PA) Determine a alternativa correta, com relação à fórmula química do butano.

- a)  $\text{C}_4\text{H}_4$  d)  $\text{C}_3\text{H}_9$   
 b)  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  e)  $\text{C}_4\text{H}_9$   
 c)  $\text{C}_2\text{H}_6$

## Exercício Resolvido

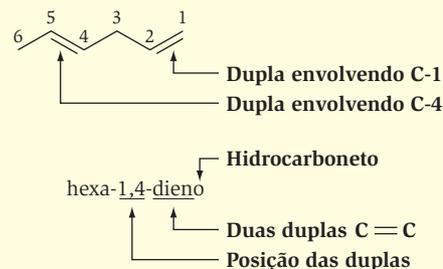
64. (Funrei-MG) A fórmula estrutural simplificada para um alceno é representada abaixo.



Esse alceno é o:

- a) hept-2-eno. c) hexa-1,4-dieno.  
 b) hex-2-eno. d) hexa-2,5-dieno.

## Resolução



Alternativa c.

65. Dê o nome dos seguintes compostos:



## 9.3 Nome dos principais grupos orgânicos

A expressão **grupos substituintes orgânicos** ou, simplesmente, **grupos orgânicos** é utilizada para designar qualquer grupo de átomos que apareça com frequência nas moléculas orgânicas.

Os grupos **metil** e **etil** são exemplos de grupos orgânicos:



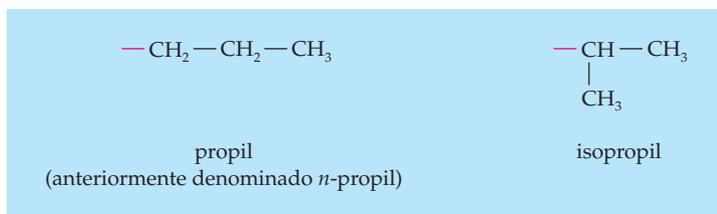
Não existe um composto chamado metil nem um composto chamado etil. Metil e etil são nomes dados a pedaços de moléculas.

## Esteja atento!

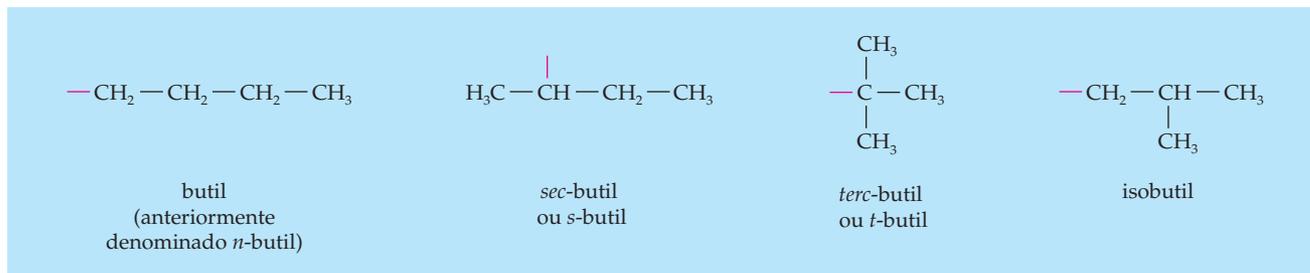
Há exercícios de vestibular que utilizam a palavra "radical" como sinônimo de **grupo orgânico**, embora **não** seja essa a determinação da IUPAC.

Segundo a IUPAC, o termo "radical" deve ser usado para espécies que contenham elétrons desemparelhados (um elétron desemparelhado é aquele que não está acompanhado de outro com o qual faça par), que é o caso de um fragmento molecular com o octeto incompleto gerado pela quebra de uma ligação covalente.

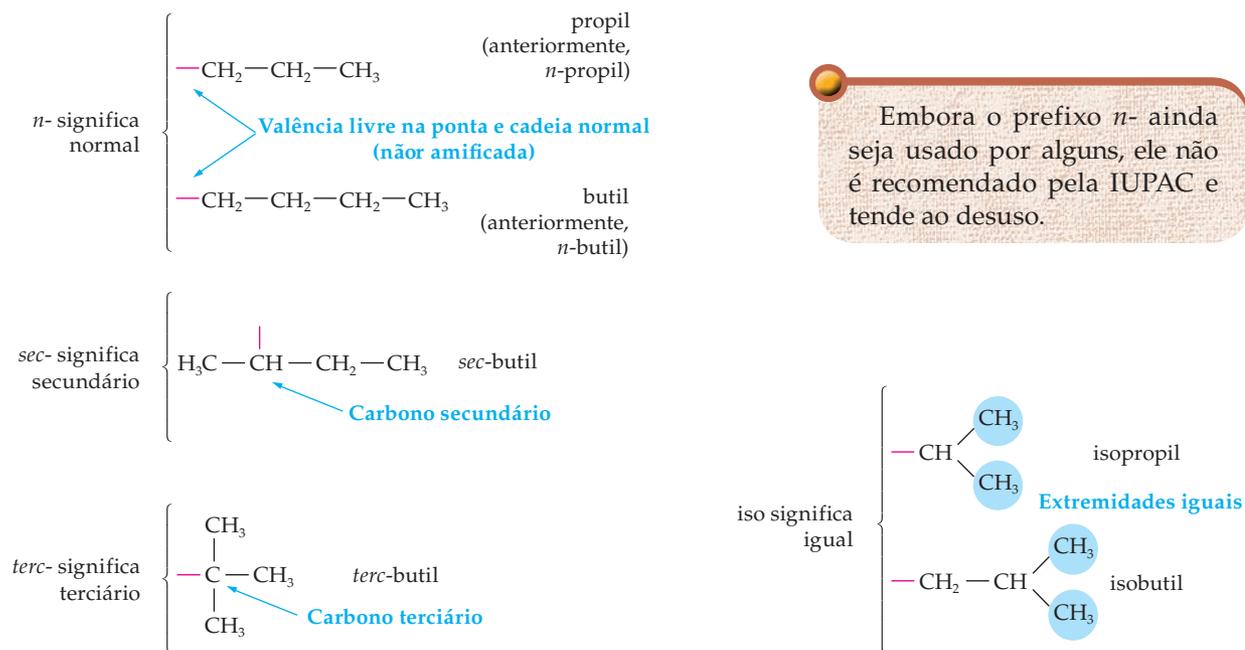
Com 3 carbonos, são importantes os grupos **propil** e **isopropil**.



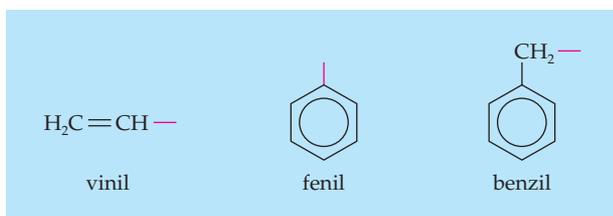
Com 4 carbonos, são importantes os seguintes grupos:



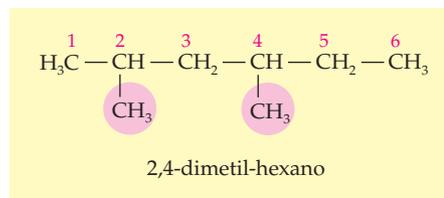
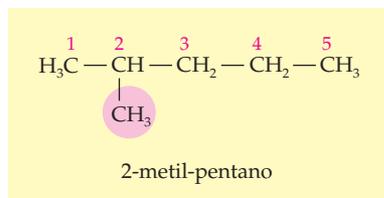
Como você pode perceber, existe mais de um grupo diferente contendo três ou quatro carbonos. Para não ocorrer confusão, os químicos resolveram usar os prefixos (*iso*, *sec*- e *terc*-) para fazer a diferenciação dos nomes.



Além desses que apresentamos acima, existem mais alguns grupos orgânicos de importância para nosso estudo. Os principais são:



## 9.4 O conceito de cadeia principal

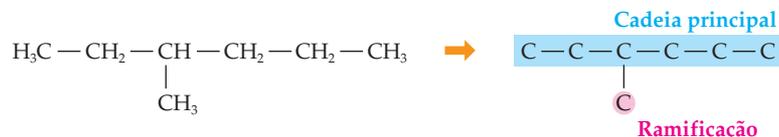


Observe as fórmulas estruturais de hidrocarbonetos ramificados mostradas acima e os seus respectivos nomes, de acordo com a IUPAC. Perceba a importância de conhecer os nomes dos grupos orgânicos que mostramos anteriormente: eles são necessários para nomear hidrocarbonetos ramificados. Nesse contexto, é bastante útil o conceito de cadeia principal.

A **cadeia principal** de um hidrocarboneto é a maior sequência de carbonos que contenha as ligações duplas e triplas (se existirem). Em caso de duas sequências igualmente longas, a cadeia principal será a mais ramificada. Os carbonos que não fazem parte da cadeia principal pertencem às ramificações.

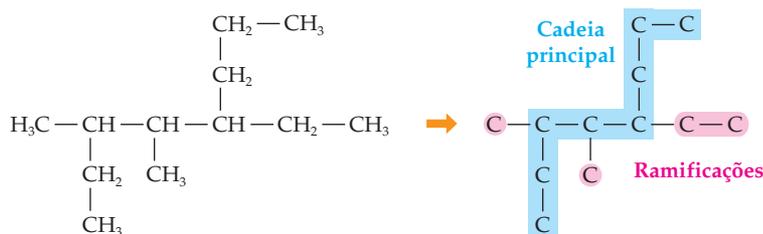
### 1º exemplo

A cadeia principal é a maior sequência de carbonos.



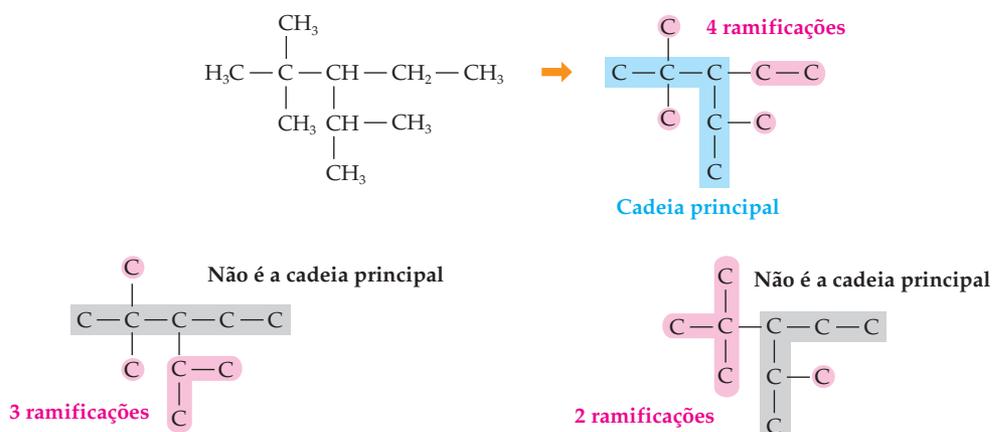
### 2º exemplo

A cadeia principal nem sempre está escrita na horizontal.



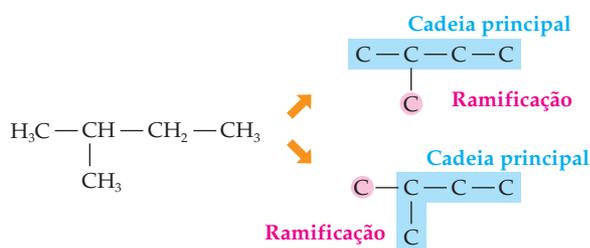
### 3º exemplo

No caso de duas ou mais sequências igualmente longas, a cadeia principal é a mais ramificada.



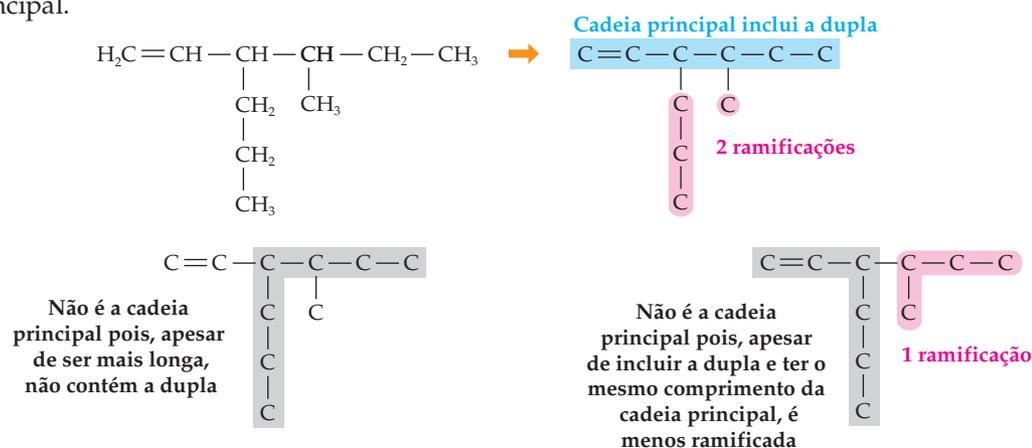
#### 4º exemplo

Podem existir duas ou mais cadeias principais equivalentes, como neste caso:



#### 5º exemplo

Havendo insaturação (dupla ou tripla) na cadeia carbônica, ela deve estar incluída na cadeia principal.



#### Não existe ramificação na ponta da cadeia

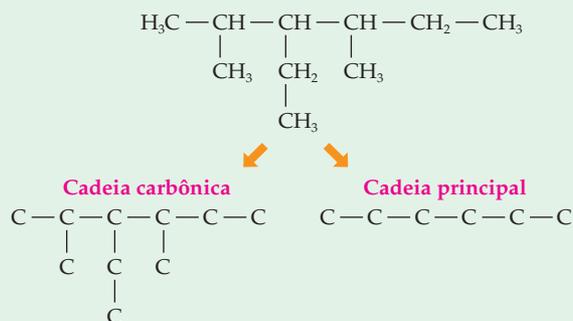
No primeiro carbono de uma cadeia aberta nunca vai existir ramificação. Essa suposta ramificação é, na verdade, parte da cadeia principal.



### NÃO CONFUNDA CADEIA CARBÔNICA COM CADEIA PRINCIPAL

Apesar de parecidas, essas duas expressões possuem significados diferentes:

- **Cadeia carbônica** diz respeito a *todo o esqueleto* de carbono da molécula.
- **Cadeia principal** não envolve necessariamente todos os carbonos, pois *não inclui* as ramificações.

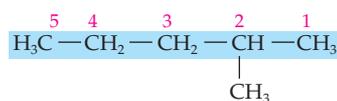


## 9.5 Nomenclatura de hidrocarbonetos com cadeia ramificada

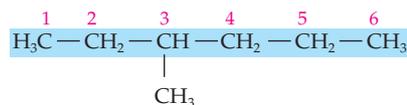
Para dar nome a um hidrocarboneto com ramificação(ões), proceda assim:

1. Localize a cadeia principal.
2. Numere os carbonos da cadeia principal. Para decidir por qual extremidade deve começar a numeração, baseie-se nos seguintes critérios:
  - Se a cadeia for **insaturada**, comece pela extremidade que apresente insaturação mais próxima a ela.
  - Se a cadeia for **saturada**, comece pela extremidade que tenha uma ramificação mais próxima a ela.
3. Escreva o número de localização da ramificação e, a seguir, separando com um hífen, o nome do grupo orgânico que corresponde à ramificação. Por exemplo, se houver um grupo CH<sub>3</sub> como ramificação no segundo carbono da cadeia principal, deve-se escrever 2-metil. Os prefixos di, tri, tetra, penta etc. devem preceder o nome dos grupos, a fim de indicar sua quantidade. Assim, por exemplo, se houver dois grupos CH<sub>3</sub> como ramificações nos carbonos 2 e 4, deve-se escrever 2,4-dimetil. Escreva o nome e o número de localização das ramificações seguindo a **ordem alfabética** (ignorando os prefixos di, tri etc. e também *sec* e *terc*, mas não *iso*).
4. Finalmente, escreva o nome do hidrocarboneto correspondente à cadeia principal, separando-o do nome da ramificação por um hífen.

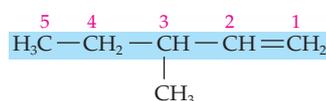
Analisemos os seguintes exemplos para perceber a lógica envolvida.



2-metil-pentano  
(4-metil-pentano está incorreto)

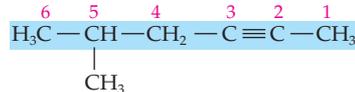


3-metil-hexano  
(4-metil-hexano está incorreto)

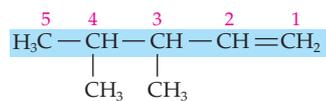


3-metil-pent-1-eno

Insaturação mais próxima dessa extremidade

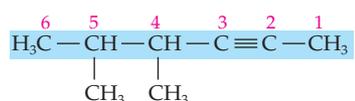


5-metil-hex-2-ino

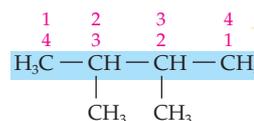


3,4-dimetil-pent-1-eno

Insaturação mais próxima dessa extremidade

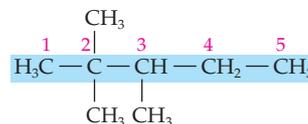


4,5-dimetil-hex-2-ino

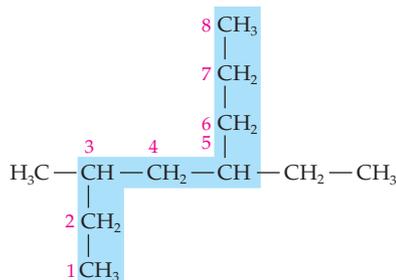


2,3-dimetil-butano

As duas numerações são corretas



2,2,3-trimetil-pentano  
(3,4,4-trimetil-pentano está incorreto)



5-etil-3-metil-octano  
(ordem alfabética: e vem antes de m)



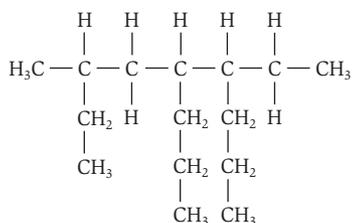
o nome oficial (nomenclatura IUPAC) é:

- 2,3-dimetilpentano.
- 1,1,2-trimetil butano.
- 2,metil-3-etilbutano.
- 2,etil-3-metilbutano.
- 1,1-dimetil-2-etil-propano.

**72.** (Uesb-BA) O número de átomos de carbono na cadeia do 2,2,3-trimetilpentano é:

- 2
- 3
- 4
- 7
- 8

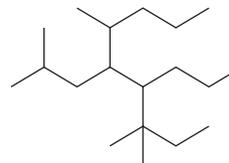
**73.** (UFMS-RS)



Segundo a IUPAC, o nome correto do alcano apresentado é:

- 3-metil-5-propil-6-etiloctano.
- 4-etil-7-metil-5-propilnonano.
- 3-metil-6-etil-5-propilnonano.
- 6-etil-5-propil-3-metiloctano.
- 7-etil-7-metil-6-etilnonano.

**74.** (UFF-RJ) Analise a estrutura abaixo e considere as regras de nomenclatura da IUPAC.

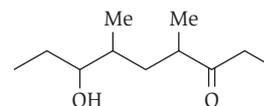


Determine a opção que indica as cadeias laterais ligadas, respectivamente, aos carbonos de números 4 e 5 da cadeia hidrocarbônica principal.

- propil e isobutil
- metil e isobutil
- terc-pentil e terc-butil
- propil e terc-pentil
- metil e propil

**75.** (UFRGS-RS-modificado) A serricornina, utilizada no controle do caruncho-do-fumo, é o feromônio sexual da *Lasioderma serricorne*.

Considere a estrutura química desse feromônio.



A cadeia dessa estrutura pode ser classificada como:

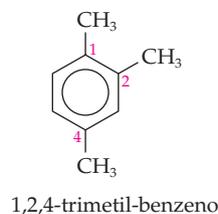
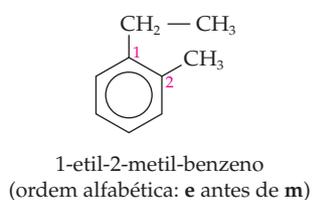
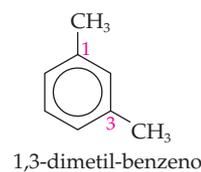
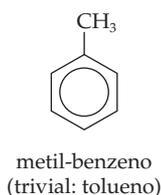
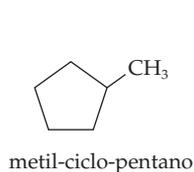
- acíclica, normal, heterogênea e saturada.
- alifática, ramificada, homogênea e insaturada.
- alíciclica, ramificada, homogênea e saturada.
- acíclica, ramificada, homogênea e saturada.
- alifática, normal, homogênea e saturada.

▲ **COMENTÁRIO DOS AUTORES:**

A simbologia **Me** representa um grupo metil.

## 9.6 Nomenclatura de hidrocarbonetos de cadeia mista

Quando um hidrocarboneto possui cadeia carbônica mista, a nomenclatura é feita de um modo similar ao que mostramos para as cadeias abertas ramificadas. Veja os exemplos:

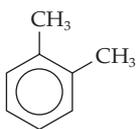


## 9.7 Uso dos prefixos *orto*, *meta* e *para*

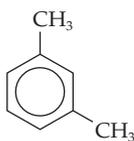
Quando uma molécula com um anel benzênico contém **dois** grupos ligados a esse anel, além da maneira de dar nome que acabamos de ver, existe outra, igualmente correta. Trata-se do uso dos prefixos *orto*, *meta* e *para*.

Os prefixos *orto*, *meta* e *para* podem ser utilizados apenas quando um anel benzênico possuir dois grupos a ele ligados:

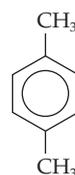
- *orto* indica posição 1,2;
- *meta* indica posição 1,3;
- *para* indica posição 1,4.



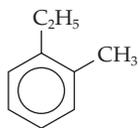
orto-dimetil-benzeno  
(trivial: orto-xileno)



meta-dimetil-benzeno  
(trivial: meta-xileno)



para-dimetil-benzeno  
(trivial: para-xileno)



orto-etil-metil-benzeno

No exemplo ao lado,  
— C<sub>2</sub>H<sub>5</sub> é uma maneira  
resumida de representar o  
grupo etil, — CH<sub>2</sub>— CH<sub>3</sub>

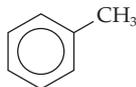
## 9.8 Subdivisões dos aromáticos

Os hidrocarbonetos aromáticos costumam ser subdivididos em:

a) *Mononucleares* ou *monocíclicos*: aqueles com apenas um anel benzênico. Exemplos:



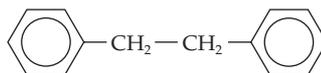
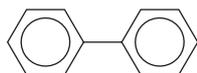
benzeno



tolueno

b) *Polinucleares* ou *policíclicos*: aqueles com dois ou mais anéis benzênicos. Entre eles, há os polinucleares com anéis isolados e os com anéis condensados. Veja os exemplos:

- Com anéis isolados



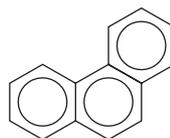
- Com anéis condensados



naftaleno



antraceno



fenantreno



Benzeno  
Tolueno  
Naftaleno  
TÓXICOS

### • ATENÇÃO

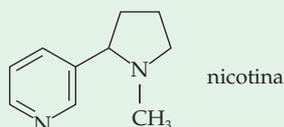
Benzeno, tolueno e naftaleno causam irritação nos olhos e vias respiratórias, além de dores de cabeça, tontura e náuseas.

ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

## O CIGARRO E O RISCO QUE OFERECE

É óbvio que inalar fumaça não é saudável para o organismo. Mas, além disso, que outros males pode causar o cigarro? O que a nicotina e o alcatrão apresentam de prejudicial?



A **nicotina** é uma substância que estimula o sistema nervoso, alterando o ritmo cardíaco e a pressão sanguínea. Os não fumantes geralmente sofrem enjojo, vômitos e diarreia após absorver 4 mg de nicotina. Os fumantes apresentam tolerância um pouco maior. Na fumaça de um cigarro podem existir até 6 mg de nicotina, da qual o fumante absorve por volta de 0,2 mg.

O **alcatrão**, por sua vez, não é uma substância, mas sim uma mistura. Quimicamente, alcatrão é o nome que se dá a uma **mistura de compostos aromáticos**. Sabe-se, por experiências feitas no passado com ratos, que alguns desses compostos, principalmente os hidrocarbonetos contendo anéis aromáticos condensados, são **cancerígenos** ou **carcinogênicos**, isto é, podem dar origem ao câncer. A forma como as substâncias cancerígenas agem no organismo ainda não está totalmente esclarecida.

A mistura denominada alcatrão não vem exclusivamente do cigarro. Podemos também obtê-la a partir do carvão mineral, sendo útil para a indústria química. Devido ao alcatrão, é comum a ocorrência de câncer entre os trabalhadores das minas de carvão.

**TABELA 5** Aumento da chance de câncer associado ao fumo

Localização do câncer	Aumento do risco
Pulmão	20 vezes ou mais
Boca e lábios	4 vezes
Laringe	20 a 30 vezes
Esôfago	2 a 9 vezes
Rim e bexiga	2 a 10 vezes
Pâncreas	2 a 5 vezes (especialmente consumindo-se álcool junto)

Fonte dos dados da tabela: MADER, S. S. *Biology*. 6. ed. Nova York: WCB/McGraw-Hill, 1998. p. 799; GOODENOUGH, J. et al. *Human Biology: Personal, Environmental, and Social Concerns*. Orlando: Saunders, 1997. p. 402.



▲ Pulmões não saudáveis de um indivíduo fumante (radiografia com cor artificial).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

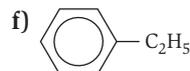
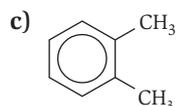
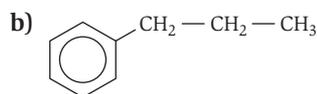
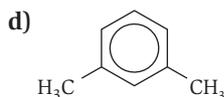
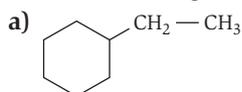
GARRY HUNTER/PHOTOGRAPHER'S CHOICE/GETTY IMAGES

## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

76. Dê nome aos seguintes hidrocarbonetos:



77. Elabore a fórmula estrutural dos seguintes compostos:

- metil-ciclo-butano;
- etil-ciclo-pentano;
- metil-benzeno;
- isopropil-benzeno;
- 1,3,5-trimetil-benzeno;
- 1,3-dimetil-ciclo-hexano;
- 1,2-dimetil-ciclo-hexano;
- t*-butil-benzeno.

## Exercícios adicionais

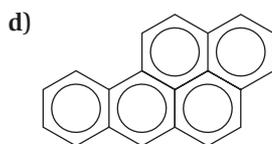
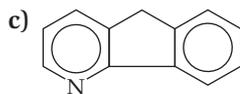
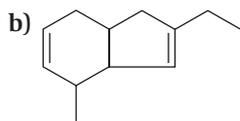
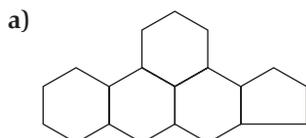
Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

78. (FCC-BA) Qual das substâncias abaixo é um hidrocarboneto de cadeia carbônica aberta e com dupla ligação?
- acetileno
  - eteno
  - tolueno
  - benzeno
  - antraceno

79. (UCS-RS) O número de átomos de carbonos secundários presentes na estrutura do hidrocarboneto naftaleno é:
- 2
  - 4
  - 6
  - 8
  - 10

80. (Uerj) Além do impacto ambiental agudo advindo do derramamento de grandes quantidades de óleo em ambientes aquáticos, existem problemas a longo prazo associados à presença, no óleo, de algumas substâncias como os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, mutagênicos e potencialmente carcinogênicos. Essas substâncias são muito estáveis no ambiente e podem ser encontradas por longo tempo no sedimento do fundo, porque gotículas de óleo, após adsorção por material particulado em suspensão na água, sofrem processo de decantação. Um agente mutagênico, com as características estruturais citadas no texto, apresenta a seguinte fórmula:



81. (UEPB) As bolinhas de naftalina são produtos muito utilizados em armários, no combate às traças. Elas diminuem de tamanho com o passar do tempo devido ao fenômeno da sublimação. Determine a alternativa que corresponde ao constituinte químico da **naftalina** e a série orgânica a que pertence, respectivamente:

- tolueno; hidrocarboneto.
- nafteno; cicleno.
- fenantreno; alceno.
- naftaleno; hidrocarboneto aromático.
- naftol; fenol.

82. (Uerj) “O Ministério da Saúde adverte: fumar pode causar câncer de pulmão.”

Um dos responsáveis por esse mal causado pelo cigarro é o alcatrão, que corresponde a uma mistura de substâncias aromáticas, entre elas benzeno, naftaleno e antraceno.



benzeno



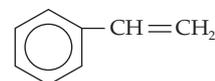
naftaleno



antraceno

As fórmulas moleculares dos três hidrocarbonetos citados são, respectivamente:

- $C_6H_{12}$ ,  $C_{12}H_{12}$ ,  $C_{18}H_{20}$
  - $C_6H_{12}$ ,  $C_{12}H_{10}$ ,  $C_{18}H_{18}$
  - $C_6H_6$ ,  $C_{10}H_{10}$ ,  $C_{14}H_{14}$
  - $C_6H_6$ ,  $C_{10}H_8$ ,  $C_{14}H_{10}$
83. (Osec-SP) Quantos átomos de carbono insaturados há na estrutura do metil-benzeno?
- 7
  - 6
  - 5
  - 3
  - 1
84. (Uniamazonas) Na construção civil o poliestireno expandido tem sido utilizado ultimamente como isolante térmico. Sua obtenção se dá através do tratamento do poliestireno com gases, que por sua vez é obtido do estireno, cuja estrutura é:



Uma outra denominação válida para este composto é:

- metil-benzeno
- etil-benzeno
- xileno
- antraceno
- vinil-benzeno

## O Informe-se sobre a Química

### Breve histórico da Química Orgânica

#### Os primórdios da Química Orgânica

As propriedades de alguns compostos orgânicos são conhecidas desde antes de Cristo. É o caso do sabão de cinzas, do álcool obtido por fermentação e de alguns corantes extraídos da natureza.

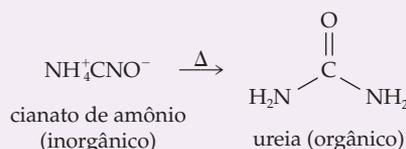
No entanto, procedimentos semelhantes aos da Química Orgânica atual começaram a ser executados apenas em fins do século XVIII e início do século XIX. Nessa época conheciam-se poucos compostos orgânicos em estado puro. Em 1780, o sueco Torbern Bergman fazia pela primeira vez distinção entre compostos inorgânicos e orgânicos. Porém, costuma-se creditar a outro químico sueco, Jöns Jacob Berzelius, o mérito de criar a expressão **Química Orgânica**, num livro datado de 1807.

Nessa época, pouco se sabia sobre os átomos. A primeira escala de massas atômicas havia sido publicada dois anos antes pelo inglês John Dalton, sendo ainda bastante primitiva e cheia de imperfeições. A descoberta do elétron e do próton ocorreu quase um século depois.

#### A Teoria da Força Vital

As primeiras preocupações da Química Orgânica nascente eram os materiais de origem animal e vegetal, tais como urina, sangue, gorduras, cabelo, açúcares, resinas, ceras etc. A aparente complexidade desses materiais levou químicos como Berzelius a acreditar que os organismos vivos eram capazes de sintetizá-los devido a uma força neles existente. Era a chamada **Teoria da Força Vital**.

Em 1828, essa teoria foi violentamente abalada quando o químico alemão Friedrich Wöhler, aquecendo **cianato de amônio**, provocou uma reação química, na qual esse composto inorgânico se transformou em **ureia**. A ureia (substância presente na urina dos mamíferos), segundo as ideias da época, só seria produzida em organismos vivos, possuidores da força vital.



Nos anos que se seguiram, com o desenvolvimento do conceito da conservação da energia, parecia não haver mais lugar para a “força vital”. Em 1860, o francês Pierre Eugène Marcellin Berthelot publicou um livro, no qual mostrou que, a partir dos elementos carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio, todas as classes de compostos orgânicos conhecidos na época poderiam ser sintetizadas. Assim, **a Teoria da Força Vital foi completamente esquecida**.

#### As bases da Química Orgânica

Nessa mesma época, Joseph-Louis Gay-Lussac, Jean-Baptiste André Dumas e Louis-Jacques Thénard, na França, Berzelius, na Suécia, e o barão Justus von Liebig, na Alemanha, preocupavam-se em desenvolver métodos precisos para analisar um composto orgânico e determinar quais os elementos nele presentes e suas proporções.



▲ Berzelius (1779-1848) é considerado o criador da expressão **Química Orgânica**. Pintura de Fraz Kunger, de 1840.



▲ Friedrich Wöhler (1800-1882) ajudou a derrubar a Teoria da Força Vital. Litografia após desenho de Rudolf Hofmann, de 1845.

Esses experimentos permitiram perceber que existiam compostos com propriedades diferentes, formados pelos mesmos elementos e nas mesmas proporções. Era o caso do álcool etílico ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) e do éter dimetílico ( $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ ). Compostos nessa situação foram chamados por Berzelius, em 1830, de **isômeros**.

Com base no conhecimento que se acumulava, o alemão Friedrich August Kekulé e o escocês Archibald Scott Couper propuseram (1857) que o carbono faz quatro ligações e pode unir-se com outros carbonos, formando cadeias (1858).

Kekulé foi também o primeiro a sugerir a estrutura aceita atualmente para o benzeno, a de uma molécula cíclica. Segundo ele, essa ideia veio em um sonho:

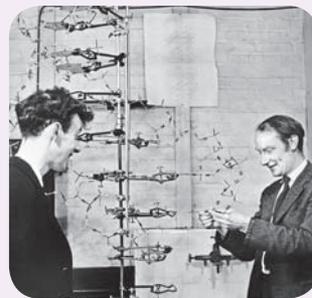
*Virei minha cadeira para a lareira e cochilei. Mais uma vez os átomos dançavam em frente a mim [...] cadeias longas, umas mais próximas que outras, todas se virando e retorcendo como se fossem cobras. De repente, notei que uma das cobras havia mordido a própria cauda [...]. Então levantei apressadamente e passei o restante da noite trabalhando nas consequências disso.*

Os trabalhos do francês Louis Pasteur sobre a atividade óptica da mistura dos ácidos (+)-tartárico e (-)-tartárico presentes na uva levaram o holandês Jacobus Henricus van't Hoff e o francês Joseph-Achille Le Bel a tentar explicar a assimetria molecular, propondo a geometria tetraédrica para o carbono, em 1874.

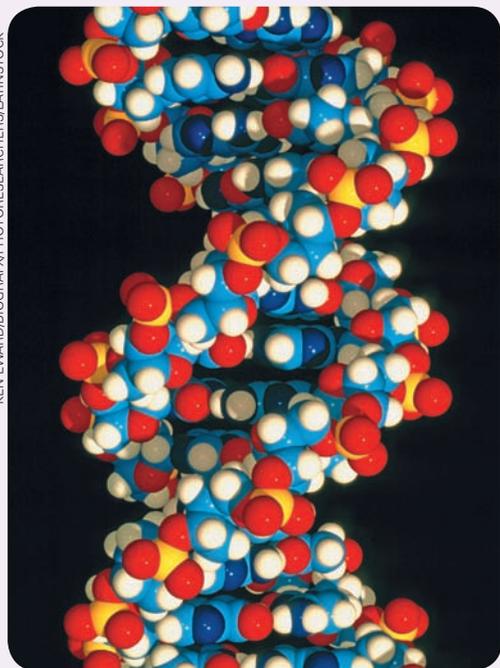
E assim estava construído o alicerce sobre o qual toda a Química Orgânica pôde desenvolver-se e, nas primeiras décadas do século XX, com uma melhor compreensão dos átomos e das ligações químicas, impulsionar-se no sentido de descobertas notáveis ao longo daquele século. Um conhecido exemplo é o da elucidação da estrutura do DNA, realizada pelo geneticista americano James Watson e pelo físico inglês Francis Crick, em 1953, descoberta que lhes valeu o Prêmio Nobel em 1962.



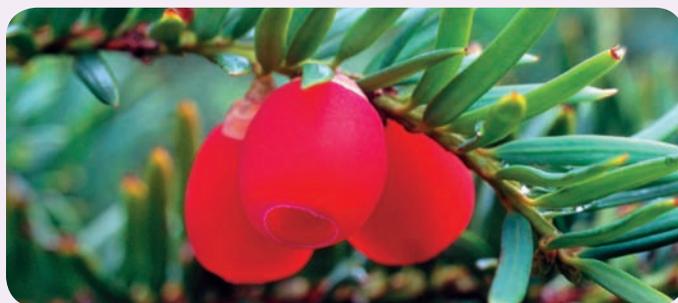
▲ Friedrich August Kekulé (1829-1896) elucidou a estrutura do benzeno, importantíssima substância química. Óleo sobre tela de Hermich von Angeli, de 1890.



▲ Watson, à esquerda, e Crick (1916-2004), ao lado de um modelo da molécula de DNA, cuja estrutura elucidaram, em foto de 1953.



KEN EWARD/BIOGRAFX/PHOTORESEARCHERS/LATINSTOCK



JOSEPH MALCOM SMITH/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

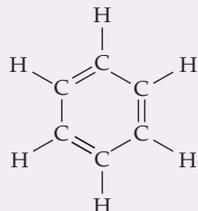
▲ O paclitaxel é um medicamento usado no tratamento de alguns tipos de câncer. Sua atividade foi descoberta na década de 1960, a partir de extratos da casca de uma planta, na época em extinção, a *Taxus brevifolia*. A molécula do paclitaxel só pôde ser largamente utilizada como quimioterápico quando passou a ser sintetizada a partir de substâncias precursoras encontradas em outras plantas como a *Taxus baccata*, ou teixo, mostrada na foto. As estruturas avermelhadas que aparecem na foto têm cerca de 1 cm de raio.

◀ A Química Orgânica tem papel de destaque no estudo das reações que ocorrem nos seres vivos e das substâncias que os compõem. Na foto, modelo molecular de DNA. Noções sobre a estrutura do DNA são apresentadas no capítulo 10. (Representação em cores fantasiosas e fora de proporção.)

## “Como pensam os cientistas

Em Ciência, a criatividade é a arte de somar dois mais dois e obter cinco. A instigante definição pertence ao escritor húngaro Artur Koestler (1905-1983), que investigou com rara sutileza o processo da criação científica. ‘Esse aparente passe de mágica deriva do fato de que o todo não é meramente a soma das partes, mas uma expressão da relação entre elas’, explicou Koestler, procurando justificar sua provocadora aritmética. Além da poderosa ferramenta constituída pelo raciocínio, outra função psíquica fornece aos cientistas a chave que permite abrir a porta para esse ‘algo mais’. Referimo-nos à intuição.

Exemplo emblemático do uso da intuição foi a célebre descoberta da estrutura molecular do benzeno pelo químico alemão Friedrich August Kekulé (1829-1896). Pai fundador da Química Orgânica, Kekulé sabia que a molécula do benzeno era formada por seis átomos de carbono e seis átomos de hidrogênio ( $C_6H_6$ ). Mas como dispor esses componentes em um arranjo estável? Ele mesmo havia descoberto que o átomo de carbono é capaz de estabelecer ligações simples com quatro átomos quaisquer (tetra valência). Ao passo que o hidrogênio estabelece uma única ligação simples (monovalência). Fazendo as contas, concluíra que, em todos os hidrocarbonetos (substâncias formadas exclusivamente por carbono e hidrogênio) [que tivessem cadeia saturada], o número de átomos de hidrogênio devia exceder o número de átomos de carbono em duas vezes mais dois – uma regra elementar desafiada pelo benzeno. O químico dedicou longas reflexões à análise do problema. Sem sucesso aparente. Até que, em um sonho ocorrido no ano de 1865, viu uma cobra engolindo o próprio rabo. Ao acordar, tinha consigo a resposta para a pergunta que há tanto tempo o desafiava: bastava fechar a cadeia de carbonos, compondo uma estrutura em forma de anel. A figura da serpente deu-lhe a chave para a solução do enigma.



Fórmula estrutural do benzeno

O mais interessante é que essa imagem, previamente desconhecida pelo cientista, é um símbolo antiquíssimo, o Uroboros, encontrado em diversas tradições espirituais, inclusive a alquimia. Representa a Totalidade, que é única e tudo engloba. Por isso, a cobra muitas vezes aparece acompanhada da inscrição *Én Tó Pan*, que, em grego, significa ‘Um, o Todo’. [...]

Longe de ser um caso isolado, o sonho de Kekulé é característico de um tipo de processo psíquico extremamente frequente na história da Ciência. Precedida de longo e trabalhoso período de reflexão, pontuado por tentativas e erros, a solução do problema muitas vezes surge ao cientista não como argumentação racional extensa, mas de forma compacta, semelhante a um raio caído do céu azul. Esses vislumbres ocorrem em geral nos contextos mais inesperados. Todos conhecem os exemplos do eureka de Arquimedes ou da maçã de Newton.

O físico alemão Hermann von Helmholtz (1821-1894) discorreu explicitamente sobre o papel da intuição em sua própria atividade científica. Consagrado como um dos maiores cientistas de todos os tempos, graças à enunciação do princípio da conservação da energia, Helmholtz reconheceu que suas principais realizações nasceram de ‘ideias felizes’ que lhe surgiram sem ele mesmo saber de onde. ‘Antes’, afirmou, ‘era sempre preciso que tivesse estudado exaustivamente o problema, até o ponto de poder guardar na memória todos os seus aspectos, tornando-me capaz de examiná-los facilmente, sem anotações’. Quando ele se recuperava do cansaço causado pelo esforço intelectual, a solução aflorava repentinamente em sua consciência. [...]

Não existem receitas para a criatividade. Mas o que parece distinguir os indivíduos realmente criativos é sua capacidade de alternar com grande flexibilidade os dois estados psíquicos mencionados por Helmholtz: a atenção focalizada, característica da atividade racional, e a abertura ao inusitado, que os torna receptivos aos lampejos da intuição.”

Fonte do segundo texto: ARANTES, J. T. *Scientific American Brasil*, Edição especial Gênios da Ciência — Stephen Hawking, s.d., p. 26-27.

UROBOROS. O símbolo, antiquíssimo, aparece em várias tradições espirituais, inclusive na alquimia. Sonhando com ele, Kekulé resolveu o problema da estrutura molecular do benzeno: bastava fechar a cadeia de carbono. Ilustração de Theodoros Pelecanos, de 1478.

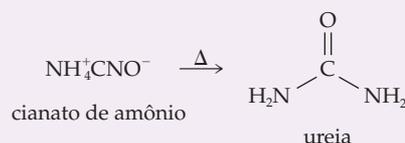


OXFORD UNIVERSITY

### ● Você entendeu a leitura?

Responda em seu caderno

1. Após leitura atenta do texto, escreva no seu caderno o que vem a ser a Teoria da Força Vital.
2. Após leitura atenta do texto, cite alguns fatores que contribuíram para o abandono da Teoria da Força Vital.
3. Pesquise o que se entende por composto orgânico natural e por composto orgânico artificial e, trabalhando em grupo, faça uma pequena apresentação para seus colegas de sala.
4. Faça com o grupo uma lista contendo alguns compostos orgânicos naturais e alguns compostos orgânicos artificiais.
5. Em 1828, o químico alemão Friedrich Wöhler transformou cianato de amônio (composto inorgânico) em ureia (composto orgânico).



Baseado em seus conhecimentos sobre substâncias químicas, você espera que as propriedades da ureia sintetizada por Wöhler sejam iguais ou diferentes da ureia encontrada na natureza? Justifique.

6. Baseado na definição do escritor húngaro Artur Koestler, presente na leitura, qual seria o elemento adicional na frase: “Em Ciência, a criatividade é a arte de somar dois mais dois e obter cinco”?
7. Faça uma pesquisa e discuta com seus colegas outras situações na história da Ciência em que esse “algo mais” fez a diferença.

## ○ Reavalie o que você pensa a respeito



Resolva em seu caderno

Verifique em que mudaram suas concepções prévias

Reveja sua resposta à atividade da segunda página deste capítulo, reavalie o que escreveu, discuta com seus colegas e, se julgar necessário, elabore novas justificativas ou aprimore as que tinha escrito. Apresente-as ao professor.

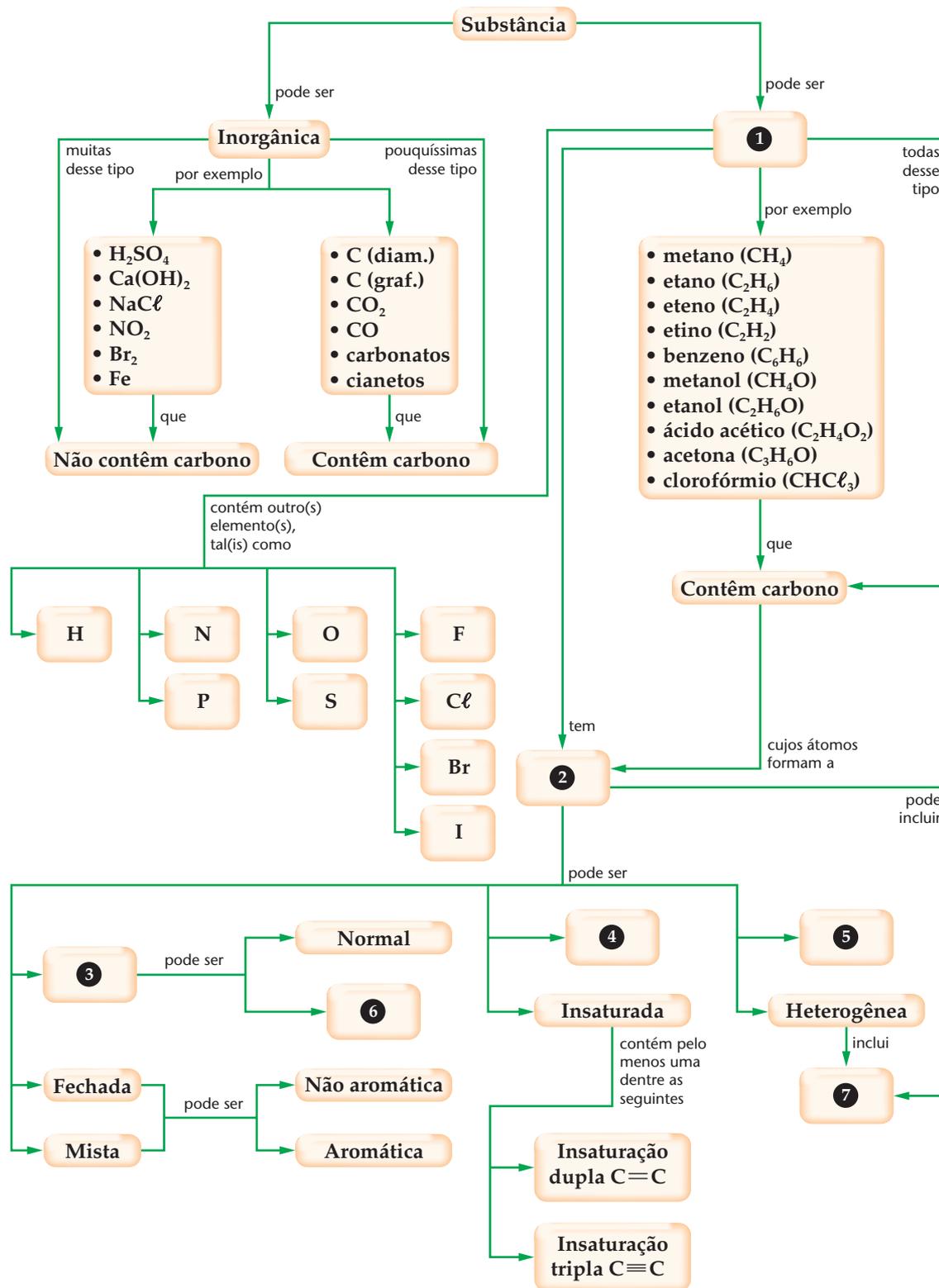


### Importante:

Este mapa é apenas uma das muitas possibilidades de relacionar esses conteúdos conceituais.

## MAPA CONCEITUAL – SUBSTÂNCIAS QUE CONTÊM CARBONO

Revise os conceitos estudados e decida como podem ser completados os locais em que aparecem os números.

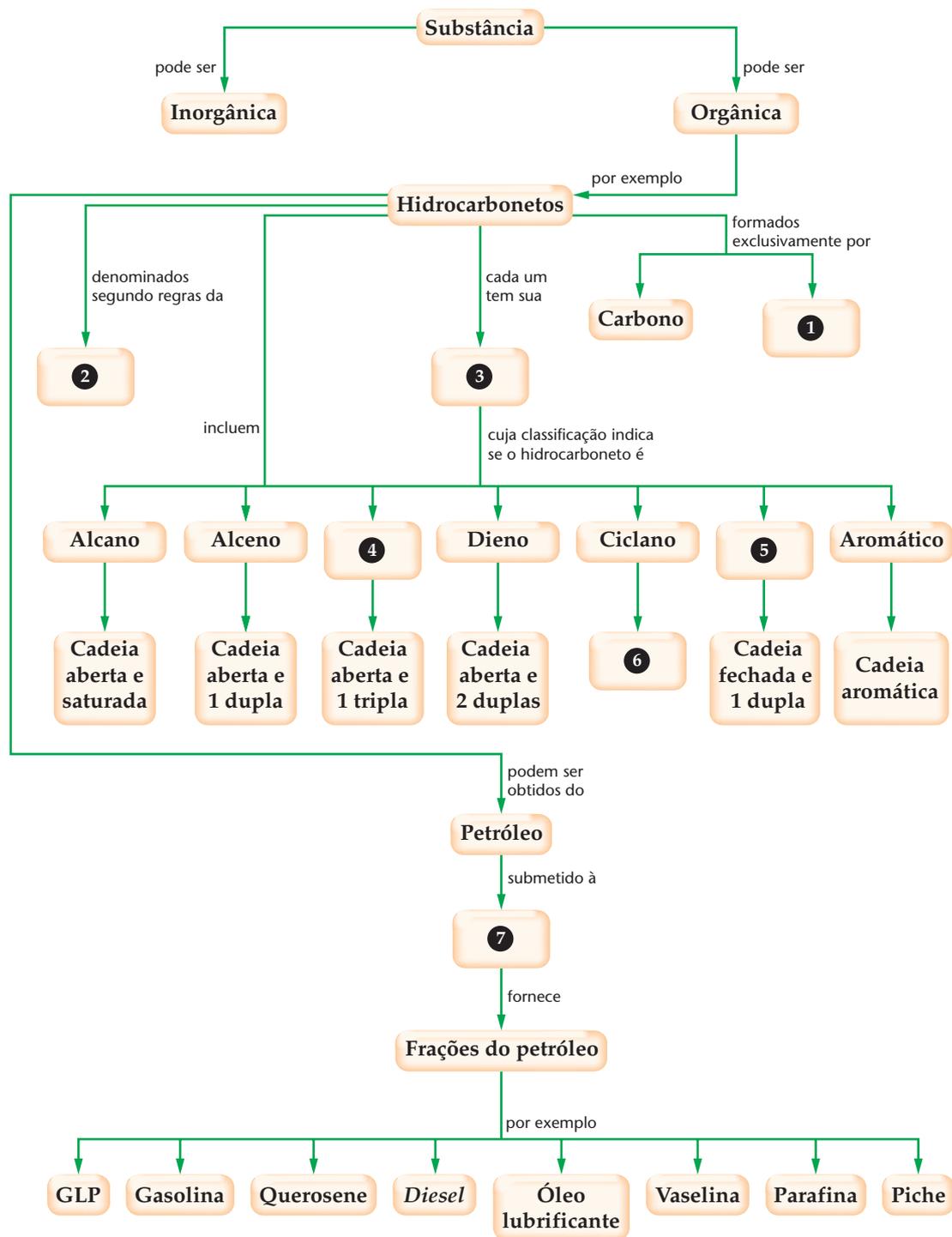




**Importante:**  
Este mapa é apenas uma das muitas possibilidades de relacionar esses conteúdos conceituais.

## MAPA CONCEITUAL – HIDROCARBONETOS

Revise os conceitos estudados e decida como podem ser completados os locais em que aparecem os números.

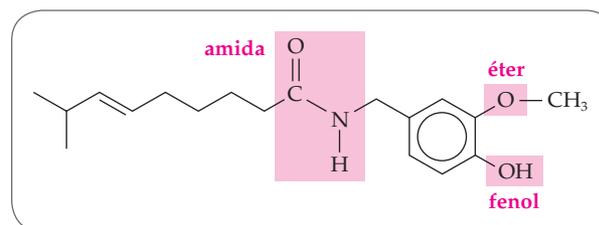


Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

# As principais classes funcionais de compostos orgânicos



PAULO MANZI



▲ A substância presente em muitos tipos de pimenta (como as da foto), responsável pela sensação picante, pertence a três **classes funcionais** diferentes. Neste capítulo, conheceremos as **classes funcionais** mais importantes para nosso estudo da Química Orgânica.

## Alguns conteúdos importantes:

- ✓ Classe funcional
- ✓ Grupo funcional
- ✓ Reconhecimento das principais classes funcionais de compostos orgânicos
- ✓ Noções sobre a nomenclatura dos representantes mais comuns das classes funcionais mais relevantes
- ✓ Noções da presença no cotidiano de representantes dessas classes funcionais

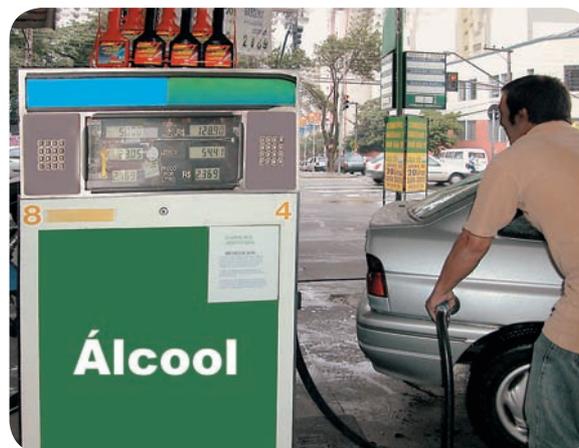
## O que você pensa a respeito?



Sondagem de concepções prévias

Na lista abaixo estão relacionados alguns termos e conceitos. Indique no seu caderno aqueles que você julga que estejam relacionados à imagem e justifique sua escolha. Discuta com seus colegas e apresente as conclusões ao professor.

- classe funcional
- hidroxila
- carbonila
- carboxila
- carbono saturado
- carbono insaturado



EDUARDO SANTALIASTRACID

## O Pare e situe-se!

Texto introdutório ao capítulo

Entre os procedimentos científicos mais comuns está a separação dos objetos de um estudo em categorias, de acordo com critérios preestabelecidos que levem em conta uma ou mais características desses objetos.

No estudo dos compostos orgânicos, eles são agrupados em **classes funcionais**, que são grupos de substâncias que apresentam certa similaridade em sua composição e em suas propriedades químicas.

Iniciaremos este capítulo comentando a definição de classe funcional, apresentando uma lista das principais classes funcionais e também dos respectivos **grupos funcionais**, que são grupos de átomos que caracterizam cada uma dessas classes.

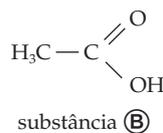
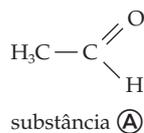
No capítulo anterior, conhecemos os hidrocarbonetos e as regras da IUPAC destinadas à sua nomenclatura. O grupo dos hidrocarbonetos é um exemplo de classe funcional de compostos orgânicos. Neste capítulo, estudaremos outras classes funcionais importantes de compostos orgânicos.

Aprenderemos qual a relação de algumas dessas substâncias com a nossa vida cotidiana e tomaremos contato com as regras para a nomenclatura dos representantes mais simples de cada uma dessas classes.

Ao final deste capítulo, o estudante deverá ser capaz de reconhecer as principais classes funcionais de compostos orgânicos, bem como os grupos funcionais que correspondem a cada uma delas. O estudante deverá, também, estar apto a escrever o nome dos representantes mais simples e significativos de cada uma dessas classes funcionais e, de modo inverso, interpretar corretamente o nome de um composto, elaborando, a partir dele, a fórmula estrutural correspondente.

# 1 Classes funcionais na Química Orgânica

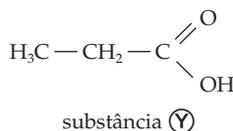
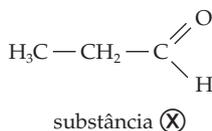
Consideremos as substâncias com as fórmulas estruturais abaixo:



Os químicos descobriram, em laboratório, que a substância  $\textcircled{\text{A}}$  possui, entre outras, as seguintes propriedades químicas: não reage com bicarbonato de sódio e reage com permanganato de potássio.

Já a substância  $\textcircled{\text{B}}$  apresenta as seguintes propriedades químicas: reage com bicarbonato de sódio e não reage com permanganato de potássio.

Consideremos, agora, as substâncias  $\textcircled{\text{X}}$  e  $\textcircled{\text{Y}}$ :

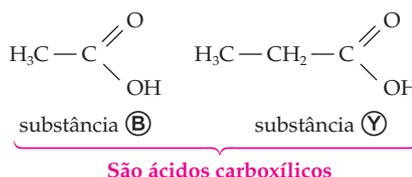
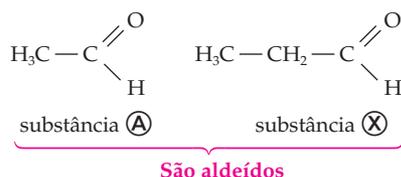


Os químicos verificaram, experimentalmente, que  $\textcircled{\text{X}}$  apresenta as mesmas propriedades químicas de  $\textcircled{\text{A}}$  e que  $\textcircled{\text{Y}}$  apresenta as mesmas propriedades químicas de  $\textcircled{\text{B}}$ .

**Classe funcional** ou **função química** é um conjunto de substâncias que apresentam semelhanças na fórmula estrutural e, por consequência, possuem propriedades químicas semelhantes.

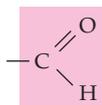
Assim, podemos afirmar que  $\textcircled{\text{A}}$  e  $\textcircled{\text{X}}$  pertencem a uma mesma classe funcional (ou função química). Também podemos dizer que  $\textcircled{\text{B}}$  e  $\textcircled{\text{Y}}$  pertencem a uma mesma classe funcional (ou função química).

Dizemos que  $\textcircled{\text{A}}$  e  $\textcircled{\text{X}}$  são *aldeídos*, ou seja, fazem parte da classe funcional *aldeído*. Já  $\textcircled{\text{B}}$  e  $\textcircled{\text{Y}}$  são *ácidos carboxílicos*, isto é, pertencem à classe funcional *ácido carboxílico*.

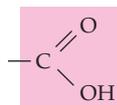


A tabela 1 (página seguinte) mostra as classes funcionais de nosso interesse para o estudo da Química Orgânica. Observando a fórmula estrutural de uma substância, é possível dizer a que classe funcional ela pertence. Basta, para isso, localizar o grupo funcional presente.

O átomo ou grupo de átomos característico de uma certa classe funcional é denominado **grupo funcional**.



Grupo funcional característico dos aldeídos

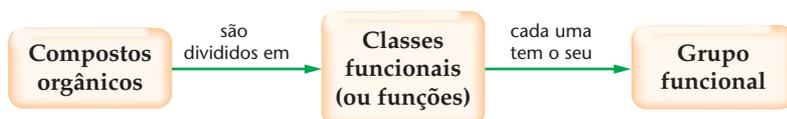


Grupo funcional característico dos ácidos carboxílicos

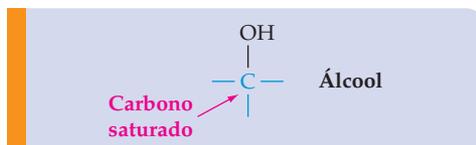
TABELA 1 Principais classes funcionais (funções químicas) de compostos orgânicos

		Classe funcional	Grupo funcional
		Hidrocarboneto	Só C e H
<b>Contendo halogênio</b>		Composto halogenado	—F —Cl —Br —I
<b>Contendo oxigênio</b>	—O—H Contendo hidroxila	Álcool	
		Fenol	
		Enol	
	Éter		
	Contendo carbonila 	Aldeído	
		Cetona	
		Ácido carboxílico	
		Sal de ácido carboxílico	
		Éster	
		Anidrido	
Amida			
Nitrocomposto		—NO <sub>2</sub>	
<b>Contendo nitrogênio</b>	Amina	—NH <sub>2</sub> —NH— —N—	
	Nitrila	—CN	
<b>Contendo enxofre</b>	Ácido sulfônico	—SO <sub>3</sub> H	
	Tiol	—SH	
Sulfeto		—S—	
Organometálico		Metal ligado a carbono	

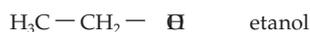
O que aparece em azul na coluna da direita não faz parte propriamente do grupo funcional, mas corresponde à vizinhança necessária para que o grupo funcional (em preto) caracterize aquela classe funcional.



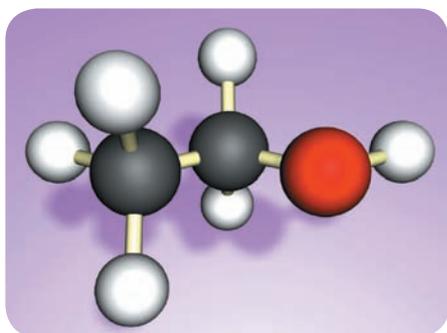
## 2 Álcoois



O álcool usado como combustível automotivo no Brasil e presente nas bebidas alcoólicas é o etanol.



As bebidas alcoólicas podem exercer **efeitos terríveis** sobre a saúde de um indivíduo. Elas são misturas contendo etanol, água e eventualmente outras substâncias que foram proposadamente adicionadas ou que devem sua presença ao modo como foram produzidas. Cada bebida alcoólica possui uma diferente porcentagem em volume de etanol.

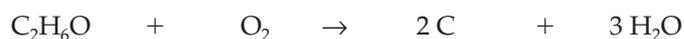
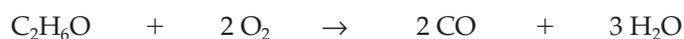
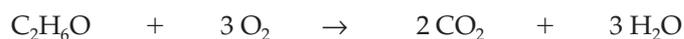


Modelo de uma molécula de etanol.  
(Cores fantasiosas, fora de proporção.)

Logo que uma bebida contendo etanol é ingerida, rapidamente começa a absorção do álcool pelo organismo, e se o estômago estiver vazio, ela ocorrerá cerca de seis vezes mais rápido do que se estiver cheio. Devido à total solubilidade do etanol em água, ele penetra facilmente na corrente sanguínea, distribuindo-se para todas as partes do organismo. Pequenas doses levam a uma sensação de euforia. Doses maiores, contudo, **afetam o sistema nervoso e diminuem as funções cerebrais**, fazendo com que a pessoa tenha **os reflexos e a capacidade de tomar decisões prejudicados**. Doses maiores podem, ainda, levar ao coma alcoólico e, conseqüentemente, à **morte**.

O etanol possui aplicações:

- Como solvente em perfumes, loções, desodorantes e medicamentos.
- Na limpeza doméstica. Para essa finalidade, o produto apresenta-se misturado a substâncias que alteram seu sabor e aroma. Essas substâncias, chamadas de **agentes desnaturantes**, são colocadas proposadamente para impedir que esse álcool (denominado **álcool desnaturado**) seja usado para a fabricação de perfumes e bebidas. No caso do “álcool em gel”, a intenção é reduzir sua inflamabilidade.
- Em automóveis, como combustível. A combustão do etanol é análoga à de um hidrocarboneto, podendo ser completa ou incompleta:



O grupo OH é chamado de **hidroxila** ou **oxidrila**.

### ATENÇÃO

#### Cuidado com o álcool!

O etanol (álcool comum) não deve ser manipulado perto de calor, chamas ou faíscas. Pode se inflamar e causar queimaduras, incêndio e explosão.

## AS BEBIDAS ALCOÓLICAS REPRESENTAM RISCO

O etanol é formado por moléculas pequenas que são rápida e facilmente absorvidas após a ingestão. Parte do álcool presente em uma bebida é absorvida pelas paredes do estômago. Se o estômago estiver cheio, a comida reduz o contato do álcool com suas paredes e a absorção pode chegar a ser até seis vezes mais lenta do que se o estômago estiver vazio.

O álcool absorvido é metabolizado no fígado, onde é transformado em  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ . Assim, é papel do fígado “se livrar” do álcool ingerido. No entanto, se a ingestão de álcool for mais rápida do que o fígado consegue metabolizá-lo, o teor de etanol no sangue irá subir. Sua atuação se dá principalmente no cérebro, onde, primeiramente, altera a razão. A seguir, a fala e a visão são afetadas. Se a ingestão continuar, o próximo efeito é o da perda de coordenação motora. Finalmente, o indivíduo pode perder a consciência.

Se o consumo de bebida alcoólica for rápido e em grande quantidade, pode acontecer de o indivíduo estar com muito álcool no estômago quando perder a consciência. Mesmo inconsciente, o nível de etanol no sangue da pessoa continua a aumentar, podendo conduzir à morte.

O álcool não metabolizado pelo fígado é eliminado na urina e pelo ar expirado. Nisso se baseia o bafômetro, aparelho que mede o teor de álcool no ar expirado pela pessoa e, em função do resultado da medida, infere seu nível de embriaguez.

Entre os muitos riscos do consumo de álcool está a alta chance de uma pessoa embriagada se envolver em acidentes de automóvel. Outro risco se relaciona ao fato de algumas pessoas terem propensão para se tornar dependentes de etanol.

O uso do álcool por longos períodos provoca inúmeros problemas de saúde. O esquema da próxima página mostra alguns deles, entre os quais merecem destaque os que envolvem o fígado.

O primeiro consiste na produção e na deposição de gordura nesse órgão. O segundo é a hepatite alcoólica, que é uma inflamação do fígado. Ambos os problemas regridem se o consumo cessar e uma boa dieta alimentar for retomada. No entanto, se o consumo prosseguir, poder-se-á desenvolver ao longo do tempo uma cirrose hepática, que consiste num acúmulo de proteínas fibrosas no fígado e que interferem em seu funcionamento. Como se trata de um órgão responsável por muitas reações químicas fundamentais à sobrevivência, a cirrose hepática pode ser fatal.

Em quase todos os locais do Brasil há entidades, como a dos **Alcoólicos Anônimos**, que muito vêm auxiliando dependentes de álcool a se manter longe dele.

### • ATENÇÃO

O álcool (etanol) é uma droga.

A atuação do álcool nas sinapses do córtex cerebral produz o quadro de embriaguez, que inclui **desorientação, diminuição de reflexos, perda da coordenação motora e redução da capacidade de julgar situações**. O fígado fica sobrecarregado, a pessoa sente náuseas, tonturas e pode vomitar ou até desmaiar e precisar de atendimento médico. O álcool é um depressor do sistema nervoso e, embora a sensação inicial possa ser de ligeira euforia, o aumento da sua concentração no sangue leva ao comprometimento de atividades vitais, podendo conduzir a **estado de coma, parada respiratória e morte**.



JEFF MERMELSTEIN/STONE/GETTY IMAGES

▶ Pessoas alcoolizadas ficam com os reflexos e a coordenação motora alterados e podem se envolver em acidentes de trânsito.

**TABELA 2** Efeitos do etanol, em função da concentração no sangue, num indivíduo de 70 kg

Porcentagem (em volume) de álcool no sangue	Efeito no ser humano
0,05	Euforia ou tranquilidade
0,1	Perda do controle motor
0,2	Descontrole das emoções
0,3	Inconsciência
0,4 a 0,5	Estado de coma
0,6 a 0,7	Morte

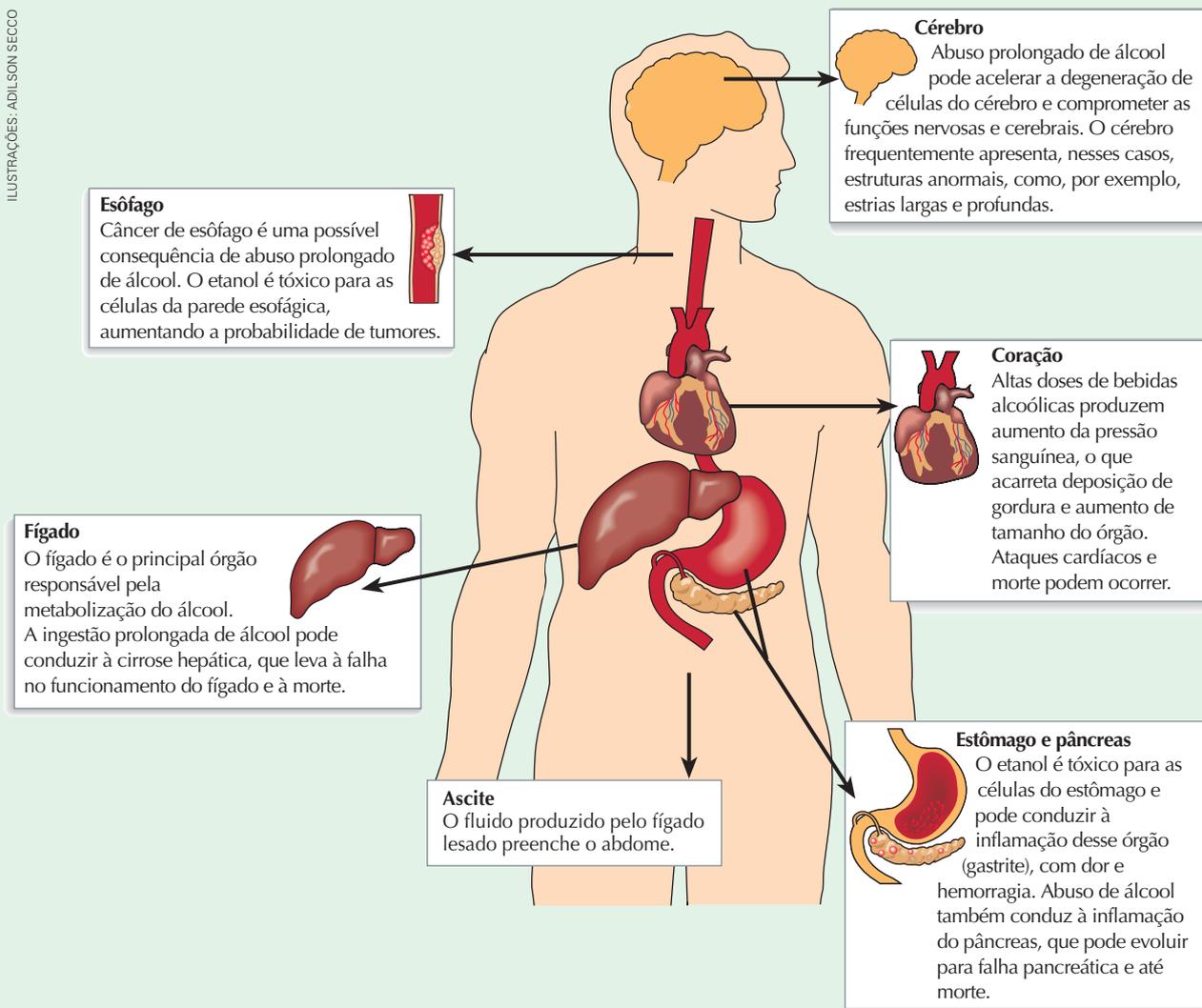
Fonte da tabela: GARRITZ, A.; CHAMIZO, J. A. *Química*. São Paulo: Pearson/Prentice Hall, 2003. p. 37.



NORMA ALBANO/FOLHA IMAGEM

▲ O bafômetro mede o grau de embriaguez por meio do teor de etanol no ar expirado. Fiscalização em São Paulo, SP, 1997. A foto foi manipulada para preservação de identidade.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

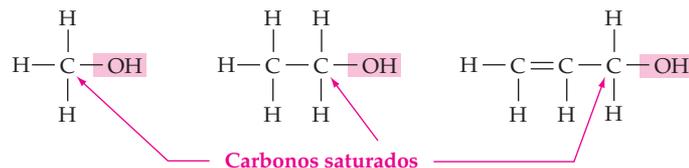


Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

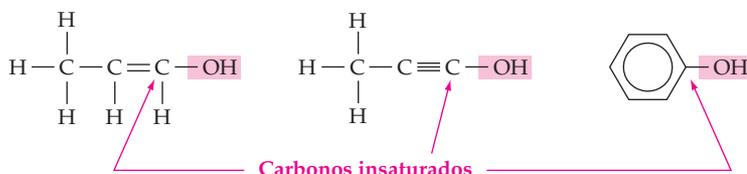
▲ O abuso do álcool pode trazer problemas imediatos e também ao longo do tempo. Este esquema mostra alguns dos problemas de saúde decorrentes, **a médio e longo prazo**, do abuso de álcool. (Representação esquemática em cores fantasiosas.)

Fonte do esquema: WARDLAW, G. M. et al. *Contemporary nutrition; issues and insights*. 2. ed. St. Louis: Mosby, 1994. p. 507.

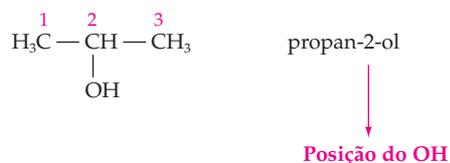
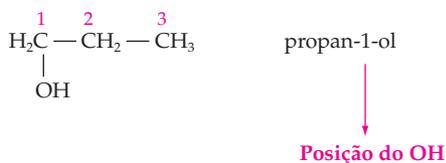
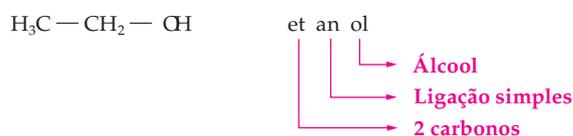
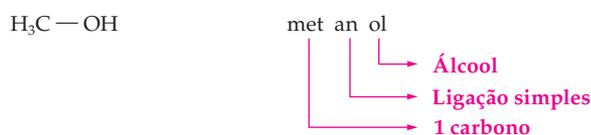
Embora o etanol seja chamado geralmente apenas de “álcool”, para os químicos o termo **álcool** engloba a classe funcional de compostos com a semelhança estrutural de apresentar grupo OH ligado a um carbono saturado (isto é, carbono que só faz ligações simples). Assim, são exemplos de álcoois:



e **não** são exemplos de álcoois:



Para dar nome aos álcoois, de acordo com as regras da IUPAC, devemos proceder como no caso dos hidrocarbonetos, só que empregando o sufixo **ol**.



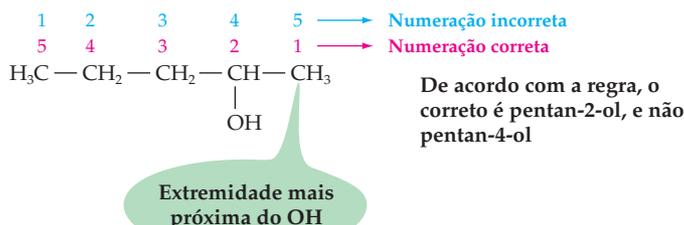
### Muita atenção!

Em algumas publicações e exames vestibulares, os nomes de certos compostos orgânicos ainda seguem recomendações anteriores da IUPAC.

Por exemplo, em vez das grafias propan-1-ol e propan-2-ol é comum vermos 1-propanol e 2-propanol, já que a **recomendação anterior** da IUPAC era para que se colocasse o número antes do nome.

**Tenha isso em mente ao resolver exercícios de vestibular.**

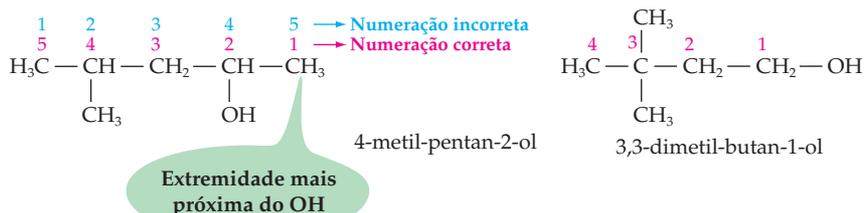
Como você pode ver, quando há mais de uma possibilidade para a posição do OH é necessário indicá-la por meio da numeração dos carbonos. A numeração dos carbonos é feita começando pela extremidade **mais próxima** do grupo OH.



A nomenclatura de álcoois que apresentam ramificações é feita de modo similar ao de hidrocarbonetos ramificados. Deve-se, primeiramente, encontrar a cadeia principal. A novidade, contudo, é que a cadeia principal deve obrigatoriamente incluir o carbono ligado à hidroxila (OH).

A numeração da cadeia principal tem de ser feita de modo que o carbono ligado à hidroxila receba o menor número possível. Assim, como vemos, a prioridade é dada ao grupo OH e não às ramificações.

Se, por acaso, o grupo OH estiver posicionado a uma mesma distância de ambas as extremidades da cadeia principal, ela deve ser numerada começando pela extremidade que apresente uma ramificação mais próxima a si.



### Pense nisto!

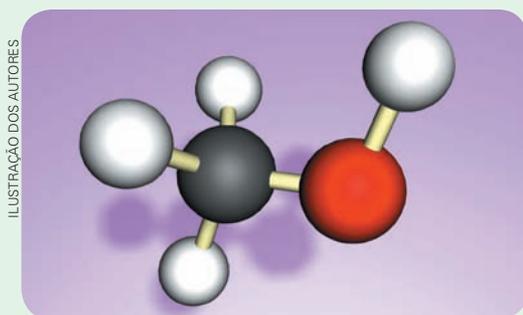
Qual é a fórmula estrutural de uma substância cujo nome sistemático é ciclo-pent-2-en-1-ol?

Essa substância é um álcool? Por quê?

## METANOL

Apesar de todos os álcoois apresentarem OH, seus efeitos no organismo podem ser muito diferentes. Assim, é importante notar que nas bebidas alcoólicas está presente um álcool em particular: o etanol.

Existem álcoois que são extremamente perigosos se inalados ou ingeridos. É o caso, por exemplo, do **metanol**. Ingerir a pequena quantidade de 30 mL desse álcool leva à morte. Quantidades menores, 10 mL ou 15 mL, causam cegueira.



TÓXICO

Modelo de uma molécula de metanol. (Cores fantasiosas, fora de proporção.)

### ATENÇÃO

O metanol é um líquido incolor, inflamável e altamente tóxico.

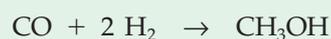
O envenenamento pode ocorrer por inalação, ingestão ou absorção pela pele.

Os efeitos podem incluir dor de cabeça, náusea, fadiga, visão distorcida, cegueira (que pode ser permanente), convulsões, crises respiratórias e morte.

Apesar de tóxico, o metanol é muito importante em laboratórios, indústrias e também como combustível. Ele é obtido do petróleo e do carvão mineral por meio de transformações químicas feitas na indústria. Sua produção a partir do carvão, por exemplo, se dá em duas etapas. Na primeira, o carvão incandescente reage com água no estado gasoso, formando uma mistura dos gases CO e H<sub>2</sub>. Tal mistura é conhecida na indústria como **gás de síntese** (ou **gás d'água**), tamanha é sua importância na síntese de substâncias. A seguir, a mistura de CO e H<sub>2</sub> entra em contato, a 300 atm e 300 °C, com um catalisador apropriado, que favorece a formação de metanol:



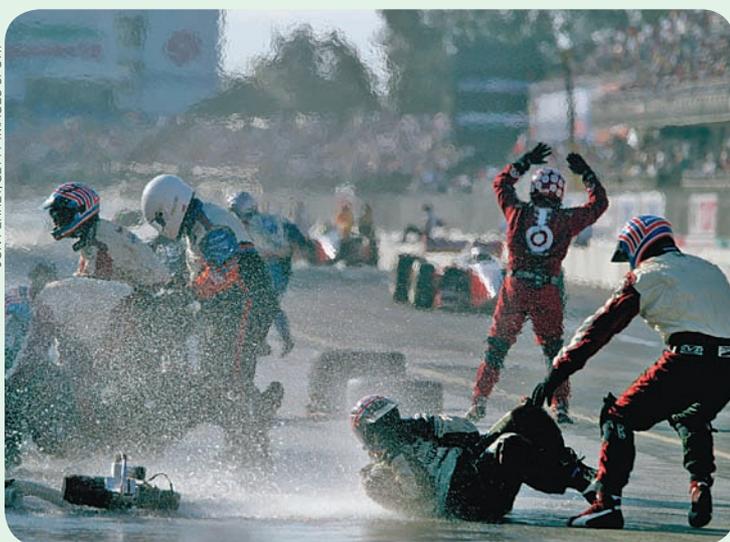
carvão                      gás de síntese



metanol

#### • ATENÇÃO

O experimento da foto abaixo **NÃO deve ser feito pelo aluno**. A gasolina e o metanol são altamente inflamáveis e seus vapores são extremamente explosivos. A chama clara do metanol dificulta sua visualização em locais claros e oferece sério risco de queimaduras e incêndio. Além disso, os vapores dessas substâncias são tóxicos.



▲ Acidente com metanol durante reabastecimento, em autódromo no México em 2002.



▲ Gasolina (esquerda) e metanol (direita) **em combustão**. A chama do metanol é muito clara e, em ambientes bem iluminados, é "invisível".

JON FERREY/GETTY IMAGES SPORT

JONATHAN BLAIR/CORBIS-LATINSTOCK

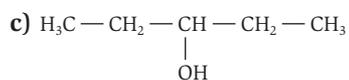
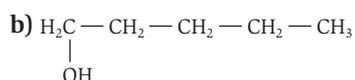
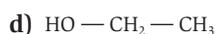
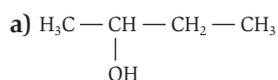
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

1. Dê nome aos seguintes compostos:



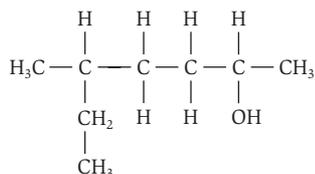
- Algumas loções pós-barba contêm propan-2-ol. Escreva a fórmula estrutural desse composto.
- Causa ambiguidade chamar o butan-1-ol simplesmente de butanol? Explique por quê.
- Causa ambiguidade chamar o ciclo-hexan-1-ol apenas de ciclo-hexanol? Explique por quê.
- Escreva a fórmula estrutural dos seguintes compostos:
  - 2-metil-butan-2-ol;
  - 1-metil-ciclo-hexanol.

## Exercícios adicionais

Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

6. (UFS-SE) Quantos átomos de carbono secundário há na cadeia carbônica do 2-pentanol?  
a) 1    b) 2    c) 3    d) 4    e) 5
7. (UnB-BA) De acordo com a IUPAC, o nome do composto que apresenta a fórmula estrutural a seguir é:  
a) 5-metil-2-heptanol.  
b) 2-etil-2-hexanol.  
c) 5-etil-2-hexanol.  
d) 2-etil-5-hexanol.  
e) 3-metil-5-heptanol.



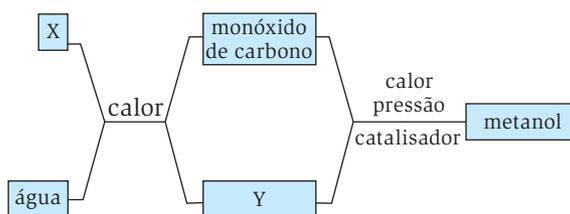
8. Alguns cogumelos produzem e liberam oct-1-en-3-ol, que atua como repelente natural de lesmas, evitando que elas se alimentem desses cogumelos.



▲ Lesma próxima de cogumelo com cerca de 3 cm de altura. Washington, EUA, 1995.

Escreva a fórmula estrutural dessa substância.

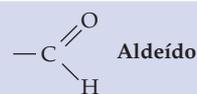
9. (Fuvest-SP) Pode-se produzir metanol a partir de uma reserva natural (X), conforme o esquema seguinte:



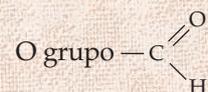
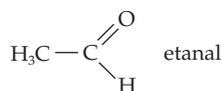
Em tal esquema, X e Y devem ser, respectivamente,

- a) metano e oxigênio.  
b) carvão e hidrogênio.  
c) celulose e gás carbônico.  
d) calcário e soda cáustica.  
e) sacarose e etanol.
10. (UnB-DF) De grande importância para o desenvolvimento das sociedades, os motores têm papel de destaque. Muitos equipamentos funcionam devido à combustão de substâncias orgânicas presentes em diferentes combustíveis. No Brasil, o etanol surgiu como alternativa à gasolina e abastece parte da frota. No entanto, esses combustíveis apresentam sério problema ao ambiente: liberam gases que aumentam o efeito estufa. De acordo com as informações do texto, julgue os itens a seguir em certos ou errados.
1. O combustível alternativo citado no texto é caracterizado pela presença de hidroxila ligada à cadeia carbônica, que possui dois átomos de carbono e forma uma molécula plana.
  2. A gasolina é uma substância orgânica.
  3. O principal gás responsável pelo problema ambiental citado no texto é o dióxido de carbono.
  4. As substâncias dos combustíveis citados no texto são caracterizadas pela presença de átomos de carbono.

## 3 Aldeídos



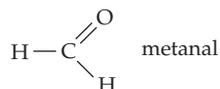
A substância denominada etanal se forma quando o organismo metaboliza o etanol. O etanal é um dos responsáveis pelo enjoo e pela dor de cabeça provocados pelo exagero no consumo de bebidas alcoólicas.



O grupo  $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—C} \\ | \\ \text{H} \end{array}$  é chamado de **formila** ou **aldoxila**. Pode ser abreviado por  $\text{—CHO}$ .

O etanal pertence ao conjunto de substâncias conhecidas como **aldeídos**, que se caracterizam pela presença do grupo funcional —CHO na molécula. Automóveis a álcool emitem um pouco de etanal, sendo este um poluente atmosférico.

Outro aldeído é o metanal, comercializado em solução aquosa com o nome de *formol*. O formol é um produto usado na conservação dos tecidos de animais e corpos humanos para estudos em Biologia e Medicina. O metanal também é empregado na fabricação de fórmica e de alguns outros materiais sintéticos.

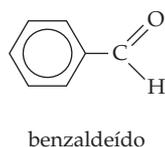


Para dar nome aos aldeídos, de acordo com a IUPAC, procedemos como fizemos para os hidrocarbonetos e álcoois, só que devemos usar o sufixo **al**.

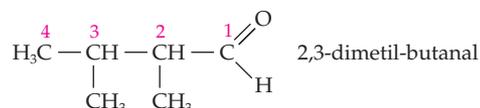


Perceba que o carbono do grupo aldeído também é levado em conta no número total de carbonos e que a dupla ligação entre o oxigênio e o carbono não está na cadeia. Por esse motivo, não se utiliza o infixo **en** e sim o **an**.

Existe um aldeído muito importante, cujo nome não segue essas regras. É o benzaldeído, cuja fórmula estrutural é:



Na nomenclatura de aldeídos que apresentam ramificações deve-se, primeiramente, encontrar a cadeia principal, que é a maior sequência de carbonos que inclui, obrigatoriamente, o carbono do grupo funcional —CHO. A numeração da cadeia principal deve ser feita a partir da extremidade do grupo —CHO. Assim, a **prioridade é dada ao grupo funcional —CHO e não às ramificações**.



▲ Os odores característicos da amêndoa, da canela e do limão devem-se a aldeídos.

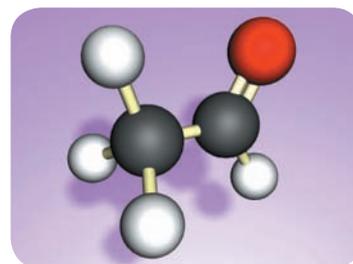


ILUSTRAÇÃO DOS AUTORES

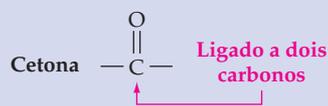
▲ Modelo de uma molécula de etanal. (Cores fantasiosas, fora de proporção.)

#### • ATENÇÃO

**Metanal ou formaldeído** é um gás incolor de odor penetrante e irritante. Se **inalado**, provoca espasmos na laringe, palpitação, tosse e edema pulmonar. Se **ingerido**, provoca queimaduras na boca e no esôfago, náuseas, vômitos, diarreia, acidose e convulsões.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

## 4 Cetonas



Uma substância bastante conhecida por sua utilização como solvente para remover esmalte das unhas é a acetona. O nome dessa substância, de acordo com as regras sistemáticas da IUPAC, é propanona. Ela pertence a uma outra grande classe funcional de compostos orgânicos denominada **cetona**.



GABOR NEMESKINO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

### • ATENÇÃO

A acetona é um líquido incolor, altamente inflamável e de odor característico.

Seus vapores podem causar, por exemplo, irritação nos olhos, nariz e garganta, dor de cabeça e tontura. Só deve ser utilizada em local muito bem ventilado e longe de chamas e faíscas.

◀ A propanona (acetona) é popularmente conhecida como um solvente para remover esmalte das unhas.

O grupo  $\begin{array}{c} \text{O} \\ || \\ -\text{C}- \end{array}$  é chamado de **carbonila**.

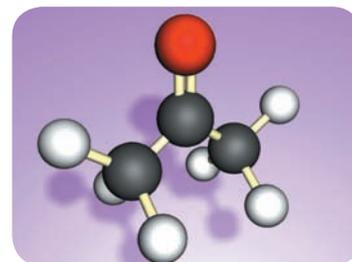


ILUSTRAÇÃO DOS AUTORES

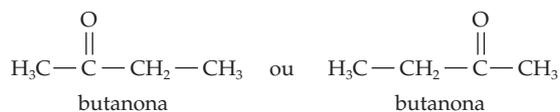
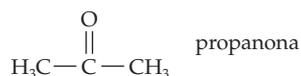
▲ Modelo de uma molécula de propanona. (Cores fantasiosas, fora de proporção.)



ADILSON SECCO

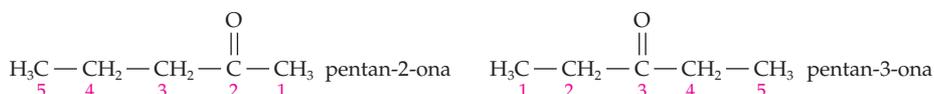
LÍQUIDO INFLAMÁVEL

Cetona é todo composto que apresenta o grupo carbonila,  $\text{C}=\text{O}$ , posicionado **entrecarbonos**. Para denominá-la, emprega-se o sufixo **ona**.



Trata-se da mesma molécula, escrita de duas formas diferentes

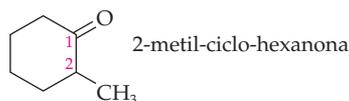
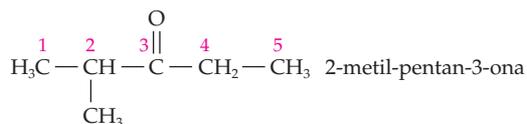
Na pentanona e em outras cetonas maiores começa a haver mais de uma possibilidade para o posicionamento da carbonila. Surge, então, a necessidade de indicar com um número a sua localização. A numeração dos carbonos da cadeia de uma cetona é feita a partir da extremidade **mais próxima** da carbonila.



Tanto os aldeídos quanto as cetonas apresentam o grupo carbonila. Por definição, nas cetonas a carbonila deve estar entre dois carbonos. Já nos aldeídos, ela deve estar ligada a um hidrogênio. Portanto, nos aldeídos, a carbonila precisa ficar na ponta da cadeia.

**Aldeídos e cetonas são chamados de compostos carbonílicos**, pois apresentam o grupo carbonila. Conheceremos ainda outros compostos carbonílicos mais à frente.

Na nomenclatura de cetonas que apresentam ramificações, deve-se, antes de mais nada, determinar qual é a cadeia principal. Ela é a maior sequência de carbonos que inclui, necessariamente, o carbono da carbonila. A numeração da cadeia principal deve ser feita começando pela extremidade mais próxima do grupo C=O. Como você pode perceber, da mesma maneira que no caso de álcoois e aldeídos, a **prioridade é dada ao grupo funcional e não às ramificações**.



### Muita atenção!

Como já foi comentado, em algumas publicações e exames vestibulares os nomes de certos compostos orgânicos ainda seguem recomendações anteriores da IUPAC.

Por exemplo, em vez de pentan-2-ona e pentan-3-ona, é comum vermos as grafias 2-pentanona e 3-pentanona, já que a **recomendação anterior** da IUPAC era para que se colocasse o número antes do nome.

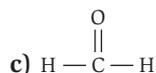
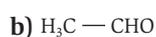
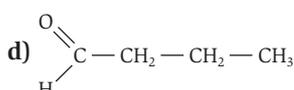
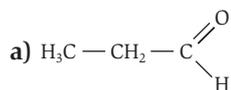
**Tenha isso em mente ao resolver exercícios de vestibular.**

## Exercícios essenciais

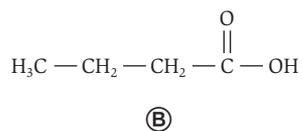
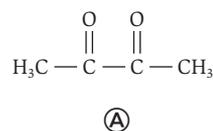
Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

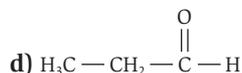
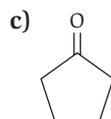
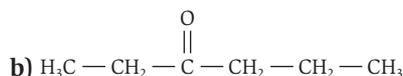
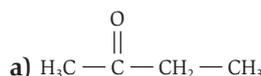
11. Escreva o nome dos seguintes compostos:



12. O composto **(A)** é responsável pelo aroma da margarina e o composto **(B)** pelo odor da manteiga rançosa. Diga se **(A)** e/ou **(B)** pertencem ao grupo das cetonas.



13. Escreva o nome dos seguintes compostos:



14. Escreva a fórmula estrutural de:

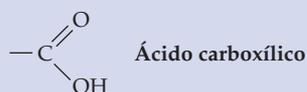
- acetona;
- pentan-2-ona;
- ciclo-hexanona.

15. Respeitando as regras de nomenclatura da IUPAC, responda:

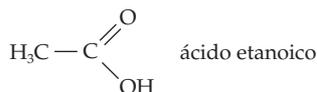
- Existe pentan-1-ona? Por quê?
- Existe pentan-4-ona? Por quê?



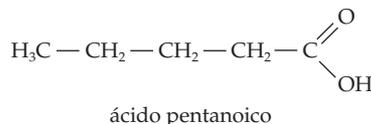
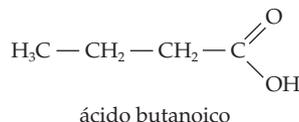
## 5 Ácidos carboxílicos



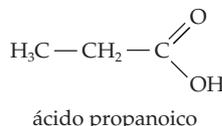
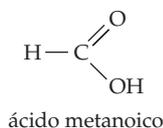
O vinagre é uma solução aquosa de ácido etanoico. O sabor azedo é, como sabemos, uma característica das substâncias ácidas.



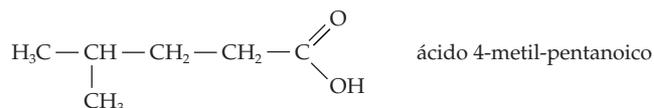
Encontramos na manteiga derivados do ácido butanoico, que conferem a ela seu odor característico. Quando a manteiga fica velha, forma-se esse ácido, responsável pelo cheiro característico da manteiga rançosa. Em certos queijos, o responsável pelo aroma, mesmo presente em pequenas quantidades, é o ácido pentanoico.



Olhando para essas fórmulas estruturais, o que você nota de comum entre elas? É a presença do grupo funcional  $\text{—COOH}$ , que caracteriza a família do que os químicos chamam de **ácidos carboxílicos**. A nomenclatura dessa classe funcional de compostos orgânicos é feita com a utilização do sufixo **oico**.



Na nomenclatura de ácidos carboxílicos que apresentam ramificações, deve-se, primeiramente, encontrar a cadeia principal, que é a maior sequência de carbonos que inclui, obrigatoriamente, o carbono do grupo funcional carboxila,  $\text{—COOH}$ , que caracteriza essa função. Deve-se iniciar a numeração da cadeia principal pela extremidade do grupo  $\text{—COOH}$ . Portanto, a **prioridade é dada ao grupo funcional e não às ramificações**.



O grupo  $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—C} \\ \backslash \\ \text{OH} \end{array}$  é chamado de **carboxila**. Pode ser abreviado por  $\text{—COOH}$ .

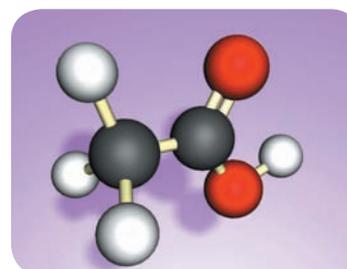


ILUSTRAÇÃO DOS AUTORES

▲ Modelo de uma molécula de ácido etanoico. (Cores fantasiosas, fora de proporção.)

### Lembre-se!

Sufixo	Indica que o composto é um
o	Hidrocarboneto
ol	Álcool
al	Aldeído
ona	Cetona
oico	Ácido carboxílico



JAMES BAIGRIE/FOODPIX-OTHER IMAGES

▲ O vinagre contém ácido etanoico.



MURTI/PHOTOCUISINE-OTHER IMAGES

▲ Os ácidos carboxílicos são responsáveis por vários sabores típicos, como o da manteiga rançosa (butanoico) e do queijo roquefort (pentanoico).



KATHLEEN FINLAY/MASTERFILE-OTHER IMAGES

▲ Os cães reconhecem as pessoas devido, entre outros fatores, ao odor de ácidos carboxílicos presentes na pele humana.

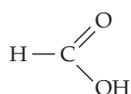
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

## 6 Outras formas de nomenclatura para ácidos carboxílicos, aldeídos, álcoois e cetonas

### 6.1 Nomenclatura trivial de ácidos carboxílicos e aldeídos

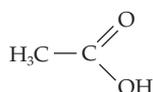
Antes de a IUPAC criar as regras sistemáticas de nomenclatura, os compostos possuíam nomes dados sem uma associação lógica com a fórmula. Aliás, em muitos casos, a fórmula nem era conhecida com exatidão. O nome estava geralmente relacionado ao regime ou às propriedades do composto.

Apesar de as regras sistemáticas de nomenclatura terem facilitado bastante a vida do químico orgânico, alguns nomes antigos persistem até hoje. Trata-se da chamada **nomenclatura trivial**. Veja exemplos de nomes triviais para ácidos carboxílicos que, pela sua ampla utilização, são aceitos pela IUPAC:



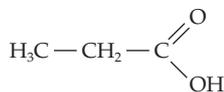
ácido fórmico

Encontrado em algumas formigas, responsável pelo ardor da picada. Fórmico: do latim *formica*, que significa "formiga".



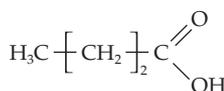
ácido acético

É o responsável pelo aroma e pelo sabor característicos do vinagre. Acético: do latim *acetum*, que quer dizer "vinagre".



ácido propiônico

Presente, combinado, na gordura de certos animais. Propiônico: do grego *pro*, "precursor", e *pyon*, "gordura".



ácido butírico

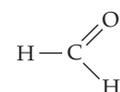
Encontrado na manteiga, combinado com outras substâncias. Butírico: do grego *boutyron*, "manteiga".



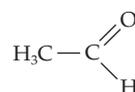
INGO ARNDT/MINDEN-LATINSTOCK

▲ O ácido metanoico é encontrado em algumas formigas, sendo o causador da irritação provocada pelas picadas. Na foto, formiga com aproximadamente 8 mm de comprimento.

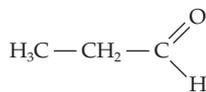
Os aldeídos apresentam uma semelhança estrutural muito grande com os ácidos carboxílicos. E os nomes triviais de ambos estão bastante relacionados. Veja nomes triviais de aldeídos que são aceitos pela IUPAC:



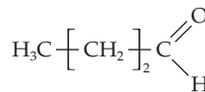
formaldeído



acetaldeído



propionaldeído



butiraldeído

### Muita atenção!

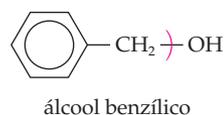
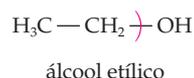
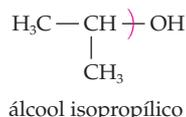
A IUPAC declarou que está trabalhando em um conjunto de regras para, no futuro, atribuir apenas um nome para cada substância orgânica. Isso pode ser importante em certas situações como citações em leis, normas técnicas, processos jurídicos e indexação em bancos de dados.

Atualmente, contudo, **em muitos casos, a IUPAC aceita mais de uma regra sistemática para nomear compostos orgânicos.**

Para algumas classes funcionais, as recomendações da IUPAC incluem a chamada **nomenclatura de classe funcional**, que é bastante empregada para compostos de estrutura não muito complexa. Nos itens 6.2 e 6.3, a seguir, é apresentada a **nomenclatura de classe funcional** para álcoois e para cetonas.

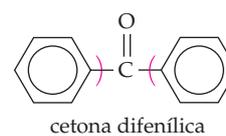
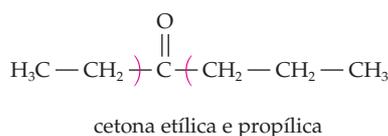
## 6.2 Nomenclatura de classe funcional para álcoois

A **nomenclatura de classe funcional** para álcoois é feita utilizando a palavra **álcool**, seguida do nome do **grupo orgânico** (metil, etil etc.) ligado à hidroxila (OH), acrescido da terminação **ico**. Para álcoois de moléculas pequenas, essa nomenclatura chega a ser mais utilizada, no dia a dia dos químicos, do que aquela mostrada anteriormente.



## 6.3 Nomenclatura de classe funcional para cetonas

A **nomenclatura de classe funcional** para cetonas é feita escrevendo a palavra **cetona** seguida do nome dos **grupos orgânicos** (metil, etil etc.) ligados à carbonila (C=O), em ordem alfabética e separados pela letra **e**, cada qual com a terminação **ica**. (Caso ambos os grupos sejam iguais, escreve-se o nome do grupo uma só vez, antecedido pelo prefixo **di**.) Veja exemplos:



## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

24. Qual o nome do composto orgânico presente no vinagre? Escreva sua fórmula estrutural.
25. Bodes e cabras possuem um odor muito desagradável. Os responsáveis por isso são três ácidos, que, quando descobertos, receberam os nomes de *caproico*, *caprílico* e *cáprico*. Os nomes sistemáticos IUPAC desses ácidos são, respectivamente, hexanoico, octanoico e decanoico. Escreva as fórmulas estruturais de cada um deles.
26. Escreva o nome dos compostos a seguir.
- a)  $\text{H}_3\text{C}-\text{C}\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{OH} \end{matrix}$
- b)  $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{OH} \end{matrix}$
- c)  $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{COOH}$
- d)  $\text{HO}-\text{C}\begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \end{matrix}[\text{CH}_2]_4\text{CH}_3$
- e)  $\text{H}_3\text{C}-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{COOH}$
- f)
27. Escreva o nome, segundo as regras sistemáticas da IUPAC, das substâncias cujo nome trivial é:
- a) ácido fórmico;  
b) ácido acético;  
c) ácido propiônico;  
d) ácido butírico.
28. Escreva o nome, segundo as regras sistemáticas da IUPAC, das substâncias cujo nome trivial é:
- a) formaldeído; c) propionaldeído;  
b) acetaldeído; d) butiraldeído.
29. Escreva a fórmula estrutural das seguintes substâncias:
- a) álcool butílico; c) álcool *s*-butílico;  
b) álcool isobutílico; d) álcool *t*-butílico.
30. A cetona fenílica e metílica pode ser utilizada como matéria-prima para a fabricação de gás lacrimogêneo. Escreva a fórmula estrutural dessa substância.
31. A respeito da substância conhecida como acetona, escreva:
- a) seu nome pelas regras sistemáticas da IUPAC.  
b) seu nome pela nomenclatura de classe funcional.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

## Exercícios adicionais

Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

32. (Ufal) Quantos carbonos primários há na estrutura do ácido metilpropanoico?
- a) 5 d) 2  
b) 4 e) 1  
c) 3
33. (Unir-RO) O ácido fórmico, sendo o ácido carboxílico mais simples, é representado pela fórmula molecular:
- a)  $\text{HCO}_2$  d)  $\text{H}_3\text{CO}$   
b)  $\text{H}_2\text{CO}$  e)  $\text{H}_3\text{CO}_2$   
c)  $\text{H}_2\text{CO}_2$
34. (Vunesp) Por motivos históricos, alguns compostos orgânicos podem ter diferentes denominações aceitas como corretas. Alguns exemplos são o álcool etílico ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ), a acetona ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ) e o formaldeído ( $\text{CH}_2\text{O}$ ). Esses compostos podem também ser denominados, respectivamente, como:
- a) hidroxietano, oxipropano e oximetano.  
b) etanol, propanol e metanal.  
c) etanol, propanona e metanal.  
d) etanol, propanona e metanona.  
e) etanal, propanal e metanona.
35. (UFV-MG) Dados os compostos
- 
- determine a alternativa em que aparece o nome da função comum às duas estruturas:
- a) Éster. d) Álcool.  
b) Aldeído. e) Ácido carboxílico.  
c) Cetona.
36. (FGV-SP) Dentre os seguintes materiais, qual pode ser representado por uma fórmula química?
- a) Benzeno. d) Madeira.  
b) Salmoura. e) Aço.  
c) Vinagre.

37. (UnB-DF) É incontestável a importância do desenvolvimento das ciências para o combate a doenças. Entretanto, esse combate pode ser iniciado com simples atos de higiene, como lavar as mãos com água e sabão ou desinfetá-las com álcool. Os álcoois etílico e isopropílico agem contra bactérias na forma vegetativa, vírus envelopados, micobactérias e fungos. A ação do álcool ocorre por meio da desnaturação de proteínas e remoção de lipídeos, inclusive dos envelopes de alguns vírus. Para apresentar sua ação germicida máxima, o álcool deve ser diluído em água, em concentrações específicas. Acerca desse assunto, julgue os itens a seguir em certos ou errados.

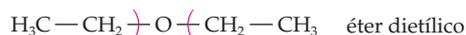
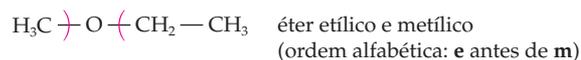
1. Um dos álcoois mencionados no texto pode ser corretamente representado pela fórmula  $\text{H}_3\text{CCHOHCH}_3$ .
2. O álcool comercial é uma mistura de álcool etílico e água e a força de interação preponderante entre as moléculas desse material é conhecida como dispersão de London.
3. De acordo com o texto, o álcool  $\text{CH}_3\text{OH}$  pode ser usado como agente asséptico. Além disso, esse é o principal álcool encontrado em bebidas alcoólicas.
4. Entre as consequências do consumo crônico e exagerado de bebidas alcoólicas estão alterações no fígado e no pâncreas, órgãos associados ao sistema digestório.

## 7 Éteres

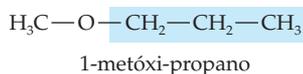
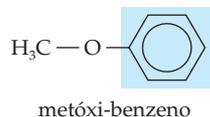
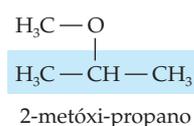
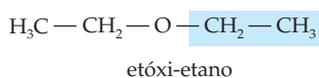
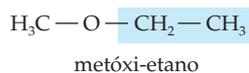
Éter — O —  
 ↑  
 Ligado a carbonos de dois grupos orgânicos

O éter comum,  $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—O—CH}_2\text{—CH}_3$ , é um dos membros da classe funcional de compostos orgânicos conhecidos como **éteres**. Todos apresentam um átomo de oxigênio entre dois grupos orgânicos. Assim, a palavra éter não designa uma só substância, mas um grupo delas.

Aqui estão exemplos da nomenclatura de classe funcional IUPAC dos éteres:



Além dessa, outra sistemática de nomenclatura recomendada pela IUPAC consiste em considerar os grupos  $\text{CH}_3\text{—O—}$  (metóxi),  $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—O—}$  (etóxi) etc. como substituintes de uma cadeia principal. Veja os exemplos:



O que está em azul é considerado a cadeia principal. Os grupos metóxi e etóxi são considerados como substituintes ligados à cadeia principal.

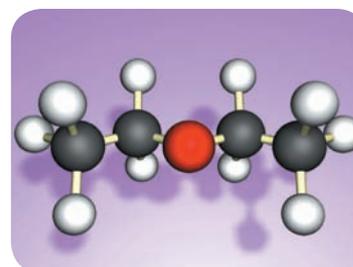


ILUSTRAÇÃO DOS AUTORES

▲ Modelo de uma molécula de éter comum, que pode ser denominado éter dietílico ou etóxi-etano. (Cores fantasiosas e fora de proporção.)

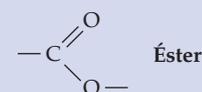
### • ATENÇÃO

O éter comum é um líquido incolor, volátil e **altamente inflamável**. Seus vapores são **tóxicos** e podem causar, por exemplo, tontura, dor de cabeça, narcose, náusea, vômito e irritação do sistema respiratório.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

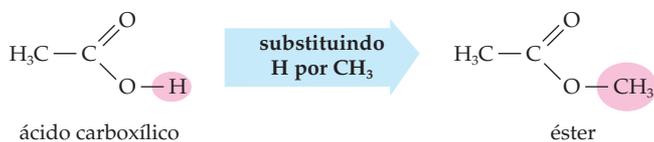
## 8 Ésteres

Alguns produtos alimentícios contêm no rótulo a informação de que possuem *flavorizantes*. Trata-se de substâncias que dão a eles o *flavor* (isto é, sabor + aroma) característico. Existe uma infinidade de compostos orgânicos empregados como flavorizantes naturais e artificiais. Entre os flavorizantes



artificiais, destacam-se os pertencentes ao grupo dos **ésteres**. Vários aromas de frutas podem ser razoavelmente imitados com baixos custos usando-se um ou, no máximo, dois desses compostos.

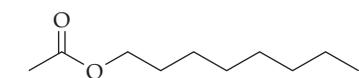
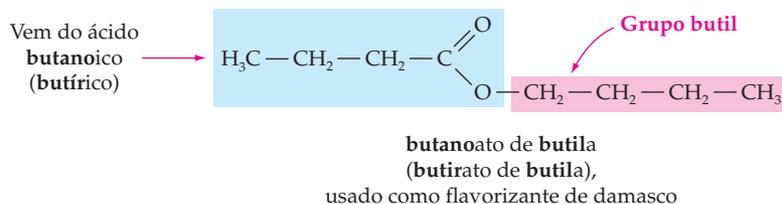
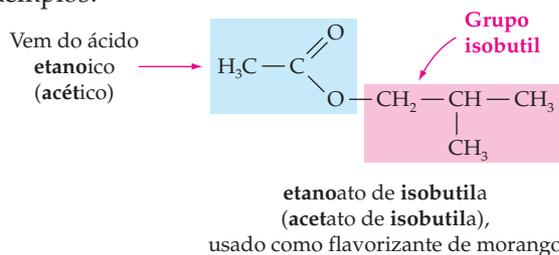
Podemos, com **finalidade didática**, pensar nos ésteres como sendo derivados de ácidos carboxílicos que sofreram a substituição do H da carboxila por um grupo orgânico.



Para dar nome aos ésteres você deve, antes de mais nada, reconhecer a parte da molécula que veio do ácido e a que corresponde ao grupo que substituiu o H.

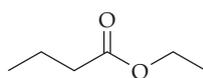
nome do ácido	- ico + ato	de	nome do grupo orgânico + a
---------------	----------------	----	----------------------------

Eis alguns exemplos:



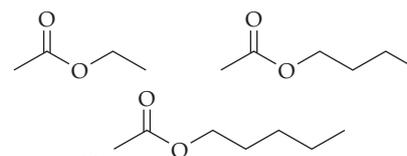
▲ O aroma de laranja é imitado com acetato de octila.

BILL BRENNAN/PACIFIC STOCK-OTHER IMAGES



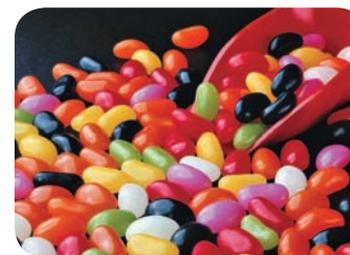
▲ O butanoato de etila simula o cheiro de abacaxi.

SERGIO TRUJILLO/SUD-OTHER IMAGES



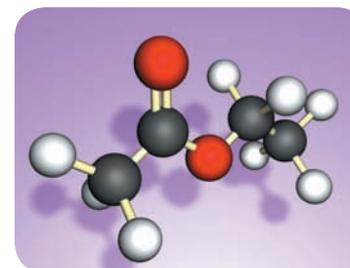
▲ O cheiro característico do esmalte de unhas se deve a um ou mais ésteres que atuam como solventes. Os mais usados são acetato de etila, acetato de butila e acetato de pentila (amila).

JERONE TISNE/STONE-GETTY IMAGES



▲ Ésteres são substâncias orgânicas largamente empregadas como flavorizantes em balas e doces.

G. BISSIMASTERILE/OTHER IMAGES



▲ Modelo de uma molécula de etanoato de etila (acetato de etila). (Cores fantasiosas, fora de proporção).

ILUSTRAÇÃO DOS AUTORES

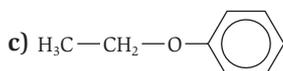
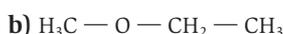
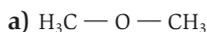
## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

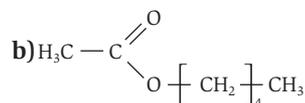
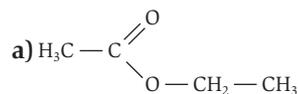
**38.** O éter dietílico é uma substância de conhecidas propriedades anestésicas. Em laboratórios de pesquisa é largamente empregado como solvente. Escreva a fórmula estrutural e outro nome possível para essa substância.

**39.** Escreva o nome dos seguintes compostos:



**40.** O éter *terc*-butílico e metílico, representado pela sigla MTBE, pode ser empregado como aditivo da gasolina, o que acarreta aumento da octanagem do combustível. Escreva a fórmula estrutural do MTBE.

**41.** A seguir são mostradas as fórmulas de um flavorizante de maçã e outro de banana. Dê nome a cada um deles.



**42.** Tanto o metanoato de etila como o propanoato de isobutila são usados como flavorizantes de rum. Escreva a fórmula estrutural de cada um deles.

**43.** No rótulo de um sabonete usado para tratar, sob receita médica, determinados problemas de pele, lê-se que contém benzoato de benzila.

a) A que função química pertence o benzoato de benzila?

b) Procure no capítulo anterior a fórmula que representa o grupo *benzil* e escreva-a.

c) Escreva a fórmula estrutural do benzoato de benzila.

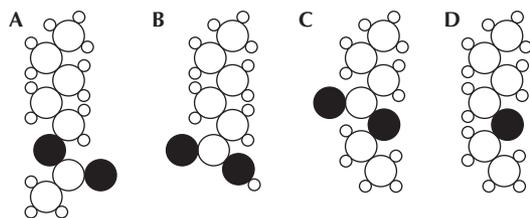
## Exercícios adicionais

Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

**44.** (Fuvest-SP) Dentre as estruturas abaixo, duas representam moléculas de substâncias, pertencentes à mesma função orgânica, responsáveis pelo aroma de certas frutas.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

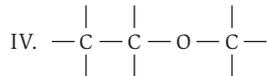
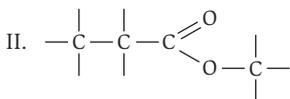
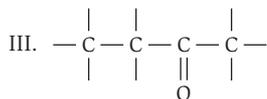
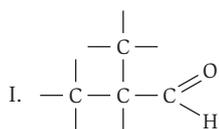


○ Hidrogênio      ○ Carbono      ● Oxigênio

Essas estruturas são:

a) A e B    b) B e C    c) B e D    d) A e C    e) A e D

**45.** (PUC-RJ) Observe as colunas abaixo:



- |             |                                 |
|-------------|---------------------------------|
| (a) Álcool  | (i) 2-metil-propanal            |
| (b) Éter    | (ii) 2-metil-propanol           |
| (c) Cetona  | (iii) 2-butanona                |
| (d) Éster   | (iv) propanoato de etila        |
| (e) Aldeído | (v) propanoato de metila        |
| (f) Ácido   | (vi) éter dietílico             |
|             | (vii) éter dimetílico           |
|             | (viii) ácido 2-metil propanoico |

A opção que mostra a única correspondência totalmente correta é:

- a) I, a, i      c) III, f, iii      e) I, f, viii  
b) II, d, v      d) IV, e, ii

**46.** (Estácio-RJ) Ao se fazer a substituição do hidrogênio da hidroxila do etanol pelo radical etila, resulta:

- a) aldeído.      c) éter.      e) ácido.  
b) cetona.      d) éster.

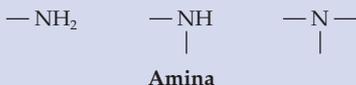
**47.** (Unisinos-RS) As fórmulas gerais  $\text{R}-\text{O}-\text{R}$ ,  $\text{R}-\text{CHO}$ ,  $\text{R}-\text{COOH}$  e  $\text{R}-\text{COO}-\text{R}$  correspondem, respectivamente, às funções:

- a) éster, ácido carboxílico, aldeído e éter.  
b) ácido carboxílico, éster, aldeído e éter.  
c) éster, aldeído, ácido carboxílico e éter.  
d) éter, aldeído, ácido carboxílico e cetona.  
e) éter, aldeído, ácido carboxílico e éster.

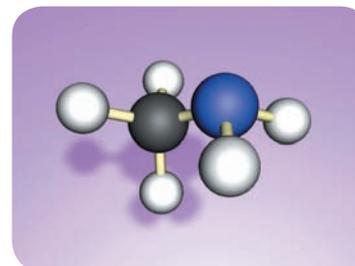
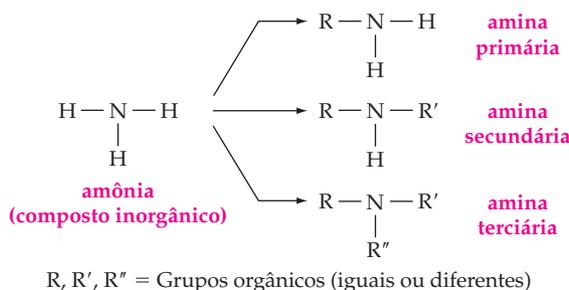
48. (UFPA) As substâncias, cujas nomenclaturas segundo a IUPAC são: etanoato de metila, 2-metil-propanoico, butanal, 3-metil-3-pentanol e ciclo hexanona, pertencem, respectivamente, às funções orgânicas:
- a) cetona, éter, éster, amina e amida.

- b) aldeído, éster, cetona, ácido carboxílico e amida.  
 c) éster, aldeído, ácido carboxílico, cetona e amina.  
 d) ácido carboxílico, álcool, cetona, aldeído e hidrocarboneto.  
 e) éster, ácido carboxílico, aldeído, álcool e cetona.

## 9 Aminas

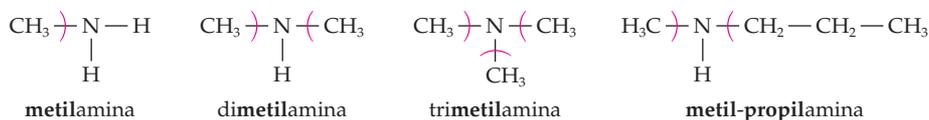


O cheiro característico de peixe e, sobretudo, de peixe podre deve-se a um tipo de composto orgânico: as **aminas**. Nem todas as aminas possuem esse odor, mas o que todas têm em comum é o fato de poderem ser encaradas como derivadas da amônia, na qual um, dois ou três dos hidrogênios foram substituídos por grupos orgânicos.

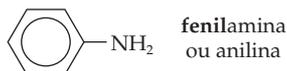


▲ Modelo de uma molécula de metilamina. (Cores fantasiosas, fora de proporção.)

A nomenclatura das aminas é bastante simples: escrevem-se os nomes dos grupos ligados ao nitrogênio, seguidos da palavra amina. Assim, por exemplo:



A fenilamina é também conhecida como **anilina** (nome trivial aceito pela IUPAC). Uma de suas principais aplicações industriais é na fabricação de corantes.



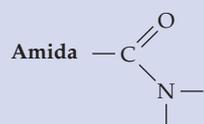
▲ O odor de peixe deve-se às aminas, principalmente à trimetilamina.



▲ A anilina é usada como matéria-prima para corantes, largamente utilizados, por exemplo, nas indústrias de cosméticos e de tecidos.



## 10 Amidas



Você pode observar o modo de dar nome às amidas por meio dos seguintes exemplos:

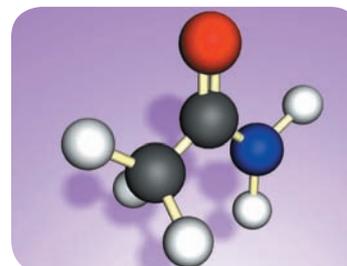
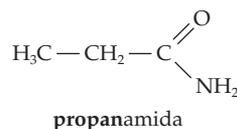
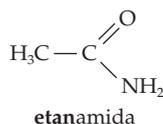
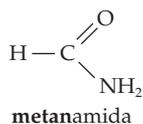


ILUSTRAÇÃO DOS AUTORES

▲ Modelo de uma molécula de etanamida. (Cores fantasiosas, fora de proporção.)

Apesar de ambas possuírem nitrogênio, **aminas e amidas não são a mesma coisa**. É importante saber diferenciá-las. As amidas apresentam uma carbonila (C = O) ligada diretamente ao nitrogênio e as aminas não.



GABOR NEMESKINO

▲ Os fios das teias de aranha são formados por longas moléculas de proteínas, que pertencem ao grupo das amidas. As proteínas serão estudadas no capítulo 10. Na foto, aranha com cerca de 2 cm de comprimento total. Campo Limpo Paulista, SP, 2005.

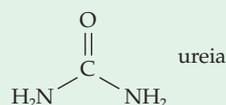


WESTEND61 GMBH/ALAMY-OTHERIMAGES

▲ O náilon é uma amida sintética (artificial), que será estudada no capítulo 9.

### UREIA: UMA AMIDA MUITO IMPORTANTE

A ureia é uma substância orgânica pertencente à classe funcional amida. Sua fórmula estrutural é:



Nossa dieta alimentar inclui proteínas, que são substâncias nitrogenadas, ou seja, que contêm nitrogênio como um dos elementos químicos constituintes. O processamento das proteínas pelo nosso organismo fornece, como substância nitrogenada a ser excretada, a ureia. Ela constitui de 2% a 5% da urina humana. Esse é o meio que nosso organismo utiliza para eliminar resíduos

nitrogenados indesejáveis produzidos a partir das proteínas.

A decomposição da ureia, em solução aquosa, dá origem a gás carbônico e amônia. Esta última possui um cheiro forte e desagradável, que muito contribui para o odor dos banheiros mal lavados.

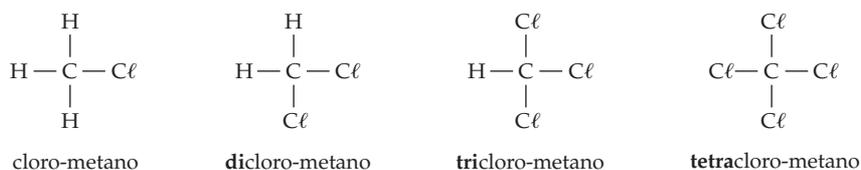
Do ponto de vista industrial, a ureia é uma substância importante. Ela é fabricada por meio da reação, sob condições apropriadas, de gás carbônico e amônia. Entre suas muitas utilizações, destacam-se componente de fertilizantes, matéria-prima para plásticos, suplemento alimentar para o gado e matéria-prima para a indústria farmacêutica.



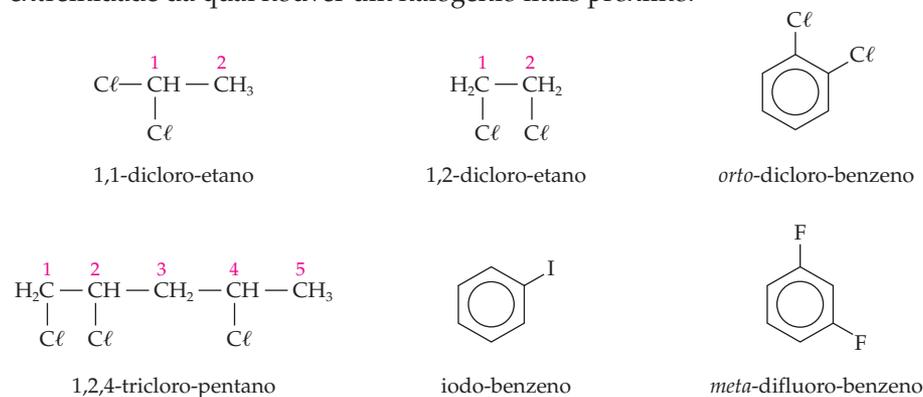


Um exemplo de haleto orgânico é o *clorofórmio* ( $\text{CHCl}_3$ ), usado como solvente em laboratórios. Outro é o *freon-12* ( $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ), empregado no passado em *sprays* de aerossol. Procedimentos como lavagem a seco de tecidos e remoção de certos tipos de manchas de estofados são, muitas vezes, realizados com auxílio de solventes que pertencem à classe dos haletos orgânicos.

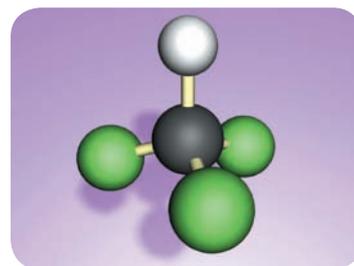
Para dar nome IUPAC aos compostos halogenados, basta considerá-los como se tivessem origem em um hidrocarboneto com um ou mais hidrogênios substituídos por halogênios.



Nos casos em que possa haver mais de uma possibilidade para a posição dos halogênios, deve ser feita a numeração da cadeia principal, a começar pela extremidade da qual houver um halogênio mais próximo.



Segundo a IUPAC, pode-se também usar a **nomenclatura de classe funcional**, que se baseia no nome dos grupos orgânicos ligados ao halogênio:



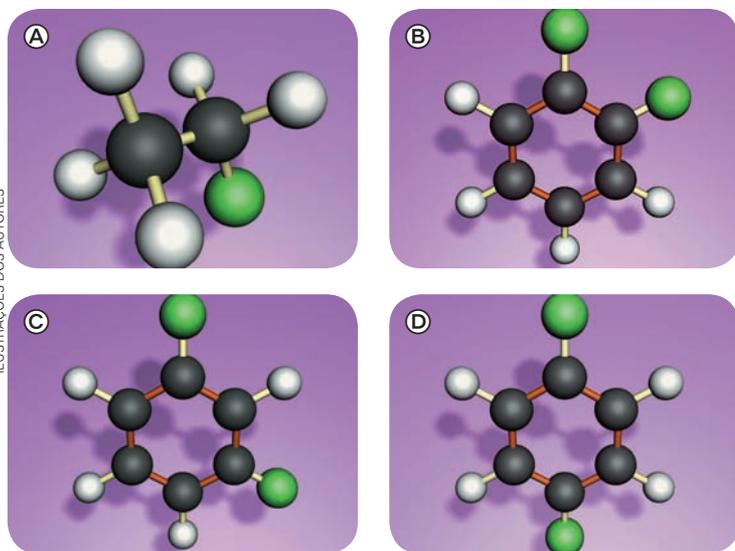
▲ Modelo de uma molécula de clorofórmio. (Cores fantasiosas, fora de proporção.)

ILUSTRAÇÃO DOS AUTORES

### Atenção ao —F

O nome do substituinte —F, ou seja, do átomo do elemento flúor como substituinte é **fluoro** (sem acento e com “o” no final) segundo a IUPAC.

ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES



▲ Modelo de uma molécula de:  
**A** cloro-etano  
**B** orto-dicloro-benzeno  
**C** meta-dicloro-benzeno  
**D** para-dicloro-benzeno  
 (Cores fantasiosas, fora de proporção.)

## Exercícios essenciais

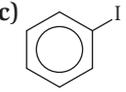
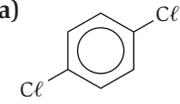
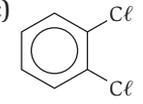
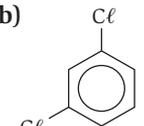
Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

60. Procure no texto a fórmula do *clorofórmio* e escreva o nome desse haleto segundo as regras sistemáticas da IUPAC.
61. Tetracloreto de carbono ( $CCl_4$ ) é muito usado como solvente. Qual seu nome pelas regras sistemáticas da IUPAC?
62. O material usado para revestir panelas antiaderentes é fabricado a partir do composto  $F_2C=CF_2$ . Qual é o nome sistemático dessa matéria-prima?



Frigideira com revestimento antiaderente.

63. Escreva o nome dos seguintes haletos:
- a)  $H_3C-CH(Cl)-CH_3$       d)  $H_3C-Cl$
- b)       e)  $H_3C-CH_2-CH_2-Br$
- c)       f)  $H_3C-CH(CH_3)-I$
64. Dê o nome de cada um dos seguintes compostos, utilizando os prefixos *orto*, *meta* e *para*.
- a)       c) 
- b) 

65. (Fazu-MG) A nomenclatura oficial para designar o anestésico comumente chamado de halotano é 2-bromo-2-cloro-1,1,1-trifluoretano. A fórmula molecular dessa substância é, portanto:
- a)  $C_2H_5BrClF_3$       c)  $C_2H_2Br_2Cl_2F_3$       e)  $C_2BrClF_3$   
 b)  $C_2H_3Br_2Cl_2F$       d)  $C_2HBrClF_3$
66. (Fuvest-SP) A contaminação por benzeno, clorobenzeno, trimetilbenzeno e outras substâncias utilizadas na indústria como solventes pode causar efeitos que vão da enxaqueca à leucemia. Conhecidos como compostos orgânicos voláteis, eles têm alto potencial nocivo e cancerígeno e, em determinados casos, efeito tóxico cumulativo.

O Estado de S. Paulo, 17 de agosto de 2001.

Pela leitura do texto, é possível afirmar que:

- I. certos compostos aromáticos podem provocar leucemia.  
 II. existe um composto orgânico volátil com nove átomos de carbono.  
 III. solventes industriais não incluem compostos orgânicos halogenados.

Está correto apenas o que se afirma em:

- a) I      c) III      e) I e III  
 b) II      d) I e II
67. (UFRGS-RS) Os LCDs são mostradores de cristal líquido que contêm em sua composição misturas de substâncias orgânicas. A substância DCH-2F é um cristal líquido nemático utilizado na construção de mostradores de matriz ativa de cristais líquidos. Sua estrutura está representada abaixo.



A substância DCH-2F é um

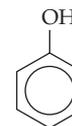
- a) isocianeto aromático.  
 b) cianeto aromático.  
 c) haleto orgânico.  
 d) alceno saturado.  
 e) hidrocarboneto aromático.

## 12 Fenóis

Fenol

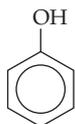
Carbônio aromático  $\rightarrow$  C—OH

O **fenol**, **fenol comum** ou **benzenol** é o mais simples dos representantes da classe funcional **fenol**.

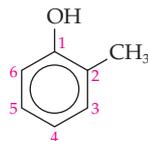


fenol  
ou  
benzenol

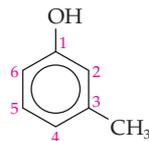
Observando bem sua fórmula estrutural, você perceberá que o fenol **não** é álcool, pois a hidroxila (OH) **não** está ligada a um carbono saturado, e **sim** a um **carbono do anel aromático**, que é insaturado. Quando isso acontece, estamos diante de um **fenol**.



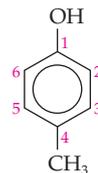
fenol (nome trivial  
aceito pela IUPAC)  
benzenol (nome sistemático  
segundo a IUPAC)



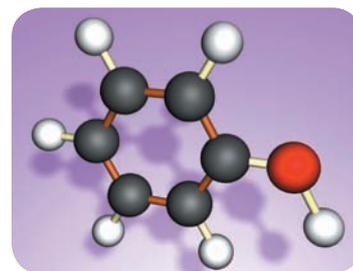
2-metil-fenol  
*orto*-metil-fenol  
2-metil-benzenol



3-metil-fenol  
*meta*-metil-fenol  
3-metil-benzenol



4-metil-fenol  
*para*-metil-fenol  
4-metil-benzenol



ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES

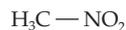
▲ Modelo de uma molécula de fenol comum,  $C_6H_5OH$ . As ligações no anel aromático, representadas em coloração castanha, têm caráter intermediário entre simples e duplas, devido ao fenômeno da **ressonância**. (Cores fantasiosas, fora de proporção.)

## 13 Nitrocompostos

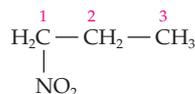
### Nitrocomposto

—NO<sub>2</sub> **Ligado diretamente a carbono**

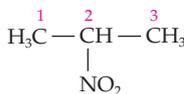
Existe certa semelhança entre a nomenclatura dos nitrocompostos e a dos compostos halogenados:



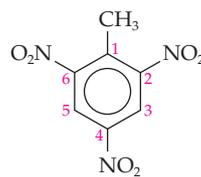
nitro-metano



1-nitro-propano



2-nitro-propano

1-metil-2,4,6-trinitro-benzeno  
ou 2,4,6-trinitro-tolueno (TNT)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CARLOS DOMINGUEZ/CORBIS-LATINSTOCK



STEVE DIPAOLA/REUTERS-LATINSTOCK

▲ Explosivos, como o TNT, possuem muitas aplicações com finalidades pacíficas. É o caso, por exemplo, da abertura de túneis e da implosão de construções. À esquerda, túnel em Granada, Espanha, 2006. À direita, implosão de central nuclear desativada, em Oregon, EUA, 2006.

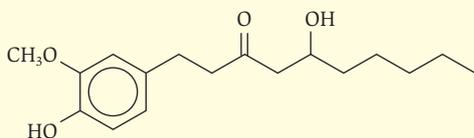
## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

### Exercício Resolvido

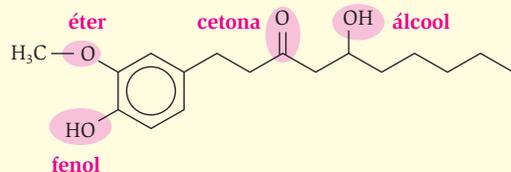
68. (PUC-PR) A presença de certos grupos funcionais em alguns compostos é responsável pelas sensações ardente, adstringente e refrescante, também denominadas sabores, que sentimos quando ingerimos determinados alimentos. A estrutura a seguir refere-se ao gengiberol, substância encontrada no gengibre, responsável pela sensação ardente quando ingerida.



Qual das funções abaixo não está presente no gengiberol?

- a) Álcool.                      c) Éster.                      e) Cetona.  
b) Fenol.                        d) Éter.

### Resolução



Não existe na molécula o grupo funcional da classe éster.

Alternativa c.

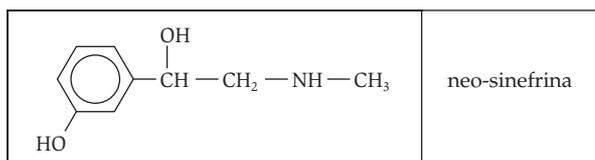
69. (Fazu-MG) Os grupos funcionais R—OH, Ar—OH, RCHO e RCO<sub>2</sub>H representam respectivamente:
- a) fenol, álcool, aldeído, ácido carboxílico.  
b) aldeído, fenol, cetona, ácido carboxílico.  
c) álcool, cetona, ácido carboxílico, anidrido.  
d) álcool, fenol, aldeído, ácido carboxílico.  
e) álcool, cetona, aldeído, fenol.



### COMENTÁRIO DOS AUTORES:

A representação Ar — é utilizada para um grupo orgânico **arila**, no qual a ligação em destaque se estabelece com um **carbono aromático**.

70. (Ceeteps-SP) As três substâncias indicadas a seguir são usadas em remédios para gripe, devido a sua ação como descongestionantes nasais:

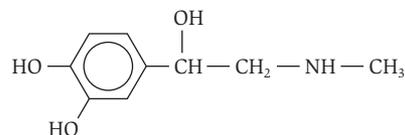


	propadrina
	benzedrex

Essas três substâncias apresentam em comum, em suas estruturas, o grupo funcional:

- a) benzeno.                      d) amida.  
b) fenol.                         e) amina.  
c) álcool.

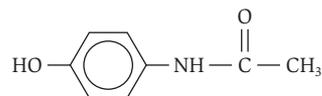
71. (Uece) A epinefrina, conhecida como “adrenalina”, fabricada pelo próprio corpo humano, age como hormônio, cuja ação é de euforia, principalmente nos momentos de emoções fortes, como pular de paraquedas. De acordo com sua fórmula estrutural,



possui as seguintes funções orgânicas:

- a) hidróxi-benzeno, amina e alceno.  
b) álcool, amida e fenol.  
c) álcool, amina e fenol.  
d) cetona, amida e fenol.

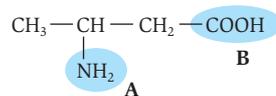
72. (UFRN) Em pacientes com suspeita de dengue, não é recomendada a utilização de antitérmicos e analgésicos à base de ácido acetilsalicílico (aspirina), por causar aumento do risco de hemorragia. Um medicamento substituto é o paracetamol, um composto polifuncional, cuja fórmula é:

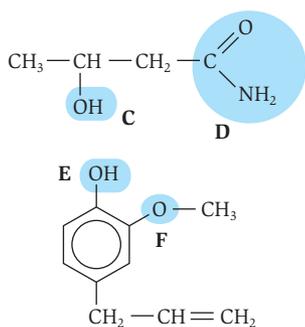


Nessa estrutura, podem-se identificar os grupos funcionais:

- a) álcool e amida.  
b) fenol, amina e cetona.  
c) álcool, amina e cetona.  
d) fenol e amida.

73. (UEPB) Considere as estruturas a seguir:





Os grupos A, B, C, D, E e F são, respectivamente, característicos das funções:

- a) amina, aldeído, enol, amida, fenol, cetona.
- b) nitrocomposto, cetona, álcool, amida, álcool, éter.
- c) amina, anidrido de ácido, fenol, nitrocomposto, aldeído, éster.
- d) amina, ácido carboxílico, álcool, amida, fenol, éter.
- e) nitrocomposto, ácido carboxílico, álcool, amina, enol, fenol.

**74.** (Uespi) O composto trinitrotolueno (TNT) é um explosivo usado para fins militares e em demolições. Nesse composto, o número de átomos de nitrogênio, hidrogênio e oxigênio por molécula é:

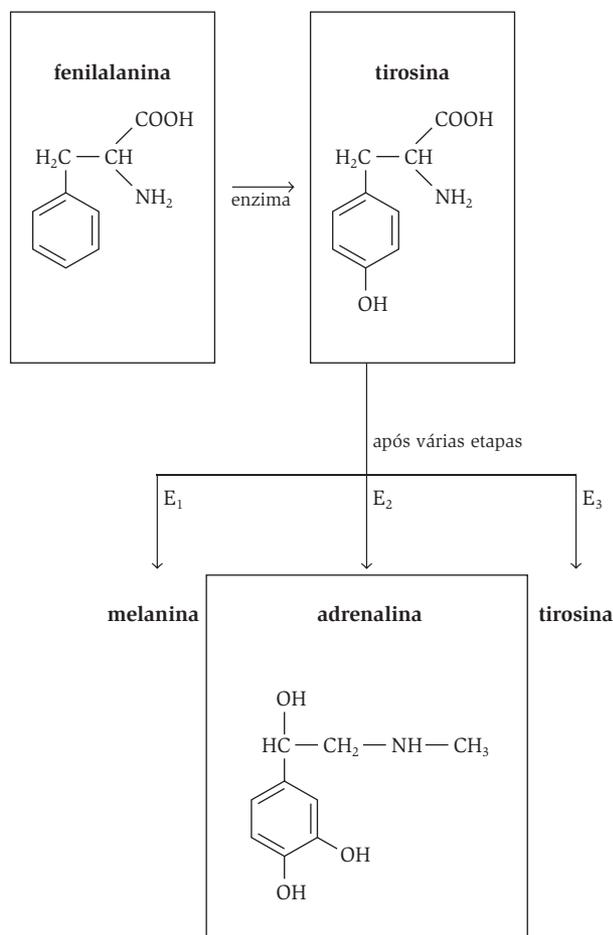
- a) 3, 5 e 6                      c) 3, 5 e 9                      e) 3, 5 e 3
- b) 3, 9 e 6                      d) 3, 7 e 6

**75.** O BHT (sigla inglesa para *butylated hydroxytoluene*) é um aditivo alimentar antioxidante usado em margarinas, biscoitos, doces e refrescos. Sendo seu nome IUPAC 2,6-di-*tert*-butil-4-metil-benzen-1-ol, represente sua fórmula estrutural.



SÉRGIO DOTTA JR./CID

**76.** (UnB-DF) A figura abaixo ilustra vias metabólicas da fenilalanina e da tirosina, em que E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> e E<sub>3</sub> representam enzimas.

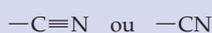


A partir das informações desse texto, julgue os itens seguintes em certos ou errados.

1. A tirosina apresenta as mesmas funções químicas da fenilalanina, um aminoácido sintetizado pelo organismo humano.
2. A adrenalina, um dos metabólitos da tirosina, apresenta, em sua estrutura, grupos funcionais de amina, álcool e fenol.
3. A ausência de enzimas nos organismos faz que as reações metabólicas sejam desenvolvidas com maior rapidez.

## 14 Nitrilas e ácidos sulfônicos

Nitrila

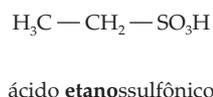
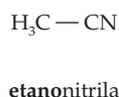
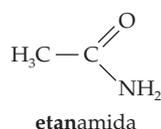


Ácido sulfônico

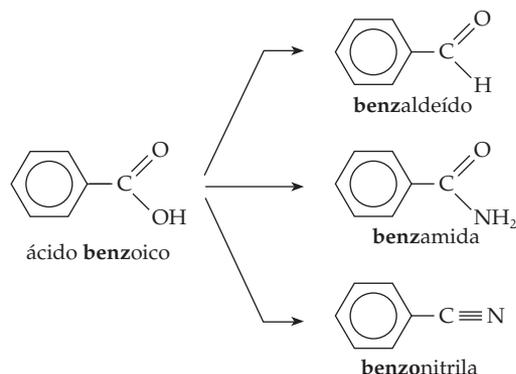
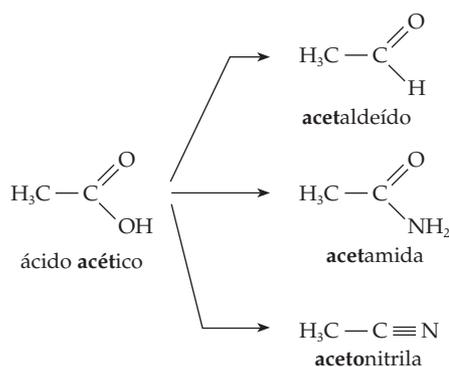


A classe funcional das **nitrilas** caracteriza-se pela presença do grupo funcional  $\text{—CN}$  e a classe dos **ácidos sulfônicos** pela presença do grupo  $\text{—SO}_3\text{H}$  na molécula.

Para nomear nitrilas e ácidos sulfônicos, procedemos de modo muito parecido com o das amidas, como você pode perceber pelos seguintes exemplos:



O ácido etanoico é de muita importância para o estudo da Química Orgânica e seu nome trivial (que, pelo amplo uso, é aceito pela IUPAC) é ácido acético. Assim, outros compostos recebem nomes triviais a ele relacionados. Padrão semelhante é usado para denominar o aldeído, a amida e a nitrila que correspondem ao ácido benzoico.



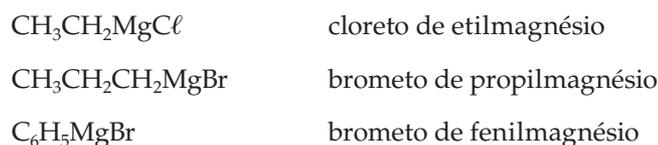
## 15 Compostos organometálicos

Um **composto organometálico** é aquele que tem **metal** ligado **diretamente** a um **carbono** de uma estrutura orgânica.

Os compostos do tipo organo-zinco, por exemplo  $\text{CH}_3\text{ZnCH}_3$ , foram os primeiros organometálicos a serem sintetizados. Quem os produziu pela primeira vez foi o químico Edward Frankland, em meados do século XIX. Por isso, alguns autores chamam os compostos de organo-zinco de **compostos de Frankland**.

Os compostos organometálicos são muito importantes nos laboratórios de Química, uma vez que participam de reações químicas úteis à síntese das mais variadas substâncias orgânicas.

Os haletos de organo-magnésio — por exemplo, o cloreto de metilmagnésio,  $\text{CH}_3\text{MgCl}$  — são conhecidos como **compostos de Grignard** (pronuncia-se “grinhár”), em homenagem ao químico francês Victor Grignard, que recebeu o Prêmio Nobel em 1912 por suas pesquisas e descobertas no campo da síntese de substâncias orgânicas. Tais compostos têm, ainda hoje, importantes aplicações laboratoriais. Mais alguns exemplos de compostos de Grignard são:



## A PRESERVAÇÃO DE LIVROS ANTIGOS

Muitos papéis escurecem e apodrecem como consequência de reações químicas que produzem ácidos nas fibras do papel. Para bibliotecários e arquivistas, a perda de livros raros, manuscritos e antigos jornais é um problema preocupante. Recentemente, tem havido muitos esforços para encontrar um meio de preservar vastos acervos, com baixo custo e sem danificar o papel ou a tinta.

A solução mais promissora é a que utiliza o dietilzinco,  $\text{Zn}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ , sintetizado pela primeira vez por Edward Frankland em 1849.

No processo de preservação empregado pela biblioteca do Congresso estadunidense, até nove mil livros são colocados em uma câmara. O ar é bombeado para fora e a câmara é enchida com nitrogênio puro a baixa pressão. É essencial remover todo o  $\text{O}_2$  presente, uma vez que o dietilzinco é altamente inflamável.

[...]

A seguir, vapor de dietilzinco é injetado na câmara, permeando as páginas dos livros, onde reage com os íons hidrogênio, responsáveis pela acidez, neutralizando-a. São formados íons zinco e gás etano:



O composto organometálico também reage com a umidade presente no papel formando óxido de zinco:



O óxido de zinco, sendo capaz de reagir com ácidos, permite neutralizar qualquer ácido que porventura se forme nas páginas do papel após esse tratamento, livrando-o da acidez por um bom tempo.

O excesso de dietilzinco e o etano formado na reação são bombeados para fora e a câmara é preenchida com nitrogênio e, posteriormente, com ar. Finalmente, os livros são retirados. Esse processo leva de três a cinco dias para cada remessa de livros. É um processo lento, porém assegura a durabilidade de muitos documentos e livros preciosos.

Fonte: RAYNER-CANHAM, G.; OVERTON, T. *Descriptive Inorganic Chemistry*. 4. ed. Nova York: Freeman, 2006. p. 603. (Tradução dos autores.)



◀ O escurecimento das páginas de livros antigos está relacionado à presença de íons  $\text{H}^+$ . Papéis utilizados mais recentemente são, em geral, alcalinos, para evitar esse problema. Na foto, Biblioteca de Medicina do Instituto Rizzolli, Bolonha, Itália.

## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

77. Na fabricação de alguns cobertores e tapetes é usado um material sintético fabricado usando propeno-nitrila como matéria-prima. Represente a fórmula estrutural desse composto.
78. Dê nome aos seguintes compostos:
- a)  $\text{H}_3\text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{C} \equiv \text{N}$
- b)  $\text{H}_3\text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{C} \begin{matrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{NH}_2 \end{matrix}$
- c)  $\text{H}_3\text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{SO}_3\text{H}$
79. Considerando que o composto etanonitrila,  $\text{H}_3\text{C} - \text{CN}$ , pode ser também denominado **cianeto de metila**, deduz-se que a substância -CN pode ser chamada de cianeto de:
- a) benzeno.      c) fenila.      e) ciclo-hexila.  
b) benzila.      d) fenol.
80. Um dos intermediários na fabricação de detergentes é o ácido *para*-dodecil-benzenossulfônico. Sabendo que dodecil é um grupo com 12 carbonos,  $-\text{[CH}_2\text{]}_{11}\text{CH}_3$ , represente a fórmula estrutural do composto em questão.

## Informe-se sobre a Química

### Antraz e guerra biológica

Antraz é uma doença bacteriana amplamente difundida entre os animais. Ela é rara em seres humanos, mas potencialmente fatal, o que leva à sua exploração como um agente de guerra biológica. A eficácia do antraz como arma foi primeiramente confirmada pela liberação acidental de esporos do antraz de um laboratório na União Soviética em 1979, quando morreram 68 pessoas.

O *Bacillus anthracis* é uma bactéria aeróbia imóvel que rapidamente morre fora dos tecidos do hospedeiro. Contudo, ela forma esporos, partículas de cerca de 1  $\mu\text{m}$  de diâmetro, que podem sobreviver por décadas.



A. B. DOWSETT/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

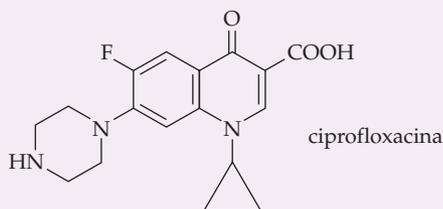
◀ Esporos da bactéria *Bacillus anthracis* ao microscópio eletrônico, com colorido artificial e ampliação de aproximadamente 5.740 vezes.

Alguns esporos estão naturalmente presentes em solos no mundo inteiro e são ingeridos por herbívoros. Não são bem conhecidos os mecanismos pelos quais os esporos germinam, formando as células bacterianas de tamanho completo. Se liberados no ar, os esporos inodoros e invisíveis podem [...] [se dispersar] por longas distâncias e facilmente [...] [ir para] dentro de casa. Esses esporos podem causar o antraz por inalação em seres humanos, que é uma doença extremamente rara. Os casos de um aglomerado de antraz por inalação quase certamente indicam que os esporos foram especificamente enviados para os seres humanos, por exemplo, em cartas ou embalagens. Como [...] eventos nos Estados Unidos mostraram, os esporos em um envelope podem facilmente contaminar outros.

Historicamente, as infecções por antraz em seres humanos foram da variedade cutânea, e são facilmente reconhecidas pelas lesões escuras que se formam (o antraz cutâneo era considerado um risco ocupacional dos classificadores de lã e de outros que trabalham com peles de animais). Lamentavelmente, os sintomas iniciais do antraz por inalação são inespecíficos e se parecem com os da gripe. Os estágios tardios da doença são rapidamente fatais, com um intervalo médio de 3 dias entre o início dos sintomas e a morte.

[...]

Uma vez a toxina bacteriana ter penetrado nas células, ela não pode ser detida, de modo que a identificação precoce da infecção pelo antraz — ou ainda somente da exposição — é essencial para impedir a morte. Linhagens de *B. anthracis* que ocorrem mais naturalmente são sensíveis à penicilina, mas teme-se que o antraz “armado” possa ser criado para ser resistente aos antibióticos comuns. O fármaco de escolha é, por essa razão, o antibiótico mais recente, de amplo espectro, ciprofloxacina. O tratamento por cerca de 60 dias é necessário para impedir a infecção por esporos que tenham germinação retardada. A boa-nova é que o antraz — ao contrário da varíola e da peste bubônica — não é muito contagioso.



#### • ATENÇÃO

O consumo de medicamentos sem orientação médica, a automedicação, é uma atitude perigosíssima à saúde.

**JAMAIS SE AUTOMEDIQUE.**

Fonte do texto: PRATT, C. W.; CORNELLY, K. *Bioquímica essencial*. Trad. MOREIRA, A. J. M. S. et al. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006. p. 494-495.

### ● Você entendeu a leitura?

Responda em seu caderno

- Um dos trechos da leitura é reproduzido a seguir: “O *Bacillus anthracis* é uma bactéria aeróbia imóvel que rapidamente morre fora dos tecidos do hospedeiro. Contudo, ela forma esporos, partículas de cerca de 1 µm de diâmetro, que podem sobreviver por décadas”.  
Faça uma pesquisa e discuta com seus colegas:  
a) Qual o significado da expressão **esporos**, do modo como foi utilizada no texto?  
b) Qual a vantagem, para a bactéria, da formação dos esporos mencionados? Qual a desvantagem, para o ser humano, da formação desses esporos?
- Do texto, o que se pode deduzir que é a **guerra biológica**?
- Quais as classes funcionais presentes na ciprofloxacina?
- Qual a fórmula molecular desse antibiótico?
- Classifique a cadeia da ciprofloxacina quanto aos critérios:  
a) presença de heteroátomo;  
b) aromaticidade.

## O Informe-se sobre a Química

### Alho e enxofre

Que prazer é temperar a refeição com os aromatizantes que compõem o gênero *Allium*: o alho, a cebola, o alho-porró e a cebolinha e suas variantes! O odor de todos esses condimentos baseia-se no mesmo elemento, o enxofre. O surpreendente é que, em muitos casos, os compostos responsáveis pelo odor não existem nas plantas intactas e são biossintetizados enquanto elas estão sendo picadas, trituradas ou fritas. Um dente de alho, por exemplo, por si só não tem o odor característico, e as cebolas intactas não têm cheiro nem fazem lacrimejar.

Quando esmagamos os dentes de alho, a enzima **alinase** é liberada e converte os sulfóxidos precursores em ácidos sulfênicos. Estes ácidos se dimerizam posteriormente e perdem água para formar os aromatizantes, como a alicina, por exemplo. O alho gera muitos outros compostos desta maneira, os quais contêm os grupos funcionais sulfeto, RSR', sulfóxido, RSR' e dissulfeto, RSSR'. Curiosamente, alguns destes compostos têm atividade medicinal.



A alicina, por exemplo, é um poderoso agente bactericida. Antes de os modernos antibióticos serem conhecidos, eram utilizadas infusões de alho no tratamento de tifo, cólera, disenteria e tuberculose. É possível que a planta use estes compostos como agentes químicos contra organismos invasores. Na China, uma redução significativa dos casos de câncer gástrico tem sido associada ao consumo de alho, o qual reduz os níveis de colesterol, possui propriedades cardiovasculares e inibe a agregação de plaquetas.

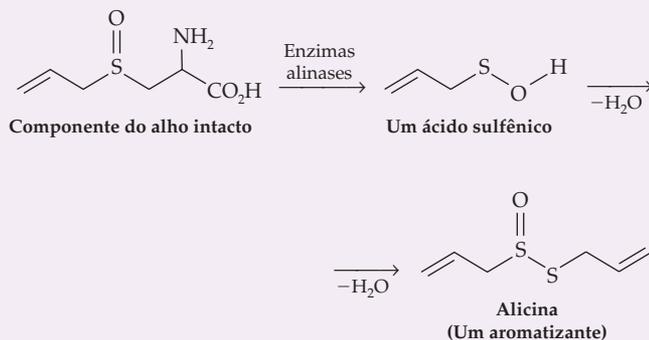
Um dos efeitos “negativos” mais notáveis do alho é o mau hálito, oriundo dos pulmões através do sangue, e não, como se imagina, de restos de alho deixado na boca. Na verdade, compostos do alho podem ser encontrados na urina três ou quatro dias depois da sua ingestão. A alicina é rapidamente absorvida pela pele (uma propriedade compartilhada com o dimetil-sulfóxido). Assim, tem-se afirmado que, quando se esfrega alho na sola do pé, é possível sentir o gosto do alho na boca. O fato foi confirmado por um dos autores deste texto.



PHOTODISCO/GETTY IMAGES

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O odor que se percebe após o corte do alho, do alho-porró e da cebola (foto) se deve à extrusão de compostos voláteis que contêm enxofre.



Fonte do texto: VOLLHARDT, K. P. C.; SCHORE, N. E. *Química Orgânica*; estrutura e função. 4. ed. Trad. ALENCASTRO, R. B. et al. Porto Alegre: Bookman, 2004. p. 326.



TISCHENKO IRINA/SHUTTERSTOCK



BONNIE SUE RAUCH/PR/LATINSTOCK



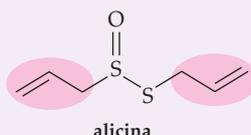
TOM GRILL/ICONICA/GETTY IMAGES

Alguns temperos do gênero *Allium*: alho (A), cebola (B) e cebolinha (C).

### ● Você entendeu a leitura?

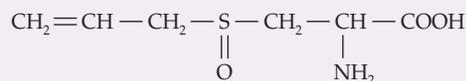
Responda em seu caderno

1. Explique por que o “cheiro de alho” só é produzido no momento em que um dente de alho é cortado ou esmagado.
2. Faça uma pesquisa para descobrir o nome do grupo orgânico de 3 carbonos assinalado (com cor magenta) na fórmula do composto alicina e proponha uma origem para o nome desse grupo.



(Consulte a internet ou fontes de informação específicas de Química Orgânica.)

3. (UFPel-RS-modificado) O odor típico do alho é devido a um composto de enxofre chamado alicina, que é produzido pela ação de uma enzima do alho sobre a substância denominada aliina.



aliina (sulfóxido de S-alicisteína)

(GRISWOLD, R. M. *Estudo experimental dos alimentos*, p. 146.)

Sobre a aliina, é correto afirmar que:

- a) tem cadeia homogênea, alifática e saturada.
  - b) tem fórmula molecular  $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{O}_3\text{NS}$ .
  - c) tem o grupo propil ligado ao enxofre.
  - d) tem, na sua estrutura, carbonos terciários e quaternários.
  - e) tem apenas o oxigênio e o nitrogênio como heteroátomos.
4. Se uma pessoa cortar um dente de alho, que esteja à temperatura ambiente, e outro dente de alho, que esteja bem gelado, o odor característico desse tempero será sentido mais rapidamente em um dos casos. Faça uma previsão de qual dos casos é aquele em que o odor será percebido mais rapidamente e explique em que conceitos da Química se baseiam a previsão.

## ○ Reavalie o que você pensa a respeito



Verifique em que mudaram suas concepções prévias

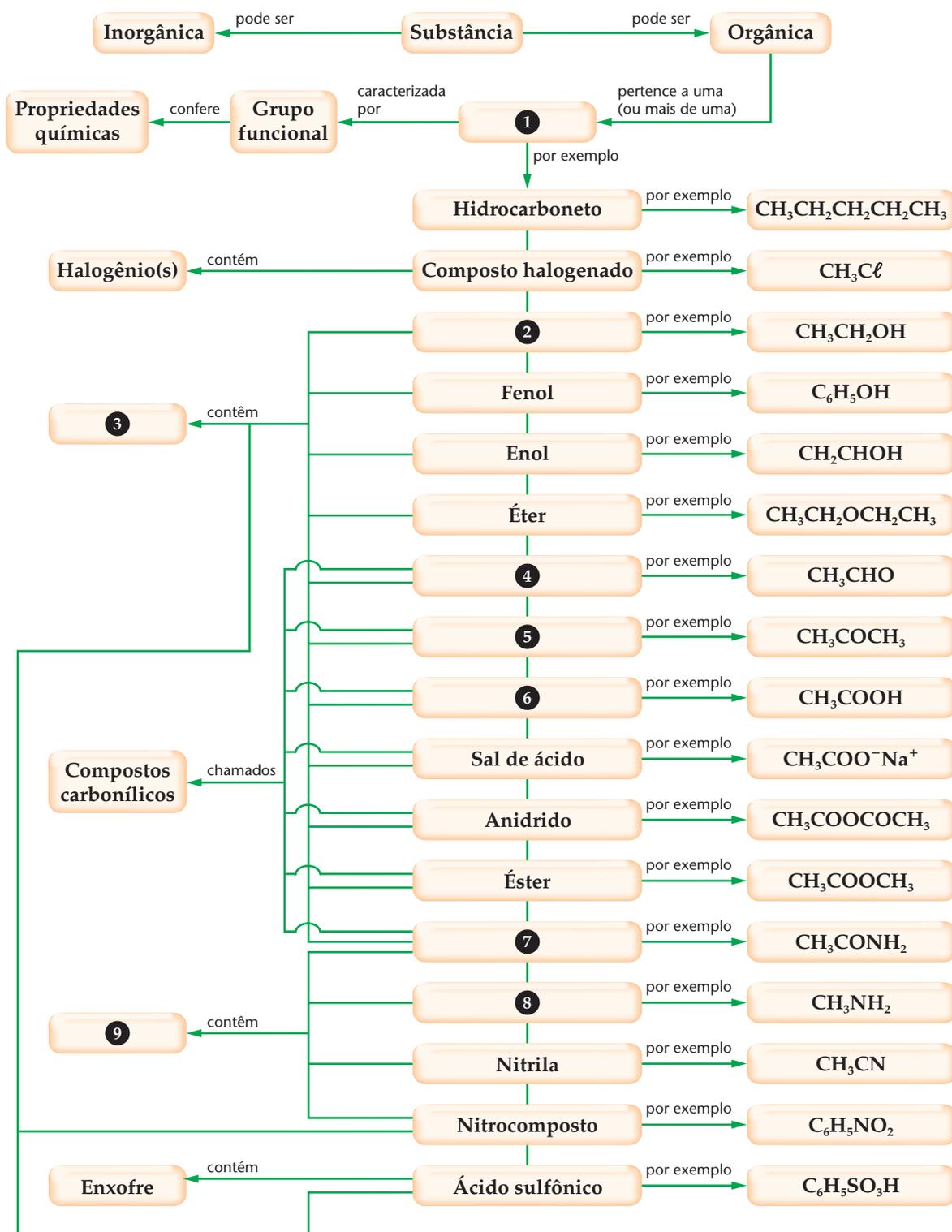
Reveja sua resposta à atividade da segunda página deste capítulo, reavalie o que escreveu, discuta com seus colegas e, se julgar necessário, elabore novas justificativas ou aprimore as que tinha escrito. Apresente-as ao professor.

**Importante:**

Este mapa é apenas uma das muitas possibilidades de relacionar esses conteúdos conceituais.

## MAPA CONCEITUAL – CLASSES FUNCIONAIS

Revise os conceitos estudados e decida como podem ser completados os locais em que aparecem os números.



# Ligações intermoleculares na Química Orgânica



Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

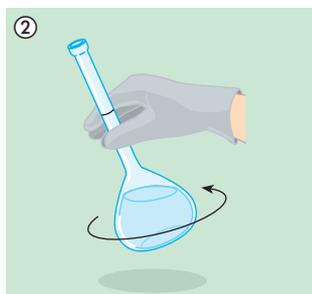
PAUL RAPSONSCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

▲ A grande viscosidade (dificuldade de escorrer) do betume se deve às intensas forças intermoleculares dipolo instantâneo-dipolo induzido.

## ● Alguns conteúdos importantes:

- ✓ Geometria do átomo de carbono em função das ligações que realiza com os átomos vizinhos
- ✓ Polaridade de moléculas orgânicas
- ✓ Grupos hidrófobos, grupos hidrófilos e sua influência na solubilidade de compostos orgânicos
- ✓ Ligações intermoleculares em compostos orgânicos
- ✓ Principais fatores que influenciam o ponto de ebulição de uma substância orgânica

Na lista abaixo estão relacionados alguns termos e conceitos. Indique no seu caderno aqueles que você julga que estejam relacionados à imagem e justifique sua escolha. Discuta com seus colegas e apresente as conclusões ao professor.



- líquido apolar
- líquido polar
- sólido insolúvel em água
- sólido solúvel em água
- mistura heterogênea
- ligação de hidrogênio
- vaporização
- ligação intermolecular

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

## ○ Pare e situe-se!

### Texto introdutório ao capítulo

Entre as substâncias químicas, há aquelas que são moleculares (por exemplo,  $H_2O$ ,  $NH_3$  e  $CH_4$ ), iônicas (por exemplo,  $NaCl$ ,  $KBr$  e  $CaF_2$ ) e metálicas (por exemplo,  $Ag$ ,  $Fe$  e  $Zn$ ). Este capítulo trata de um tema referente às substâncias moleculares, com ênfase nas orgânicas.

Substâncias moleculares, quando estão nos estados sólido ou líquido, apresentam as moléculas relativamente próximas (muito mais próximas do que quando estão no estado gasoso) e essa proximidade se deve às interações atrativas entre as moléculas, que as mantêm unidas.

A união entre as moléculas, denominada **ligação intermolecular** (ou **interação intermolecular** ou, ainda, **força intermolecular**), é objeto de estudo deste capítulo.

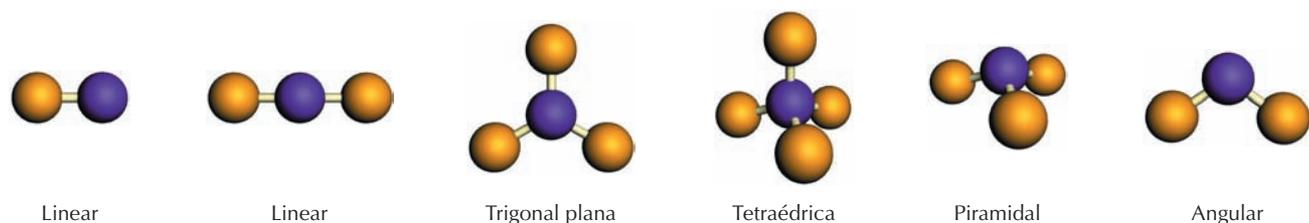
Existem diferentes tipos dessas ligações: interação dipolo instantâneo-dipolo induzido, interação dipolo permanente-dipolo permanente e ligação de hidrogênio. A ocorrência de um tipo ou de outro depende da estrutura molecular.

A intensidade das interações intermoleculares influencia propriedades como, por exemplo, a solubilidade e o ponto de ebulição das substâncias e, neste capítulo, analisaremos essa influência em compostos orgânicos.

Antes, porém, de estudar essas ligações, veremos as geometrias possíveis do átomo de carbono, que são a tetraédrica, a trigonal plana e a linear. No caso do carbono tetraédrico, comentaremos como os químicos representam no plano (do papel, do quadro etc.) as ligações estabelecidas por ele, já que elas não estão todas em um mesmo plano.

## 1 Modelo da repulsão dos pares eletrônicos da camada de valência (VSEPR)

Os químicos utilizam a expressão **geometria molecular** para designar a maneira como os núcleos dos átomos que constituem a molécula se acham posicionados uns em relação aos outros. As geometrias moleculares mais importantes, que serão objeto de nosso estudo neste capítulo, são mostradas a seguir por meio de modelos em que **cada bolinha representa um átomo e cada vareta representa uma ou mais ligações covalentes**.



ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES

Por meio de técnicas avançadas, os químicos determinaram a geometria de várias moléculas. Alguns exemplos são:

- $\text{HCl}$  — linear
- $\text{CO}_2$  — linear
- $\text{CH}_2\text{O}$  — trigonal plana
- $\text{SO}_2$  — angular
- $\text{CH}_4$  — tetraédrica
- $\text{NH}_3$  — piramidal
- $\text{H}_2\text{O}$  — angular

Para prever a geometria de uma molécula há um método elaborado pelos químicos ingleses Nevil Sidgwick e Herbert Powell e aperfeiçoado e divulgado pelo canadense Ronald Gillespie, que se baseia no modelo da **repulsão dos pares eletrônicos da camada de valência** (às vezes abreviado pela sigla de origem inglesa **VSEPR**, de *valence-shell electron-pair repulsion*).

Imagine que enchêssemos dois balões de gás (“bexigas” usadas em festas infantis), os amarrássemos pela boca e os soltássemos sobre o chão. Em que disposição geométrica eles iriam cair? E se repetíssemos esse procedimento usando três e quatro balões?

Perceba, pelas fotografias (A), (C) e (E), que os balões se afastam o máximo possível uns dos outros. Unindo os seus centros imaginários, conseguiríamos um segmento de linha reta (veja a ilustração (B)), um triângulo equilátero (ilustração (D)) e um tetraedro (ilustração (F)).



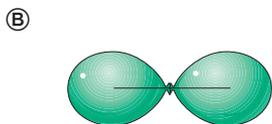
EDUARDO SANTALIESTRACID



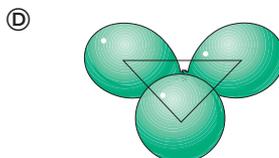
EDUARDO SANTALIESTRACID



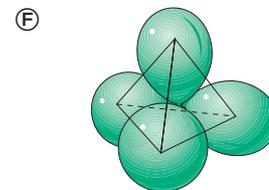
EDUARDO SANTALIESTRACID



Segmento de reta



Triângulo equilátero



Tetraedro

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Do mesmo modo que os balões procuram afastar-se ao máximo uns dos outros, os pares de elétrons existentes ao redor do átomo central de uma molécula também tenderão a se afastar ao máximo, pois, possuindo todos cargas de mesmo sinal (negativo), eles se repelem mutuamente.

Assim, se houver dois pares de elétrons ao redor do átomo central, eles tenderão a ficar de lados opostos, graças a essa repulsão. Se forem três pares, eles terão as posições dos vértices de um triângulo equilátero imaginário e, se forem quatro, as posições dos vértices de um tetraedro também imaginário.

Para determinar a geometria de uma molécula, o modelo da repulsão dos pares eletrônicos da camada de valência propõe uma sequência de passos que leva em conta as ideias que acabamos de expor:

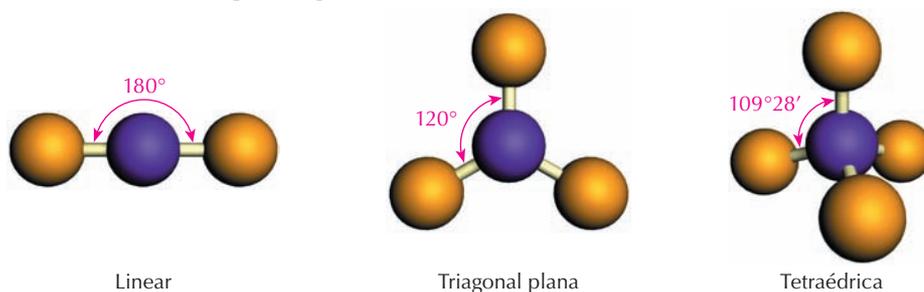
- 1º) Escreva a fórmula eletrônica da substância e conte quantos “pares de elétrons” existem ao redor do átomo central. Entenda por “par de elétrons”:
  - ligação covalente, seja ela simples, dupla ou tripla;
  - par de elétrons não usado em ligação (não compartilhado).
- 2º) Escolha a disposição geométrica que distribua esses “pares de elétrons”, assegurando a máxima distância entre eles:

Número de “pares de elétrons”	2	3	4
Distribuição escolhida	Segmento de reta	Triângulo equilátero	Tetraedro

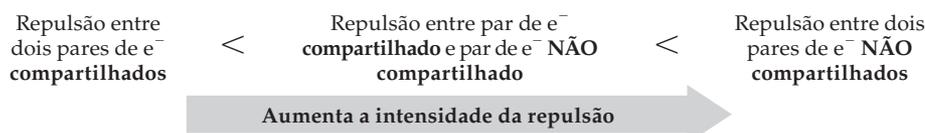
- 3º) Apesar de serem os pares de elétrons que determinam a distribuição geométrica ao redor do átomo central, a geometria molecular é uma expressão da posição relativa dos núcleos dos átomos nela presentes. Assim, **considerando apenas os átomos unidos ao átomo central** (e ignorando, portanto, os pares de elétrons não compartilhados), determinamos, finalmente, a geometria da molécula.

Para entender bem, analise com atenção os exemplos mostrados na tabela 1 (página seguinte). No caso de uma **molécula biatômica**, isto é, formada apenas por dois átomos, a geometria é **necessariamente linear**, pois não há outro arranjo possível.

Em geometria molecular, é muito aplicada a expressão **ângulo de ligação**. Por exemplo, nas moléculas lineares  $\text{CO}_2$  e  $\text{BeF}_2$  ele vale  $180^\circ$ ; na trigonal  $\text{BF}_3$ , vale  $120^\circ$ ; e nas tetraédricas  $\text{CH}_4$  e  $\text{CCl}_4$ , vale  $109^\circ 28'$ .



Na molécula de água (angular) e na de amônia (piramidal), os ângulos entre as ligações valem, respectivamente,  $104,5^\circ$  e  $107^\circ$ . O fato de esses ângulos serem menores do que  $109^\circ 28'$  é explicado considerando que a repulsão entre par de elétrons não compartilhado e par de elétrons compartilhado é mais intensa do que a repulsão entre pares de elétrons compartilhados.



### Note bem!

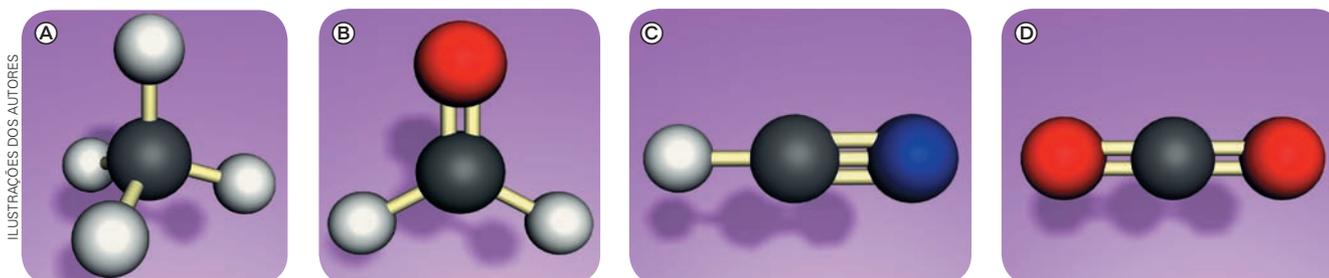
Ao usar o modelo VSEPR, as ligações simples, duplas ou triplas são **indistintamente** tratadas como um conjunto de elétrons que se afasta ao máximo de outras ligações e também de pares de elétrons não compartilhados.

ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES

TABELA 1 Exemplos de aplicação do modelo da repulsão dos pares eletrônicos da camada de valência			
1º passo Fórmula eletrônica	2º passo Distribuição dos "pares" de elétrons	3º passo Determinação da geometria molecular	Modelo molecular genérico
	Toda molécula biatômica é linear	H—Cl Linear	
	O=C=O Segmento de reta	O=C=O Linear	

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES

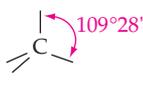
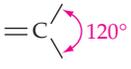


▲ Modelos moleculares do metano (A), metanal (B), cianeto de hidrogênio (C) e dióxido de carbono (D). Note que a geometria da molécula (e também a geometria do carbono) é **tetraédrica** em A, **trigonal plana** em B e **linear** em C e D. (Cores fantasiosas, fora de proporção.)

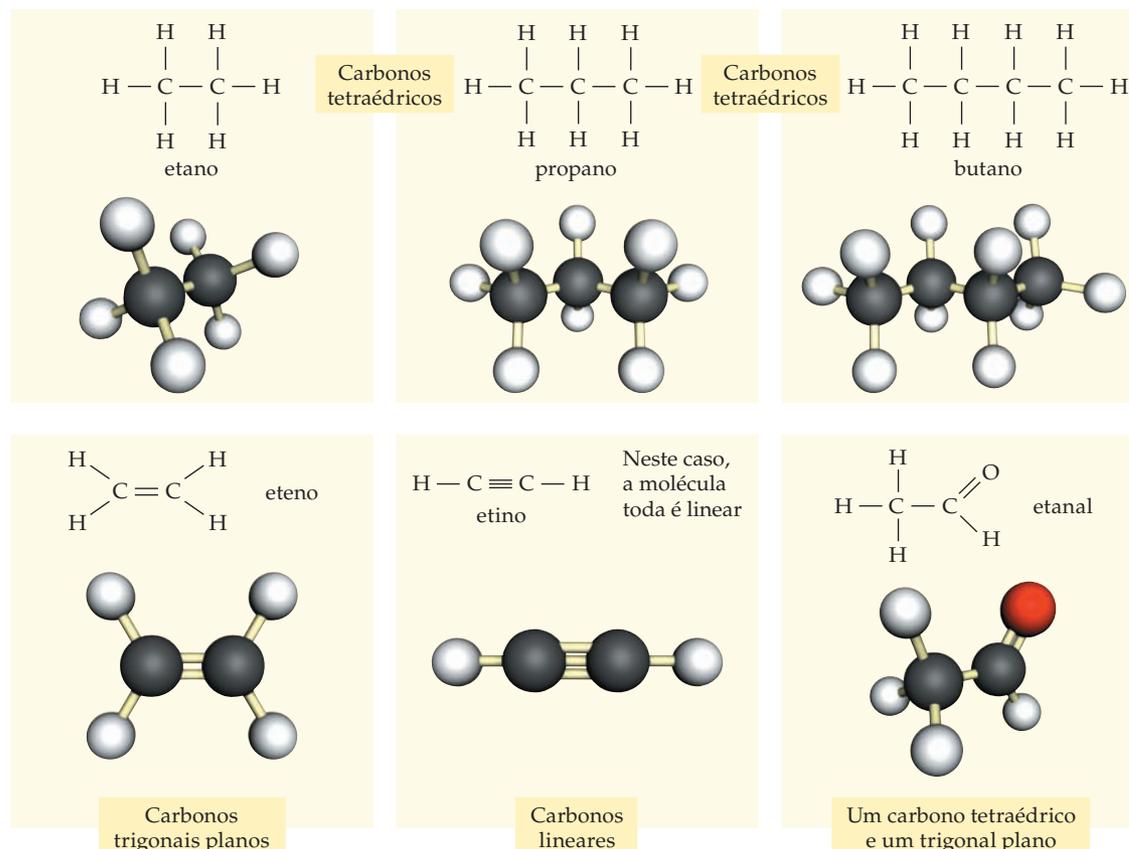
## 2 Geometria dos átomos de carbono

Moléculas que contêm apenas um átomo de carbono podem ser, como acabamos de ver, lineares, trigonais ou tetraédricas. No caso de moléculas maiores, não se costuma falar em geometria da molécula, mas em geometria dos átomos que se ligem a dois ou mais outros átomos. Assim, falamos, por exemplo, em **geometria dos carbonos**.

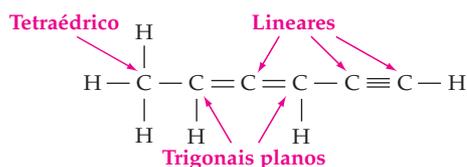
No estudo da Química Orgânica é extremamente útil conhecer as diferentes geometrias possíveis para o átomo de carbono.

Na fórmula estrutural plana	$\begin{array}{c}   \\ -C- \\   \end{array}$	$\begin{array}{c} -C= \\   \end{array}$	$-C\equiv$	$=C=$
Real geometria	 <p>Carbono saturado é tetraédrico</p>	 <p>Carbono insaturado com uma ligação dupla é trigonal plano</p>	 <p>Carbono insaturado com uma ligação tripla é linear</p>	 <p>Carbono insaturado com duas ligações duplas é linear</p>

A seguir, aparecem exemplos de modelos moleculares de substâncias orgânicas. Analise-os atentamente.



É importante perceber que a fórmula estrutural plana não mostra necessariamente a real geometria dos átomos de carbono.

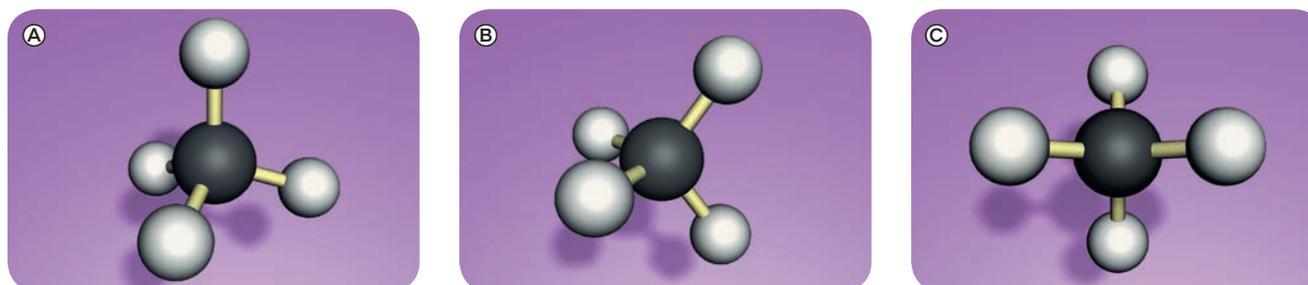


### 3 Representação da estereoquímica do carbono saturado

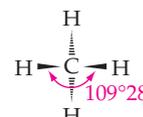
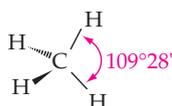
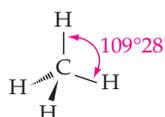
A geometria do carbono saturado, que é tetraédrica, **não é plana**. Para representar no plano do papel a geometria das ligações de um carbono saturado são empregados os seguintes códigos, que constituem uma **representação estereoquímica** (representação espacial):

- ligação no plano do papel: —
- ligação para trás do plano do papel:  $\cdots$  ou  $\cdots$  ou  $\cdots$
- ligação para a frente do plano do papel:  $\blacktriangleright$

Veja o exemplo com o modelo molecular do metano em diferentes posições:



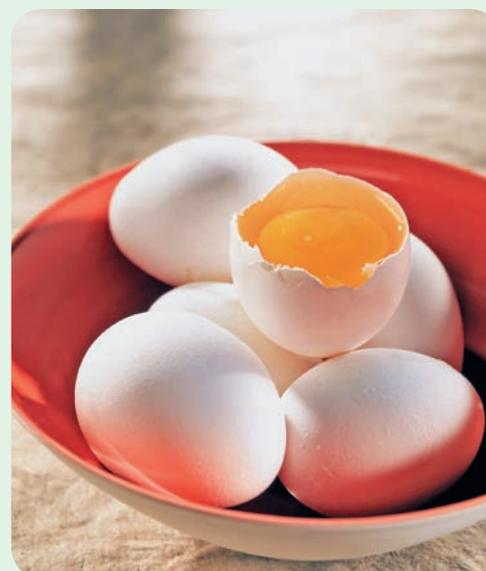
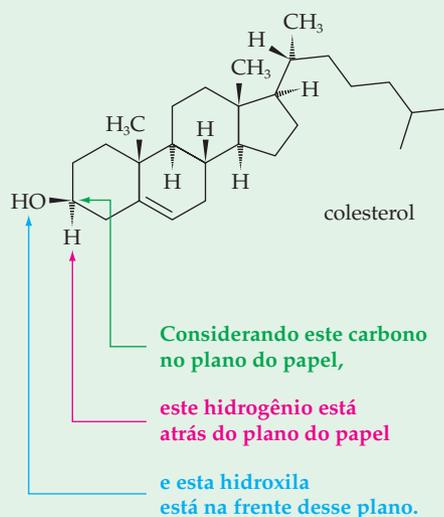
▲ Modelo molecular do metano em diferentes posições. (Cores fantasiosas, fora de proporção.)



ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES

#### A IMPORTÂNCIA DE INDICAR A ESTEREOQUÍMICA

Em estudos de produtos naturais, pesquisas bioquímicas e farmacológicas, apenas para citar poucos exemplos, são frequentes moléculas complexas e cuja correta compreensão da estereoquímica é essencial. A título de exemplo, veja a indicação da estereoquímica de ligações na molécula de colesterol:



N. LESER/PHOTOCUISINE/CORBIS/LATINSTOCK

▲ O colesterol é uma substância encontrada no sangue e em tecidos vivos. A maior parte desse colesterol é sintetizada internamente pelo corpo; outra parte vem de muitos alimentos, como os ovos, por exemplo.

# Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

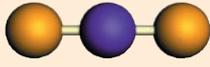
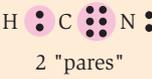
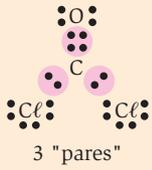
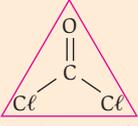
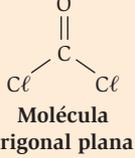
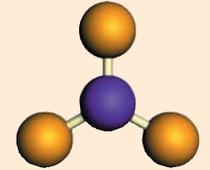
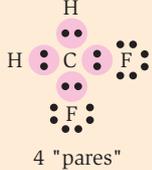
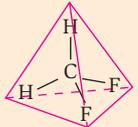
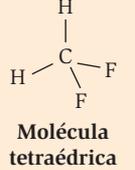
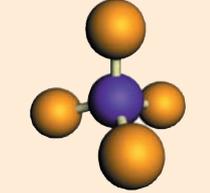
A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

## Exercício Resolvido

1. Determine a geometria molecular de:

- a)  $\text{CS}_2$     b)  $\text{HCN}$     c)  $\text{COCl}_2$     d)  $\text{CH}_2\text{F}_2$

### Resolução

1º passo Fórmula eletrônica	2º passo Distribuição dos "pares" de elétrons	3º passo Determinação da geometria molecular	Modelo molecular genérico
 <p>2 "pares"</p>	$\text{S}=\text{C}=\text{S}$ <b>Segmento de reta</b>	$\text{S}=\text{C}=\text{S}$ Molécula linear	
 <p>2 "pares"</p>	$\text{H}-\text{C}\equiv\text{N}$ <b>Segmento de reta</b>	$\text{H}-\text{C}\equiv\text{N}$ Molécula linear	
 <p>3 "pares"</p>	 <p><b>Triângulo equilátero</b></p>	 <p>Molécula trigonal plana</p>	
 <p>4 "pares"</p>	 <p><b>Tetraedro</b></p>	 <p>Molécula tetraédrica</p>	

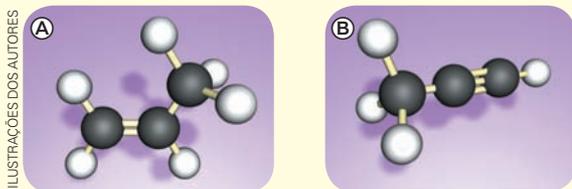
ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES

2. Determine a geometria das moléculas das substâncias:

- a)  $\text{HBr}$     f)  $\text{CO}_2$     k)  $\text{H}_2\text{S}$     p)  $\text{BrCN}$   
 b)  $\text{F}_2$     g)  $\text{CSCl}_2$     l)  $\text{PCl}_3$     q)  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$   
 c)  $\text{CH}_4$     h)  $\text{SO}_2$     m)  $\text{O}_3$     r)  $\text{HF}$   
 d)  $\text{NH}_3$     i)  $\text{CCl}_4$     n)  $\text{CO}$   
 e)  $\text{H}_2\text{O}$     j)  $\text{CHCl}_3$     o)  $\text{ClCN}$

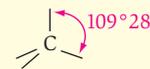
## Exercício Resolvido

3. Determine a geometria de cada átomo de carbono nas moléculas representadas pelos modelos a seguir.

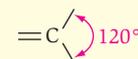


### Resolução

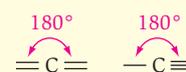
Considerando que:



Carbono saturado é tetraédrico

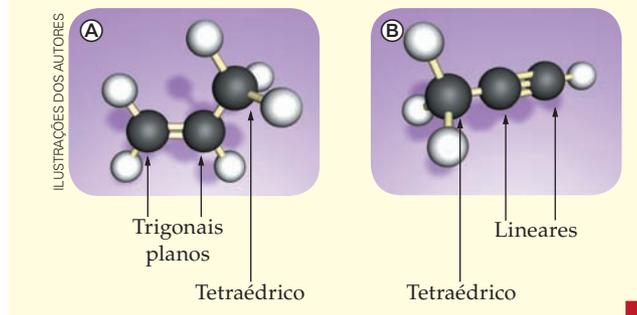


Carbono insaturado com uma ligação dupla é trigonal plano



Carbono insaturado com duas ligações duplas ou uma ligação tripla é linear

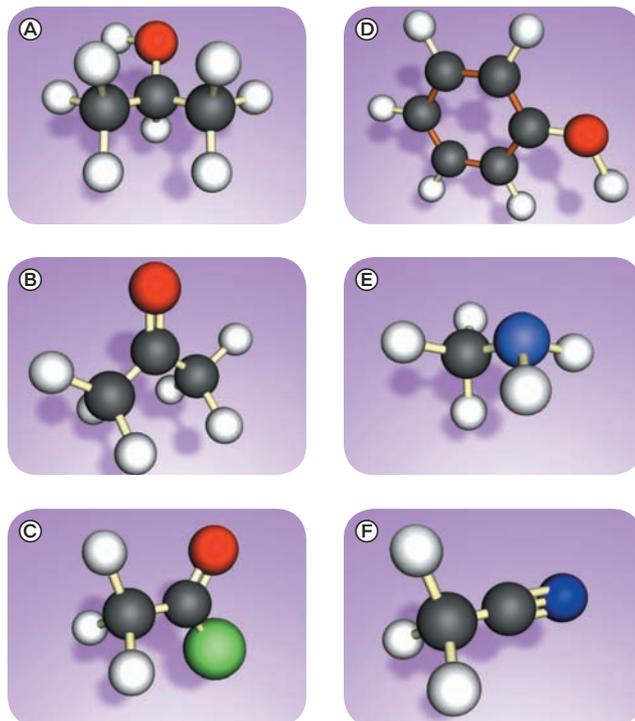
temos:



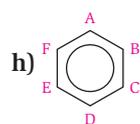
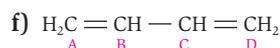
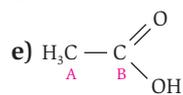
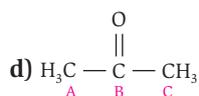
4. Considerando o código:

- preto: carbono;
- branco: hidrogênio;
- azul: nitrogênio;
- verde: cloro;
- vermelho: oxigênio;

identifique a geometria dos átomos de carbono nas moléculas representadas pelos seguintes modelos:

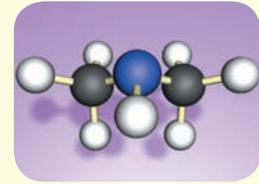
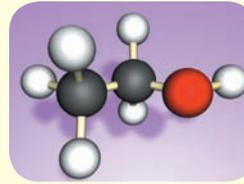


5. Determine a geometria dos átomos de carbono presentes nas moléculas representadas a seguir:



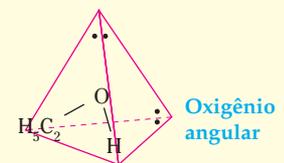
## Exercício Resolvido

6. Determine a geometria do átomo de oxigênio no etanol e do átomo de nitrogênio na dimetilamina (modelos a seguir).

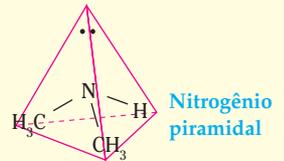


## Resolução

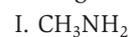
A geometria do átomo de **oxigênio** no etanol é **angular**, o que está de acordo com o modelo da repulsão dos pares eletrônicos da camada de valência.



A geometria do **nitrogênio** é **piramidal**, o que também está de acordo com o modelo.



7. Nos seguintes compostos:



pode-se afirmar que a geometria do átomo de nitrogênio é igual:

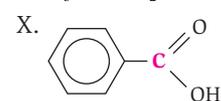
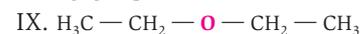
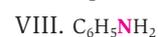
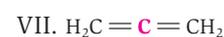
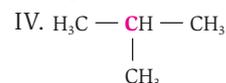
a) nos três casos.

c) apenas em I e III.

b) apenas em I e II.

d) apenas em II e III.

8. Considere o átomo destacado em cada uma das fórmulas a seguir:



Em qual(is) o átomo destacado tem geometria:

a) angular?

d) trigonal plana?

b) piramidal?

e) tetraédrica?

c) linear?

## Exercícios adicionais

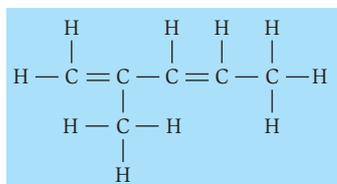
Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

9. (UFRGS-RS) O hidrocarboneto que apresenta todos os átomos de carbono com orientação espacial tetraédrica é o:
- $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$
  - 
  - $\text{HC}\equiv\text{CH}$
  - $\text{H}_2\text{C}=\text{C}=\text{CH}_2$
  - $\text{H}_3\text{C}-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_3$

10. Qual dos compostos **não** contém carbono linear?
- propino
  - acetoneitrila
  - benzonitrila
  - ácido acético
  - acetileno
11. Determine o composto que **só** apresenta carbonos com geometria trigonal plana.
- etano
  - etino
  - benzeno
  - propeno
  - acetaldeído

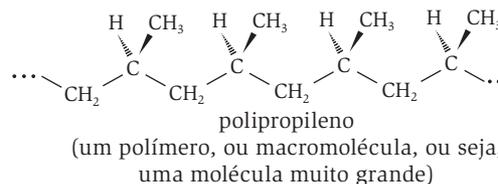
12. (UEPB) Foram os químicos van't Hoff e Le Bel os primeiros cientistas a estudarem as geometrias reais do carbono e mostrarem como estes átomos estariam dispostos no espaço. Outros cientistas como Planck, Einstein, Rutherford e Bohr contribuíram efetivamente na elaboração de novos conceitos no campo das estruturas atômicas e moleculares. Analise a estrutura do composto a seguir:



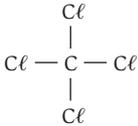
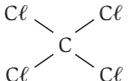
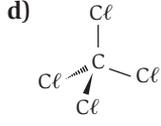
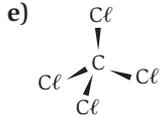
Com relação à geometria de cada carbono, podemos afirmar que na substância acima existem:

- 4 carbonos trigonais e 2 carbonos tetraédricos.
  - 2 carbonos trigonais e 4 tetraédricos.
  - 2 carbonos trigonais, 2 carbonos tetraédricos e 2 carbonos lineares.
  - 3 carbonos trigonais, 2 carbonos tetraédricos e 1 carbono linear.
  - 1 carbono trigonal, 1 carbono tetraédrico e 4 carbonos lineares.
13. Qual das **moléculas** é **linear**, ou seja, em qual delas todos os núcleos atômicos estão em uma mesma linha reta?
- etano
  - etileno
  - acetona
  - acetileno
  - metano

14. Determine a molécula em que **todos** os núcleos dos átomos estão no mesmo plano:
- benzeno
  - metanol
  - ácido acético
  - metilamina
  - éter dietílico
15. Determine a substância cujas **moléculas não** são lineares:
- buta-1,3-diino
  - $\text{CH}_2\text{O}$
  - $\text{C}_2\text{H}_2$
  - $\text{CO}_2$
  - $\text{HCN}$
16. O polipropileno é um plástico usado para fabricar, por exemplo, próteses médicas, para-choques de automóvel, copos descartáveis e tapetes plásticos. Sua **estereoquímica** pode ser indicada da seguinte maneira:



**Explique** o significado da representação usada na ligação com os:

- grupos  $\text{CH}_3$ ;
  - átomos de hidrogênio ligados aos carbonos terciários.
17. Qual das seguintes representações é a melhor para indicar a **estereoquímica** da molécula de tetracloreto de carbono?
- 
  - $\text{CCl}_4$
  - 
  - 
  - 

18. Aplique a teoria da repulsão dos pares eletrônicos da camada de valência para determinar a **geometria do átomo de oxigênio** em um:
- álcool;
  - fenol;
  - éter.
19. Aplique a teoria da repulsão dos pares eletrônicos da camada de valência para determinar a **geometria do átomo de nitrogênio** em uma:
- amina primária;
  - amina secundária;
  - amina terciária.

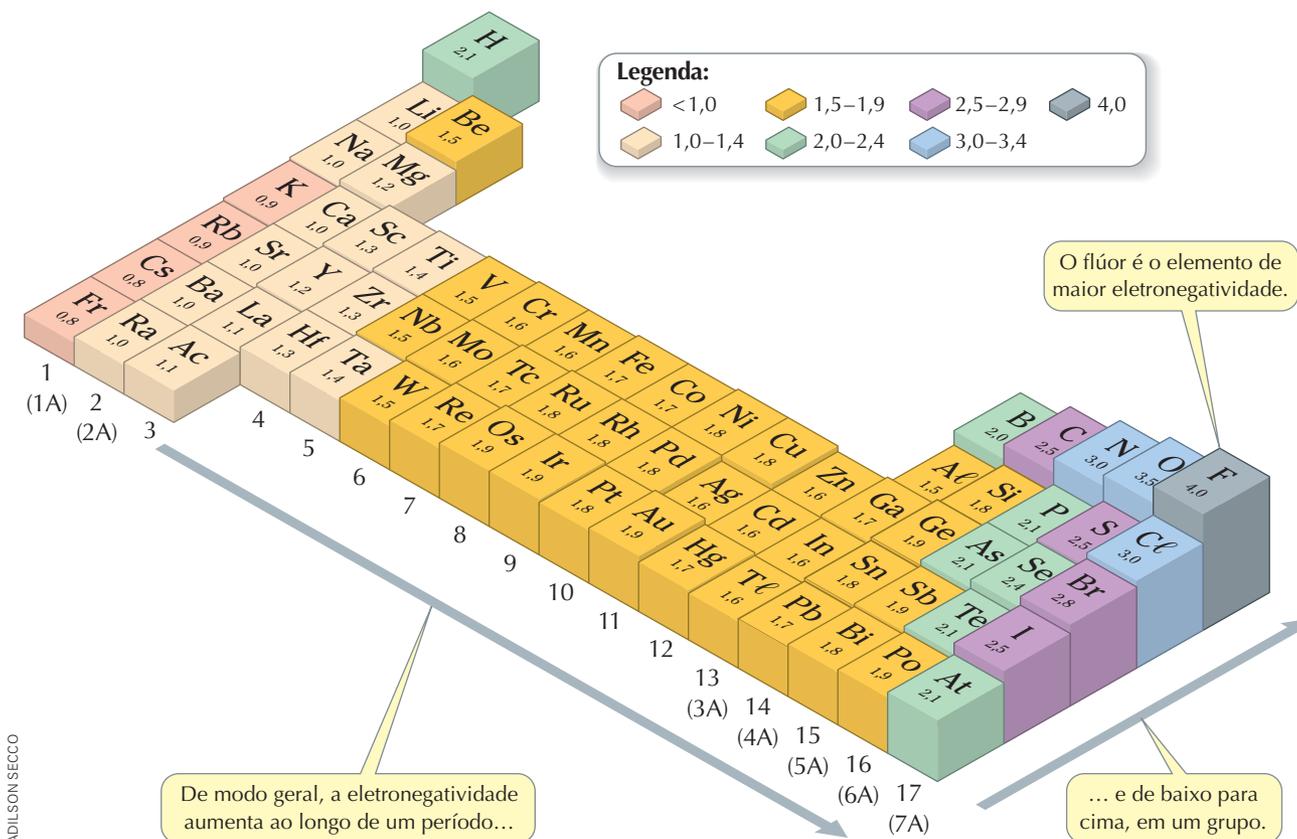
## 4 Polaridade de ligações

### 4.1 Reveja o conceito de eletronegatividade

Átomos dos diversos elementos químicos apresentam diferentes tendências para atrair elétrons.

Denomina-se **eletronegatividade** a tendência que o átomo de um determinado elemento apresenta para atrair elétrons, num contexto em que se acha ligado a outro(s) átomo(s). Embora essa atração se dê sobre todo o ambiente eletrônico que circunda o núcleo do átomo, é de particular interesse a atração que ele exerce sobre os elétrons envolvidos na ligação química.

Há várias décadas os químicos se preocupam em estabelecer escalas numéricas para expressar a eletronegatividade. Entre as muitas escalas existentes, a mais conhecida é a que foi elaborada pelo químico estadunidense Linus Pauling, que aparece na tabela a seguir:



▲ Esses valores são fundamentalmente os propostos por Pauling, com algumas correções mais recentes.

Fonte: MOORE, J. W. et al. *Chemistry: The Molecular Science*. 2. ed. Belmont: Thomson-Brooks/Cole, 2005. p. 355.

A partir desses valores podemos construir uma fila com alguns dos elementos que aparecem frequentemente no estudo da Química:



← Sentido crescente de eletronegatividade

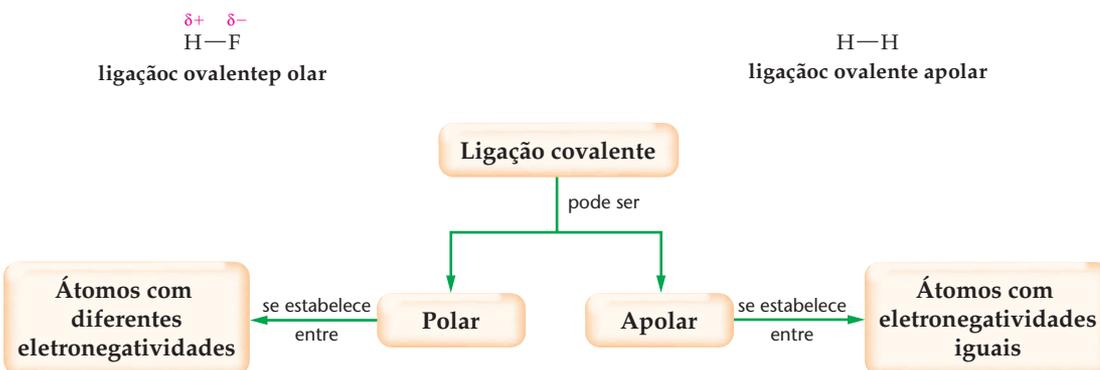
Alguns autores utilizam a palavra **eletropositividade** para se referir ao **oposto da eletro-negatividade**. Assim, podemos dizer que ter alta eletronegatividade significa ter baixa eletropositividade, e vice-versa.

## 4.2 Ligações polares e ligações apolares

Considere uma molécula de HF. O par de elétrons compartilhado não é atraído igualmente por ambos os átomos, uma vez que o flúor é mais eletronegativo que o hidrogênio. Embora o par de elétrons esteja sendo compartilhado, ele se encontra mais deslocado no sentido do flúor. Dizemos que no flúor aparece uma **carga parcial negativa** (simbolizada por  $\delta^-$ ) e no hidrogênio uma **carga parcial positiva** (simbolizada por  $\delta^+$ ). A ligação entre H e F é chamada de **ligação covalente polar**, pois nela existem dois polos elétricos, um negativo e outro positivo.

Uma ligação covalente será polar sempre que os dois átomos que estabelecem essa ligação covalente possuem diferentes eletronegatividades.

Considere, agora, o caso da molécula de H<sub>2</sub>. Como ambos os átomos nela presentes possuem a mesma eletronegatividade, não há polarização da ligação e dizemos que se trata de uma **ligação covalente apolar**.



## 4.3 Ligação iônica versus ligação covalente

Considere as ligações esquematizadas ao lado, cada qual acompanhada do respectivo valor de diferença ( $\Delta$ ) entre as eletronegatividades de ambos os átomos, calculada usando os dados que aparecem na página anterior. Como você pode perceber, à medida que a diferença de eletronegatividade aumenta, os elétrons passam a ser cada vez mais predominantemente atraídos por um dos átomos.

Assim, a ligação iônica pode ser encarada como um caso extremo da ligação covalente polar, onde a diferença de eletronegatividade é tão grande que o elétron é transferido de um átomo para outro em vez de ser compartilhado por ambos.

A fronteira entre a ligação covalente e a iônica não é algo extremamente claro e bem definido. De modo geral, pode-se considerar que valores de  $\Delta$  acima de 2 indicam ligação com forte caráter iônico. E valores abaixo de 1,5 indicam ligação com caráter predominantemente covalente.

$\text{Cl} \cdot \cdot \text{Cl}$	$\Delta = 3,0 - 3,0 = 0$	(covalente apolar)
$\text{Br} \cdot \cdot \text{Cl}$	$\Delta = 3,0 - 2,8 = 0,2$	(covalente polar)
$\text{I} \cdot \cdot \text{Cl}$	$\Delta = 3,0 - 2,5 = 0,5$	(covalente polar)
$\text{H} \cdot \cdot \text{Cl}$	$\Delta = 3,0 - 2,1 = 0,9$	(covalente polar)
$\text{K} \cdot \cdot \text{Cl}$	$\Delta = 3,0 - 0,9 = 2,1$	(iônica)

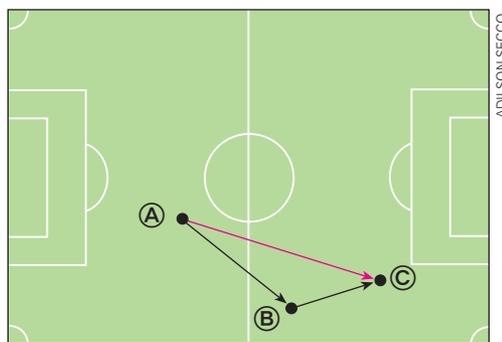
## 5 Polaridade de moléculas

### 5.1 Breves noções sobre vetores

Imagine que, durante uma partida de futebol, um dos jogadores corra do ponto **A** até o **B**. Se desejarmos descrever esse deslocamento como fizemos na figura abaixo, deveremos preocupar-nos com a **direção** do deslocamento, com seu **sentido** (isto é, se foi de **A** para **B** ou de **B** para **A**) e com a distância percorrida (que chamaremos de **módulo** do deslocamento).

Um **vetor** é uma entidade matemática caracterizada por direção, sentido e módulo.

A flecha que aparece no desenho é uma representação gráfica do vetor deslocamento. Imagine agora que o jogador, após ir de **A** até **B**, se desloque de **B** até **C**. O deslocamento global pode ser representado pelo vetor que aparece em vermelho. Ele é chamado de **vetor resultante** da soma dos outros dois vetores. Vetores são um dos assuntos do curso de Física. Consultando livros dessa disciplina (Física – Mecânica), você pode (e deve) aprender mais sobre soma de vetores.



### 5.2 Moléculas polares e moléculas apolares

Como já vimos, numa molécula de HF ocorre o aparecimento de polos elétricos. Por isso, ela é considerada uma **molécula polar**. A polarização da ligação apresenta uma direção, um sentido e uma intensidade (que depende da diferença de eletronegatividade  $\Delta$  entre os átomos). Assim, podemos representar a polarização por um vetor.

**Vetor momento de dipolo** ou **momento dipolar** ( $\vec{\mu}$ ) é aquele que representa a polarização de uma ligação covalente.

O vetor  $\vec{\mu}$  possui a direção da reta que passa pelo núcleo dos átomos que tomam parte na ligação considerada e é orientado no sentido do polo positivo para o polo negativo.

As ligações apolares possuem vetor momento de dipolo nulo ( $\vec{\mu} = \vec{0}$ ).

No caso de moléculas com mais de dois átomos, a análise é um pouco mais complexa porque cada ligação passará a ter um vetor  $\vec{\mu}$ . Para saber se a molécula é polar ou apolar, devemos somar todos os vetores momento de dipolo de todas as ligações e concluir se ele é nulo ou não.

A polaridade de uma molécula com mais de dois átomos é expressa pelo **vetor momento de dipolo resultante** ( $\vec{\mu}_R$ ). Se ele for nulo, a molécula será apolar e, caso contrário, a molécula será polar.

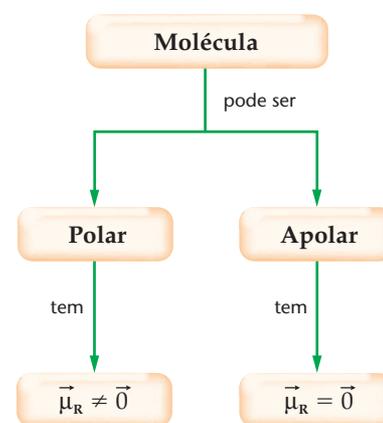
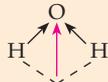
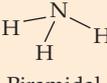
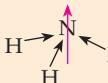


TABELA 2 Exemplos de moléculas apolares e de moléculas polares

Exemplo	Geometria	Momento dipolar resultante	Molécula
H <sub>2</sub> (gás hidrogênio)	H — H Linear	H — H $\vec{\mu}_R = \vec{0}$	Apolar
HF (gás fluorídrico)	H — F Linear	H → F $\vec{\mu}_R \neq \vec{0}$	Polar
CO <sub>2</sub> (gás carbônico)	O = C = O Linear	O ← C → O $\vec{\mu}_R = \vec{0}$ Vetores se cancelam	Apolar
HCN (gás cianídrico)	H — C ≡ N Linear	H → C → N $\vec{\mu}_R \neq \vec{0}$ Vetores não se cancelam	Polar
H <sub>2</sub> O (água)	 Angular	 $\vec{\mu}_R \neq \vec{0}$ Vetores não se cancelam	Polar
NH <sub>3</sub> (amônia)	 Piramidal	 $\vec{\mu}_R \neq \vec{0}$ Vetores não se cancelam	Polar

## UM MÉTODO MAIS SIMPLES: USO DA SIMETRIA

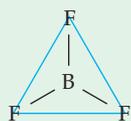
Existe um método mais simples para determinar se uma molécula é polar ou apolar, que se baseia na simetria do ambiente eletrônico que circunda o átomo central.

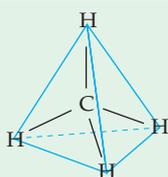
Apesar de ser de utilização mais simples, como você perceberá a seguir, esse método é relativamente **limitado a moléculas que apresentem um único átomo central ligado a todos os demais átomos da molécula.**

A ideia envolvida é a seguinte: o átomo central tem ao seu redor pares eletrônicos, que podem ser pares usados em ligações ou pares não compartilhados. Há dois casos possíveis.

**1º caso — Não há pares de elétrons não compartilhados e todos os átomos ligados ao átomo central são iguais. Disso resulta molécula APOLAR.**

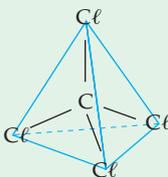
Nesse caso, existe uma **simetria** do ambiente eletrônico ao redor do átomo central, o que faz a molécula ser **apolar**. (Esse caso equivale a dizer que os vetores momento de dipolo das ligações **se cancelam**, resultando  $\vec{\mu}_R = \text{zero}$ .) Veja exemplos:





- 4 átomos H
- nenhum par e<sup>-</sup> não compartilhado

simetria ao redor do C ⇒ molécula apolar



- 4 átomos Cl
- nenhum par e<sup>-</sup> não compartilhado

simetria ao redor do C ⇒ molécula apolar

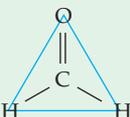
**2º caso — Há um ou mais pares de elétrons não compartilhados e/ou nem todos os átomos ligados ao átomo central são iguais. Disso resulta molécula POLAR.**

Nesse caso, existe uma **assimetria** do ambiente eletrônico ao redor do átomo central, o que faz a molécula ser **polar**. (Esse caso equivale a dizer que os vetores momento de dipolo das ligações **não se cancelam**, acarretando  $\vec{\mu}_R \neq \text{zero}$ .) Veja exemplos:



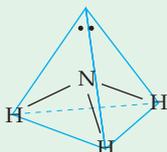
- 1 átomo H
- 1 átomo N

assimetria ao redor do C ⇒ molécula polar



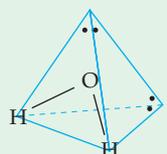
- 1 átomo O
- 2 átomos H

assimetria ao redor do C ⇒ molécula polar



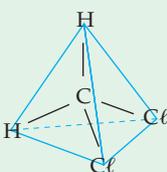
- 3 átomos H
- 1 par e<sup>-</sup> não compartilhado

assimetria ao redor do N ⇒ molécula polar



- 2 átomos H
- 2 pares e<sup>-</sup> não compartilhados

assimetria ao redor do O ⇒ molécula polar



- 2 átomos H
- 2 átomos Cl

assimetria ao redor do C ⇒ molécula polar

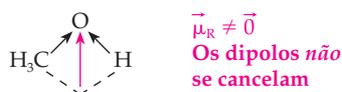
### 5.3 Polaridade de moléculas orgânicas

Como acabamos de mostrar, uma molécula pode ser polar ou apolar, dependendo de dois fatores: diferença de eletronegatividade e geometria molecular.

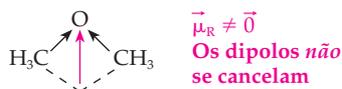
- **Diferença de eletronegatividade:** Quando átomos com diferentes eletronegatividades se unem por ligação covalente, os elétrons são efetivamente mais atraídos pelo mais eletronegativo deles. Isso dá origem a um **dipolo**, ou seja, dois polos: um positivo e outro negativo. Um dipolo é representado pelo vetor momento de dipolo ( $\vec{\mu}$ ).

- **Geometria da molécula:** Dependendo da geometria molecular, o vetor momento de dipolo **resultante** pode ser nulo ou não. Quando ele é nulo ( $\vec{\mu}_R = \vec{0}$ ) a molécula é **apolar**, caso contrário ( $\vec{\mu}_R \neq \vec{0}$ ) ela é **polar**.

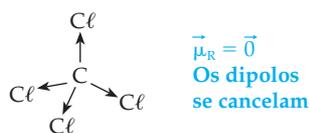
As previsões sobre a polaridade de moléculas orgânicas são feitas utilizando esses mesmos princípios. Veja exemplos:



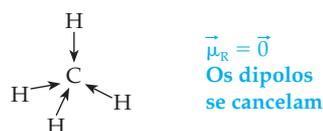
O metanol é **polar**.



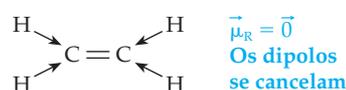
O éter dimetílico é **polar**.



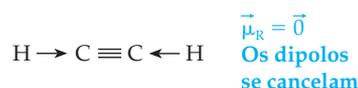
O tetracloreto de carbono é **apolar**.



O metano é **apolar**.



O etileno é **apolar**.



O acetileno é **apolar**.

Três dos exemplos são moléculas de hidrocarbonetos, em que  $\vec{\mu}_R = \vec{0}$ . Em hidrocarbonetos com moléculas maiores a análise torna-se mais complicada. **Medidas experimentais revelam que a maioria dos hidrocarbonetos é apolar ou apresenta baixa polaridade.** Gás de cozinha, benzina, gasolina, querosene, óleo *diesel*, óleo lubrificante e outras frações do petróleo são formados por moléculas de hidrocarbonetos. Assim, esses materiais são formados, de modo geral, por moléculas apolares ou de baixa polaridade.

**Óleos e gorduras, de origem animal ou vegetal** (cujas estruturas mostraremos no capítulo 10), também são formados por **moléculas com polaridade reduzida, praticamente nula.**

## Exercícios essenciais

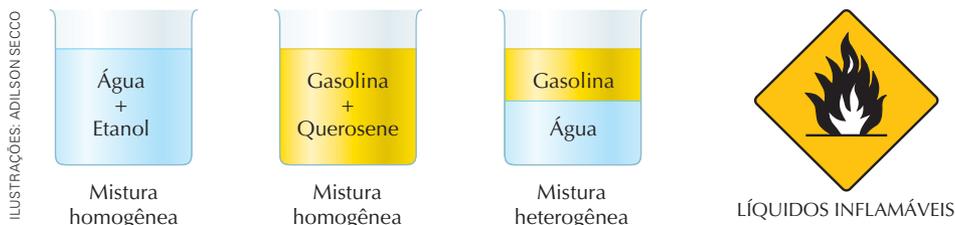
Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

20. Determine quais das moléculas cujas fórmulas aparecem a seguir são polares e quais são apolares:
- |                    |                      |                     |
|--------------------|----------------------|---------------------|
| a) HBr             | e) H <sub>2</sub> O  | i) CCl <sub>4</sub> |
| b) F <sub>2</sub>  | f) CO <sub>2</sub>   | j) H <sub>2</sub> S |
| c) CH <sub>4</sub> | g) CH <sub>2</sub> O | k) PCl <sub>3</sub> |
| d) NH <sub>3</sub> | h) SO <sub>2</sub>   | l) HCN              |
21. Apesar de a eletronegatividade do carbono ser 2,5 e a do flúor ser 4,0, a molécula de CF<sub>4</sub> é apolar. Explique por quê.
22. (PUC-MG) Relacione a fórmula, forma geométrica e polaridade a seguir, determinando a opção **correta**:
- |   |
|---|
| a) fórmula – CO <sub>2</sub> ; forma geométrica – linear; polaridade – polar;       |
| b) fórmula – CCl <sub>4</sub> ; forma geométrica – tetraédrica; polaridade – polar; |
| c) fórmula – NH <sub>3</sub> ; forma geométrica – piramidal; polaridade – apolar;   |
| d) fórmula – BeH <sub>2</sub> ; forma geométrica – linear; polaridade – apolar.     |
23. (UFMS-RS) Determine a alternativa que caracteriza, respectivamente, a polaridade das substâncias dióxido de carbono, metano e tetrafluormetano.
- |                             |
|-----------------------------|
| a) apolar – apolar – apolar |
| b) apolar – apolar – polar  |
| c) polar – apolar – polar   |
| d) polar – polar – polar    |
| e) apolar – polar – polar   |
24. (Uece) Dos compostos cujas fórmulas espaciais estão representadas, apenas um é apolar. Determine a alternativa que exibe a fórmula do referido composto.
- |    |    |    |    |
|----|----|----|----|
| a) | b) | c) | d) |
|----|----|----|----|

## 6 Polaridade e solubilidade

Leia o seguinte **relato** de fatos experimentais: foram colocados em três copos um pouco de água e etanol, gasolina e querosene, água e gasolina, respectivamente, e verificou-se que apenas nos dois primeiros casos os líquidos formam uma mistura homogênea.



Lembrando que água e etanol são polares e que gasolina e querosene são formados por uma mistura de hidrocarbonetos apolares, os resultados experimentais relatados acima permitem ilustrar uma tendência geral que se observa:

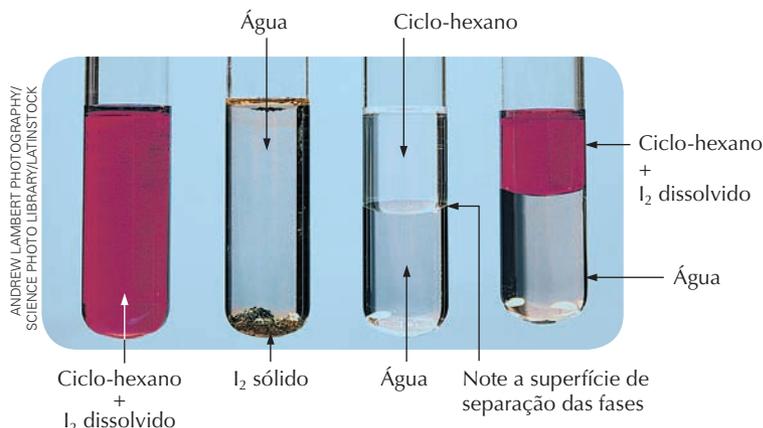
**Soluto polar** tende a se dissolver bem em solvente **polar**.  
**Soluto apolar** tende a se dissolver bem em solvente **apolar**.

Quando o solvente é polar e o soluto apolar ou vice-versa, não existe tendência para que haja solubilização. Isso explica, por exemplo, o fato de a gasolina não se dissolver bem em água.

Nas frases acima utilizamos a palavra “tende” justamente para enfatizar que se trata de uma **tendência**. A certeza só pode ser obtida, contudo, mediante a realização de experimentos. Apesar de a tendência apresentada ser bastante genérica e nem sempre válida, ela é bastante útil para fazer previsões.



▲ Nas três provetas, a fase superior é água ( $\text{H}_2\text{O}$ , polar) e a inferior é tetracloreto de carbono ( $\text{CCl}_4$ , apolar). Na proveta do centro foi adicionado sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ , composto iônico), que se dissolve preferencialmente na fase polar, dando-lhe a cor azul. Na proveta da direita foi colocado bromo ( $\text{Br}_2$ , apolar), que se dissolve preferencialmente na fase apolar, conferindo-lhe a cor alaranjada.



### • ATENÇÃO

Esses experimentos **NÃO** devem ser realizados pelo aluno.

O **tetracloreto de carbono** é uma substância tóxica cujo contato por inalação, ingestão ou cutâneo altera o sistema nervoso central e o sistema circulatório. Provoca danos no fígado, rins e pulmões.

O **bromo** é um líquido volátil, castanho-escuro, que provoca ulceração da córnea, queimaduras na pele, dor de cabeça, edema pulmonar e diarreia.

O **ciclo-hexano** é um líquido inflamável que provoca irritação nos olhos, pele, vias respiratórias e narcose.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO



Tetracloreto de carbono  
TÓXICO



Bromo  
TÓXICO



Ciclo-hexano  
TÓXICO



Ciclo-hexano  
LÍQUIDO INFLAMÁVEL

## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

### Exercício Resolvido

25. (UFRJ) A solubilidade dos compostos é um conhecimento muito importante em Química. Sabe-se que, de uma forma geral, substâncias polares dissolvem substâncias polares e substâncias apolares dissolvem substâncias apolares. Em um laboratório, massas iguais de tetracloreto de carbono, água e etanol foram colocadas em três recipientes idênticos, conforme se vê na figura a seguir.



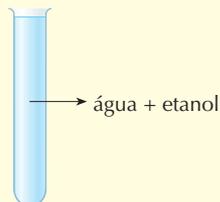
- a) Mostre, por meio de desenhos semelhantes ao apresentado, como fica a mistura de I e II, identificando cada substância, e como fica a mistura de II e III.
- b) A graxa lubrificante utilizada em automóveis é uma mistura de hidrocarbonetos pesados derivados de petróleo com aditivos diversos. Identifique qual, dentre os três solventes apresentados, é o mais adequado para remover uma mancha de graxa em uma camisa. Justifique sua resposta.

#### Resolução

- a)  $\text{CCl}_4$  (apolar) e  $\text{H}_2\text{O}$  (polar) formam sistema heterogêneo. O  $\text{CCl}_4$ , mais denso, constitui a fase inferior.



$\text{H}_2\text{O}$  (polar) e  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  (polar) são miscíveis em qualquer proporção.



- b) Os hidrocarbonetos que compõem a graxa são apolares. O solvente mais recomendado para removê-los é o que seja apolar; no caso, o  $\text{CCl}_4$ .

### Exercício Resolvido

26. A naftalina, um hidrocarboneto aromático, deve dissolver-se melhor em água ou em benzeno? Justifique.

#### Resolução

Por se tratar de uma substância apolar, espera-se que a naftalina se dissolva melhor em benzeno, que também é apolar.

### Exercício Resolvido

27. Um tecido de valor histórico apresenta uma mancha de gordura. Para removê-la em laboratório, um restaurador deve usar benzina ou álcool etílico?

#### Resolução

A gordura é apolar. Para removê-la é mais eficiente um solvente apolar que, no caso, é a benzina (mistura de hidrocarbonetos).

28. O álcool etílico,  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ , substância polar, deve dissolver-se melhor em gasolina ou em acetona? Justifique.
29. Um tecido de valor histórico está manchado com iodo ( $\text{I}_2$ ), que tem coloração escura. Para remover essa mancha em laboratório é melhor um restaurador usar água ou tetracloreto de carbono? Por quê?
30. (Fesp-PE) Seja um sistema constituído por água e óleo; essas duas substâncias são imiscíveis porque:
- as moléculas de água e óleo são heterogêneas.
  - a água é polar e o óleo é apolar.
  - a água é mais densa que o óleo.
  - a água é hidrofílica e o óleo hidrofóbico.
  - água e óleo constituem um sistema bifásico.
31. (Ufac) A mistura de água e álcool etílico é:
- homogênea gasosa.
  - heterogênea líquida.
  - homogênea líquida.
  - heterogênea sólida-líquida.
  - simples.

### Exercício Resolvido

32. Três frascos não rotulados contêm água, benzina e acetona, todos líquidos incolores. Atento à recomendação de não cheirar os líquidos, um químico, a fim de descobrir o conteúdo de cada frasco, chamou-os de líquidos A, B e C. Verificou que:
- A e B são combustíveis;
  - A e C são miscíveis;
  - B e C não são miscíveis.
- Quais são os líquidos A, B e C? Justifique.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

**Resolução**

Como a água não é combustível, **C é água**. Já que a acetona é polar, ela deve dissolver-se em água, diferentemente da benzina, que é apolar. Portanto, **A é acetona e B é benzina**.

- 33.** (FUC-MT) O benzeno é geralmente usado como solvente de compostos orgânicos, enquanto a água é usada geralmente como solvente de compostos inorgânicos por apresentarem, respectivamente:
- molécula polar e molécula apolar.
  - molécula apolar e molécula polar.
  - molécula polar e ligação polar.
  - molécula apolar e ligação apolar.
  - ligação polar e ligação apolar.
- 34.** (Estácio-RJ) A solubilidade dos compostos é um conhecimento muito importante em Química. Se um laboratório tivesse as seguintes substâncias:
- água
  - tetracloroeto de carbono
  - solução de NaCl
  - metanol
  - propilamina
- O solvente ideal para limpar a graxa lubrificante utilizada em automóveis deve ser:
- I
  - II
  - III
  - IV
  - V
- 35.** (UFU-MG) Nas condições ambientes a substância líquida, volátil, combustível, que dissolve bem a parafina, imiscível com a água, deve ser:
- etano.
  - heptano.
  - etanol.
  - $C_{60}H_{122}$ .
  - metanol.
- 36.** (Fuvest-SP) Qual dos compostos forma um sistema homogêneo quando misturado com igual massa de água?
- Benzeno.
  - Celulose.
  - Metanol.
  - Octano.
  - Tetracloroeto de carbono.
- 37.** (Fuvest-SP) Justifique as seguintes constatações experimentais:
- Ao tampar um copo, em cujo interior existe uma vela acesa, esta logo se apaga.
  - É possível remover mancha de gordura, em tecido, com benzina (éter de petróleo) e não com água.
- 38.** (PUC-MG) Determine o par de solventes que não são miscíveis entre si.
- água/metanol
  - hexano/pentano
  - água/heptano
  - clorofórmio/diclorometano

- 39.** (UFG-GO) Nos últimos tempos, são frequentes, em jornais e revistas, imagens que mostram imensas manchas de óleo flutuando em rios e no mar, provenientes de vazamentos de petróleo. Julgue as afirmações em verdadeiras ou falsas. O petróleo
- é insolúvel em água por ser constituído, principalmente, por substâncias polares.
  - é uma mistura de carboidratos e proteínas.
  - é uma mistura com densidade maior que a da água.
  - e a água não se misturam porque estão em estados físicos diferentes.
- 40.** (UnB-DF) Ao estudar alguns aspectos da ciência e da tecnologia dos alimentos, em especial a dissolução, um estudante, trabalhando em laboratório com quatro amostras de substâncias sólidas, obteve os resultados apresentados na tabela seguinte:

Solvente	Substância			
	I	II	III	IV
água	solúvel	solúvel	insolúvel	solúvel
óleo	pouco solúvel	pouco solúvel	solúvel	pouco solúvel

A partir da análise dos dados contidos na tabela, julgue os itens a seguir em certos ou errados.

- As substâncias **I**, **II** e **IV** são polares.
  - A propriedade analisada pelo estudante é independente da temperatura do sistema.
  - A separação da substância **II** do material obtido com o solvente água pode ser realizada por destilação; a da substância **III**, por filtração.
  - Os resultados obtidos pelo estudante demonstram que **I** e **IV** correspondem a uma mesma substância.
- 41.** (UFMG) O rótulo de um aerossol comercial para lubrificação e remoção de ferrugem contém estas informações:

**Composição:** óleos parafínicos (compostos de fórmula  $C_nH_{2n+2}$ ) dissolvidos em hidrocarbonetos alifáticos; mistura de propano e butano, usada como gás propelente.

Informações úteis:

- Produto inofensivo para a camada de ozônio.
- Evite perfurar a lata, mesmo quando vazia.
- Evite usar perto de fogo.
- Lave as mãos, com água e sabão, após usar este produto.

Considerando-se essas informações, é **INCORRETO** afirmar que o aerossol:

- contém gases em alta pressão.
- contém substâncias inflamáveis.
- contém substâncias solúveis em água.
- não contém clorofluorocarbonos.

## 7 Tamanho da cadeia e solubilidade

Observe os dados de solubilidade de álcoois em água mostrados na tabela 3.

Álcool	Solubilidade em água (g/100 g de H <sub>2</sub> O)
CH <sub>3</sub> OH	ilimitada
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	ilimitada
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	ilimitada
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	8,0
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	2,2
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	0,6

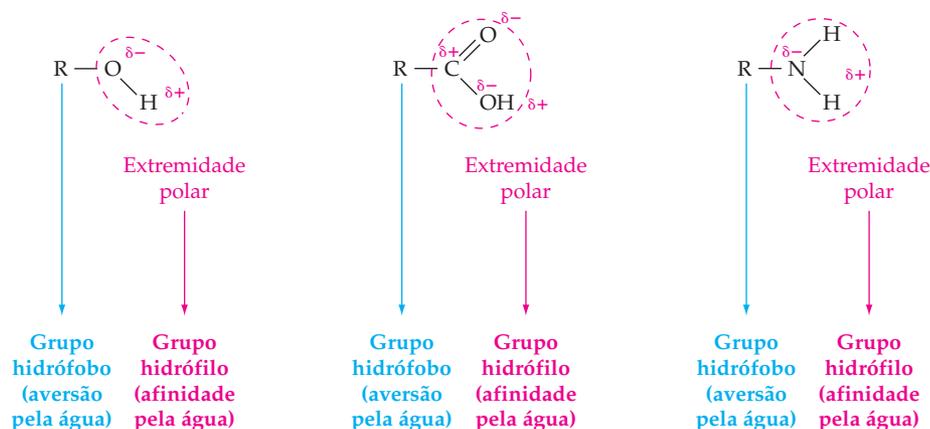
Fonte: Tabela elaborada a partir de dados de LIDE, D. R. (Ed.) *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 84. ed. Boca Raton: CRC Press, 2003. p. 8-93 ss.

Como vemos, a solubilidade diminui com o aumento da cadeia. A extremidade OH dos álcoois é polar e isso faz com que o metanol, por exemplo, seja solúvel na água, que também é polar. O mesmo acontece com etanol e propan-1-ol.

No entanto, excluindo o OH, o restante da molécula é formado por carbono e hidrogênio, assemelhando-se a um hidrocarboneto apolar. O aumento do número de carbonos faz com que o caráter apolar da cadeia passe a predominar cada vez mais sobre o caráter polar da extremidade OH, e a solubilidade diminui.

Generalizando, podemos dizer que **a cadeia carbônica de uma molécula, formada por carbono e hidrogênio, não possui afinidade pela água**, pois é a parte apolar da molécula. Quanto maior for essa parte apolar, menor a tendência de uma substância dissolver-se em água. **Grupos polares, como, por exemplo, —OH, —NH<sub>2</sub> e —COOH, possuem afinidade pela água**. Sua presença contribui para que o composto se solubilize bem em água.

As partes apolares de uma molécula são denominadas **grupos hidrófobos**. Sua presença contribui para que o composto não se dissolva bem em água. As partes polares de uma molécula são chamadas de **grupos hidrófilos**. Quanto maior o número de grupos hidrófilos, maior será a tendência de a substância se solubilizar em água.



## VITAMINAS HIROSSOLÚVEIS E VITAMINAS LIPOSSOLÚVEIS



MAXIMILIAN STOCK/FOODPIX/OTHER IMAGES

### • ATENÇÃO

Não consuma suplementos vitamínicos sem orientação médica.

Esse consumo é arriscado, pois pode prejudicar a saúde.

◀ A melhor maneira de garantir a ingestão de quantidades adequadas de vitamina é por intermédio de uma dieta alimentar equilibrada.

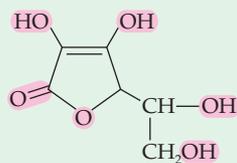
Vitaminas são substâncias nutrientes, indispensáveis à nossa dieta alimentar, que atuam na regulação de muitos processos vitais. Há, fundamentalmente, dois tipos de vitamina, as hidrossolúveis e as lipossolúveis.

- **Vitaminas hidrossolúveis** (*hidro* = água) são aquelas que se dissolvem bem em água, mas não em óleos e gorduras. Exemplos são as vitaminas do complexo B e a vitamina C.
- **Vitaminas lipossolúveis** (*lipo* = gordura) são aquelas que se dissolvem bem em óleos e gorduras, mas não em água. Exemplos são as vitaminas A, D, E e K.

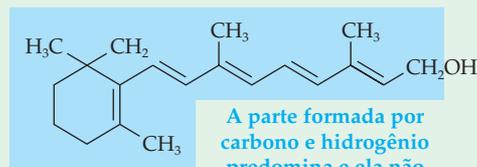
O que determina se uma vitamina é de um tipo ou de outro é a sua estrutura molecular. A presença de vários grupos hidrófilos tende a fazer com que uma vitamina seja altamente solúvel em água, ou seja, hidrossolúvel. É o caso da vitamina C, cuja estrutura aparece a seguir.

Por outro lado, a ausência de grupos hidrófilos faz com que haja predomínio da parte hidrocarbônica, apolar, tornando a solubilidade em água da vitamina muito reduzida. Como exemplo, podemos citar a vitamina A, cuja estrutura também aparece a seguir.

A presença de vários grupos hidrófilos garante que ela seja muito solúvel em água.



vitamina C (hidrossolúvel)



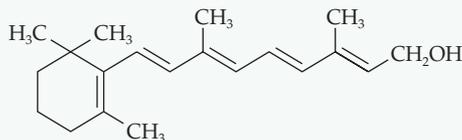
A parte formada por carbono e hidrogênio predomina e ela não se dissolve bem em água.

vitamina A (lipossolúvel)

Se ingeridas em excesso, as vitaminas hidrossolúveis são eliminadas pela urina. Como elas se dissolvem bem em água, encontram-se dissolvidas no sangue e, nos rins, passam para a urina.

As lipossolúveis, por outro lado, não se dissolvem bem em água e não são facilmente excretadas ao urinar. Elas se acumulam na parte gordurosa do organismo, podendo causar hipervitaminose. O excesso de vitamina A, por exemplo, provoca uma hipervitaminose caracterizada por danos ao fígado, rins e ossos.

### Vitaminas lipossolúveis (solúveis em gorduras)\*

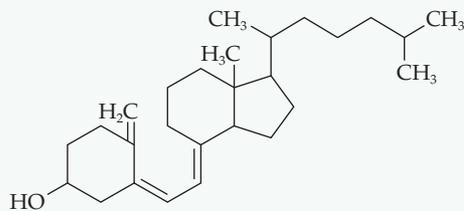


#### Vitamina A (800 µg)\*\*

Fonte: fígado, manteiga, gema de ovo, cenoura, espinafre, batata-doce. Sua ausência na dieta pode causar cegueira noturna e problemas na pele e na córnea.

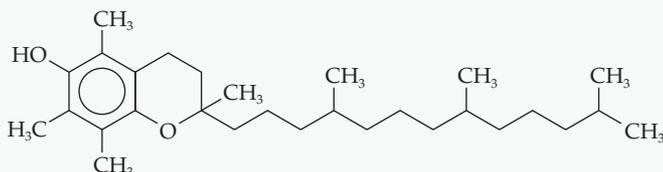
\* Fonte dos dados sobre as vitaminas: BETTELHEIM, F. A. et al. *Introduction to General, Organic & Biochemistry*. 7. ed. Belmont: Brooks/Cole, 2004. p. 712-714.

\*\* Dose diária recomendada.



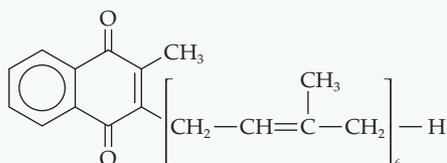
### Vitamina D (5 a 10 µg + exposição ao sol)

Fonte: ovos, queijo, leite, sardinha, salmão, óleo de fígado de bacalhau. Sua falta provoca raquitismo em crianças e fragilidade óssea em adultos.



### Vitamina E (8 a 10 mg)

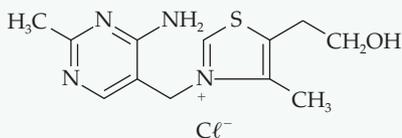
Fonte: espinafre, batata, castanha e óleos vegetais. Atua como antioxidante no organismo. Uma dieta pobre em vitamina E pode acarretar anemia.



### Vitamina K (65 a 80 µg)

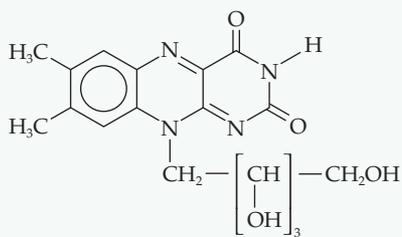
Fonte: fígado, couve-flor, espinafre, batata. Atua na coagulação sanguínea. Sua deficiência pode provocar sérias hemorragias.

## Vitaminas hidrossolúveis (solúveis em água)



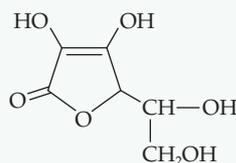
### Vitamina B<sub>1</sub>\* (1,1 mg)

Fonte: cereais, feijão, soja, presunto, fígado. Quando ausente, pode causar beribéri, enfermidade caracterizada por anemia e dores nos nervos.



### Vitamina B<sub>2</sub>\* (1,4 mg)

Fonte: feijão, amêndoa, cogumelos, fígado, rim. Sua falta provoca dermatite (inflamação na pele) e quilose, lesão caracterizada por fissuras e descamação nos lábios.



### Vitamina C (60 mg)

Fonte: frutas cítricas, morango, amora, framboesa, brócolis, tomate, repolho, pimenta. Participa na formação dos ossos e da pele. Atua como antioxidante. Sua carência ocasiona a doença conhecida como escorbuto.

\* Há várias outras vitaminas que fazem parte do complexo B. Apenas duas estão mostradas aqui.

## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

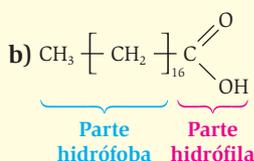
## Exercício Resolvido

42. Responda, com base nos dados da tabela abaixo.
- Explique por que a solubilidade diminui de cima para baixo.
  - Represente a fórmula estrutural do ácido esteárico e indique nela a parte hidrófila e a parte hidrófoba.

Nome do composto	Fórmula	Solubilidade em água (g/100 g de H <sub>2</sub> O)
ácido caproico	CH <sub>3</sub> [CH <sub>2</sub> ] <sub>4</sub> CO <sub>2</sub> H	0,967
ácido caprílico	CH <sub>3</sub> [CH <sub>2</sub> ] <sub>6</sub> CO <sub>2</sub> H	0,080
ácido cáprico	CH <sub>3</sub> [CH <sub>2</sub> ] <sub>8</sub> CO <sub>2</sub> H	0,015
ácido láurico	CH <sub>3</sub> [CH <sub>2</sub> ] <sub>10</sub> CO <sub>2</sub> H	0,0055
ácido mirístico	CH <sub>3</sub> [CH <sub>2</sub> ] <sub>12</sub> CO <sub>2</sub> H	0,0020
ácido palmítico	CH <sub>3</sub> [CH <sub>2</sub> ] <sub>14</sub> CO <sub>2</sub> H	0,00072
ácido esteárico	CH <sub>3</sub> [CH <sub>2</sub> ] <sub>16</sub> CO <sub>2</sub> H	0,00029

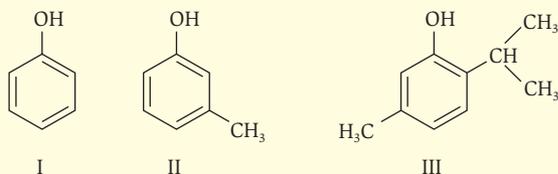
## Resolução

- A solubilidade diminui à medida que a cadeia carbônica aumenta, pois ela é hidrófoba.



## Exercício Resolvido

43. (UFC-CE) A atividade bactericida de determinados compostos fenólicos deve-se, em parte, à atuação desses compostos como detergentes, que solubilizam e destroem a membrana celular fosfolipídica das bactérias. Quanto menor for a solubilidade dos compostos fenólicos em água, maior será a ação antisséptica.

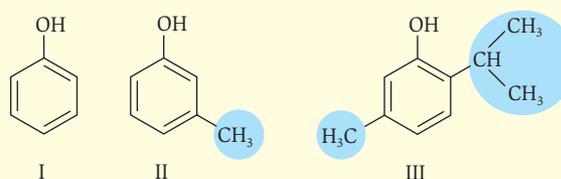


Com relação às solubilidades dos compostos fenólicos I, II e III, em água, determine a opção correta.

- I é mais solúvel que II e II mais solúvel que III
- I é menos solúvel que II e II menos solúvel que III
- II é menos solúvel que I e I menos solúvel que III

- II é mais solúvel que I e I mais solúvel que III
- I, II e III têm, individualmente, a mesma solubilidade

## Resolução



Aumenta a presença de grupos hidrófobos (no caso, metil e isopropil)

Diminui solubilidade em água

Alternativa a.

44. (Unirio-RJ) Em condições ambientes, os álcoois de menor peso molecular são líquidos, facilitando a sua dissolução na água. Em relação aos álcoois indicados abaixo, aquele que apresenta a maior solubilidade em água é o:
- pentanol.
  - octanol.
  - isobutanol.
  - metanol.
  - n-butanol.
45. (Cesgranrio-RJ) Determina-se experimentalmente que, num álcool R—OH, a solubilidade em água varia inversamente com o tamanho de R. Esse fato se deve:
- somente às propriedades hidrófilas do radical hidroxila.
  - às propriedades hidrófobas de R, qualquer que seja seu tamanho.
  - às propriedades hidrófobas de R, qualquer que seja seu tamanho.
  - ao aumento de R corresponder ao aumento da parte apolar hidrofóbica.
  - à diminuição de R corresponder a uma diminuição na polaridade da molécula.
46. Explique a variação da solubilidade em água dos aldeídos da tabela.

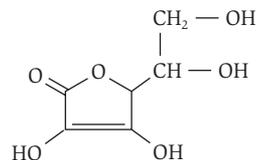
Aldeído	Solubilidade em água (g/100 g de H <sub>2</sub> O)
metanal	ilimitada
etanal	ilimitada
propanal	16
butanal	7

47. Um químico tem em seu laboratório três sólidos brancos, A, B e C, de odor desagradável, que ele sabe se tratar dos ácidos hexanoico, pentanoico e butanoico, porém não sabe qual é qual. Para identificá-los, determinou as solubilidades em água que aparecem na tabela. Identifique A, B e C.

Substância	Solubilidade em água (g/100 g de H <sub>2</sub> O)
A	ilimitada
B	2,6
C	1,0

48. (UFMS-RS) O petróleo é fundamental ao conforto da nossa sociedade de consumo. Entretanto, em bombásticas notícias sobre derramamentos em mares e oceanos, torna-se vilão terrível. O petróleo bruto não é miscível com a água, pois seus constituintes:
- são formados principalmente por átomos de carbono e hidrogênio em moléculas apolares.
  - possuem muitos grupos funcionais capazes de formar ligações de hidrogênio com a água.
  - formam substâncias iônicas contendo átomos de C, O e H.
  - possuem muitos grupos funcionais hidrofílicos.
  - são formados por átomos de carbono, hidrogênio e nitrogênio com muitas ligações peptídicas.

49. (PUC-RS) Considere a vitamina C, de fórmula



que, no organismo humano, atua como antioxidante. Essa vitamina apresenta:

- fórmula molecular C<sub>7</sub>H<sub>7</sub>O<sub>5</sub>.
  - cadeia carbônica saturada.
  - grupo funcional carboxila.
  - grupos hidrofílicos.
  - pouca solubilidade em água.
50. Estabeleça, no seu caderno, a correspondência entre as duas colunas:

Composto	Solubilidade em água (g/100 g de H <sub>2</sub> O)
I. butanona	a) ilimitada
II. hexan-2-ona	b) 26
III. pentan-2-ona	c) 6,3
IV. propanona	d) 2,0

## Exercícios adicionais

Resolva em seu caderno

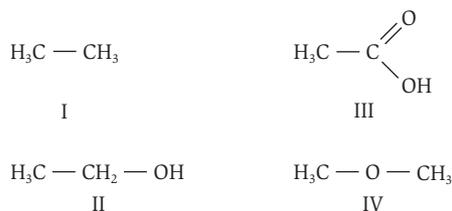
Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

51. (UFMG) Para limpar-se um tecido sujo de graxa, recomenda-se usar:
- gasolina.
  - vinagre.
  - etanol.
  - água.
52. (Mackenzie-SP) Uma mistura, após ser agitada, foi colocada em um funil de decantação, conforme o esquema ao lado. Se uma das fases for a água, a outra pode ser:
- etanol.
  - petróleo.
  - vinagre.
  - uma solução concentrada de cloreto de sódio.
  - uma solução diluída de ácido clorídrico.
53. (Unicamp-SP) A gasolina comercializada nos postos de serviço contém um teor padrão de álcool de 22% (volume/volume), permitido por lei. O teste utilizado para verificar esse teor é feito da seguinte maneira: a uma proveta de 100 cm<sup>3</sup> adicionam-se 50 cm<sup>3</sup> de gasolina, 50 cm<sup>3</sup> de água e agita-se. Formam-se duas fases distintas, ou seja, uma fase superior de gasolina e uma fase inferior de água mais álcool.



- Qual é o volume de cada uma dessas fases?
  - Como esse teste indica se a gasolina vendida em um determinado posto contém mais álcool que o permitido?
54. (PUC-Campinas-SP) Das seguintes substâncias orgânicas, qual é a mais solúvel em água?
- Benzeno.
  - Naftaleno.
  - Hexano.
  - Éter metílico e *sec*-butílico.
  - Etanol.
55. (Vunesp-modificado) Se uma solução que contém iodo manchar uma camiseta branca de algodão, um procedimento para retirar a mancha de iodo consiste, antes da lavagem, em aplicar sobre o local da mancha:
- removedor constituído de solvente apolar.
  - vinagre ou suco de limão.
  - talco (silicato de magnésio).
  - farinha de trigo ou amido.
  - água ou álcool.
56. (UFPA) É mais solúvel em água:
- CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>
  - CH<sub>2</sub>=CHCH<sub>3</sub>
  - CH<sub>3</sub>OCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>
  - CH<sub>2</sub>=C=CH<sub>2</sub>
  - CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OH

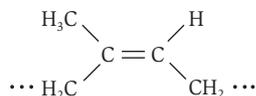
57. (Fuvest-SP) Examinando as fórmulas



podemos prever que são mais solúveis em água os compostos representados por:

- a) I e IV.            c) II e III.            e) III e IV.  
b) I e III.            d) II e IV.

58. (UFC-CE) Estudos recentes têm indicado que o uso inapropriado de lubrificantes ordinários, normalmente encontrados em farmácias e drogarias, tais como loções oleosas e cremes, que contêm vaselina, óleo mineral ou outros derivados de petróleo, acarretam danificações nos preservativos masculinos (camisinhãs), os quais são feitos, geralmente, de um material denominado látex (poli-1,4-isopreno), cujo momento dipolar é aproximadamente igual a zero ( $\mu \approx 0$ ), e cuja estrutura da unidade monomérica é dada a seguir:

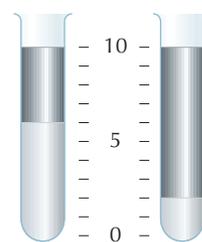


Tais danificações, geralmente, constituem-se de microcorrupsões das camisinhãs, imperceptíveis a olho nu, que permitem o fluxo de esperma através delas, acarretando gravidez indesejável ou a transmissão de doenças sexualmente transmissíveis, particularmente a AIDS.

Determine a alternativa correta.

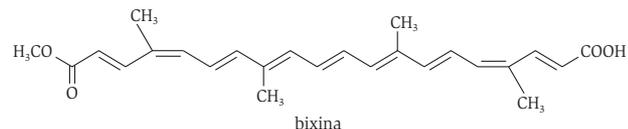
- a) Substâncias apolares seriam mais adequadas como lubrificantes dos preservativos.  
b) Óleos lubrificantes bastante solúveis em tetracloreto de carbono ( $\text{CCl}_4$ ), geralmente, não interagem com o látex.  
c) Os óleos que provocam danificações nos preservativos são, geralmente, de natureza bastante polar.  
d) Substâncias, cujas forças intermoleculares se assemelham às presentes no látex, seriam mais adequadas como lubrificantes dos preservativos.  
e) Substâncias com elevados valores de momento de dipolo seriam mais adequadas como lubrificantes dos preservativos.
59. (Unicamp-SP) As “margarinas”, muito usadas como substitutos da manteiga, contêm gorduras vegetais hidrogenadas. A diferença fundamental entre uma margarina “light” e outra “normal” está no conteúdo de gordura e de água. Colocou-se em um tubo de ensaio uma certa quantidade de margarina “normal” e, num outro tubo de ensaio, idêntico ao primeiro, colocou-se a mesma quantidade de margarina “light”.

Aqueceram-se em banho-maria os dois tubos contendo as margarinas até que aparecessem duas fases, como esquematizado na figura.



ADILSON SECCO

- a) Reproduza, na resposta, a figura do tubo correspondente à margarina “light”, identificando as fases lipídica e aquosa.  
b) Admitindo que as duas margarinas tenham o mesmo preço e considerando que este preço diz respeito, apenas, ao teor da gordura de cada uma, em qual delas a gordura custa mais e quantas vezes (multiplicação) este preço é maior do que na outra?
60. (Unirio-RJ) Os índios Tamoios que habitavam a Capitania de São Vicente, mais tarde Capitania do Rio de Janeiro, já usavam o pigmento do urucum na pele, como ornamento e como proteção contra picadas de insetos ou ainda contra queimaduras por exposição ao Sol. Apesar desse antigo conhecimento, atualmente, o urucum é material patenteado por uma companhia cosmética francesa, que detém os direitos de comercialização do pigmento. Na medida em que a bixina é o principal constituinte da parte corante do urucum, responda:



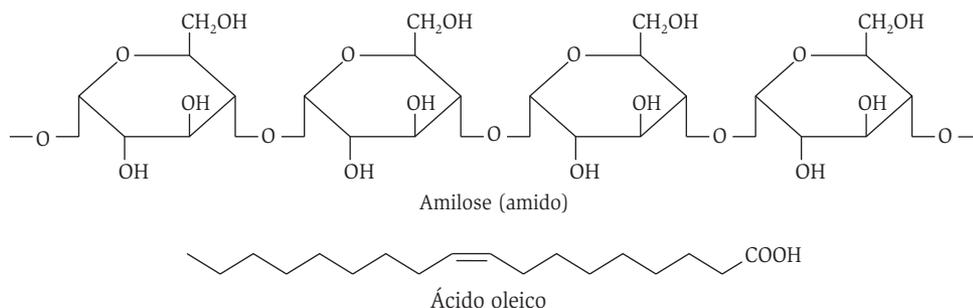
Qual dos solventes extrai melhor a bixina do urucum, água ou clorofórmio? Por quê?

61. A tabela mostra a solubilidade do cloreto de sódio em alguns solventes.

Fórmula do solvente	Solubilidade no NaCl (g/100 g de solvente)
$\text{H}_2\text{O}$	35,92
$\text{CH}_3\text{OH}$	1,40
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	0,065
$\text{CH}_3[\text{CH}_2]_2\text{OH}$	0,012
$\text{CH}_3[\text{CH}_2]_3\text{OH}$	0,005
$\text{CH}_3[\text{CH}_2]_4\text{OH}$	0,0018

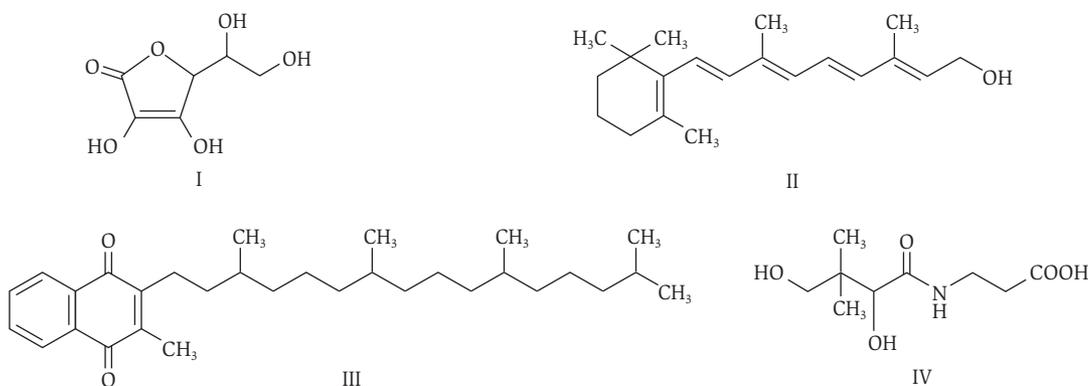
- a) Dê o nome de cada um dos solventes que aparecem na tabela.  
b) Lembrando que o NaCl é um composto iônico, explique por que ele é mais solúvel em água do que nos demais solventes.

62. (Unimontes-MG) As estruturas a seguir representam macromoléculas orgânicas que podem formar coloides — dispersões de partículas com diâmetro entre 1 nm e 100 nm em um solvente — por exemplo, um pudim constituído de partículas de amido dispersas em água ou partículas de ácido oleico dispersas em água.



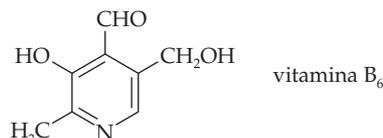
De acordo com essas estruturas, é **correto** afirmar que:

- a) as moléculas de ácido oleico e de água são incapazes de estabelecer ligação de hidrogênio.  
 b) a consistência do pudim é resultado da ligação covalente entre as moléculas de amido e de água.  
 c) a molécula do amido contém grupos polares capazes de reter muitas moléculas de água.  
 d) a total solubilização do ácido oleico em água deve-se às fortes interações entre suas partículas.
63. (Fuvest-SP) Alguns alimentos são enriquecidos pela adição de vitaminas, que podem ser solúveis em gordura ou em água. As vitaminas solúveis em gordura possuem uma estrutura molecular com poucos átomos de oxigênio, semelhante à de um hidrocarboneto de longa cadeia, predominando o caráter apolar. Já as vitaminas solúveis em água têm estrutura com alta proporção de átomos eletronegativos, como o oxigênio e o nitrogênio, que promovem forte interação com a água. A seguir estão representadas quatro vitaminas:



Dentre elas, é adequado adicionar, respectivamente, a sucos de frutas puros e a margarinas, as seguintes:

- a) I e IV      b) II e III      c) III e IV      d) III e I      e) IV e II
64. A vitamina B<sub>6</sub>, cuja fórmula estrutural é dada a seguir, é encontrada em carne, peixe, aveia, castanha, germe de trigo e batata. Sua ausência pode provocar convulsões e anemia crônica. Observe a sua estrutura e responda: a vitamina B<sub>6</sub> deve ser hidrossolúvel ou lipossolúvel? Justifique.



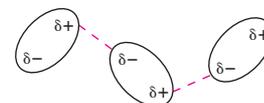
65. (Vunesp-adaptada) Consulte as fórmulas necessárias no texto do livro para responder às perguntas:
- a) Comprimidos de vitamina D e C foram triturados e misturados. O que você faria para separá-los? Justifique sua resposta baseando-se nas estruturas das vitaminas.  
 b) Indique as funções orgânicas presentes nas vitaminas A e E.

## 8 Ligações intermoleculares

O que mantém as moléculas unidas nos estados sólido e líquido são as chamadas **ligações** ou **forças** ou **interações intermoleculares**. São fundamentalmente de três tipos: **interações dipolo permanente-dipolo permanente**, **ligações de hidrogênio** e **interações dipolo instantâneo-dipolo induzido**.

### 8.1 Interações dipolo permanente-dipolo permanente

Considere uma molécula de  $HCl$ . Devido à diferença de eletronegatividade entre  $H$  e  $Cl$ , essa molécula é polar. Sua extremidade negativa atrai a extremidade positiva de outra molécula vizinha, o mesmo ocorrendo com sua parte positiva, que interage atrativamente com a parte negativa de outra molécula vizinha. Essa força de atração entre os dipolos das moléculas é chamada de **interação dipolo-dipolo**, **interação dipolo permanente-dipolo permanente** ou, ainda, **interação dipolar**.



▲ Representação esquemática (em tracejado) das interações dipolo-dipolo, que unem as moléculas de uma substância polar.

Como exemplos de substâncias orgânicas que apresentam esse tipo de forças intermoleculares podemos citar o metanal, a acetona, o cloro-metano e o éter dimetílico.

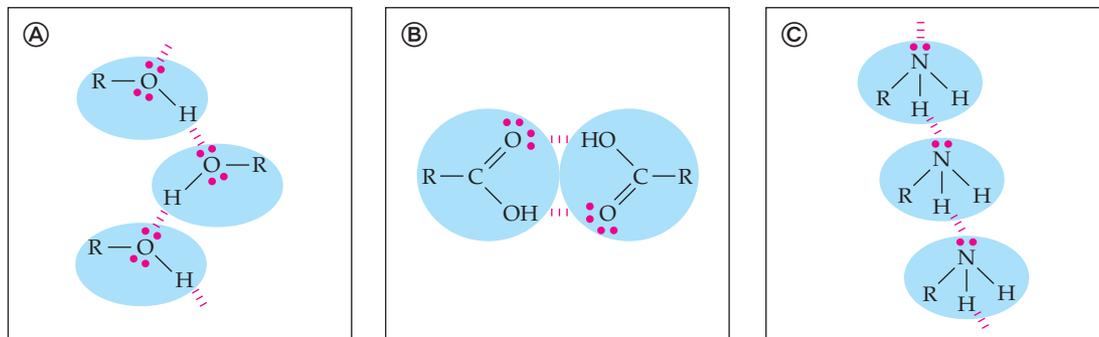
### 8.2 Ligações de hidrogênio

Quando, em uma molécula, tivermos o hidrogênio ligado a um átomo pequeno e muito eletronegativo ( $F$ ,  $O$ ,  $N$ ), haverá uma grande polarização dessa ligação, o que produzirá no hidrogênio um intenso polo positivo.

Essa polarização leva o hidrogênio a interagir com o par de elétrons de outra molécula vizinha, resultando numa interação relativamente intensa entre as moléculas, chamada de **ligação de hidrogênio** (ou, segundo alguns autores, **ponte de hidrogênio**). Trata-se de uma interação mais forte do que as do tipo dipolo-dipolo. Na água ( $H_2O$ ), no fluoreto de hidrogênio ( $HF$ ) e na amônia ( $NH_3$ ), líquidos ou sólidos, são essas forças que mantêm as moléculas unidas.

**Ligações de hidrogênio** são interações que ocorrem tipicamente entre moléculas que apresentam átomo de  $H$  ligado a  $F$ ,  $O$  ou  $N$ .

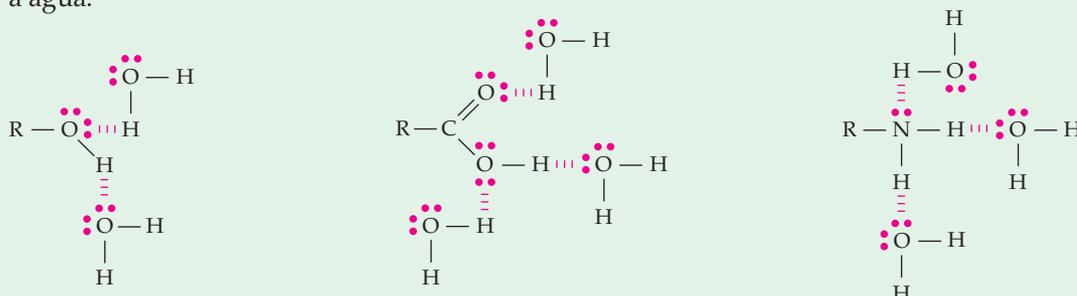
Na Química Orgânica, podemos destacar os álcoois, os ácidos carboxílicos, as aminas primárias e secundárias (que possuem  $H$  ligado ao  $N$ ) e as amidas que tenham  $H$  ligado ao  $N$  como exemplos importantes de substâncias cujas moléculas fazem ligações de hidrogênio.



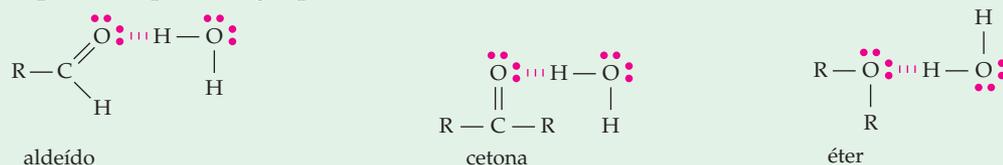
▲ Representação esquemática (traços em magenta) das ligações de hidrogênio: (A) num álcool; (B) num ácido carboxílico; e (C) numa amina primária.

## LIGAÇÕES DE HIDROGÊNIO E FORMAÇÃO DE SOLUÇÕES AQUOSAS

A presença em uma molécula de grupos como  $\text{—OH}$ ,  $\text{—COOH}$  e  $\text{—NH}_2$  favorece a solubilização da substância em água devido ao estabelecimento de ligações de hidrogênio com a água.



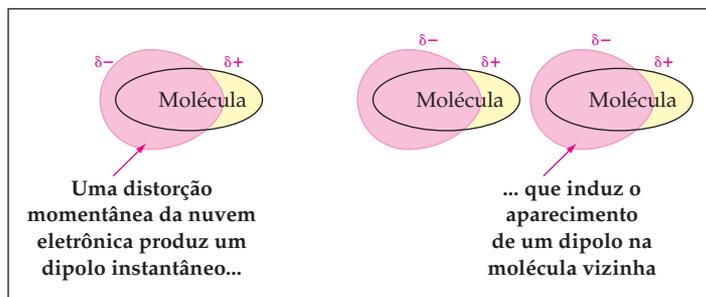
Há alguns grupos funcionais que não possibilitam à substância estabelecer ligações de hidrogênio quando pura. Porém, tais grupos permitem o estabelecimento de ligações de hidrogênio com a água, o que favorece a dissolução da substância nesse solvente. É o caso, por exemplo, dos grupos funcionais aldeído, cetona e éter.



### 8.3 Interações dipolo instantâneo-dipolo induzido

Considere uma molécula apolar. Ela possui uma nuvem de elétrons em contínuo movimento. Se, durante uma pequena fração de segundo, essa nuvem eletrônica estiver um pouco mais deslocada para um dos extremos de molécula, poderemos dizer que foi criado um **dipolo instantâneo**, ou seja, por um instante apareceram dois polos na molécula.

A extremidade positiva desse dipolo atrai os elétrons da molécula vizinha, na qual, por sua vez, também aparece um dipolo, chamado de **dipolo induzido**, isto é, provocado pela primeira molécula. Esses dois dipolos, o instantâneo e o induzido, se atraem como no caso dos dipolos permanentes. A diferença é que essa situação dura apenas uma fração de segundo. As atrações desse tipo são mais fracas do que entre dipolos permanentes.



▲ Esquema mostrando a origem das interações intermoleculares do tipo dipolo instantâneo-dipolo induzido.

Exemplos importantes de substâncias orgânicas cujas moléculas se mantêm unidas exclusivamente por esse tipo de força intermolecular são os **hidrocarbonetos** (lembre-se de que entre eles estão os derivados diretos do petróleo), os **óleos** e as **gorduras**.

As **interações dipolo instantâneo-dipolo induzido** são conhecidas também como **forças dipolo induzido-dipolo induzido** ou também **forças de dispersão de London**, em homenagem ao físico Fritz Wolfgang London (1900-1954).

Na verdade, elas ocorrem em **todas** as substâncias, polares ou apolares. Apesar de fracas, são o único tipo de interação intermolecular que ocorre entre as moléculas das substâncias apolares. Alguns autores chamam essas interações de **forças de van der Waals**. Contudo, outros autores usam a expressão **forças de van der Waals** como sinônimo das forças intermoleculares de modo geral.

Dipolo instantâneo-  
-dipolo induzidoDipolo permanente-  
-dipolo permanenteLigações de  
hidrogênio

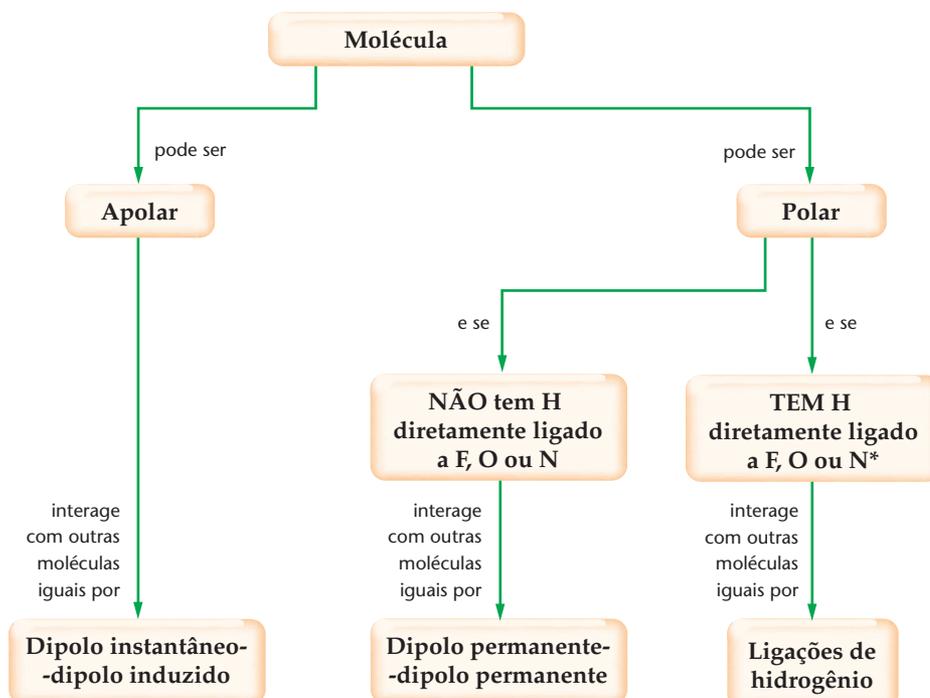
Aumenta a intensidade das forças intermoleculares



As moléculas de água líquida se mantêm unidas por ligações de hidrogênio.



Óleos e gorduras são substâncias formadas por moléculas apolares. O que as mantém unidas são fundamentalmente as interações do tipo dipolo instantâneo-dipolo induzido.

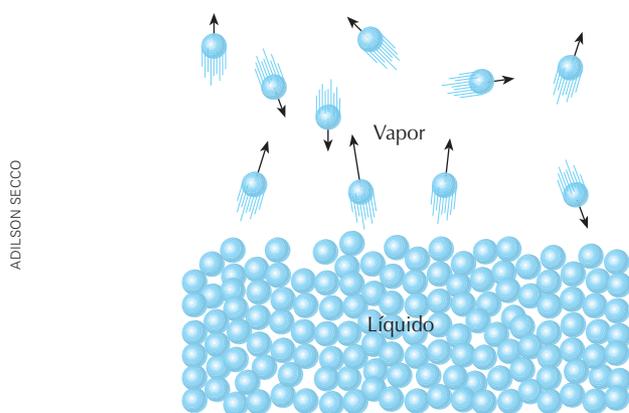


\* Há alguns casos de moléculas **apolares** que apresentam H ligado a O ou N e que, portanto, estabelecem ligações de hidrogênio. Um exemplo é:



## 8.4 Forças intermoleculares e ebulição

Quando uma substância molecular passa do estado líquido (ou sólido) para o estado gasoso ocorre o rompimento de ligações intermoleculares.



◀ Representação esquemática da passagem das moléculas da fase líquida para a fase de vapor. **É importantíssimo notar que as moléculas não são quebradas nem destruídas nesse processo. Elas apenas são separadas umas das outras.** Em outras palavras, são rompidas as ligações entre as moléculas. (Moléculas representadas por esferas em cor fantasiosa.)

Por exemplo, quando o HF sofre vaporização, rompem-se ligações de hidrogênio. Quando HCl, HBr ou HI (polares) sofrem vaporização, quebram-se interações dipolo-dipolo. E quando F<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, Br<sub>2</sub> ou I<sub>2</sub> (apolares) sofrem vaporização, rompem-se interações dipolo instantâneo-dipolo induzido.

Exemplifiquemos com compostos orgânicos: a vaporização do álcool etílico rompe ligações de hidrogênio; a vaporização da acetona rompe interações dipolo-dipolo; e a vaporização da gasolina rompe interações dipolo instantâneo-dipolo induzido.

## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

### Exercício Resolvido

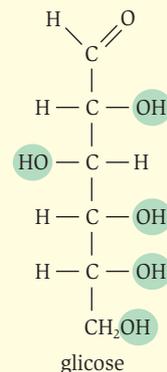
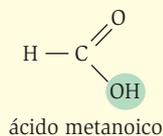
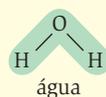
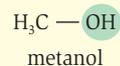
66. (UFRGS-RS) Uma recente descoberta científica verificou que as lagartixas podem caminhar em um teto devido a forças químicas do tipo van der Waals que ocorrem entre as estruturas minúsculas presentes em suas patas e a superfície dos locais por onde passam. Esse tipo de ligação intermolecular é também o que predomina entre as moléculas de:
- metanol.
  - água.
  - ácido metanoico.
  - heptano.
  - glicose.

### Resolução

Subentende-se que a expressão “forças de van der Waals” não está sendo usada como sinônimo de forças intermoleculares em geral, mas sim especificamente das **interações dipolo instantâneo-dipolo induzido**, que são de importância entre

**moléculas apolares**, como o heptano (hidrocarboneto apolar).

No metanol, na água, no ácido metanoico e na glicose ocorrem ligações de hidrogênio, pois nesses compostos há H ligado a O.



Alternativa **d**.

**Exercício Resolvido**

**67.** (PUC-Campinas-SP) O etanol e o éter dimetílico têm mesma fórmula molecular. Diferem quanto às:

- I. massas molares
- II. fórmulas estruturais
- III. ligações por pontes de hidrogênio, no estado líquido

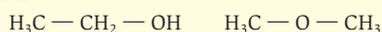
Dessas afirmações, SOMENTE:

- a) I é correta.
- b) II é correta.
- c) III é correta.
- d) I e III são corretas.
- e) II e III são corretas.

**Resolução**

Etanol e éter dimetílico têm a mesma fórmula molecular ( $C_2H_6O$ ) e, por isso, **não diferem** quanto à massa molar.

Etanol e éter dimetílico **diferem** quanto à fórmula estrutural:



Etanol e éter dimetílico **diferem** quanto à ocorrência de ligações de hidrogênio, que ocorrem entre as moléculas do álcool, mas não entre as do éter. Assim, apenas II e III são corretas.

Alternativa e.

**68.** (UFRGS-RS) A água é uma substância de valor inestimável, por ter permitido a criação e manutenção da vida neste planeta. Isso pode ser atribuído às suas propriedades singulares.

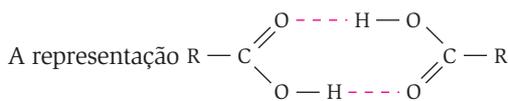
Considere as seguintes afirmações sobre a água:

- I. Sua molécula apresenta ligações covalentes bastante polarizadas.
- II. Solubiliza substâncias de baixa polaridade, como os hidrocarbonetos.
- III. Sua molécula tem forma geométrica não linear.
- IV. É capaz de formar pontes de hidrogênio.

Quais estão corretas?

- a) Apenas III.
- b) Apenas I e IV.
- c) Apenas II e III.
- d) Apenas I, III e IV.
- e) I, II, III e IV.

**69.** (UFV-MG) Determine a alternativa correta.



indica um tipo de ligação intermolecular:

- a) de hidrogênio.
- b) covalente.
- c) iônica.
- d) de van der Waals.
- e) apolar.

**70.** (PUC-MG) Determine a substância que pode formar ligação de hidrogênio entre suas moléculas.

- a)  $CH_3CH_2OCH_2CH_3$
- b)  $CH_3CH_2CH_2F$
- c)  $CH_3CH_2CH_2OH$
- d)  $CH_3CH_2N(CH_3)_2$

**71.** (Unirio-RJ) A mãe de Joãozinho, ao lavar a roupa do filho após uma festa, encontrou duas manchas na camisa: uma de gordura e outra de açúcar. Ao lavar apenas com água, ela verificou que somente a mancha de açúcar desaparecera completamente. De acordo com a regra segundo a qual “semelhante dissolve semelhante”, determine a opção que contém a força intermolecular responsável pela remoção do açúcar na camisa de Joãozinho.

- a) Ligação iônica.
- b) Ligação metálica.
- c) Ligação covalente polar.
- d) Forças de London.
- e) Ponte de hidrogênio.

**72.** (UFRN) O metano ( $CH_4$ ) é uma substância constituinte do gás natural, utilizado como combustível para a produção de energia. Nas condições ambientais (a  $25^\circ C$  e pressão de 1,0 atm), o metano se apresenta no estado gasoso, pois suas moléculas e suas interações são, respectivamente:

	Tipo de moléculas	Tipo de interação
a)	apolar	dipolo instantâneo-dipolo induzido
b)	polar	dipolo-dipolo
c)	apolar	dipolo-dipolo
d)	polar	dipolo instantâneo-dipolo induzido

**73.** (UFG-GO) O quadro, a seguir, apresenta propriedades químicas e físicas da água e do tetracloreto de carbono.

Substância	Ponto de ebulição	Ligação	Geometria molecular
Água	$100,0^\circ C$	O—H	angular
Tetracloreto de carbono	$76,7^\circ C$	C—Cl	tetraédrica

Analisando os dados do quadro, conclui-se que a água e o tetracloreto de carbono:

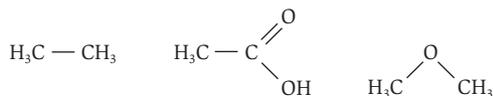
- a) dissolvem substâncias iônicas.
- b) formam ligações de hidrogênio intermoleculares.
- c) possuem ligações químicas polares.
- d) possuem a mesma volatilidade.
- e) são moléculas polares.

## Exercícios adicionais

Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

74. (UEPB) As propriedades físicas dos compostos orgânicos podem ser, muitas vezes, previstas a partir do conhecimento das ligações químicas que unem os átomos de suas moléculas e das forças que agem entre elas (forças intermoleculares), influenciando em algumas destas, como no caso da solubilidade. Com relação aos compostos a seguir:



Determine a alternativa que corresponde, respectivamente, a ordem crescente de solubilidade.

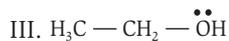
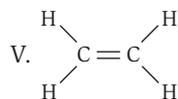
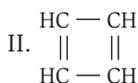
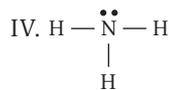
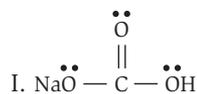
- a) éter dimetílico < etano < ácido etanoico  
b) éter dimetílico < ácido etanoico < etano  
c) ácido etanoico < etano < éter dimetílico  
d) etano < ácido etanoico < éter dimetílico  
e) etano < éter dimetílico < ácido etanoico

### COMENTÁRIO DOS AUTORES:

Subentenda solubilidade **em água**.

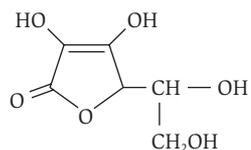
75. (UFMA) *A água tem molécula polar não linear. Mares e oceanos são salgados porque a água dissolveu sais das rochas da crosta terrestre. Todas as moléculas polares pequenas fazem ligações de interação com a água, formando uma fase homogênea de solvente-soluto, via pontes de hidrogênio e ou atração com íons.*

Considerando os dados do texto acima, responda quais moléculas abaixo são solúveis em água.



- a) I, III e IV      c) I, III e V      e) III, IV e V  
b) I, II e IV      d) II e V

76. (Uespi-modif.) *A vitamina C atua como antioxidante. Pode ser encontrada nas frutas cítricas, framboesa, tomate, pimenta etc. De acordo com sua fórmula estrutural a seguir, determine a alternativa correta.*



- a) É praticamente insolúvel em água.  
b) Apresenta as funções álcool, cetona e éter.  
c) Forma ligações de hidrogênio.  
d) Não possui carbono primário.  
e) É mais solúvel em compostos apolares.

77. (UFC-CE) Após a ingestão de bebidas alcoólicas destiladas, uma das sensações do organismo humano é a necessidade de saciar a sede, uma das desagradáveis características da chamada “ressaca”. Em parte, isto se deve ao elevado grau de miscibilidade exotérmica do álcool etílico ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) em sistemas aquosos, que induz a desidratação do organismo através da diurese. Determine a alternativa correta.

- a) O processo de dissolução de  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  em  $\text{H}_2\text{O}$  envolve a formação de ligações químicas  $\text{O}-\text{O}$ .  
b) O calor liberado no processo descrito é resultante de um fenômeno exclusivamente químico.  
c) A elevada miscibilidade do  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  em  $\text{H}_2\text{O}$  é atribuída à reação de desidratação do álcool.  
d) A miscibilidade do  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  em  $\text{H}_2\text{O}$  é favorecida pelas interações de hidrogênio.  
e) A dissolução do álcool etílico em água ocorre através da absorção de calor.

78. (UFMG) *Observe as formas de uma gota de água e de uma gota de dodecano,  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_3$ , colocadas sobre uma superfície de polietileno, um polímero de fórmula  $-(\text{CH}_2\text{CH}_2)_n-$ , mostradas nesta figura:*



ADILSON SECCO

- Considerando as interações intermoleculares entre a água e a superfície do polietileno e as interações das moléculas de água entre si, **JUSTIFIQUE** o fato de a gota de água apresentar uma pequena área de contato com o polietileno.
- Considerando as interações intermoleculares entre o dodecano e a superfície do polietileno e as interações das moléculas de dodecano entre si, **JUSTIFIQUE** o fato de a gota de dodecano apresentar uma grande área de contato com o polietileno.
- Nesta figura, está representada uma gota de água depositada sobre uma superfície de vidro limpo:



ADILSON SECCO

**INDIQUE** se, nesse caso, a superfície do vidro apresenta características polares ou apolares.

## 9 Forças intermoleculares e ponto de ebulição

Por que as substâncias moleculares têm diferentes pontos de ebulição? Isso depende basicamente de dois fatores: o tamanho da molécula e o tipo de força intermolecular existente na substância.

### 9.1 Efeito do tamanho da molécula

Vejamos, primeiramente, o efeito do tamanho da molécula. Para entender a influência desse fator, lembre-se que as interações dipolo instantâneo-dipolo induzido existem em todas as moléculas, sejam elas polares ou apolares.

Quanto maior for o tamanho da molécula, maior será a superfície para atuação dessas interações e, portanto, mais difícil será fazer a molécula se separar das outras, despreendendo-se da fase líquida e passando para a fase vapor. Assim, quanto maior o tamanho da molécula, maior será a temperatura necessária para a ebulição, ou seja, maior o ponto de ebulição.

Ao tentar fazer previsões que comparam o ponto de ebulição de diferentes substâncias, **por simplicidade**, muitas vezes **comparamos as massas moleculares em vez de comparar o tamanho**. Trata-se de uma simplificação que, embora às vezes não funcione bem, permite, geralmente, fazer previsões úteis.

### 9.2 Efeito do tipo de força intermolecular

Vejamos agora o outro fator: o tipo de ligação intermolecular existente. Quanto mais fortes forem as interações entre as moléculas, mais unidas elas estarão e, portanto, mais difícil será para que a substância sofra ebulição (maior o ponto de ebulição).

Assim, a presença de interações dipolo-dipolo fará com que o ponto de ebulição seja maior do que se houvesse apenas as interações dipolo instantâneo-dipolo induzido. E a presença de ligações de hidrogênio fará com que o ponto de ebulição seja maior ainda.

Esteja lembrado de que:

Dipolo instantâneo-  
-dipolo induzido

Dipolo permanente-  
-dipolo permanente

Ligações de  
hidrogênio

Aumenta a intensidade das forças intermoleculares

### 9.3 Ponto de ebulição de compostos orgânicos

É difícil levar em conta esses dois fatores ao comparar os pontos de ebulição de duas substâncias. É possível, contudo, fazer previsões úteis se mantivermos um desses fatores constante, ou praticamente constante.

Ao compararmos duas substâncias com o **mesmo tipo de interação intermolecular**, a que tiver **maior tamanho** (estimado pela **massa molecular**) possuirá **maior ponto de ebulição**.

Ao compararmos duas substâncias com **massas moleculares e tamanhos aproximadamente iguais**, a que possuir **forças intermoleculares mais intensas** possuirá **maior ponto de ebulição**.

Perceba que o ponto de ebulição de uma substância molecular depende, fundamentalmente, de dois fatores: a massa das moléculas e a intensidade das forças entre elas.

As tabelas 4 e 5 ilustram o efeito do tamanho da molécula (estimado, grosseiramente, pela massa molecular) sobre o ponto de ebulição (PE).

TABELA 4 Comparação entre o ponto de ebulição de três álcoois			
Substância	Massa molecular (u)	Tipo de força intermolecular	PE (°C)
metanol, CH <sub>3</sub> OH	32	Ligação de hidrogênio	65
etanol, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	46	Ligação de hidrogênio	78
propan-1-ol, C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH	60	Ligação de hidrogênio	97

Fonte: Elaborada com dados de LIDE, D. R. (Ed.) *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 84. ed. Boca Raton: CRC Press, 2003. p. 3-1ss.

TABELA 5 Comparação entre o ponto de ebulição de três alcanos			
Substância	Massa molecular (u)	Tipo de força intermolecular	PE (°C)
pentano, C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72	Dipolo instantâneo-dipolo induzido	36
hexano, C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86	Dipolo instantâneo-dipolo induzido	69
heptano, C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100	Dipolo instantâneo-dipolo induzido	98

Fonte: Elaborada com dados de LIDE, D. R. (Ed.) *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 84. ed. Boca Raton: CRC Press, 2003. p. 3-1ss.

As informações contidas na tabela 5 são particularmente importantes **na separação das frações do petróleo. Quanto maior a massa molecular de um alcano não ramificado, maior seu ponto de ebulição.** Isso permite o funcionamento da coluna de fracionamento, que é utilizada nas refinarias para separar as frações do petróleo que possuem diferentes intervalos de ebulição.

As tabelas 6 e 7 ilustram o efeito do tipo de força intermolecular sobre o ponto de ebulição.

TABELA 6 Exemplo da influência da ligação intermolecular sobre o ponto de ebulição			
Substância	Massa molecular (u)	Tipo de força intermolecular	PE (°C)
propano, CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	44	Dipolo instantâneo-dipolo induzido	-42
éter dimetílico, CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub>	46	Dipolo-dipolo	-25
etanol, CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	46	Ligação de hidrogênio	78

Fonte: Elaborada com dados de LIDE, D. R. (Ed.) *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 84. ed. Boca Raton: CRC Press, 2003. p. 3-1ss.



FABIO BONOTTI/PULSAR IMAGENS

▲ A separação dos componentes do petróleo, realizada nas refinarias, lança mão dos diferentes pontos de ebulição dos hidrocarbonetos. Santo André, SP, 2001.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

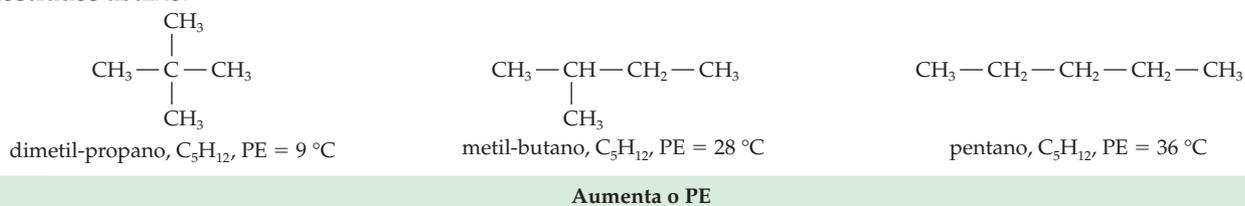
**TABELA 7** Exemplo da influência da ligação intermolecular sobre o ponto de ebulição

Substância	Massa molecular (u)	Tipo de força intermolecular	PE (°C)
butano, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	58	Dipolo instantâneo-dipolo induzido	-1
trimetilamina, $\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} - \text{N} - \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	59	Dipolo-dipolo	3
propilamina, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$	59	Ligação de hidrogênio	47

Forças intermoleculares mais intensas  
Aumenta o PE

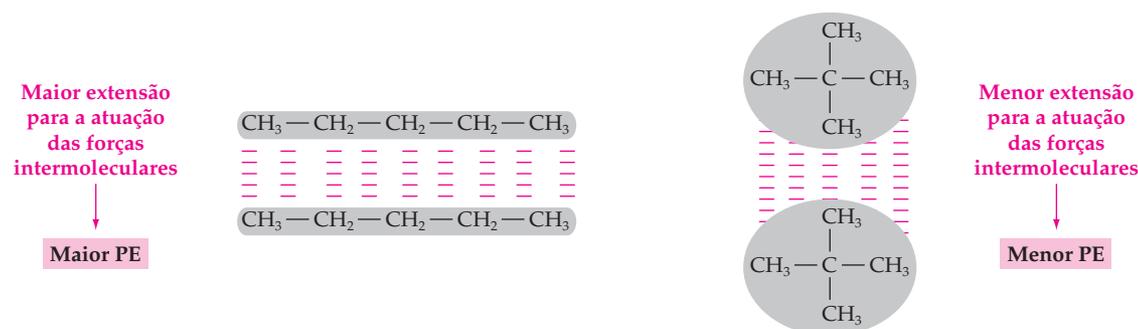
Fonte: Elaborada com dados de LIDE, D. R. (Ed.) *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 84. ed. Boca Raton: CRC Press, 2003. p. 3-1ss.

Dissemos, anteriormente, que a massa molecular pode ser usada para estimar o tamanho da molécula (fator que influencia o ponto de ebulição), mas que nem sempre essa estimativa funciona bem. Vamos a um exemplo. Analise a sequência de hidrocarbonetos e seus pontos de ebulição mostrados abaixo.



Como você pode perceber, essas três substâncias apresentam a mesma massa molecular (pois têm a mesma fórmula molecular,  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ) e o mesmo tipo de ligações intermoleculares (dipolo instantâneo-dipolo induzido).

A diferença entre seus pontos de ebulição está relacionada ao tamanho da molécula. O pentano possui uma cadeia não ramificada e, em consequência, suas moléculas são mais longas do que as dos outros dois compostos. Assim, há maior extensão para que as forças intermoleculares atuem entre duas de suas moléculas, mantendo-as mais unidas e acarretando maior ponto de ebulição. No dimetil-propano acontece exatamente o contrário: por ser a cadeia mais ramificada, as forças intermoleculares possuem menor extensão para atuar.



Ao compararmos substâncias orgânicas com **mesma massa molecular** e com **mesmo tipo de ligação intermolecular**, o tamanho da cadeia principal é um bom indicador do tamanho da molécula. É de se esperar que a que possuir **cadeia principal mais extensa** possuirá **maior ponto de ebulição**.

## PANELA SUJOU? O GÁS ESTÁ ACABANDO!

Algumas pessoas sabem que, quando o fundo das panelas fica sujo de fuligem, é um aviso de que o gás do botijão está prestes a acabar.

Essa fuligem é produzida por combustão incompleta.

Mas a pergunta é: **por que a combustão incompleta passa a ocorrer quando o gás está acabando?**

Os constituintes principais do GLP são o butano e o propano, que são alcanos. Pequenas quantidades de tiol (mercaptana) são adicionadas para dar cheiro e permitir sentir vazamentos. Mas essas substâncias tendem a dar combustão completa.

São as pequeníssimas quantidades de compostos aromáticos eventualmente presentes que explicam o fato. Como eles têm moléculas maiores, são menos voláteis e só tendem a sair do botijão quando o gás está acabando (pois a pressão interna está se reduzindo). E, como comentamos no capítulo 1, compostos aromáticos tendem a dar **combustão incompleta fuliginosa**.



GAZIMAL/CONICA/GETTY IMAGES

Em fogões que empregam gás de botijão, o depósito de fuligem no fundo da panela é um indício de que o gás está acabando. O texto acima explica o porquê.

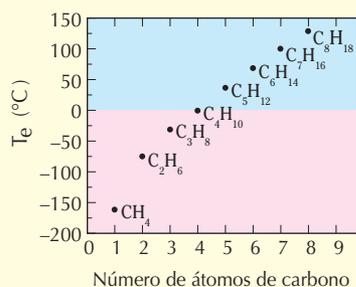
## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

### Exercício Resolvido

**79.** (Funrei-MG) O gráfico apresentado a seguir relaciona a temperatura de ebulição com o número de átomos de carbono presente em alguns hidrocarbonetos.



ADILSON SECCO

Com relação à análise desse gráfico são feitas as seguintes afirmações:

- O metano, o etano e o propano são gases na temperatura de 25 °C.
- O hexano, o heptano e o octano são líquidos na temperatura de 50 °C.
- O butano é líquido na temperatura de 25 °C.
- A temperatura de ebulição aumenta com o aumento do número de átomos de carbono.
- O aumento do número de átomos de carbono diminui as forças intermoleculares na substância, aumentando portanto a temperatura de ebulição.

Quais dessas afirmativas estão **CORRETAS**?

- a) I, III e V.                      c) I, II, IV e V.  
b) I, II e IV.                      d) II, IV e V.

**Resolução**

- I. é correta, pois o ponto de ebulição do metano, o do etano e o do propano são inferiores a 25 °C.
- II. é correta porque o ponto de ebulição do hexano, o do heptano e o do octano são superiores a 50 °C.
- III. é incorreta, uma vez que o butano entra em ebulição abaixo de 25 °C.
- IV. é correta, como se pode avaliar pela análise do gráfico.
- V. é incorreta, pois o aumento do número de carbonos aumenta o tamanho da molécula e, em decorrência disso, **umenta** a intensidade das interações intermoleculares (do tipo dipolo instantâneo-dipolo induzido), acarretando aumento do ponto de ebulição.

Alternativa **b**.

- 80.** (PUC-RS) Relacionando-se a coluna da esquerda, que apresenta nomes de álcoois, com a coluna da direita, que apresenta pontos de ebulição,

- |               |           |
|---------------|-----------|
| 1. etanol     | a) 65 °C  |
| 2. 1-butanol  | b) 78 °C  |
| 3. 1-propanol | c) 97 °C  |
| 4. metanol    | d) 118 °C |

obtém-se como associação correta a da alternativa:

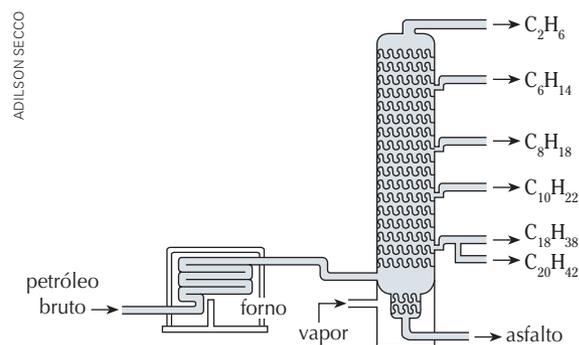
- a) 1-a; 2-b; 3-c; 4-d.  
 b) 1-b; 2-a; 3-c; 4-d.  
 c) 1-d; 2-c; 3-b; 4-a.  
 d) 1-a; 2-d; 3-c; 4-b.  
 e) 1-b; 2-d; 3-c; 4-a.

- 81.** (UFSM-RS) Durante a destilação fracionada do petróleo, obtêm-se, sucessivamente, produtos gasosos, nafta, gasolina e óleos lubrificantes. A ordem de volatilidade de cada fração está relacionada com o(a):

- a) origem do petróleo – animal ou vegetal.  
 b) formação de pontes de hidrogênio intermoleculares.  
 c) tamanho da cadeia carbônica.  
 d) ocorrência de compostos fortemente polares.  
 e) tipo de petróleo empregado – parafínico ou asfáltico.

- 82.** (Uerj) Os vários componentes do petróleo são separados por um processo denominado destilação fracionada. Em sua destilação, alguns hidrocarbonetos são separados na ordem indicada no esquema a seguir.

A ordem de destilação dos componentes do petróleo está justificada em qual afirmação?



- a) Os alcanos são os hidrocarbonetos mais voláteis.  
 b) Os hidrocarbonetos são líquidos de baixo ponto de ebulição.  
 c) O aumento da massa molar dos hidrocarbonetos provoca uma maior volatilidade.  
 d) O ponto de ebulição dos hidrocarbonetos aumenta com o aumento da massa molar.

- 83.** (UFMG) Observe este quadro, em que estão representadas quatro substâncias orgânicas — numeradas de I a IV — e os aromas a elas associadas:

<b>I</b>	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_3 \end{array}$ <p>Aroma de banana</p>
<b>II</b>	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3 \end{array}$ <p>Aroma de laranja</p>
<b>III</b>	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{OCH}_2\text{---} \end{array}$  <p>Aroma de pêssego</p>
<b>IV</b>	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3 \end{array}$ <p>Aroma de pera</p>

Essas substâncias são usadas na indústria como aromatizantes sintéticos, no lugar de extratos das frutas correspondentes.

Considerando-se as estruturas de cada uma dessas substâncias, é **INCORRETO** afirmar que:

- a) **III** é um éster.  
 b) **I** apresenta cadeia ramificada.  
 c) **IV** é a mais volátil.  
 d) **II** tem um grupo funcional aromático.

### Exercício Resolvido

84. (Unifor-CE) Analise as substâncias abaixo.

- I. etanol ( $C_2H_5OH$ )
- II. éter dimetílico ( $H_3COCH_3$ )
- III. 1-propanol ( $C_3H_7OH$ )

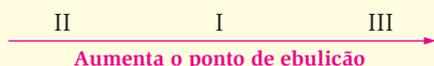
Considerando a existência ou não de pontes de hidrogênio ligando moléculas iguais e suas correspondentes massas moleculares é de se prever que, sob mesma pressão, os pontos de ebulição dessas substâncias sejam crescentes na seguinte ordem:

- a) I, II e III
- b) I, III e II
- c) II, I e III
- d) II, III e I
- e) III, II e I

### Resolução

Comparando I e II, notamos que a fórmula molecular é a mesma e, portanto, a massa molecular é a mesma. O ponto de ebulição de I deve ser maior em função da ocorrência de ligações de hidrogênio.

Comparando I e III, notamos que em ambas ocorrem ligações de hidrogênio. Como a massa molecular de III é maior, espera-se que tenha maior ponto de ebulição.



Alternativa c.

85. (PUC-PR) À temperatura ambiente, o éter dietílico evapora mais rapidamente que o álcool etílico. Sendo assim, pode-se concluir que, em relação ao álcool, o éter apresenta:

- a) ponto de ebulição mais alto.
- b) ligações intermoleculares mais fracas.
- c) pressão de vapor menor.
- d) pontes de hidrogênio em maior número.
- e) massa molecular menor.

86. (UFRRJ) As duas substâncias mostradas na tabela abaixo apresentam grande diferença entre seus pontos de ebulição (PE), apesar de possuírem a mesma massa molecular:

Substâncias ( $C_3H_6O_2$ )	PE (°C)
$CH_3CH_2CO_2H$ (ácido propiônico)	141
$CH_3CO_2CH_3$ (acetato de metila)	57,5

Justifique a diferença entre os pontos de ebulição, considerando as interações intermoleculares existentes.

87. (PUC-PR) Quando compararmos os pontos de ebulição dos compostos orgânicos, devemos levar em consideração as forças intermoleculares que unem suas moléculas. Assim, comparando os compostos:

- I. etanol
- II. etanal
- III. cloroetano
- IV. propano

É correto afirmar que:

- a) a ordem dos PE correta é  $III > I > II > IV$ .
- b) o I tem maior PE que o III, pois o I forma pontes de hidrogênio.
- c) o IV é um composto polar.
- d) o composto II é apolar.
- e) o composto III é apolar.

88. (Fuvest-SP) Em um laboratório, três frascos com líquidos incolores estão sem os devidos rótulos. Ao lado deles, estão os três rótulos com as seguintes identificações: ácido etanoico, pentano e 1-butanol. Para poder rotular corretamente os frascos, determinam-se, para esses líquidos, o ponto de ebulição (P.E.) sob 1 atm e a solubilidade em água (S) a 25 °C.

Líquido	P.E. / °C	S/(g/100 mL)
X	36	0,035
Y	117	7,3
Z	118	infinita

Com base nessas propriedades, conclui-se que os líquidos X, Y e Z são, respectivamente:

- a) pentano, 1-butanol e ácido etanoico
- b) pentano, ácido etanoico e 1-butanol
- c) ácido etanoico, pentano e 1-butanol
- d) 1-butanol, ácido etanoico e pentano
- e) 1 butanol, pentano e ácido etanoico

89. (Fuvest-SP) Em uma tabela de propriedades físicas de compostos orgânicos, foram encontrados os dados abaixo para compostos de cadeia linear I, II, III e IV. Esses compostos são etanol, heptano, hexano e 1-propanol, não necessariamente nessa ordem.

Composto	Ponto de ebulição*	Solubilidade em água
I	69,0	i
II	78,5	$\infty$
III	97,4	$\infty$
IV	98,4	i

\* — em °C sob uma atmosfera

i — composto insolúvel em água

$\infty$  — composto miscível com água em todas as proporções

Os compostos I, II, III, IV são, respectivamente:

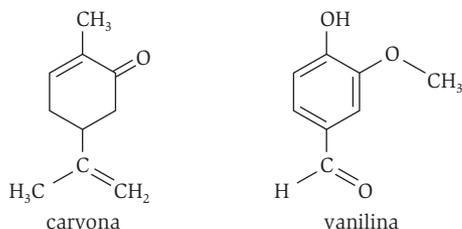
- a) etanol, heptano, hexano e 1-propanol.
- b) heptano, etanol, 1-propanol e hexano.
- c) 1-propanol, etanol, heptano e hexano.
- d) hexano, etanol, 1-propanol e heptano.
- e) hexano, 1-propanol, etanol e heptano.

## Exercícios adicionais

Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

90. (UFRJ) No preparo dos fogos de artifício, as substâncias são agregadas com o auxílio de um solvente. Diversos compostos, como a propanona (acetona) e o isopropanol, podem ser usados para tal fim. Escreva a fórmula em bastão desses dois compostos e indique qual deles possui a maior temperatura de ebulição à pressão atmosférica. Justifique sua resposta.
91. (PUC-PR) O fenol, ou ácido fênico, tem a seguinte fórmula molecular:  $C_6H_6O$ . Nas mesmas condições, o fenol, apresenta um PE ■ em relação ao benzeno, porque apresenta ■. As lacunas serão corretamente preenchidas por:
- menor – ligações iônicas.
  - maior – atração intermolecular por pontes de hidrogênio.
  - menor – atração intermolecular dipolo induzido-dipolo induzido.
  - maior – atração intermolecular dipolo-dipolo.
  - maior – atração intermolecular dipolo induzido-dipolo induzido.
92. (PUC-SP) A carvona é o componente ativo principal do óleo de hortelã, sendo responsável pelo aroma característico de menta, enquanto a vanilina é o principal componente da essência de baunilha. Abaixo, estão representadas as estruturas desses dois aromatizantes largamente empregados.



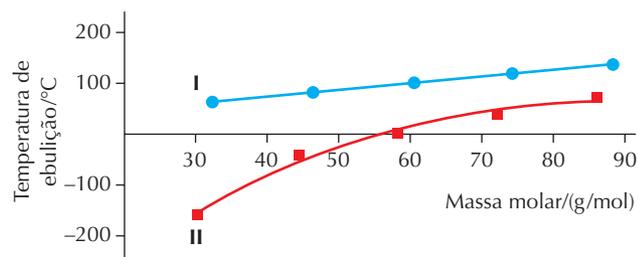
Sobre essas duas substâncias foram feitas as seguintes afirmações:

- As duas moléculas apresentam anel aromático em suas estruturas.
- A vanilina apresenta temperatura de ebulição superior à da carvona.
- As duas substâncias pertencem à função aldeído.
- A fórmula molecular da carvona é  $C_{10}H_{14}O$ , enquanto a da vanilina  $C_8H_8O_3$ .

Estão corretas somente as afirmações:

- I e II.
- III e IV.
- II e IV.
- I, II e III.
- I, III e IV.

93. (UFMG) A gasolina é uma mistura de hidrocarbonetos, com predomínio de compostos  $C_7$  e  $C_8$ . A gasolina destinada a ser consumida em climas frios precisa ser formulada com maior quantidade de alcanos menores — como butanos e pentanos — do que aquela que é preparada para ser consumida em lugares quentes. Essa composição especial é importante para se conseguir, facilmente, “dar a partida” nos motores, isto é, para a ignição ocorrer rapidamente. Considerando-se essas informações, é **CORRETO** afirmar que:
- os alcanos maiores facilitam a ignição.
  - os alcanos maiores são mais voláteis.
  - os alcanos mais voláteis facilitam a ignição.
  - os alcanos são mais voláteis em temperaturas mais baixas.
94. (UFMG) O gráfico representa a variação da temperatura de ebulição, a 1 atm, de séries homólogas de álcoois e alcanos de cadeia linear, em função da massa molar:



Considerando-se esse gráfico e os compostos nele representados, é **INCORRETO** afirmar que:

- as curvas I e II correspondem, respectivamente, aos álcoois e aos alcanos.
  - o aumento da cadeia carbônica aumenta a intensidade das interações intermoleculares.
  - a interação por ligações de hidrogênio é a única presente nos álcoois.
  - a interação entre dipolos induzidos é a única presente nos alcanos.
95. (Uece) Tendo em vista a polaridade da ligação O—H, os álcoois:
- não formam ligações de hidrogênio intermoleculares.
  - mais simples possuem ponto de ebulição superiores às de outros compostos orgânicos de iguais massas moleculares.
  - moleculares, que possuem pequeno número de carbonos por molécula, apresentam baixa solubilidade em água.
  - não dissolvem os compostos apolares, como por exemplo, o hexano.

## Informe-se sobre a Química

### Cristais líquidos

DIGITAL VISION/GETTY IMAGES



SÉRGIO DOTA JR./CID



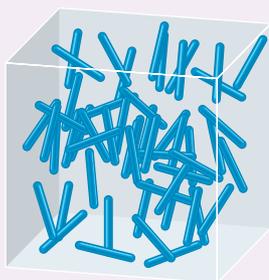
◀ Exemplos de equipamentos eletrônicos com tela colorida ou com mostrador monocromático de cristal líquido.

As substâncias que formam cristais líquidos são geralmente compostos de moléculas longas na forma de tubos. Na fase líquida normal, essas moléculas estão orientadas aleatoriamente (figura 1A). As fases líquidas cristalinas, em contraste, exibem certa organização das moléculas. Dependendo da natureza da organização, os cristais líquidos podem ser classificados como nemáticos, esméticos ou colestéricos.

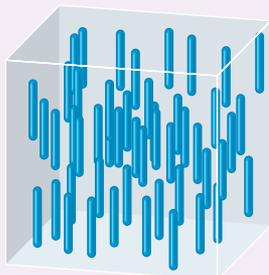
Na **fase líquida cristalina nemática** as moléculas estão alinhadas ao longo de seus eixos longos, mas não existe organização em relação aos lados das moléculas (figura 1B). O arranjo das moléculas é parecido com o de uma mão cheia de lápis cujas pontas não estão alinhadas.

Nas **fases líquidas cristalinas esméticas** as moléculas exibem organização adicional além daquela da fase nemática. As fases esméticas lembram uma mão cheia de lápis cujas pontas estão mais próximas do alinhamento. Existem diferentes tipos de fases esméticas, designadas pelas letras A, B, C etc. Na fase esmética A as moléculas estão arranjadas em camadas, com seus eixos longos perpendiculares às camadas (figura 1C). Outras fases esméticas exibem diferentes tipos de alinhamento. Por exemplo, na fase esmética C as moléculas estão alinhadas com seus eixos longos inclinados em relação às camadas nas quais as moléculas estão empilhadas (figura 1D).

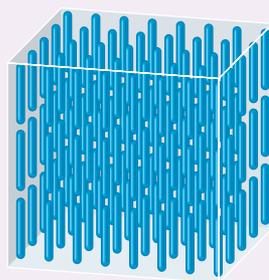
ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO



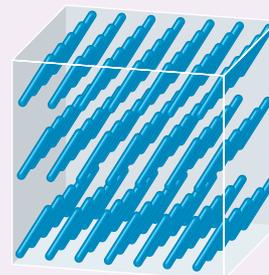
A Líquido normal



B Cristal líquido nemático



C Cristal líquido esmético A

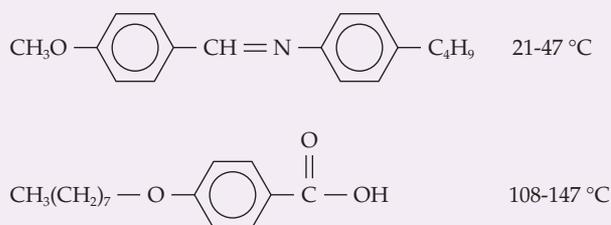


D Cristal líquido esmético C

▲ Figura 1: Organização nas fases líquidas cristalinas, como comparado com um líquido normal (líquido não cristalino). [Representações esquemáticas, em cores fantasiosas.]

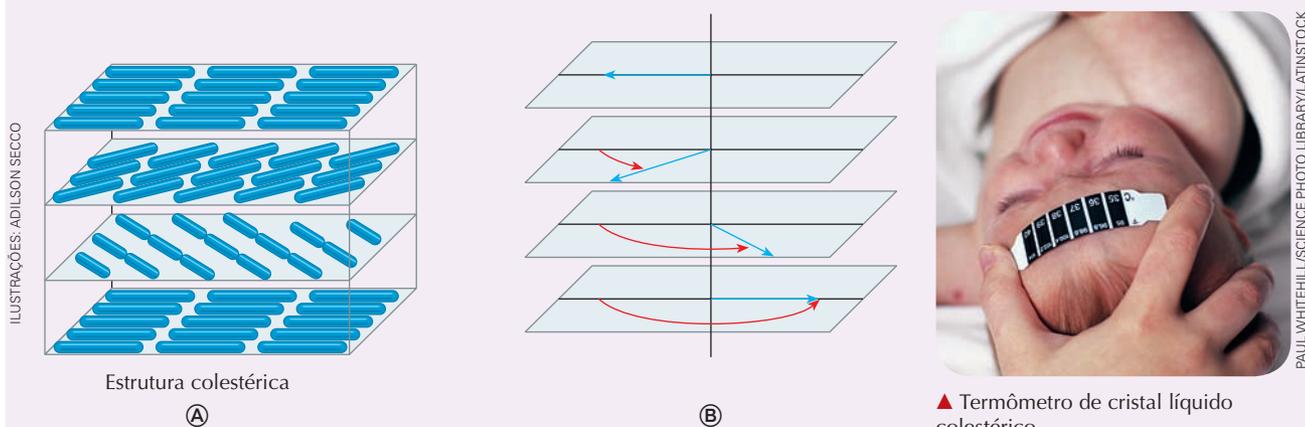
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Duas moléculas que exibem fases líquidas cristalinas são mostradas na figura 2. Elas são razoavelmente longas em relação às espessuras. A ligação dupla C=N e os anéis de benzeno adicionam dureza. Os anéis planos do benzeno ajudam as moléculas a se empilharem umas contra as outras. Além disso, muitas moléculas de cristais líquidos contêm grupos polares; estes dão origem a interações dipolo-dipolo que promovem alinhamentos nas moléculas. Assim, as moléculas organizam-se de maneira bastante natural ao longo de seus eixos longos. Entretanto, elas podem girar ao redor de seus eixos e deslizar paralelamente umas em relação às outras. Nas fases esmécticas as forças intermoleculares (como forças de dispersão de London, atrações dipolo-dipolo e ligações de hidrogênio) limitam a habilidade de as moléculas deslizarem sobre as outras.



▲ Figura 2: As estruturas e os intervalos de temperatura de cristal líquido de dois materiais líquidos cristalinos típicos. O intervalo de temperatura indica a faixa de temperatura na qual a substância exibe comportamento líquido cristalino.

A figura 3 mostra a organização da **fase líquida cristalina colestérica**. As moléculas estão alinhadas ao longo dos eixos longos como em cristais líquidos nemáticos, mas elas estão arranjadas em camadas com as moléculas em cada plano levemente torcidas em relação às moléculas nos planos acima e abaixo. Esses cristais líquidos são assim chamados porque muitos derivados do colesterol adotam essa estrutura. A natureza espiral da organização molecular produz padrões de coloração inusitados com a luz visível. Variações na temperatura e pressão mudam a ordem e, conseqüentemente, a cor. Os cristais líquidos colestéricos têm sido usados para monitorar variações de temperatura em situações em que os métodos convencionais não são praticáveis. Por exemplo, eles podem detectar pontos quentes em circuitos microeletrônicos, capazes de apontar a presença de falhas. Eles podem também ser acomodados dentro de termômetros para medir a temperatura na pele de crianças.



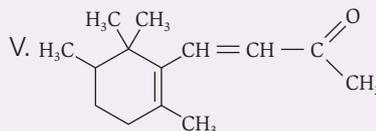
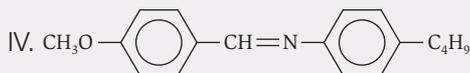
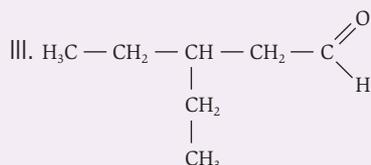
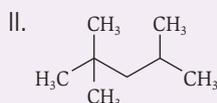
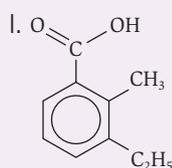
▲ Figura 3: (A) Organização em um cristal líquido colestérico. As moléculas em camadas sucessivas são orientadas em ângulo característico em relação às das camadas adjacentes para evitar interações repulsivas. O resultado é um eixo parecido com um parafuso, como mostrado em (B). [Representação esquemática, em cores fantasiosas.]

Fonte do texto e das ilustrações: BROWN, T. L. *Química: a ciência central*. 9. ed. Tradução de Robson Mendes Matos. São Paulo: Pearson, 2005. p. 415-417.

## ● Você entendeu a leitura?

Responda em seu caderno

1. A descoberta dos cristais líquidos aconteceu com o **benzoato de colesterila**.  
O grupo colesterila é derivado da molécula de colesterol. Tem estrutura complexa mas pode, simplificada, ser escrito como  $\text{—C}_{27}\text{H}_{45}$ .  
Assim, podemos afirmar que o **benzoato de colesterila** é um:  
a) éter com 27 átomos de carbono.  
b) álcool com 46 átomos de hidrogênio.  
c) éter com 33 átomos de carbono.  
d) éster com 34 átomos de carbono.  
e) sal orgânico com 2 átomos de oxigênio.
2. Como a leitura nos mostra, os cristais líquidos podem ser usados como sensores de pressão e temperatura e ainda como mostradores em calculadoras, relógios digitais, *notebooks* etc. Faça uma pesquisa e justifique o porquê de os cristais líquidos poderem ser usados nos dispositivos elétricos citados.
3. Pesquise sobre as diferentes tecnologias utilizadas atualmente em televisores de tela fina. Compare as tecnologias de LCD e LED quanto ao princípio de funcionamento.
4. Após leitura atenta do texto, transcreva no seu caderno o trecho do texto com informações sobre as características que as moléculas de determinada substância devem ter para formar cristais líquidos.
5. A seguir são apresentadas estruturas de várias moléculas:



Qual(is) dessas moléculas pode(m) formar cristais líquidos, segundo as informações do texto? Por quê?

## ○ Reavalie o que você pensa a respeito



Verifique em que mudaram suas concepções prévias

Reveja sua resposta à atividade da segunda página deste capítulo, reavalie o que escreveu, discuta com seus colegas e, se julgar necessário, elabore novas justificativas ou aprimore as que tinha escrito. Apresente-as ao professor.

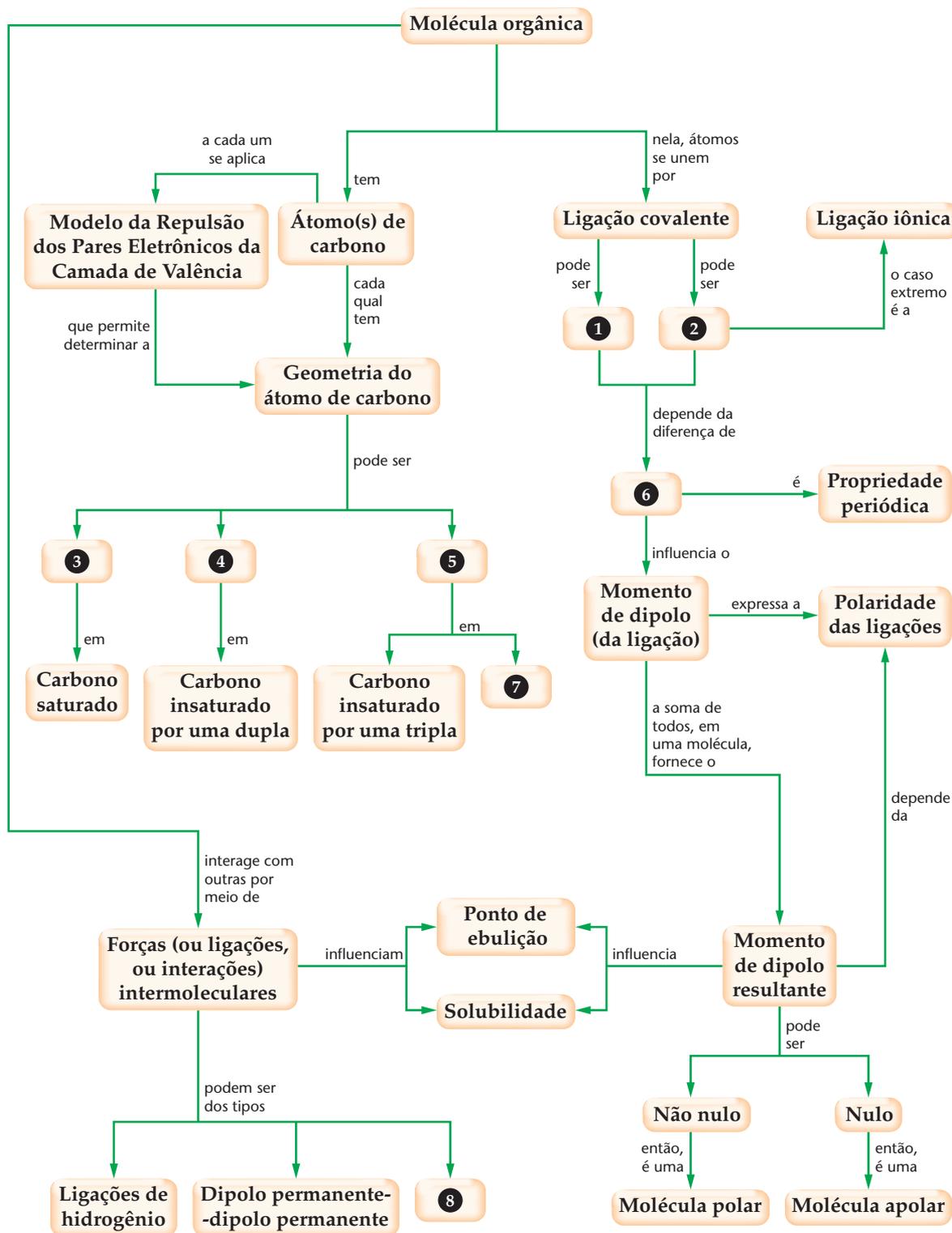


### Importante:

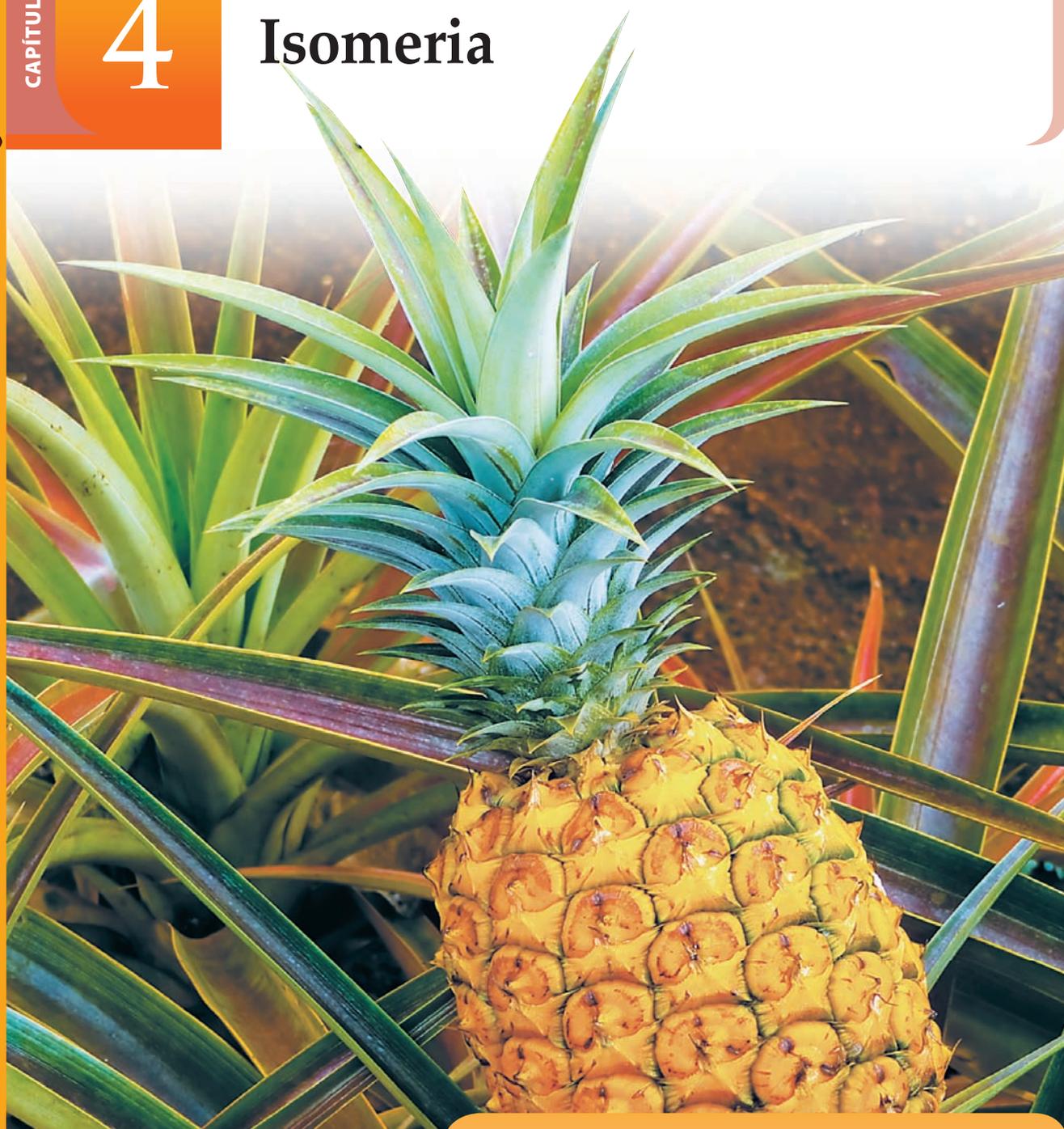
Este mapa é apenas uma das muitas possibilidades de relacionar esses conteúdos conceituais.

## MAPA CONCEITUAL – INTERAÇÕES ENTRE MOLÉCULAS ORGÂNICAS

Revise os conceitos estudados e decida como podem ser completados os locais em que aparecem os números.



# Isomeria



ANDY Z/SHUTTERSTOCK

## Alguns conteúdos importantes:

▲ O butanoato de etila, que tem aroma característico de abacaxi, e o ácido hexanoico (nome trivial: ácido caproico), responsável pelo odor dos bodes, são exemplos de isômeros constitucionais.

- ✓ Conceito de isômeros
- ✓ Isômeros constitucionais (planos)
- ✓ Isômeros geométricos (cis-trans)
- ✓ Isômeros ópticos

## ○ O que você pensa a respeito?



Sondagem de concepções prévias

Na lista abaixo estão relacionados alguns termos e conceitos. Indique no seu caderno aqueles que você julga que estejam relacionados à imagem e justifique sua escolha. Discuta com seus colegas e apresente as conclusões ao professor.

- isômeros
- isomeria constitucional
- estereoisomeria
- isomeria geométrica
- isomeria óptica
- molécula assimétrica



SÉRGIO DOTTA JR./CID

## ○ Pare e situe-se!

Texto introdutório ao capítulo

O carbono apresenta uma propriedade que o destaca dos outros elementos químicos: seus átomos podem unir-se em longas sequências estáveis, as cadeias carbônicas. Dessa propriedade decorre a existência dos compostos orgânicos, cuja quantidade conhecida é significativamente maior do que a dos compostos inorgânicos.

É fato comum na Química Orgânica que uma mesma fórmula molecular represente dois ou mais compostos diferentes. Esse fato é conhecido como **isomeria** ou **isomerismo** e os diferentes compostos que têm em comum uma mesma fórmula molecular são denominados **isômeros**.

Este capítulo é dedicado ao estudo introdutório de casos relativamente simples de isomeria. (Existem outros casos mais complexos, que são tratados na Química universitária.)

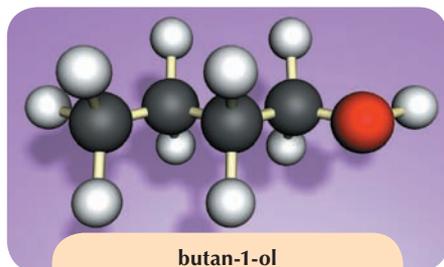
Se os isômeros possuem a mesma fórmula molecular, em que eles são diferentes?

A resposta a essa pergunta é a essência deste capítulo. Essa resposta depende diretamente da comparação entre as moléculas dos isômeros. Se as diferenças entre elas puderem ser percebidas na fórmula estrutural plana, isso significa que as diferenças entre os isômeros estão na sequência em que os átomos se unem. Nesse caso, temos **isômeros constitucionais**, que alguns autores denominam **isômeros planos**.

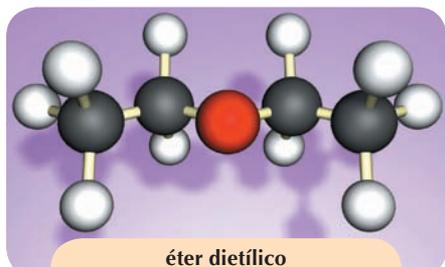
Há casos em que as diferenças entre as moléculas dos isômeros só podem ser percebidas ao analisarmos a estrutura espacial das moléculas. Nesse caso, temos **estereoisômeros** ou **isômeros espaciais**. Para estudá-los, é muito útil conhecer o que está apresentado no capítulo anterior sobre geometria do átomo de carbono.

# 1 Isomeria constitucional (isomeria plana)

## 1.1 O conceito de isomeria



**butan-1-ol**  
 $\text{H}_3\text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{OH}$   
 Fórmula molecular:  $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$   
 Massa molar: 74 g/mol  
 Ponto de fusão:  $-89^\circ\text{C}$   
 Ponto de ebulição:  $118^\circ\text{C}$   
 Densidade ( $20^\circ\text{C}$ ):  $0,81 \text{ g/cm}^3$



**éter dietílico**  
 $\text{H}_3\text{C} - \text{CH}_2 - \text{O} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$   
 Fórmula molecular:  $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$   
 Massa molar: 74 g/mol  
 Ponto de fusão:  $-116^\circ\text{C}$   
 Ponto de ebulição:  $35^\circ\text{C}$   
 Densidade ( $20^\circ\text{C}$ ):  $0,71 \text{ g/cm}^3$

ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES

### ATENÇÃO

O éter comum é um líquido incolor, volátil e **altamente inflamável**. Seus vapores são **tóxicos** e podem causar, por exemplo, tontura, dor de cabeça, narcose, náusea, vômitos e irritação do sistema respiratório.

(Modelos moleculares em cores fantasiosas, fora de proporção.)

Fonte dos dados: LIDE, D. R. (Ed.) *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 84. ed. Boca Raton: CRC Press, 2003. p. 3-1ss.

Os compostos representados acima são diferentes. Possuem diferentes nomes, diferentes fórmulas estruturais, diferentes pontos de fusão e ebulição e também diferentes densidades. No entanto, eles possuem, coincidentemente, a mesma fórmula molecular:  $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$ . Dizemos que ambos são **isômeros**.

**Isômeros** são dois ou mais **compostos diferentes** que apresentam a **mesma fórmula molecular**. A existência de isômeros é denominada **isomeria** ou **isomerismo**.

Por essa razão, colocar num frasco um rótulo apenas com a inscrição  $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$  não diz necessariamente que se trata do éter dietílico; o composto poderá ser butan-1-ol. Na Química Orgânica, a fórmula molecular não diz muita coisa.

Só para dar uma ideia, a tabela 1 mostra o número de isômeros possíveis para alguns alcanos. No caso, por exemplo, da fórmula  $\text{C}_{40}\text{H}_{82}$ , mais de 62 trilhões de isômeros são teoricamente possíveis!

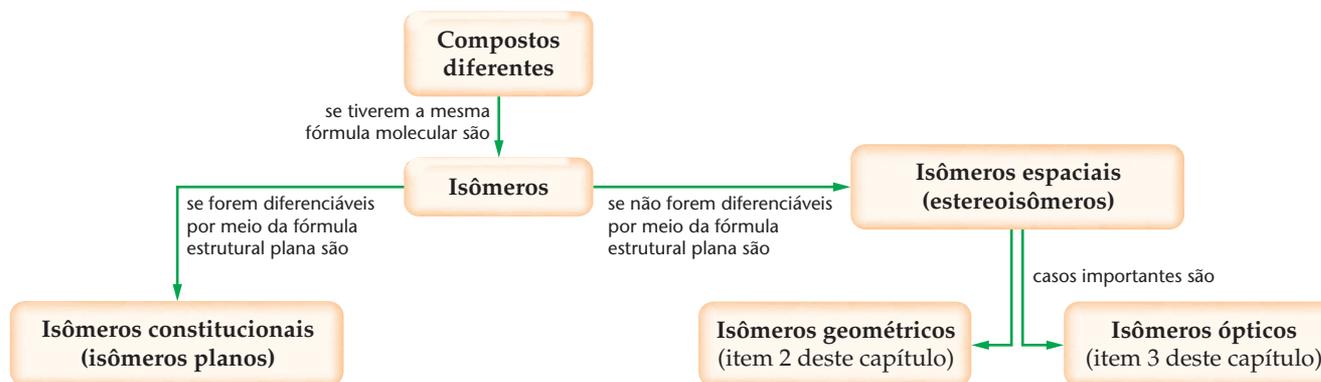
Quando se pode perceber a diferença entre dois isômeros observando a fórmula estrutural plana, dizemos que é um caso de **isomeria constitucional** ou **isomeria plana**.

Mais adiante, ainda neste capítulo, são apresentados casos em que é necessário mais do que simplesmente a fórmula estrutural plana para perceber as diferenças entre os isômeros. Nesses casos, precisamos analisar a estrutura espacial das moléculas para perceber as diferenças entre os isômeros. Chamamos tal situação de **estereoisomeria** ou **isomeria espacial**.

**TABELA 1** Número teoricamente possível de isômeros para alguns hidrocarbonetos do tipo alcano

Fórmula molecular	Número de isômeros possíveis
$\text{C}_4\text{H}_{10}$	2
$\text{C}_5\text{H}_{12}$	3
$\text{C}_6\text{H}_{14}$	5
$\text{C}_7\text{H}_{16}$	9
$\text{C}_8\text{H}_{18}$	18
$\text{C}_9\text{H}_{20}$	35
$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	75
$\text{C}_{15}\text{H}_{32}$	4.347
$\text{C}_{20}\text{H}_{42}$	336.319
$\text{C}_{40}\text{H}_{82}$	62.491.178.805.831

Fonte: CAREY, F. A. *Organic Chemistry*. 7. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2008. p. 70.

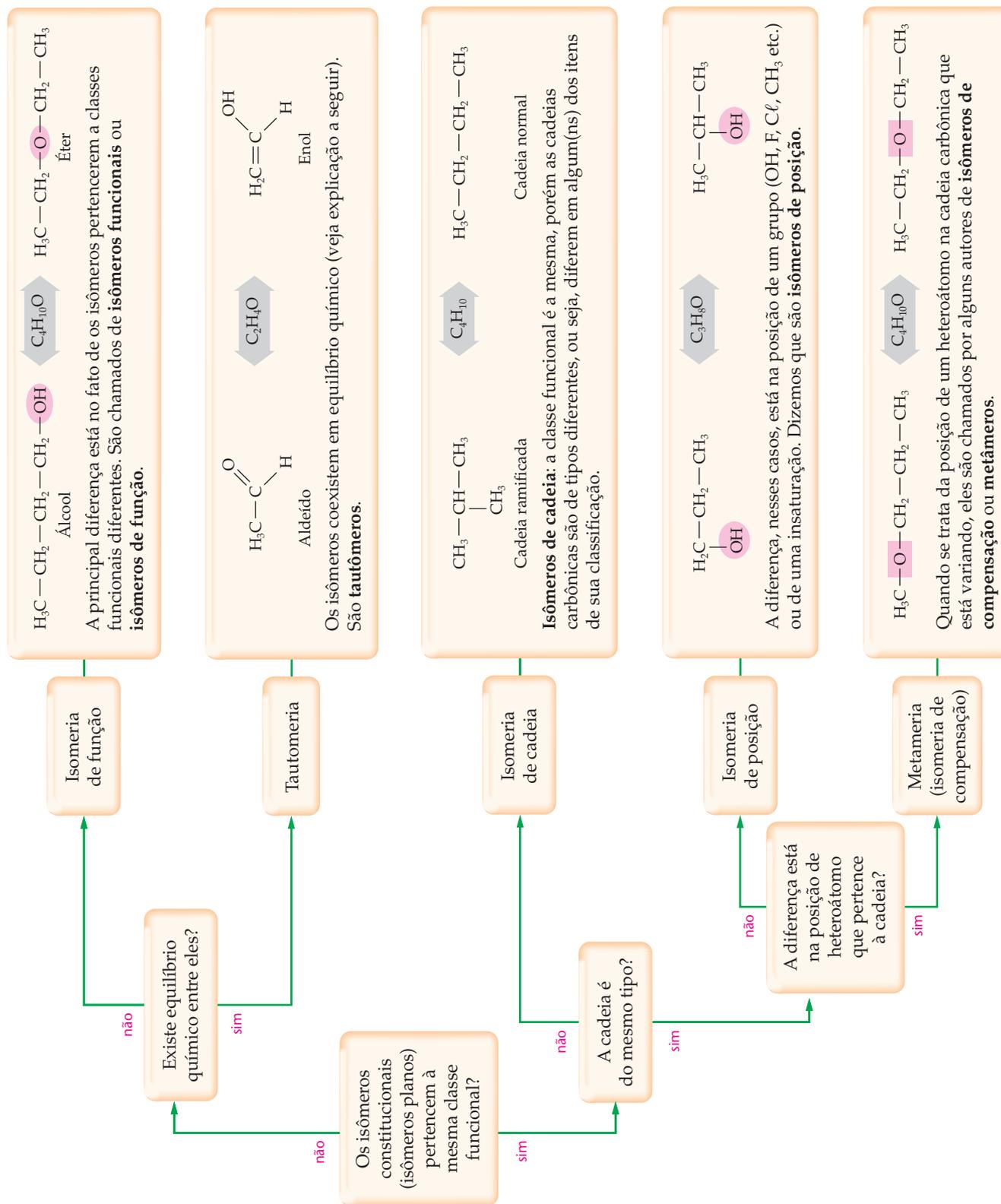


## 1.2 Classificação dos isômeros constitucionais

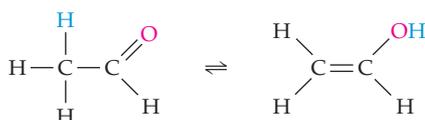
Vamos, agora, dedicar um pouco de atenção às possíveis diferenças entre isômeros constitucionais.

**Classificar isômeros** é dizer qual a principal diferença entre eles. O quadro a seguir ilustra a classificação dos isômeros constitucionais em cinco grupos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

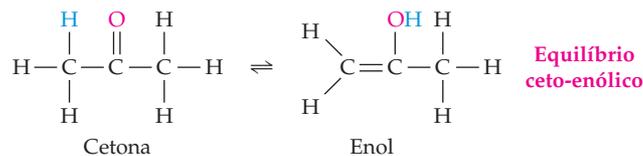
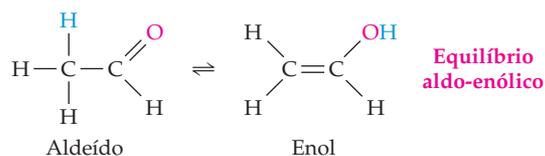


Dos casos mostrados, o de entendimento mais delicado é o da *tautomeria*. Veja as fórmulas do aldeído e do enol apresentadas como exemplo desse tipo de isomeria. À primeira vista, são isômeros de função; porém, ocorre um fato curioso com eles. No estado líquido ou em solução, sempre que o aldeído estiver presente, o enol também estará e vice-versa. Isso se deve ao seguinte equilíbrio químico, que se estabelece espontaneamente:



Assim, é impossível existir um sem que o outro também esteja presente. Mesmo que conseguíssemos isolar um deles, ele iria, imediatamente, restabelecer esse equilíbrio, formando o outro. Quando isso acontece (existência de dois isômeros em equilíbrio), chamamos o fenômeno de **tautomeria** ou **tautomerismo** e os isômeros de **tautômeros**.

Você deve estar se perguntando: “Como vou saber se esse é um caso de tautomeria ou se é simplesmente isomeria de função?”. No nosso nível de estudo da Química, é suficiente conhecer os **dois casos** mais importantes de tautomeria: o que ocorre entre **aldeído** e **enol** e o que ocorre entre **cetona** e **enol**.



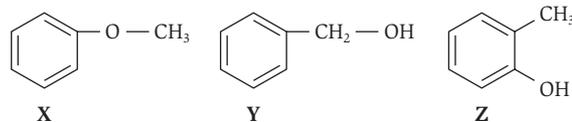
## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

- (Uespi) Quantos isômeros existem com a fórmula  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ?  
 a) 2  
 b) 1  
 c) 3  
 d) 4  
 e) 5
- (UFJF-MG) A substância 2-pentanona possui isômeros de posição, de cadeia e de função. Estes isômeros podem ser, respectivamente:  
 a) 3-pentanona, metil-butanona e pentanal.  
 b) 3-pentanona, metil-butanona e 2-pentanol.  
 c) 3-pentanona, etil-butanona e 2-pentanol.  
 d) 1-pentanona, etil-butanona e pentanal.  
 e) 1-pentanona, ciclopentanona e 2-pentanol.
- (Mackenzie-SP) O número máximo de isômeros de posição de um composto aromático com fórmula molecular  $\text{C}_8\text{H}_{10}$  é:  
 a) 8.  
 b) 5.  
 c) 2.  
 d) 3.  
 e) 4.

- (PUC-RS) Com a fórmula molecular  $\text{C}_7\text{H}_8\text{O}$  existem vários compostos aromáticos, como, por exemplo:



Considerando os compostos acima, afirma-se que:

- “X” pertence à função química éter.
- “Y” apresenta cadeia carbônica heterogênea.
- “Z” apresenta isômeros de posição.
- “X”, “Y” e “Z” apresentam em comum o grupo benzila.

Pela análise das afirmativas, conclui-se que somente estão corretas:

- I e II.
- I e III.
- II e IV.
- I, III e IV.
- II, III e IV.

- (UPE) O número de isômeros planos de cadeia aberta que existe com a fórmula  $\text{C}_4\text{H}_7\text{Br}$  é:  
 a) 4.  
 b) 6.  
 c) 5.  
 d) 7.  
 e) 8.

## Exercícios adicionais

Resolva em seu caderno

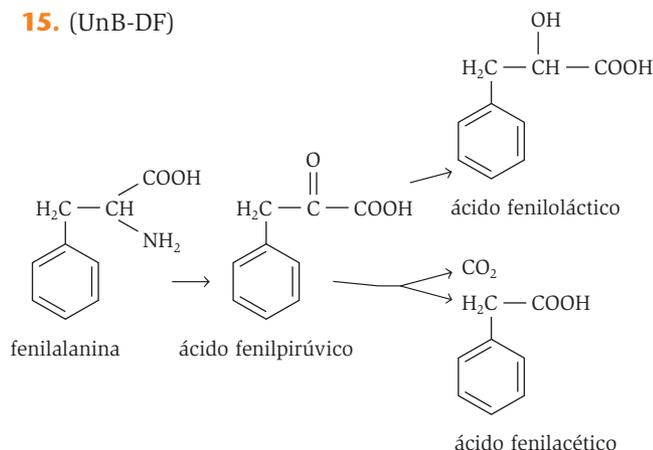
Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

**Instrução para as questões 6 a 10:** Represente a fórmula estrutural de todos os isômeros constitucionais (isômeros planos) com a fórmula molecular fornecida.

6.  $C_5H_{12}$
7.  $C_3H_6$
8.  $C_3H_6Cl_2$
9.  $C_3H_9N$
10.  $C_2H_4O$
11. (Unic-MT) O 1-butanol possui a fórmula molecular  $C_4H_{10}O$ . Pertencendo ao mesmo grupo funcional, quantos isômeros planos podem ser formados com a mesma fórmula molecular (incluindo o 1-butanol)?  
 a) Dois.  
 b) Três.  
 c) Quatro.  
 d) Cinco.  
 e) Seis.
12. (Cesgranrio-RJ) Quantos éteres diferentes têm fórmula molecular  $C_4H_{10}O$ ?  
 a) 1  
 b) 2  
 c) 3  
 d) 4  
 e) 5
13. (UFMT) Escreva as estruturas e os nomes oficiais dos 4 (quatro) ésteres de fórmula molecular  $C_4H_8O_2$ .
14. (UFC-CE) Escreva as fórmulas estruturais e os nomes dos cinco compostos aromáticos com a fórmula  $C_7H_8O$ .

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

15. (UnB-DF)



O esquema acima ilustra uma via alternativa do metabolismo da fenilalanina em indivíduos.

A excreção urinária dos ácidos fenilpirúvico e fenilacético é indicativo de deficiência mental, sem dúvida, a consequência mais grave da fenilcetonúria. Porém, o aparecimento de descamação da pele e a tendência a hipopigmentação também são comuns em indivíduos fenilcetonúricos.

Acerca desse tema e considerando as informações apresentadas, julgue os itens que se seguem em certos ou errados.

1. A nomenclatura para o ácido feniloláctico é ácido fenil-2-hidroxietanoico.
2. O ácido feniloláctico é isômero de função do ácido fenilpirúvico.
3. A desaminação da fenilalanina produz ácido feniletanoico.

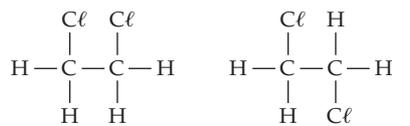
▲ **COMENTÁRIO DOS AUTORES:**

Entenda por “desaminação da fenilalanina” a substituição do seu grupo funcional amina por um átomo de hidrogênio.

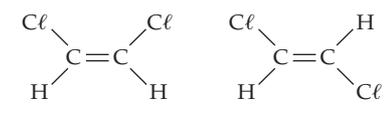
## 2 Isomeria geométrica (ou isomeria *cis-trans*)

### 2.1 Isomeria geométrica em compostos com ligação dupla

Compare cada um dos pares de estruturas a seguir.



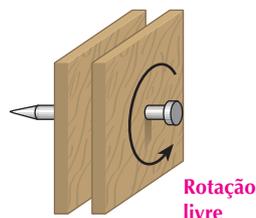
Representam a mesma substância?



Representam a mesma substância?

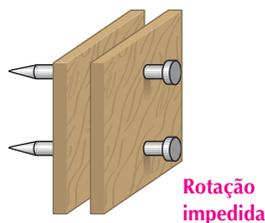
Para responder, comecemos com uma comparação. Imagine duas tábuas pelas quais atravessamos um prego (figura (A)). Existe a possibilidade de girá-las livremente ao redor desse prego. Agora imagine que atravessemos dois pregos (B). Nesse caso, o movimento giratório está travado. O mesmo acontece com as ligações covalentes entre carbonos. Ao longo de uma ligação simples (C) existe liberdade rotacional, mas ao longo de uma dupla (D), não.

(A)



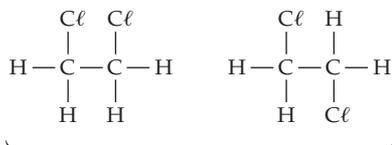
Rotação livre

(B)



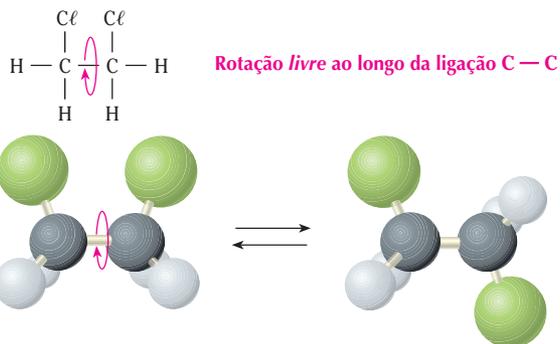
Rotação impedida

Assim, podemos dizer que:

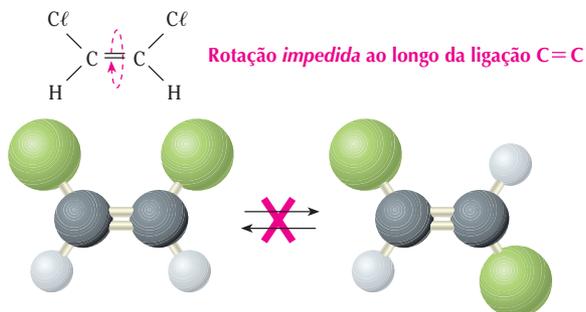


Representam a mesma substância.

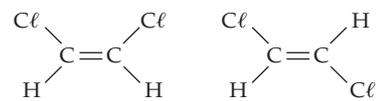
(C)



(D)

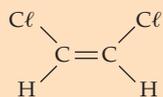
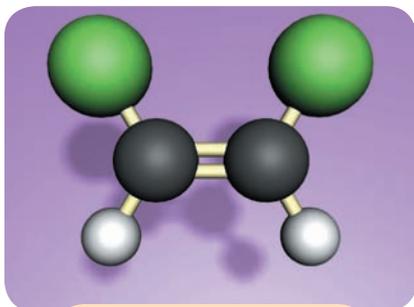


ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO



Não representam a mesma substância.

Esses dois últimos compostos podem ser definidos como isômeros, pois são compostos diferentes que possuem a mesma fórmula molecular ( $\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2$ ).

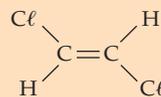
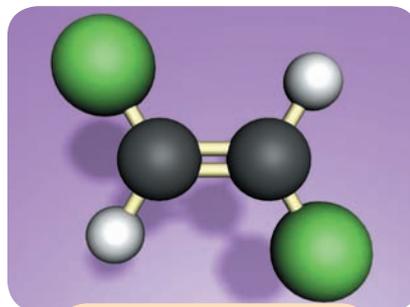


Fórmula molecular:  $\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2$

Massa molar: 97 g/mol

Ponto de ebulição: 60 °C

Densidade (20 °C): 1,28 g/cm<sup>3</sup>



Fórmula molecular:  $\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2$

Massa molar: 97 g/mol

Ponto de ebulição: 49 °C

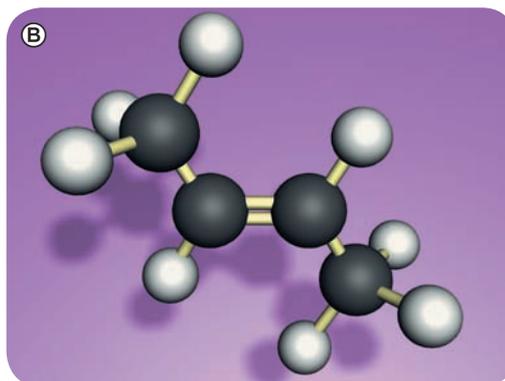
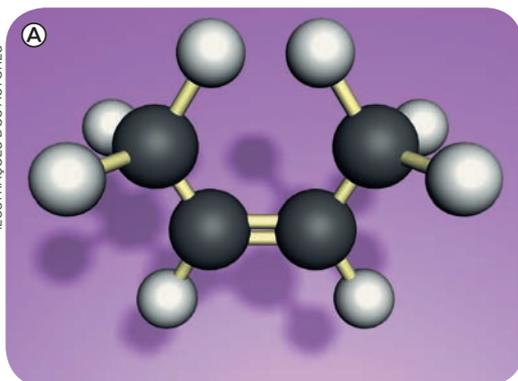
Densidade (20 °C): 1,26 g/cm<sup>3</sup>

ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES

(Modelos moleculares em cores fantasiosas, fora de proporção.)

Fonte dos dados: LIDE, D. R. (Ed.) *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 84. ed. Boca Raton: CRC Press, 2003. p. 3-1ss.

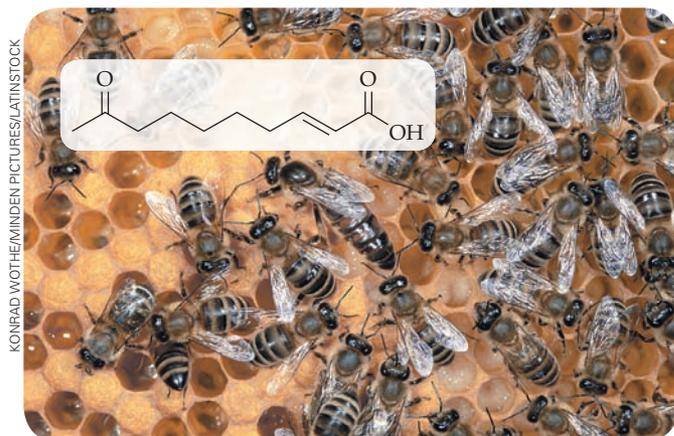




- Ⓐ Modelo de uma molécula de *cis*-but-2-eno.  
 Ⓑ Modelo de uma molécula de *trans*-but-2-eno.  
 (Cores fantasiosas, fora de proporção.)

Examinando os exemplos dados você também pode perceber como é feita a nomenclatura.

Chamamos de *cis* o composto em que os maiores grupos de cada carbono estão posicionados de um mesmo lado de uma linha imaginária que passa pela ligação dupla C=C, e de *trans* o composto em que os maiores grupos de cada carbono estão em lados opostos dessa linha.\*



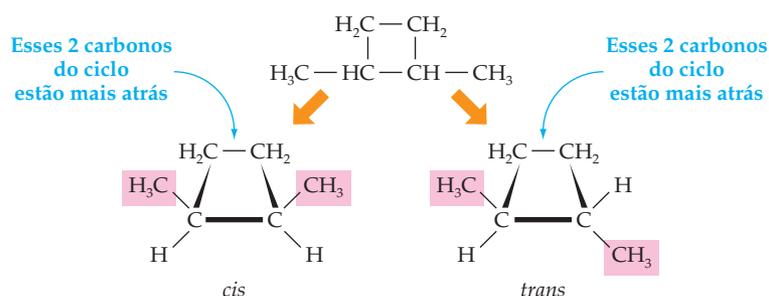
◀ O feromônio (substância usada na comunicação entre indivíduos da mesma espécie) da abelha-rainha com efeito regulador sobre a colônia é um isômero *trans*.



▲ O aroma das rosas se deve a várias substâncias, algumas das quais podem apresentar isomeria geométrica. (Veja o exercício 22.)

## 2.2 Isomeria geométrica em compostos cíclicos

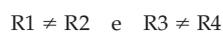
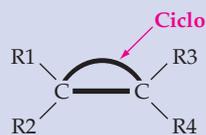
A presença de um ciclo na molécula pode também dar origem a isômeros *cis-trans*, uma vez que, assim como no caso da ligação dupla, o ciclo não permite livre rotação ao redor da ligação C—C. O exemplo a seguir ilustra essa situação.



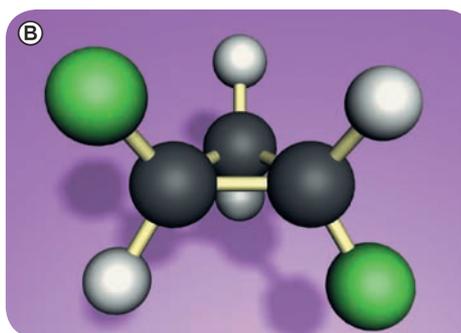
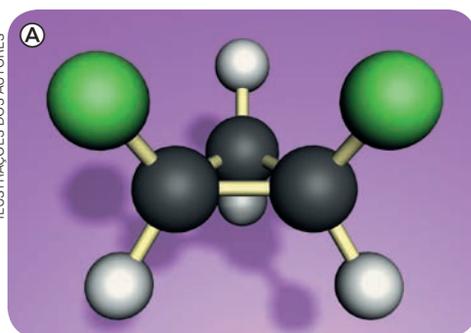
\* Há autores que chamam de *cis* o isômero em que grupos iguais ligados aos dois carbonos da dupla (por exemplo, os átomos de hidrogênio da porção —CH=CH— do but-2-eno) estão no mesmo lado, e chamam de *trans* o isômero em que esses grupos estão em lados diferentes. Devido à dificuldade de aplicar os termos *cis* e *trans* em diversas situações (por exemplo, no CHF=CCl(Br)), na Química universitária há outra maneira, mais adequada, para designar os isômeros geométricos, utilizando outros prefixos, *E* e *Z*. Esse tema não é tratado aqui, pois está acima do propósito deste livro.

Também nesse caso não basta a presença do ciclo para que haja isômeros geométricos. Há a necessidade de que pelo menos dois dos carbonos do ciclo apresentem ligantes diferentes entre si.

Condição para isomeria geométrica na presença de ciclo



ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES

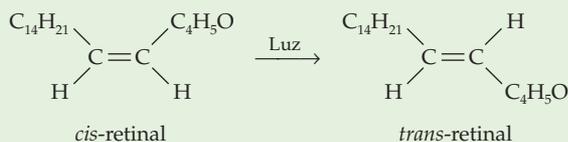


- A** Modelo de uma molécula de *cis*-1,2-dicloro-ciclo-propano.  
**B** Modelo de uma molécula de *trans*-1,2-dicloro-ciclo-propano.  
 (Cores fantasiosas, fora de proporção.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

## VISÃO ENVOLVE CONVERSÃO ENTRE ISÔMEROS GEOMÉTRICOS

Na retina — camada que fica na parte posterior do olho — existem células *fotorreceptoras* (isto é, receptoras da luz), que contêm uma substância chamada *cis*-retinal. A incidência de luz provoca a sua transformação em *trans*-retinal, reação que gera um impulso elétrico, que é enviado ao cérebro. Lá os impulsos são interpretados, compondo as imagens que vemos.



O olho dispõe de mecanismos capazes de reverter o *trans*-retinal em *cis*-retinal, estando, dessa maneira, pronto para receber mais luz. Em cada segundo, esses eventos se repetem milhões de vezes em nossos olhos.

O retinal é produzido pelo organismo a partir da vitamina A. A ausência dessa vitamina na dieta alimentar provoca uma doença conhecida como

cegueira noturna, caracterizada pela incapacidade de enxergar em ambientes pouco iluminados.

Na cenoura existe uma substância denominada  $\beta$ -caroteno (betacaroteno), que, no organismo, é convertida em vitamina A. Assim, comer cenouras evita certos tipos de distúrbios visuais. Isso, é claro, **não** assegura que quem as coma em quantidade vá possuir uma visão acima do normal (como acreditam algumas pessoas), pois a presença de retinal garante o funcionamento de parte do processo visual, apenas.



MAURÍCIO SIMONETTI/PULSAR IMAGENS

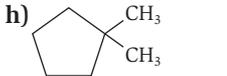
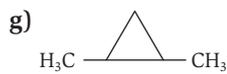
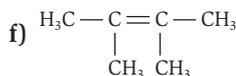
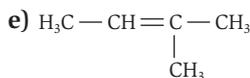
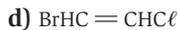
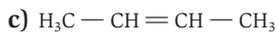
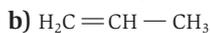
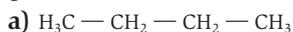
▲ Um dos eventos envolvidos no processo visual é a conversão de *cis*-retinal em *trans*-retinal.

## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

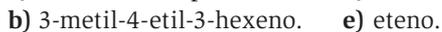
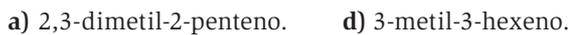
A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

16. Com relação às fórmulas planas mostradas, determine os casos em que há a possibilidade de isomeria geométrica.



17. Nos casos do exercício anterior em que existe isomeria geométrica, represente as estruturas de cada um dos isômeros.

18. (Udesc) Admite isomeria geométrica ou *cis-trans* o alceno:



19. (PUC-PR) Dados os compostos:

I. 2-buteno

II. 1-penteno

III. ciclopentano

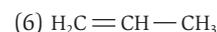
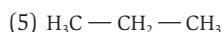
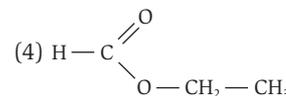
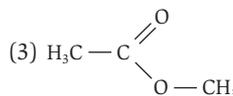
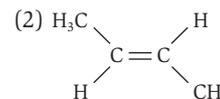
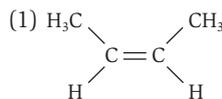
IV. 1,2-dicloro-ciclobutano

apresentam isomeria geométrica:



20. (UFMG) Escreva a fórmula estrutural e represente os isômeros *cis* e *trans* da cetona alifática de menor massa molecular, que apresenta isomeria geométrica.

21. (FGV-SP) Considere os compostos e as afirmações apresentadas sobre eles:



I. 1 e 2 são isômeros geométricos;

II. 3 e 4 apresentam a mesma fórmula molecular ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$ ), isto é: correspondem à mesma substância, portanto não se trata de isomeria;

III. 5 e 6 mostram um exemplo de isomeria de posição;

IV. 1, 2, 5 e 6 são hidrocarbonetos.

Dessas afirmações, apenas:

a) I é correta.

b) IV é correta.

c) I e II são corretas.

d) I e IV são corretas.

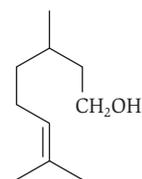
e) I, III e IV são corretas.

## Exercícios adicionais

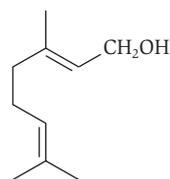
Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

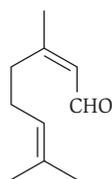
22. A estrutura dos três componentes principais responsáveis pelo aroma das rosas está mostrada a seguir. Eles representam 60% da massa do *óleo essencial* das rosas (*essencial* = relacionado à essência, ao perfume).



citronelol



geraniol



neral

Decida qual(is) deles pode(m) dar origem a isômeros geométricos.

23. (Fuvest-SP) Quantos isômeros estruturais e geométricos, considerando também os cíclicos, são previstos com a fórmula molecular  $\text{C}_3\text{H}_5\text{Cl}$ ?

a) 2

c) 4

e) 7

b) 3

d) 5

24. (Unifesp) Solubilidade, densidade, ponto de ebulição (P.E.) e ponto de fusão (P.F.) são propriedades importantes na caracterização de compostos orgânicos. O composto 1,2-dicloroeteno apresenta-se na forma de dois isômeros, um com P.E.  $60^\circ\text{C}$  e outro com P.E.  $48^\circ\text{C}$ . Em relação a esses isômeros, é correto afirmar que o isômero:

a) *cis* apresenta P.E.  $60^\circ\text{C}$ .

b) *cis* é o mais solúvel em solvente não polar.

c) *trans* tem maior polaridade.

d) *cis* apresenta fórmula molecular  $\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$ .

e) *trans* apresenta forças intermoleculares mais intensas.

25. (UFC-CE) A molécula de difluoreto,  $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_2$ , apresenta três fórmulas estruturais distintas, que são caracterizadas por diferentes posições dos átomos de flúor e hidrogênio ligados aos átomos de carbono.

a) Escreva as estruturas dos três isômeros estruturais do difluoreto relacionados na questão.

b) Classifique essas espécies químicas quanto a suas polaridades moleculares. Justifique.

## 3 Isomeria óptica

### 3.1 Investigando imagens no espelho

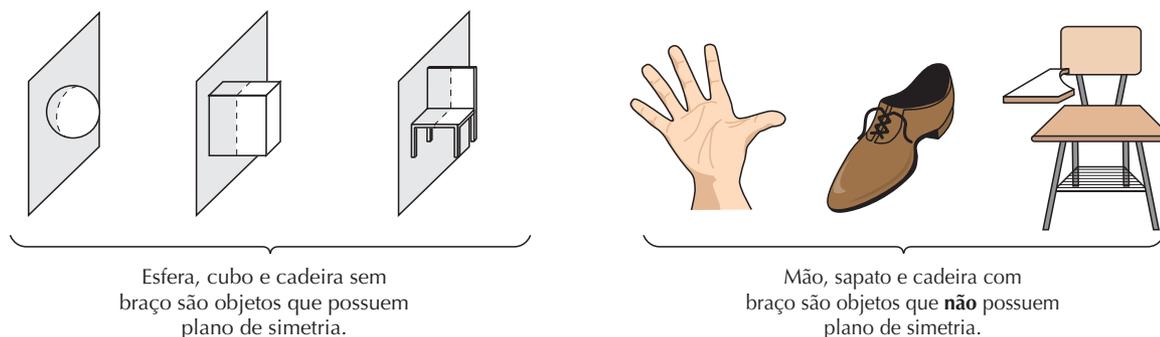
Quando colocamos uma esfera na frente de um espelho plano, percebemos que a imagem é uma esfera idêntica a ela (figura A). O mesmo acontece, por exemplo, com um cubo e uma cadeira comum.

No entanto, colocando uma de nossas mãos na frente do espelho, a imagem será diferente: será igual à outra mão (figura B). O mesmo acontece com um pé de sapato e uma cadeira com braço para escrever.



### 3.2 Plano de simetria

O que faz certos objetos produzirem uma imagem igual a eles e outros uma imagem diferente? A resposta está associada à presença de um **plano de simetria**, ou seja, um plano que divide o objeto em duas metades simétricas.



Esfera, cubo e cadeira sem braço são objetos que possuem plano de simetria.

Mão, sapato e cadeira com braço são objetos que **não** possuem plano de simetria.

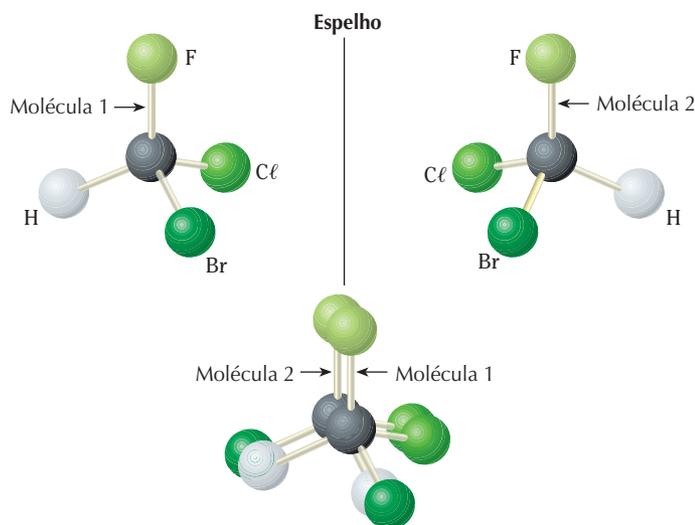
**Imagem especular** é o termo que usaremos para nos referirmos à imagem de um objeto no espelho. Assim, como você pode perceber, **objetos contendo pelo menos um plano de simetria produzem uma imagem especular igual a eles**, e o mesmo não acontece com objetos que não possuem plano de simetria.



◀ A imagem especular da bandeira brasileira é igual a ela ou é diferente dela?

### 3.3 Isomeria óptica e assimetria molecular

Considere, inicialmente, uma molécula de  $\text{CHBrClF}$ , de geometria tetraédrica, que não apresenta nenhum plano de simetria. Uma molécula desse tipo é chamada de **molécula assimétrica** ou **molécula quiral**. Se a colocarmos diante de um espelho, a imagem especular será diferente dela.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

▲ Esquemam ostrandou mam oléculad ef órmulam olecularC HBrClF e sua imagem especular, q ueéd iferented ela. As **moléculas 1 e 2** (ambas de fórmula molecularC HBrClF) **são iferentes**. Isso é percebido ao aproximarmos as moléculas. (Cores fantasiosas, fora de proporção.)

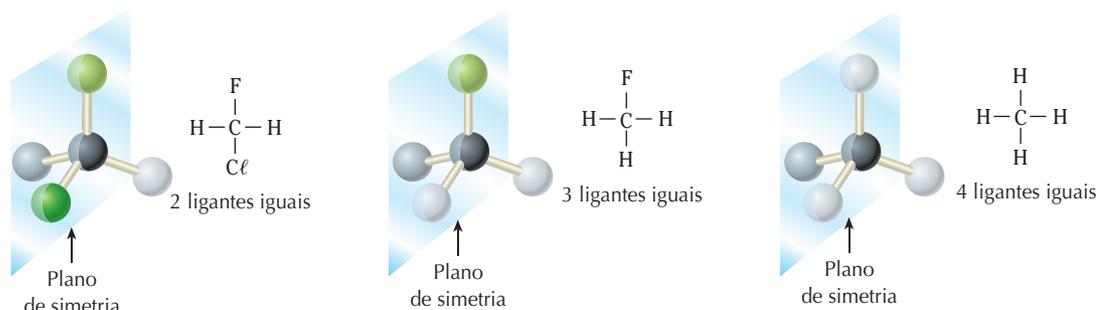
O espelho é apenas um recurso didático para ajudá-lo a perceber o principal: essas duas moléculas representam compostos diferentes, mas com a mesma fórmula molecular. São, portanto, isômeros.

Esse tipo de isomeria, em que uma molécula é a imagem especular da outra, é chamado de **isomeria óptica**. Os isômeros são chamados de **isômeros ópticos** ou **enantiômeros** ou, ainda, **enantiomorfos**. Trata-se do caso mais sutil de isomeria, que **ocorre com moléculas sem nenhum plano de simetria (moléculas assimétricas)**. A condição **necessária** para a isomeria óptica é a assimetria molecular.

### 3.4 Isomeria óptica e presença de carbono quiral

A isomeria óptica acontece apenas com as substâncias que têm moléculas assimétricas. Mas, olhando para a fórmula estrutural plana, como perceber que a molécula é assimétrica?

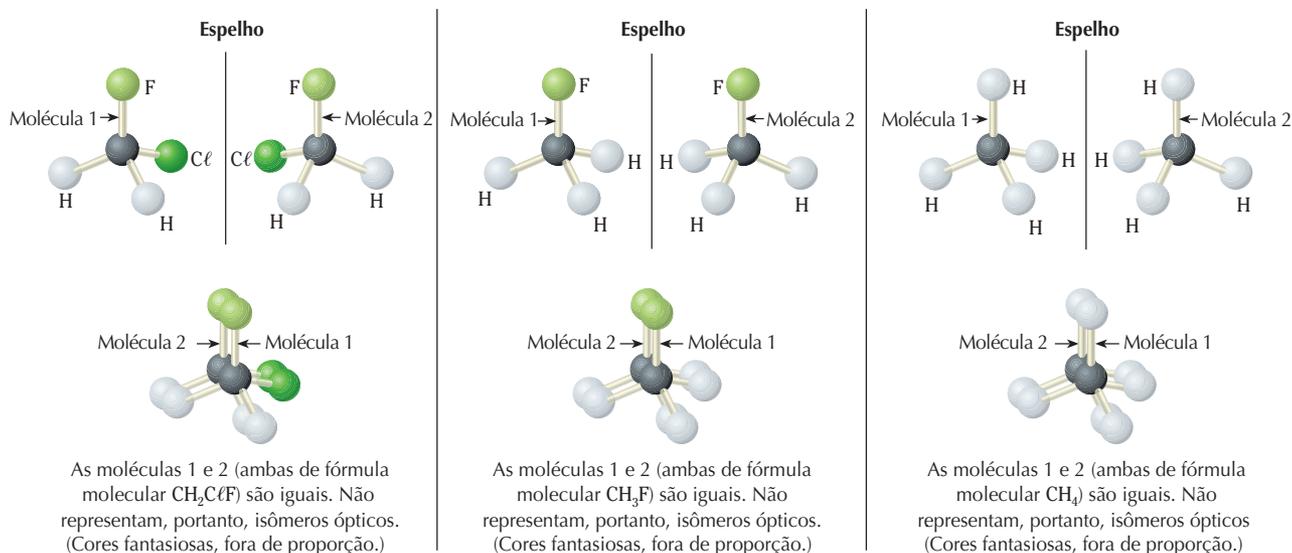
Para responder a essa pergunta, considere as moléculas representadas a seguir. Nenhuma delas possui quatro ligantes diferentes no carbono. Todas possuem pelo menos um plano de simetria e, portanto, fornecem uma imagem especular igual a si mesmas.



(Cores fantasiosas, fora de proporção.)

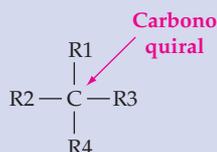
ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Vamos nos certificar do que acabamos de dizer, comparando as moléculas com suas imagens especulares.



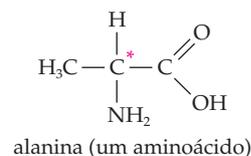
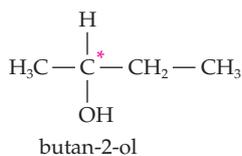
A assimetria molecular estará presente se houver na estrutura um carbono que faça quatro ligações simples e que esteja ligado a quatro grupos diferentes. O carbono em questão é chamado de **carbono assimétrico**, **carbono quiral** ou **centro quiral**. A presença de um carbono quiral é condição **suficiente** para a isomeria óptica.

#### Condição suficiente para haver isômeros ópticos



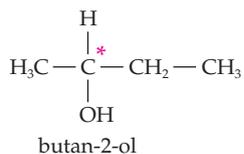
R1, R2, R3 e R4 todos diferentes entre si

Em uma estrutura, a presença de um carbono quiral permite que a substância possua isômeros ópticos. Costuma-se usar um asterisco (\*) para destacar esse carbono. Alguns exemplos de moléculas contendo carbono quiral aparecem a seguir.

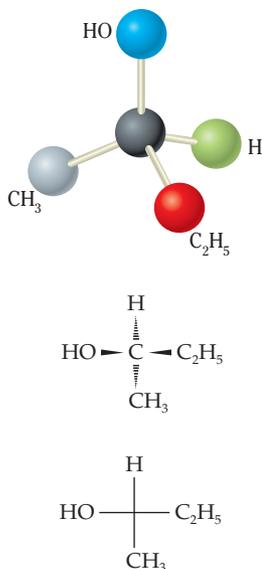


Quando um carbono faz uma ligação dupla, sua geometria é trigonal plana. Quando faz uma ligação tripla ou duas duplas, possui geometria linear. Em qualquer um desses casos, o carbono possui um **plano de simetria**, o que faz com que ele **não** seja um centro assimétrico. Assim, concluímos que carbono insaturado não pode ser quiral.

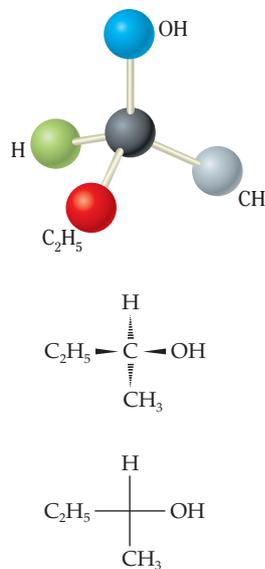
Esquema representando os isômeros ópticos do butan-2-ol cuja fórmula estrutural é:



**Projeções de Fischer**

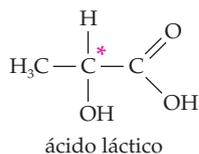


**Espelho**

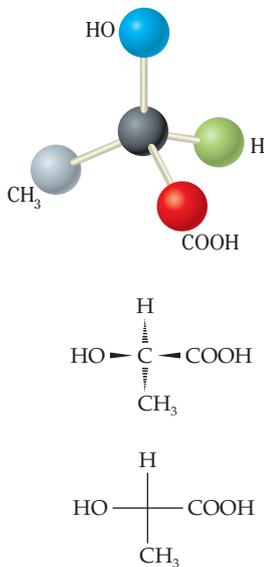


ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

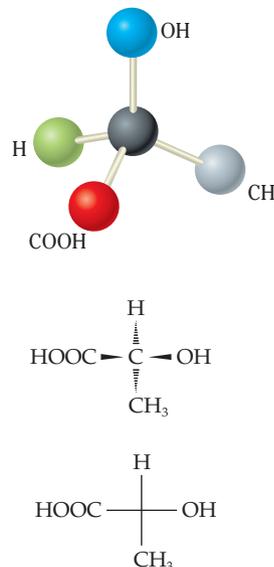
Esquema representando os isômeros ópticos do ácido láctico, cuja fórmula estrutural é:



**Projeções de Fischer**



**Espelho**



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

(Modelos moleculares em cores fantasiosas, fora de proporção.)

O exercício físico muito intenso, em um curto espaço de tempo, pode provocar a formação e o acúmulo de um dos isômeros ópticos do ácido láctico nos músculos, o que está relacionado à dor muscular. Semifinais da Copa do Mundo, Dortmund, Alemanha, 2006.

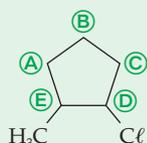


PATRIK STOLLARZ/AFP-GETTY IMAGES

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

## IDENTIFICANDO CARBONO QUIRAL EM UM CICLO

Considere o composto:



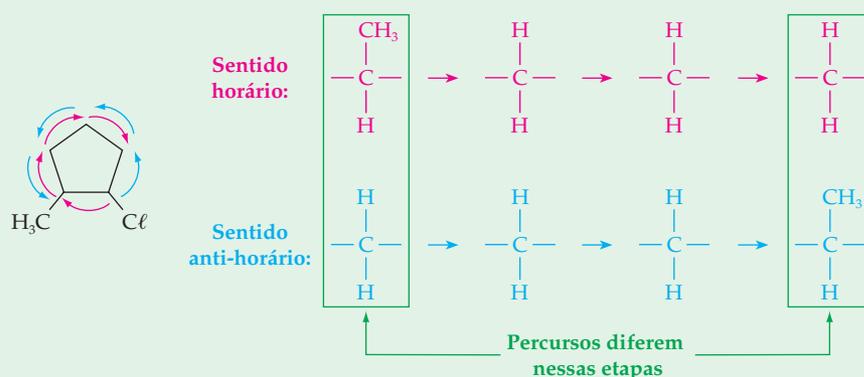
Quais dos carbonos são quirais?

Os carbonos ①, ② e ③ **não são quirais** porque possuem dois ligantes iguais, dois hidrogênios.

Agora vejamos o carbono ④.

Uma de suas quatro ligações é estabelecida com um **H**, outra como um **Cl**. As outras duas estão conectadas ao **ciclo**. Partindo do carbono ④, percorra o ciclo **simultaneamente** no sentido horário (indicado em magenta) e no sentido anti-horário (em azul), de átomo em átomo. **Se os dois trajetos forem idênticos, então o carbono não é quiral. Se os dois forem diferentes, então o carbono é quiral.**

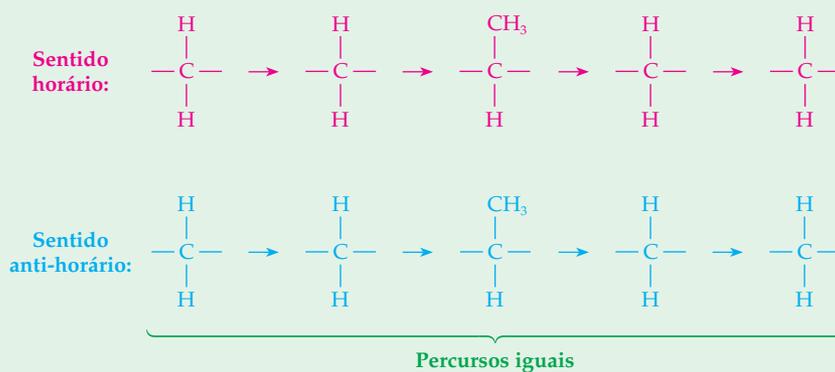
Note que os dois percursos são diferentes e, portanto, o carbono ④ **é quiral**.



Procedendo de modo similar com ⑤, concluímos que ele também **é quiral**.



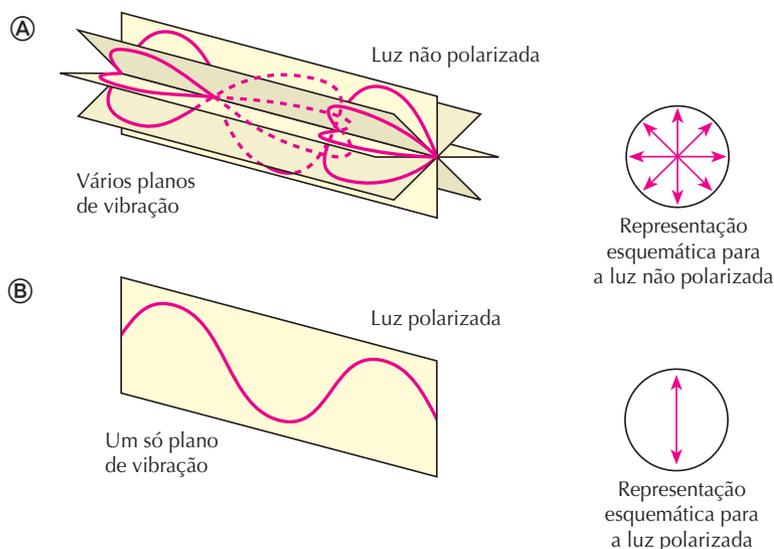
O carbono ⑥ **não é quiral** porque ambos os percursos são iguais.



Procedendo de modo similar com ⑦, concluímos que ele também **não é quiral**.

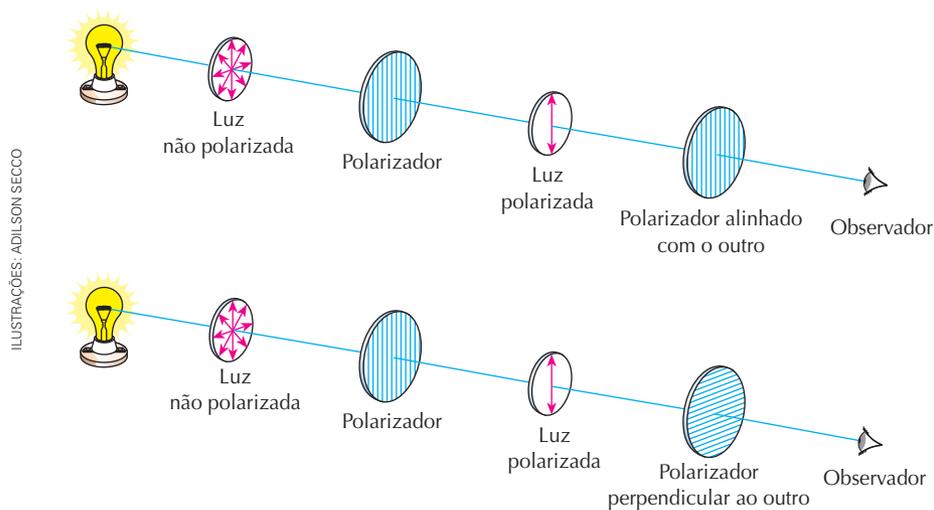
### 3.5 Polarização da luz

Quando uma lâmpada emite luz, na verdade ela está emitindo muitas ondas de luz, que vibram em vários planos. Isso é conhecido pelos cientistas como **luz não polarizada** (figura A). Existem lentes especiais, chamadas de polarizadores, capazes de fazer com que a luz, ao atravessá-las, sofra o fenômeno da polarização, que consiste em fazê-la passar a vibrar em um só plano. É chamada **luz polarizada** (figura B).



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Ao colocar dois polarizadores no caminho de um raio de luz, se eles estiverem alinhados (isto é, colocados de maneira que a direção de polarização seja a mesma), haverá passagem de luz por eles. Caso um deles esteja orientado com a direção de polarização perpendicular à do outro, isso dificultará muito a passagem de luz.

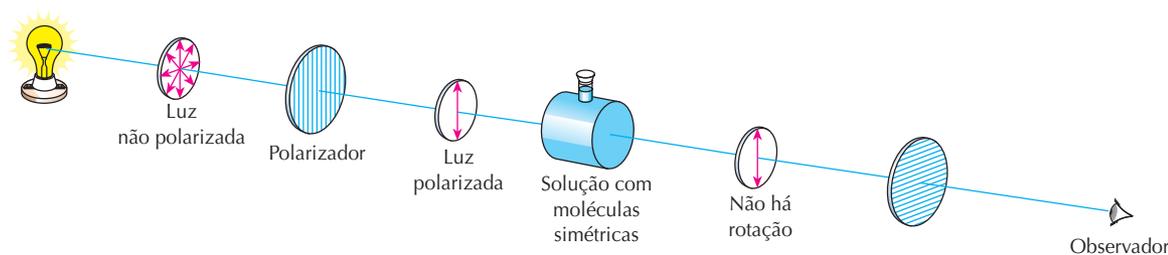


Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

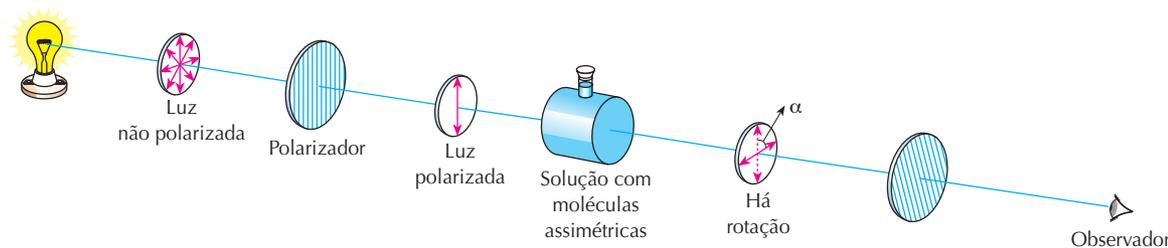
### 3.6 A luz polarizada e os enantiômeros

Fazendo com que a luz polarizada atravessasse um frasco contendo uma substância cujas moléculas sejam assimétricas, verifica-se experimentalmente que o plano de vibração da luz polarizada sofre um desvio.

Um dos enantiômeros desvia o plano da luz polarizada no sentido horário e o outro no anti-horário. O primeiro é chamado de **dextrorrotatório** (ou dextrogiro) e o segundo de **levorrotatório** (ou levogiro). São utilizadas as indicações (+) ou D para o dextrorrotatório e (-) ou L para o levorrotatório.



▲ Ao passar por um tubo contendo apenas moléculas simétricas, o plano da luz polarizada **não** sofre desvio (rotação). Dizemos que as moléculas simétricas são **ópticamente nativas**.

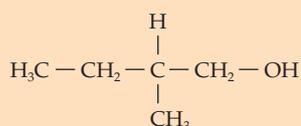


▲ Ao passar por um tubo contendo moléculas assimétricas, o plano da luz polarizada **sofre** desvio (rotação). Dizemos que as moléculas assimétricas são **ópticamente ativas**. Se o desvio ocorre no sentido horário (como o mostrado nesse esquema), a substância é **dextrorrotatória**. Caso o desvio seja no sentido anti-horário, a substância é **levorrotatória**.

### 3.7 Por que o nome isomeria óptica?

Em um par de isômeros ópticos, um dos enantiômeros é dextrorrotatório, desviando o plano da luz polarizada no sentido horário. O outro é levorrotatório, desviando-o no sentido anti-horário. Veja o exemplo:

#### (+)-2-metil-butan-1-ol



Fórmula molecular:  $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$

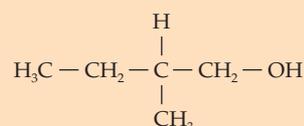
Ponto de ebulição:  $128^\circ\text{C}$

Densidade ( $25^\circ\text{C}$ ):  $0,815 \text{ g/cm}^3$

Solubilidade ( $25^\circ\text{C}$ ):  $3,1 \text{ g/100 g de H}_2\text{O}$

Desvio da luz polarizada (solução de  $1 \text{ g/cm}^3$ ; tubo de comprimento de  $10 \text{ cm}$ ):  $+5,90^\circ$  (dextrorrotatório)

#### (-)-2-metil-butan-1-ol



Fórmula molecular:  $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$

Ponto de ebulição:  $128^\circ\text{C}$

Densidade ( $25^\circ\text{C}$ ):  $0,815 \text{ g/cm}^3$

Solubilidade ( $25^\circ\text{C}$ ):  $3,1 \text{ g/100 g de H}_2\text{O}$

Desvio da luz polarizada (solução de  $1 \text{ g/cm}^3$ ; tubo de comprimento de  $10 \text{ cm}$ ):  $-5,90^\circ$  (levorrotatório)

Fonte dos dados: LIDE, D. R. (Ed.) *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 84. ed. Boca Raton: CRC Press, 2003. p. 3-1ss, 8-93 ss; MORRISON, R. T.; BOYD, R. N. *Organic Chemistry*. 6. ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1992. p. 129-130.

Considere duas soluções de mesma concentração, uma de cada enantiômero de uma dada substância em que exista isomeria óptica. Se fizermos a luz polarizada atravessar cada uma delas (em tubos de mesmo comprimento), perceberemos que o desvio sofrido pelo plano da luz polarizada terá o mesmo valor (que é medido em graus). A única diferença entre ambas estará no fato de uma delas desviá-lo no sentido horário e a outra, no anti-horário.

As propriedades físicas (ponto de fusão, ponto de ebulição, densidade) de dois enantiômeros são iguais, *exceto* o desvio sobre a luz polarizada. Daí o nome **isômeros ópticos** (isto é, diferem numa propriedade óptica).

### 3.8 Mistura racêmica

Se fizermos uma solução com ambos os enantiômeros, cada qual presente na mesma concentração em mol/L, verificaremos que ela não desvia o plano da luz polarizada. Essa mistura, que é opticamente inativa, recebe o nome de *mistura racêmica*.

**Mistura racêmica** é uma mistura formada por iguais quantidades de uma substância levorrotatória e seu respectivo enantiômero dextrorrotatório. Ela é **opticamente inativa**, ou seja, não desvia o plano da luz polarizada.

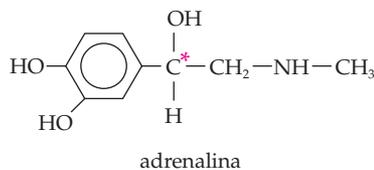
#### Qual a origem da expressão *mistura racêmica*?

**Racêmico** vem do latim *racemus*, que significa cacho de uva. O cientista francês Louis Pasteur estudou, em 1848, o ácido tartárico (na época denominado *acidum racemicum*), encontrado na uva. Ao cristalizar tal substância (na verdade, uma mistura racêmica), percebeu que os cristais eram assimétricos e uns eram a imagem especular dos outros. Ele separou os dois tipos de cristais manualmente, com auxílio de uma lupa, obtendo os isômeros opticamente ativos do ácido tartárico. Essa foi a primeira separação de mistura racêmica de que se tem notícia.

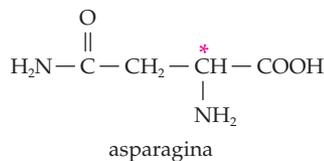
### 3.9 Efeitos fisiológicos dos enantiômeros

No que diz respeito aos efeitos fisiológicos (efeitos sobre um organismo vivo), muitas vezes os enantiômeros possuem notáveis diferenças.

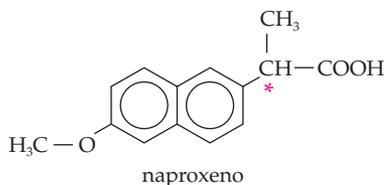
Como exemplo, podemos citar a *adrenalina*, substância liberada na corrente sanguínea quando levamos um susto, sendo a responsável pela subsequente aceleração dos batimentos cardíacos. Em sua fórmula estrutural, mostrada abaixo, você percebe a presença de um carbono quiral. De ambos os enantiômeros da adrenalina, apenas um deles, o levorrotatório (-), possui efeito fisiológico.



Outro exemplo interessante é o da *asparagina*. Um de seus enantiômeros estimula as papilas linguais, produzindo a sensação de sabor doce. O outro produz a sensação de sabor amargo. Nesse caso, cada um dos isômeros ópticos difere no efeito fisiológico sobre a língua ou, em palavras mais simples, cada um deles tem um sabor diferente.



Muitos medicamentos contêm carbono quiral e, portanto, exibem o fenômeno da isomeria óptica. O *naproxeno* é um exemplo. Um de seus enantiômeros é comercializado para atuar como anti-inflamatório, ajudando a aliviar dores. O outro, além de não ter esse efeito, pode causar danos ao fígado. Logo, apenas um dos enantiômeros é comercializado.



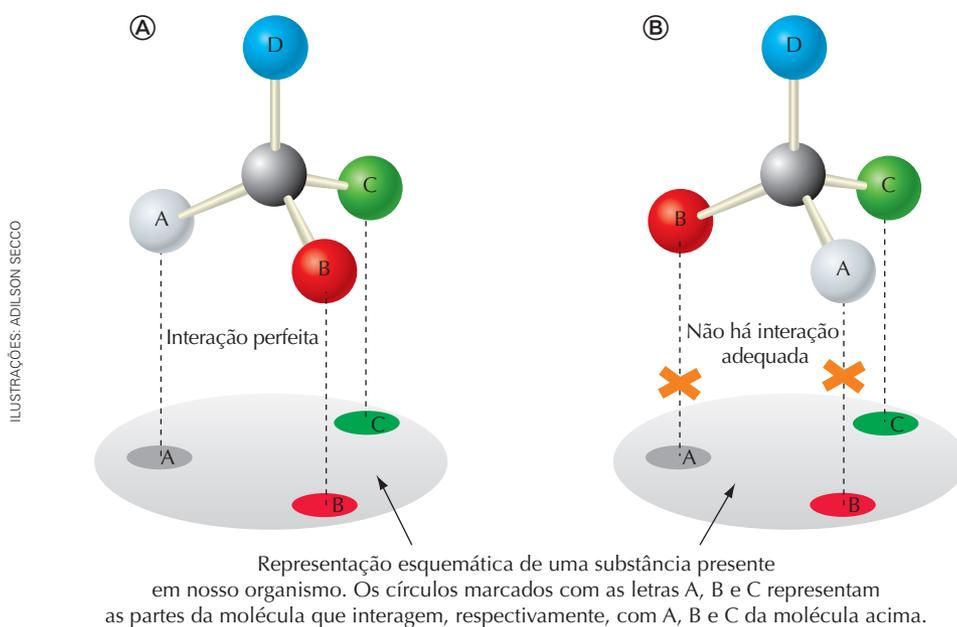
#### • ATENÇÃO

O consumo de medicamentos sem orientação médica, a automedicação, é uma atitude perigosíssima à saúde.

**JAMAIS SE AUTOMEDIQUE.**

Mas por que os efeitos de dois enantiômeros sobre o organismo podem ser diferentes?

Em nosso organismo está acontecendo, a todo momento, uma infinidade de reações químicas. Medicamentos, alimentos e bebidas contêm substâncias que tomam parte nessas reações. Acontece que várias substâncias presentes em nosso corpo apresentam assimetria molecular. Se certo enantiômero, quando ingerido, tem uma configuração espacial que o torna capaz de reagir com determinada substância existente em nosso corpo, então pode ser que o outro enantiômero, por mostrar uma configuração espacial diferente, não tenha tal capacidade. O esquema a seguir esclarece isso.

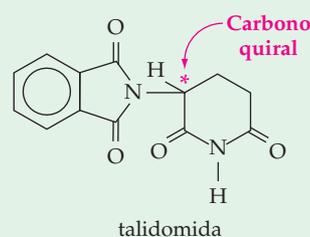


- Ⓐ Uma substância assimétrica com os ligantes ABCD reage com uma substância presente no corpo. Ambas interagem com perfeição para que a reação ocorra.
- Ⓑ O enantiômero, no qual também existem os ligantes ABCD, não possui uma configuração geométrica tal que possa interagir adequadamente. A reação não ocorre. (Representações esquemáticas, fora de proporção e em cores fantasiosas.)

Os enantiômeros comportam-se de modos diferentes quando envolvidos em reações químicas com reagentes que também sejam assimétricos. Essa é a explicação para o fato de eles, em geral, possuírem diferentes efeitos fisiológicos.

## TALIDOMIDA

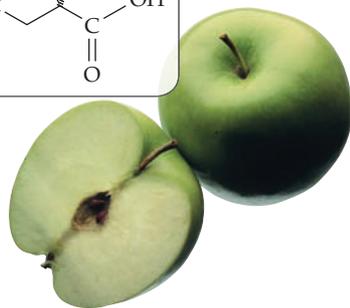
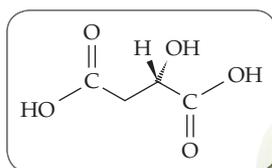
No início da década de 1960, a Alemanha apresentou diversos casos de crianças que nasciam deformadas. Os braços não cresciam, tinham menos ou nenhum dedo, além de outros defeitos. Posteriormente, uma cuidadosa pesquisa apurou que a origem das malformações devia-se a uma substância que as mães haviam ingerido como tranquilizante durante a gravidez: a talidomida. Esta encontrava-se presente também em xaropes para tosse e era recomendada para reduzir os sintomas de enjoo comuns durante a gravidez. Supõe-se que a substância age sobre o embrião humano entre os 28<sup>o</sup> e 42<sup>o</sup> dias após a concepção, momento no qual formam-se os braços.



Esse composto tem um átomo de carbono quiral e existem dois enantiômeros, (+) e (-). O medicamento empregado consistia de uma mistura racêmica. Depois da retirada do mercado, descobriu-se que somente o enantiômero (-) tem propriedades teratogênicas, isto é, que produzem alterações durante a gravidez, enquanto o enantiômero (+) induz o sono.

De maneira dramática, a talidomida evidenciou que a geometria ao redor de um único átomo de carbono pode dar lugar a um medicamento ou a uma substância perigosa.

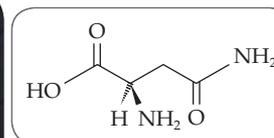
Fonte do texto: GARRITZ, A.; CHAMIZO, J. A. *Química*. São Paulo: Pearson/Prentice-Hall, 2003. p. 347-348.



▲ O ácido málico (*malum* em latim significa maçã), ou ácido 2-hidróxi-butanodioico, encontrado na maçã, apresenta o fenômeno da isomeria óptica.

PHOTODISC/GETTY IMAGES

FERNANDO FAVORETTO/ICID



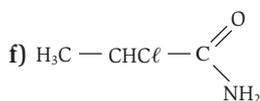
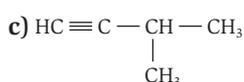
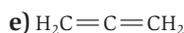
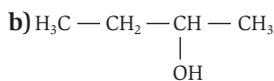
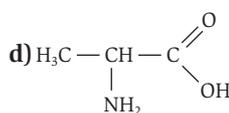
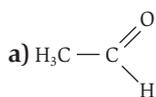
◀ Um dos enantiômeros da asparagina (fórmula mostrada) tem sabor doce e é usado na fabricação do adoçante artificial aspartame. O outro enantiômero tem sabor amargo. É um exemplo de isômeros ópticos com diferentes efeitos fisiológicos.

## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

26. Quais das moléculas a seguir têm carbono assimétrico?



27. (UFRGS-RS) Entre os hidrocarbonetos fluoroclorados, o  $\text{CFC}_l_3$ , também denominado CFC-11, é dos poluentes mais perigosos pelos danos que pode causar à camada de ozônio. Quanto à isomeria, é possível prever que o  $\text{CFC}_l_3$ :

- a) apresenta 3 isômeros.
- b) apresenta 4 isômeros.
- c) apresenta 5 isômeros.
- d) apresenta 11 isômeros.
- e) não apresenta isômeros.

28. (Esam-RN) Dos seguintes ácidos, qual apresenta isômeros ópticos?

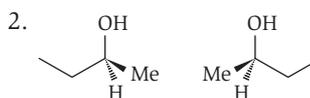
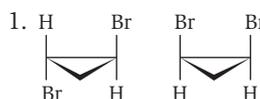
- a)  $\text{CH}_3\text{COOH}$
- b)  $\text{CCl}_3\text{COOH}$
- c)  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$
- d)  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$
- e)  $\text{CH}_3\text{CHClCOOH}$

29. (PUC-PR) Alguns compostos orgânicos podem apresentar mais de um tipo de isomeria, por exemplo, isomeria espacial tipo *cis-trans* e óptica.

Qual dos compostos abaixo apresenta essa propriedade?

- a) 2-penteno
- b) 4-metil-2-penteno
- c) 2,4-dicloro-pentano
- d) 2,4-dimetil-2-penteno
- e) 2,4-dicloro-2-penteno

30. (UFRGS-RS) Considere os seguintes pares de compostos orgânicos.



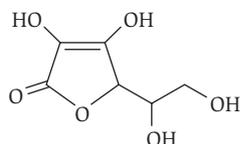
Os pares 1, 2 e 3 correspondem, respectivamente, a:

- a) isômeros ópticos, compostos idênticos e isômeros de função.
- b) isômeros de posição, enantiômeros e isômeros de cadeia.
- c) isômeros de função, diastereoisômeros e isômeros de posição.
- d) isômeros de cadeia, compostos idênticos e isômeros de função.
- e) isômeros geométricos, enantiômeros e isômeros de posição.

31. (UFPE) Em seu livro *O homem que matou Getúlio Vargas*, Jô Soares afirma que “a naftalina, encontrada em qualquer lugar para matar traças, misturada em dose certa, pode ser tão tóxica e fulminante quanto o cianeto”. O constituinte básico da naftalina é o naftaleno,  $\text{C}_{10}\text{H}_8$ , sobre o qual podemos afirmar que é um hidrocarboneto:

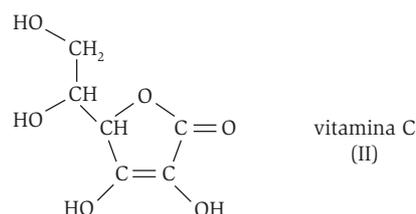
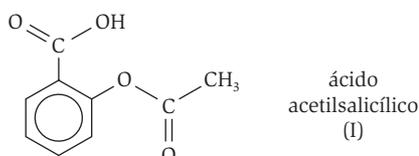
- a) aromático, que apresenta atividade óptica.
- b) aromático aquiral.
- c) cíclico saturado.
- d) acíclico.
- e) cíclico insaturado quiral.

32. (Fuvest-SP) A molécula da vitamina C (ácido L-ascórbico) tem a fórmula estrutural plana abaixo.



O número de grupos hidroxila ligados a carbono assimétrico é:

- a) 0    b) 1    c) 2    d) 3    e) 4
33. (Vunesp) Dentre os inúmeros preparados farmacêuticos para o combate à dor, alguns contêm em suas formulações o ácido acetilsalicílico — um analgésico e antitérmico, muito utilizado no combate à dor de cabeça —, outros são misturas de vitamina C e ácido acetilsalicílico, tendo como finalidade combater os sintomas da gripe. As fórmulas estruturais para esses compostos são apresentadas a seguir.



Com relação a esses produtos, é correto afirmar que há quiralidade

- a) apenas em I, pois na sua molécula há seis átomos de carbono do anel benzênico.  
 b) apenas em I, pois na sua molécula há dois átomos de carbono ligados, simultaneamente, a dois átomos de oxigênio.  
 c) apenas em II, pois na sua molécula há dois átomos de carbono unidos por dupla ligação e que constituem o heterociclo.  
 d) apenas em II, pois na sua molécula há dois átomos de carbono ligados, cada um deles, a quatro grupos distintos.  
 e) em I e II, pois as moléculas de ambos apresentam átomos de carbono unidos por ligações duplas constituindo um ciclo.

## Exercícios adicionais

Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

34. (UFRRJ) Os álcoois são substâncias orgânicas extremamente comuns, sendo alguns utilizados no cotidiano por todos nós. O etanol, por exemplo, além de ser usado como combustível, é encontrado em bebidas, em produtos de limpeza, em perfumes, cosméticos e na formulação de muitos medicamentos. Já o 2-propanol está presente em alguns produtos de limpeza.

Em relação aos **álcoois** que obedecem à fórmula molecular  $C_4H_{10}O$ , analise as afirmações a seguir:

- I. Somente dois álcoois obedecem à fórmula acima.  
 II. Um dos álcoois que obedecem à fórmula acima possui uma insaturação.  
 III. Um dos álcoois que obedecem à fórmula acima apresenta um carbono assimétrico.  
 IV. Não há compostos cíclicos entre os álcoois que obedecem à fórmula acima.

São **corretas** somente as afirmações:

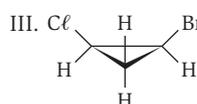
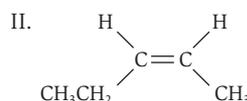
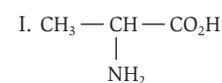
- a) I, III e IV.    d) I e IV.  
 b) III e IV.    e) II e III.  
 c) I e II.
35. (FGV-SP) São feitas as seguintes afirmações sobre o composto 3,5-dimetil-hepta-2-eno:
- I. A sua fórmula molecular é  $C_9H_{18}$ .

- II. Apresenta um átomo de carbono com arranjo trigonal planar.  
 III. Apresenta dois isômeros ópticos.  
 IV. Apresenta isomeria geométrica.

São corretas as afirmações contidas apenas em:

- a) II e III.    d) I, II e IV.  
 b) III e IV.    e) I, III e IV.  
 c) I, II e III.

36. (PUC-RS) Dados os compostos

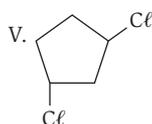
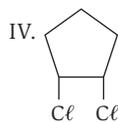
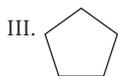


é (são) opticamente ativo(s):

- a) somente I.    d) I, II e III.  
 b) I e II.    e) II e III.  
 c) I e III.

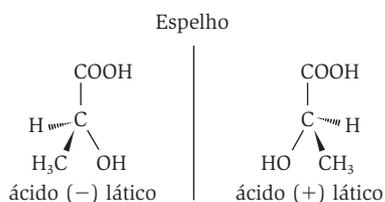
37. (UFJF-MG) Com relação às estruturas representadas abaixo, determine a alternativa **correta**

- I.  $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$   
 II.  $\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$



- a) I e III são isômeros de posição.  
 b) I e IV apresentam isomeria geométrica.  
 c) Apenas o composto V apresenta isomeria óptica.  
 d) I é isômero de posição de II e isômero de cadeia de III.  
 e) I e II são isômeros de cadeia.

38. (Vunesp) Uma molécula é quiral se a sua imagem não é idêntica à sua imagem especular. Considere, por exemplo, a molécula de ácido láctico, onde temos dois isômeros óticos, o ácido (+) láctico e o ácido (-) láctico.



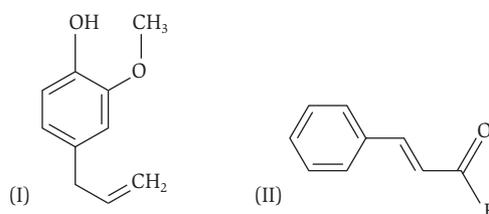
Pode-se afirmar, para os dois isômeros óticos, que:

- a) ambos não desviam o plano da luz plano-polarizada.  
 b) os dois isômeros óticos são chamados de enantiômeros.  
 c) o ácido (-) láctico é dextrógiro.  
 d) o ácido (+) láctico é levógiro.  
 e) uma solução dos dois isômeros, na mesma concentração, desvia o plano da luz polarizada de um ângulo de  $+2,6^\circ$ .
39. (Unicamp-SP) As plantas necessitam se comunicar com insetos e mesmo com animais superiores na polinização, frutificação e maturação. Para isso, sintetizam substâncias voláteis que os atraem. Um exemplo desse tipo de substâncias é o 3-penten-2-ol, encontrado em algumas variedades de manga, morango, pêssego, maçã, alho, feno e até mesmo em alguns tipos de queijo como, por exemplo, o parmesão. Alguns dos seus isômeros atuam também como feromônios de agregação de certos insetos.

a) Sabendo que o 3-penten-2-ol apresenta isomeria *cis-trans*, desenhe a fórmula estrutural da forma *trans*.

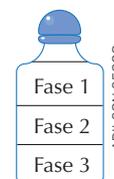
b) O 3-penten-2-ol apresenta também outro tipo de isomeria. Diga qual é e justifique a sua resposta utilizando a fórmula estrutural.

40. (UFMS) O eugenol (I), obtido do cravo-da-índia, e o aldeído cinâmico (II), extraído da canela, são compostos orgânicos de odor muito agradável, usados em perfumarias, indústrias farmacêuticas e de alimentos.



Com relação às suas estruturas, é correto afirmar que:

- a) as substâncias I e II podem apresentar enantiômeros.  
 b) a substância II possui carbono assimétrico e, portanto, pode apresentar isomeria óptica.  
 c) a substância I apresenta tautomeria aldo-enólica.  
 d) a substância II tem estrutura de um aldeído  $\alpha,\beta$ -insaturado, enquanto que a substância I constitui-se num álcool aromático.  
 e) a substância II apresenta isomerismo geométrico ou *cis-trans*.
41. (Unicamp-SP) A dor pode resultar do rompimento de tecidos onde se formam várias substâncias, como as prostaglandinas, que a potencializam. Fundamentalmente, essas moléculas apresentam um anel saturado de cinco átomos de carbono, contendo duas cadeias laterais vizinhas, sendo que cada uma possui uma dupla ligação. Uma das cadeias laterais contém sete átomos de carbono, incluindo o carbono de um grupo ácido carboxílico terminal e a dupla ligação entre os carbonos 2 e 3 a partir do anel. A outra cadeia contém oito átomos de carbono, com um grupo funcional hidroxila no terceiro carbono a partir do anel e a dupla ligação entre os carbonos 1 e 2 a partir do anel.
- a) Desenhe a fórmula estrutural da molécula descrita no texto.  
 b) Identifique com um círculo, na fórmula do item a, um carbono assimétrico.  
 c) Calcule a massa molar da prostaglandina.
42. (UFRJ) Uma indústria de cosméticos quer desenvolver um óleo hidratante cuja principal característica será apresentar três fases. Para aumentar a beleza do produto, cada fase deverá exibir uma coloração diferente. Para tal fim, será adicionado um corante azul a uma das fases e um vermelho a outra.



Alguns detalhes dos principais ingredientes da fórmula do óleo estão representados na tabela a seguir:

Ingrediente	Densidade (g/mL)	Teor (%v/v)	Cor
Solução aquosa de NaCl a 15%	1,1	33,0	Incolor
Parafina líquida	0,83	33,0	Incolor
Hexileno glicol	0,92	33,0	Incolor
Corante azul	—	0,5	Azul
Corante vermelho	—	0,5	Vermelho

O corante azul é um composto apolar, o corante vermelho só é solúvel em hexileno glicol, e os três ingredientes presentes em maior quantidade na fórmula são completamente imiscíveis entre si.

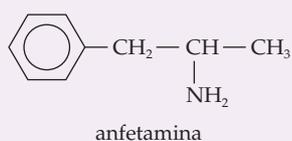
a) Determine os ingredientes das fases 1, 2 e 3.

b) Sabendo que a fórmula condensada do hexileno glicol é  $(\text{CH}_3)_2\text{COHCH}_2\text{CHOHCH}_3$ , escreva a sua representação em bastão e indique o carbono assimétrico.

## Informe-se sobre a Química

### Fármacos quirais: catálise assimétrica dá Prêmio Nobel

A anfetamina é um medicamento com poderosa ação estimulante sobre o sistema nervoso central. Pode ser usada, **sob orientação médica**, no tratamento de pacientes que sofrem de depressão.



#### • ATENÇÃO

O consumo de medicamentos sem orientação médica, a automedicação, é uma atitude perigosíssima à saúde.

**JAMAIS SE AUTOMEDIQUE.**

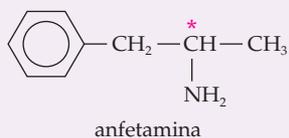
Algumas pessoas utilizam a anfetamina sem orientação médica, como droga, visando obter a sensação de euforia por ela provocada. Trata-se de uma droga ilegal **altamente prejudicial à saúde**.

Em alguns países (não é o caso do Brasil), dois fabricantes vendem esse medicamento com nomes comerciais diferentes, que aqui chamaremos de X e Y. Uma análise em laboratório revela que ambos possuem exatamente a mesma fórmula estrutural plana. A dose diária de X indicada como antidepressor é de 5 mg, enquanto, para obter o **mesmo efeito**, um paciente deve ingerir 10 mg de Y. Se ambos possuem a mesma fórmula estrutural plana, qual será o motivo para essa aparente contradição?

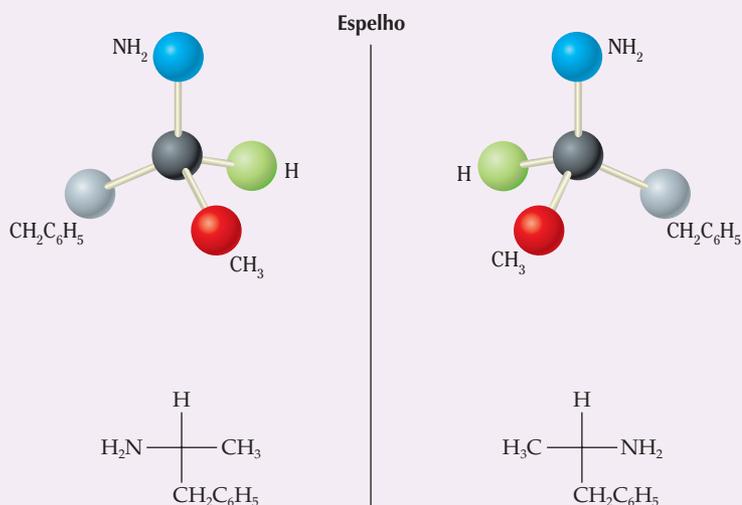
A anfetamina possui um carbono quiral. Isso faz com que ela possua dois isômeros ópticos, sendo que um deles atua sobre o organismo como medicamento (efeito fisiológico), mas o outro não.

Assim, o **produto X**, cuja dose diária é de 5 mg, é composto **apenas** pelo **isômero que possui efeito como medicamento**. Já o **produto Y**, cuja dose diária é o dobro (10 mg), constitui uma mistura em quantidades iguais de ambos os enantiômeros, uma **mistura racêmica**. Ao ingerir 10 mg desse produto, o paciente estará ingerindo 5 mg do isômero que atua como medicamento e 5 mg do outro, que não atua.

Esquema mostrando os dois enantiômeros da anfetamina. Um deles tem efeito fisiológico como medicamento e o outro não.



Projeções de Fischer

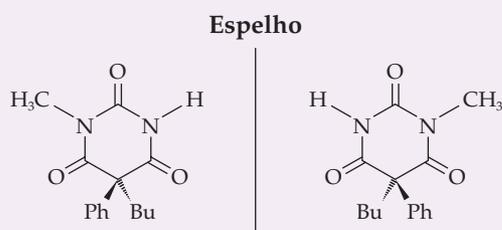


ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

A anfetamina é um **fármaco quiral**, ou seja, um medicamento que corresponde a **um** enantiômero.

No caso de fármacos quirais é muito frequente que o outro enantiômero **não** tenha efeito como fármaco, ou que possua um efeito fisiológico diferente ou, muito pior, que apresente efeitos indesejáveis, tóxicos ou até fatais.

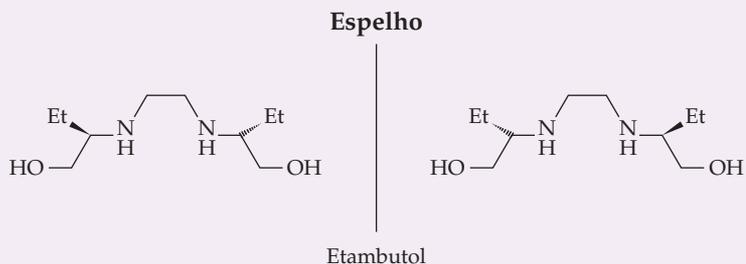
Veja mais alguns exemplos de fármacos quirais:



Derivados do ácido barbitúrico

Um deles é anticonvulsivo e o outro é narcótico.

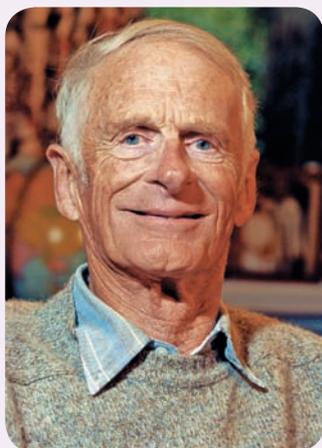
Nesses esquemas, a legenda é:  
Et = etil  
Bu = butil (ou *n*-butil)  
Ph = fenil



Um deles é antibiótico contra a bactéria causadora da tuberculose e o outro provoca cegueira.

Na síntese de um fármaco quiral, se forem usados reagentes não quirais, o que se obtém geralmente é uma mistura racêmica; o composto de interesse estará misturado com outro, seu enantiômero, que, além de não interessar, precisa ser separado para evitar possíveis riscos de efeitos colaterais.

O desenvolvimento de métodos de síntese com **catálise assimétrica** (usando catalisadores quirais) que permite obter apenas o enantiômero de interesse deu o Prêmio Nobel 2001 aos químicos William S. Knowles, K. Barry Sharpless e Ryoji Noyori.



▲ William S. Knowles. Saint Louis, EUA, 2001.



▲ K. Barry Sharpless. Califórnia, EUA, 2001.



▲ Ryoji Noyori. Tóquio, Japão, 2001.

### ● Você entendeu a leitura?

Responda em seu caderno

1. O texto apresenta alguns exemplos de fármacos quirais, como os derivados do ácido barbitúrico e o etambutol. Os esquemas apresentados são acompanhados pela seguinte legenda:

Et = etil

Bu = butil (ou *n*-butil)

Ph = fenil

- a) Interprete os esquemas e as legendas que constam no texto e, a seguir, deduza e escreva no seu caderno a fórmula molecular dos fármacos quirais exemplificados no texto.
- b) Baseado nos esquemas e nas legendas que constam no texto, escreva em seu caderno a fórmula estrutural plana de um dos enantiômeros do derivado do ácido barbitúrico e de um dos enantiômeros do etambutol.

2. Um dos processos utilizados no enriquecimento do urânio (separar o isótopo  $^{235}\text{U}$  do  $^{238}\text{U}$ ) é o da ultracentrifugação.

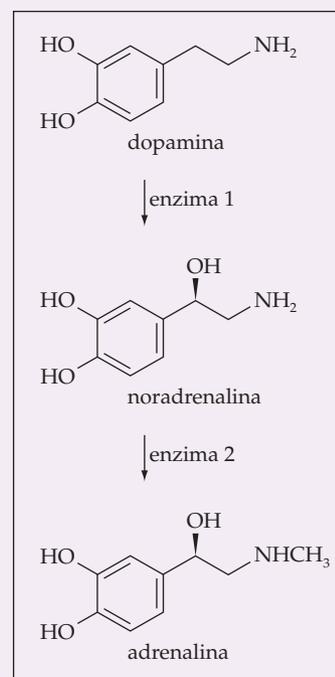
Segundo a leitura do texto, na síntese de um fármaco quiral, se forem usados reagentes não quirais, o que se obtém geralmente é uma mistura racêmica; o composto de interesse estará misturado com outro, seu enantiômero, que, além de não interessar, precisa ser separado para evitar possíveis riscos de efeitos colaterais.

Seria possível que, após a obtenção da mistura racêmica, o composto de interesse fosse separado do seu enantiômero por ultracentrifugação, sendo desnecessária assim a síntese com catálise assimétrica?

3. Procure no texto um exemplo que represente com clareza o mérito da síntese com catálise assimétrica e transcreva para seu caderno.

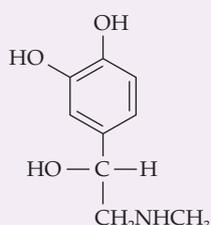
(UFRJ-modificado) **O texto a seguir é referente às questões 4 e 5.**

A adrenalina (ou epinefrina) é sintetizada na medula adrenal em diversas etapas. As duas últimas reações são apresentadas no esquema a seguir:



Na sequência de reações representadas no esquema, como na maioria das reações bioquímicas envolvendo compostos quirais, somente um dos possíveis enantiômeros reage e/ou apresenta atividade fisiológica.

4. a) Dos compostos do esquema apresentado, quais são quirais?  
 b) Uma representação planar da adrenalina fisiologicamente ativa é apresentada a seguir.

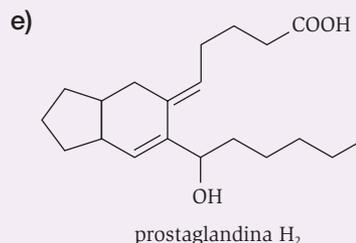
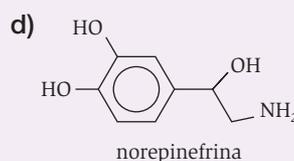
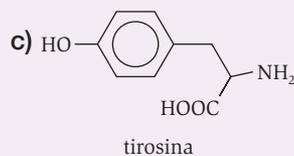
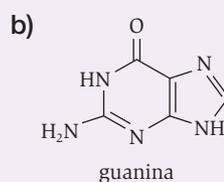
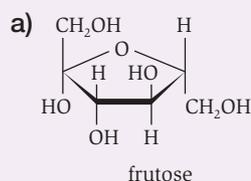


A partir desta estrutura, faça a representação planar do enantiômero inativo da adrenalina. Sabe-se que as estruturas dos enantiômeros são imagens espaciais uma da outra.

5. A adrenalina pode ser usada como adrenergico (estimulante) e vasoconstritor, sendo utilizada, por exemplo, para aliviar distúrbios respiratórios ou, em cirurgias, para prolongar a ação de anestésicos. Se em duas diferentes marcas de medicamentos, A e B, fossem utilizados, respectivamente, o enantiômero ativo puro (A) e a mistura racêmica (B), qual deveria ser a razão entre as dosagens desses medicamentos ( $[A]/[B]$ ) para se obter o mesmo efeito clínico? Justifique sua resposta.
6. Pesquise quais são as atribuições, **na área de medicamentos**, da **Anvisa** (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) e registre em seu caderno.
7. Considerando o resultado de sua pesquisa (atividade anterior), discuta com seus colegas se deve

haver controle sobre a produção e a comercialização de medicamentos no país, ou se esse setor deve ter liberdade para agir como desejar. Justifique em que se baseia sua opinião.

8. (UFPE) A origem da homoquiralidade da nossa biota é um dos grandes mistérios da ciência moderna. Das moléculas abaixo, de ocorrência comum nos seres vivos, qual **não** apresenta centro quiral (centro assimétrico ou centro estereogênico)?



**Reavalie o que você pensa a respeito**



Resolva em seu caderno

Verifique em que mudaram suas concepções prévias

Reveja sua resposta à atividade da segunda página deste capítulo, reavalie o que escreveu, discuta com seus colegas e, se julgar necessário, elabore novas justificativas ou aprimore as que tinha escrito. Apresente-as ao professor.

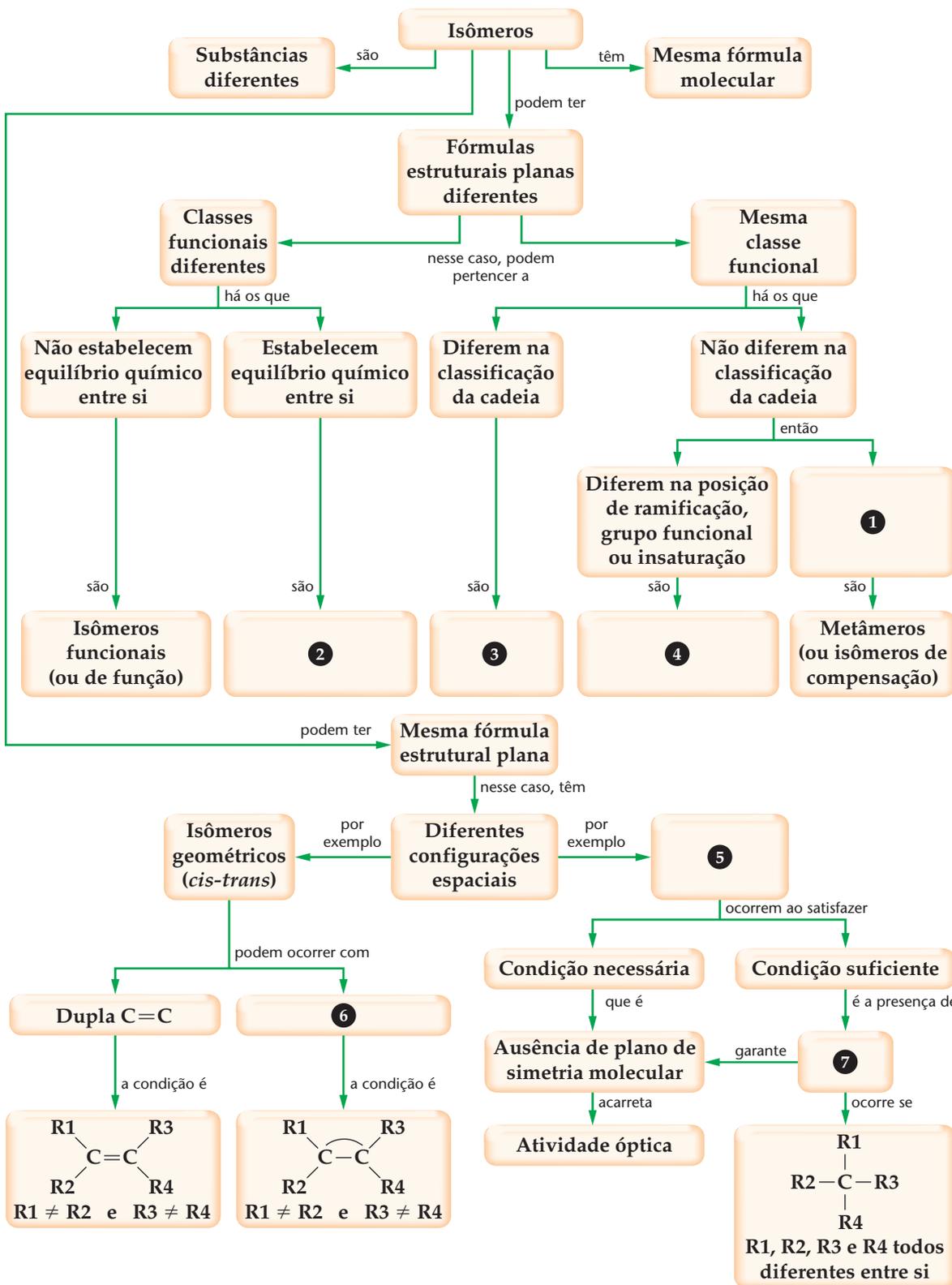


### Importante:

Este mapa é apenas uma das muitas possibilidades de relacionar esses conteúdos conceituais.

## MAPA CONCEITUAL - ISOMERIA

Revise os conceitos estudados e decida como podem ser completados os locais em que aparecem os números.



Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

# Reações de substituição



BOB ELSDALE-STONEGETTY IMAGES

▲ Os produtos da indústria química são obtidos, em geral, por uma série de reações químicas que possibilitam transformar matérias-primas em produtos de interesse. A partir deste capítulo, estudaremos as principais reações orgânicas.

## Alguns conteúdos importantes:

- ✓ *Halogenação de alcanos*
- ✓ *Isômeros produzidos na halogenação de alcanos*
- ✓ *Halogenação, nitração e sulfonação de aromáticos*
- ✓ *Alquilação e acilação de Friedel-Crafts*
- ✓ *Dirigência da substituição em aromáticos*

## ○ O que você pensa a respeito?

Resolva em seu caderno

Sondagem de concepções prévias

Na lista abaixo estão relacionados alguns termos e conceitos. Indique no seu caderno aqueles que você julga que estejam relacionados à imagem e justifique sua escolha. Discuta com seus colegas e apresente as conclusões ao professor.

- substituição no naftaleno
- nitração
- TNT
- sulfonação
- alquilação de Friedel-Crafts
- acilação de Friedel-Crafts
- neutralização



JACEKINO

## ○ Pare e situe-se!

Texto introdutório ao capítulo

Muitos dos produtos comercializados em nossa sociedade provêm, direta ou indiretamente, da indústria química, que executa uma série de reações químicas a fim de transformar matérias-primas em produtos de interesse.

Nesse contexto, são extremamente importantes as reações envolvendo compostos orgânicos. Elas são, diariamente, responsáveis pela transformação das matérias-primas provenientes do petróleo, do carvão, dos animais e dos vegetais em novos materiais, tais como sabões, detergentes, plásticos, medicamentos, corantes, adesivos, borrachas sintéticas, fibras têxteis artificiais, tintas, perfumes, produtos de limpeza e de higiene.

A partir deste capítulo, estudaremos as principais reações orgânicas, começando pelas reações de substituição. Nos capítulos subsequentes, veremos outros tipos.

As reações de substituição são típicas de alcanos e de hidrocarbonetos aromáticos.

Nos alcanos, um tipo característico de substituição é a halogenação, na qual um átomo de hidrogênio é substituído por um átomo de halogênio. Dependendo das condições experimentais, mais de um hidrogênio da molécula pode ser substituído.

Nos aromáticos, estudaremos cinco casos de substituição: a halogenação, a nitração, a sulfonação, a alquilação e a acilação. Essas reações possibilitam a substituição de um hidrogênio do anel aromático por, respectivamente, um halogênio, um grupo nitro, um grupo ácido sulfônico, um grupo alquila e um grupo acila.

As reações de substituição permitem transformar hidrocarbonetos derivados do petróleo em outros compostos, que são empregados como matérias-primas. Por isso, tais reações são relevantes para a indústria petroquímica.

# 1 Substituição em alcanos

## 1.1 Introdução às reações orgânicas

### SÍNTESE DE COMPOSTOS ORGÂNICOS

“Desde que Wöhler sintetizou a ureia, os químicos orgânicos buscam desenvolver mais meios para produzir os mesmos compostos que existem na natureza. Nos últimos anos, os métodos para fazer isso tornaram-se tão sofisticados, que há poucos compostos orgânicos naturais, não importa o quanto complexos sejam, que os químicos não consigam sintetizar em laboratório.

Compostos feitos em laboratório são idênticos àqueles encontrados na natureza, considerando, é claro, que cada qual esteja 100% puro. Não existe uma maneira para descobrir se uma amostra de um composto foi feita por químicos ou obtida da natureza. Porém, se um composto não estiver 100% puro, pode-se normalmente deduzir, a partir da identidade das impurezas, se o composto foi isolado da natureza ou se foi produzido em laboratório. Com efeito, por exemplo, o etanol puro feito pelos químicos tem exatamente as mesmas propriedades do etanol puro preparado a partir da destilação do vinho. [...]

Os químicos orgânicos, contudo, não se satisfizeram apenas em duplicar compostos naturais. Eles também sintetizaram compostos não encontrados na natureza. De fato, a maioria dos mais de 10 milhões de compostos orgânicos conhecidos é puramente sintética e não existe em organismos vivos. [...]

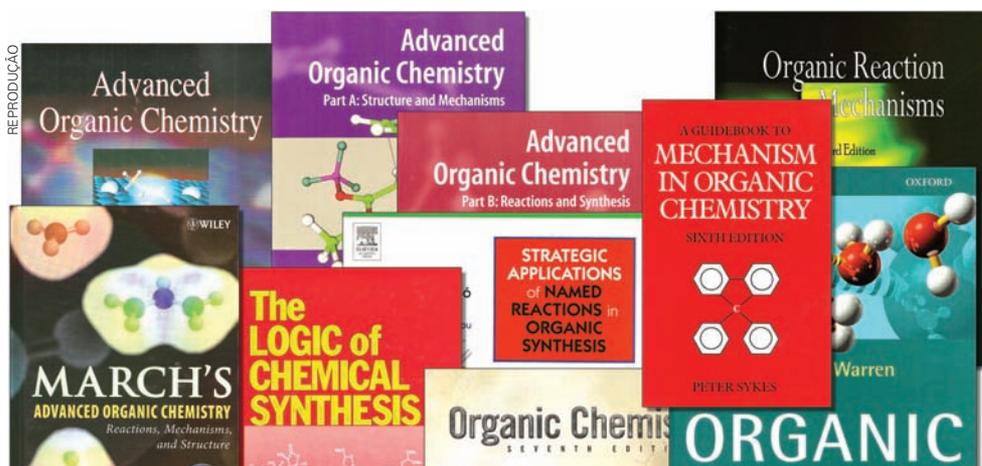
Fonte: BETTELHEIM, F. A. et al. *Introduction to General, Organic, and Biochemistry*. 7. ed. Belmont: Thomson Brooks/Cole, 2004. p. 273-274. (Tradução dos autores.)

Como o texto ilustra, parte da atividade dos químicos orgânicos se relaciona à produção de substâncias orgânicas. Tal produção envolve grande variedade de reações químicas com compostos orgânicos.

Estudaremos, a partir deste capítulo, algumas das reações orgânicas mais importantes, que permitem produzir compostos orgânicos — que podem, ou não, existir na natureza. Essas reações podem ter interesse em laboratórios de pesquisa, em indústrias ou, até mesmo, ocorrer em organismos vivos.

### Recorde os tipos de hidrocarboneto

Para entender as ideias deste capítulo e dos próximos, é importante lembrar que os hidrocarbonetos de importância para o nosso estudo são subdivididos em alcanos, alcenos, alcinos, dienos, ciclanos, ciclenos e aromáticos, conforme visto no capítulo 1. Recorde esse tema.



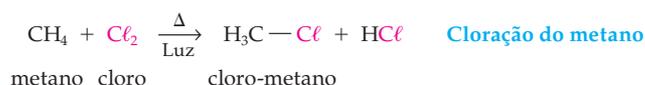
▲ Existe grande quantidade de conhecimento acumulado pelos cientistas referente a reações que envolvem compostos orgânicos. Acima aparecem as capas de alguns livros que tratam desse assunto. Neste livro, contudo, trataremos apenas das reações fundamentais, cujo entendimento propicia um conhecimento básico de Química Orgânica.

## 1.2 Halogenação do metano

Os alcanos, também chamados de **parafinas**, apresentam uma tendência muito baixa para reagir com outras substâncias. Devido a esse fato, são muito usados como solventes para reações, pois não interferem nelas, graças à sua baixa reatividade.

Sob condições adequadas (por exemplo, luz de frequência específica ou aquecimento), no entanto, eles sofrem **reação de substituição** com halogênios. São denominadas reações de substituição porque um hidrogênio da molécula orgânica é substituído por um átomo de halogênio.

A reação de substituição que ocorre entre um alcano e um halogênio é também chamada de **halogenação**. Por exemplo, na cloração do metano ocorre a substituição de um H por um átomo de Cl.

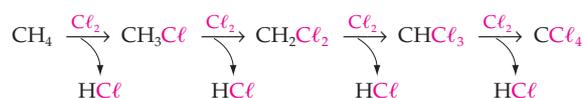


O mesmo acontece com os outros halogênios, verificando-se experimentalmente que a ordem de reatividade é  $\text{F}_2 > \text{Cl}_2 > \text{Br}_2 > \text{I}_2$ . O flúor é o que possui maior tendência para reagir (reação que pode ser explosiva) e o iodo, o menor (praticamente não reage).

Em determinadas condições, **alcanos** tendem a sofrer **reações de substituição**.

A substituição de um H por um halogênio é uma substituição denominada **halogenação** (especificamente **cloração**, **bromação** etc.).

Após a monocloração de um alcano, a reação pode prosseguir (se houver cloro disponível), conduzindo a derivados com dois ou mais átomos de halogênio. Veja o exemplo esquemático:



Esse é um método que permite produzir os derivados halogenados do metano:

$\text{CH}_3\text{Cl}$	cloro-metano ou cloreto de metila
$\text{CH}_2\text{Cl}_2$	dicloro-metano ou cloreto de metileno
$\text{CHCl}_3$	tricloro-metano ou clorofórmio
$\text{CCl}_4$	tetracloro-metano ou tetracloro de carbono

## 1.3 Halogenação de alcanos pode produzir isômeros

Na equação química que representa a halogenação do metano, mostrada anteriormente, podemos notar que a molécula de metano possui apenas um tipo de hidrogênio para ser substituído. Quando o alcano apresenta mais de

### • ATENÇÃO

A eventual realização de experimentos de Química Orgânica deve ter a autorização e supervisão do(a) professor(a). Óculos de segurança, luvas e aventais protetores são obrigatórios, assim como a realização em capela com a exaustão ligada.

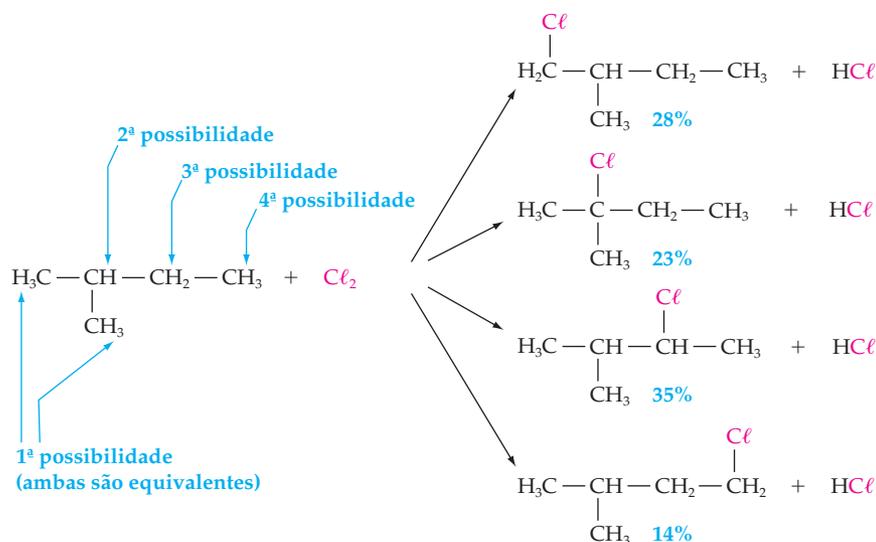
### • ATENÇÃO

O flúor ( $\text{F}_2$ ) é um gás amarelo-pálido, o cloro ( $\text{Cl}_2$ ) é um gás amarelo-esverdeado, o bromo ( $\text{Br}_2$ ) é um líquido castanho extremamente volátil e o iodo ( $\text{I}_2$ ) é um sólido escuro cujos vapores são violeta. Todos eles têm cheiro irritante, são tóxicos e altamente corrosivos, podendo causar sérias lesões na pele, nos olhos e nos pulmões.



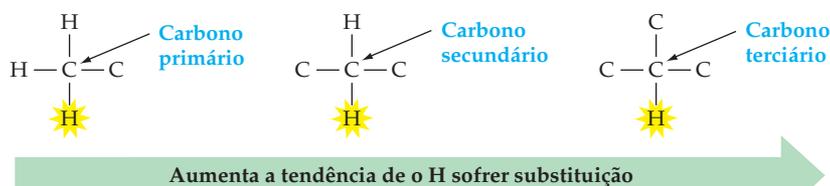
$\text{F}_2, \text{Cl}_2, \text{Br}_2, \text{I}_2$   
TÓXICOS

uma possibilidade de hidrogênios a serem substituídos, obtém-se uma **mistura de produtos isômeros**, como no exemplo a seguir:



▲ Frequentemente uma reação orgânica não produz apenas um produto orgânico, e sim uma mistura deles. Assim, nos laboratórios de síntese de produtos orgânicos, boa parte do trabalho consiste na separação e na identificação desses produtos. Cambridge, Inglaterra, 2001.

Embora os químicos tenham percebido que os hidrogênios de carbonos terciários reagem mais rápido do que os de secundários e estes mais rápido do que os de primários, a **previsão** do produto principal é **dificultada** devido às **diferentes quantidades** desses hidrogênios presentes na molécula do reagente.



## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

- (UCSal-BA) Para obter tetracloreto de carbono a partir de metano, deve-se fazer reagir esse gás com:
  - cloro.
  - cloreto de hidrogênio.
  - cloro de sódio.
  - dicloro-metano.
  - 1,2-dicloro-etano.

### Exercício Resolvido

- (Cesgranrio-RJ) Sem considerar a isomeria óptica, o alcano de massa molecular 86 u, que apresenta apenas três derivados monobromados, é o:
  - 2,2-dimetil-butano.
  - 2,3-dimetil-butano.
  - 2-etil-butano.
  - 3-metil-pentano.
  - 2-metil-pentano.

### Resolução

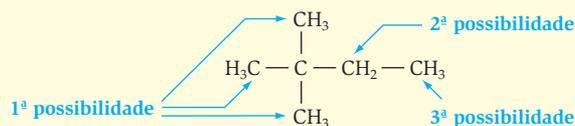
Alternativa **a**.

A fórmula geral dos alcanos é  $C_nH_{2n+2}$ . Utilizando a massa molecular fornecida e os dados da tabela periódica, podemos calcular  $n$ :

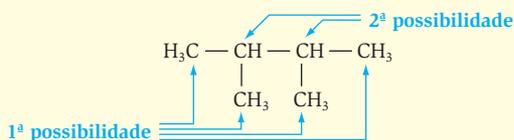
$$12n + (2n + 2) = 86 \Rightarrow \boxed{n = 6}$$

Assim, o alcano tem seis carbonos na molécula e sua fórmula molecular é  $C_6H_{14}$ . No entanto, à exceção da alternativa **c**, que fornece um *nome incorreto*, todas as outras apresentam alcanos  $C_6H_{14}$ . Vejamos quantas possibilidades diferentes de monossustituição há em cada caso:

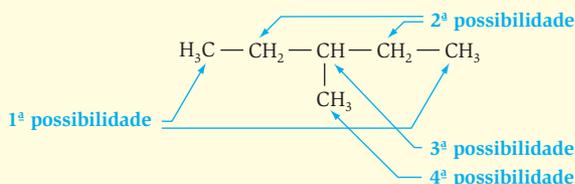
**a) Três possibilidades** (esta é a resposta):



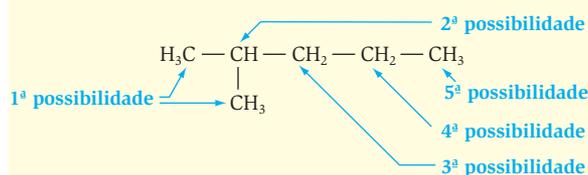
b) Duas possibilidades:



c) Quatro possibilidades:



d) Cinco possibilidades:



3. Quantos isômeros planos devem ser esperados na reação de **monocloração** (substituição de **um H** por **um Cl**) do:

- propano?
- butano?
- pentano?
- metil-propano (isobutano)?
- metil-butano (isopentano)?
- etano?

4. (UEPB) Os haletos orgânicos têm estado atualmente em evidência, devido aos problemas ambientais causados pelo uso indiscriminado de certas substâncias pertencentes a essa classe de compostos orgânicos.

A partir da reação de monocloração do 2,4-dimetil-pentano, podem-se obter diferentes produtos halogenados. Quantos produtos monoclorados podem ser obtidos a partir dessa reação?

- 5
- 3
- 4
- 2
- 6

5. (PUC-PR) A monocloração do 2-metil-pentano pode fornecer vários compostos, em proporções diferentes. Dos compostos monoclorados isômeros planos, quantos apresentarão carbono quiral ou assimétrico?

- 4
- 5
- 1
- 2
- 3

## Exercícios adicionais

Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

6. Quatro alcanos isômeros de cadeia **ramificada** e com seis carbonos na molécula são designados por A, B, C e D.

Sabe-se, por evidências experimentais, que quando submetidos à monocloração:

- A - produz dois monocloretos isômeros constitucionais (isômeros planos);
- B - produz três monocloretos isômeros constitucionais;
- C - produz quatro monocloretos isômeros constitucionais;
- D - produz cinco monocloretos isômeros constitucionais.

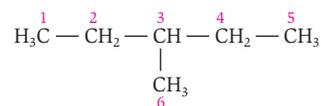
Represente a fórmula estrutural de cada um desses alcanos.

7. (Fuvest-SP) Um dos hidrocarbonetos de fórmula molecular  $C_4H_{10}$  pode originar apenas três isômeros diclorados de fórmula  $C_4H_8Cl_2$ . Represente a fórmula estrutural desse hidrocarboneto e as fórmulas estruturais dos derivados diclorados.

8. (Cesgranrio-RJ) Uma mistura de *n*-pentano e todos os seus isômeros, submetida à ação do cloro, em condições adequadas, fornece diversos cloretos de alquila. O número de monocloretos de alquila possível em que o cloro se liga a carbono primário é:

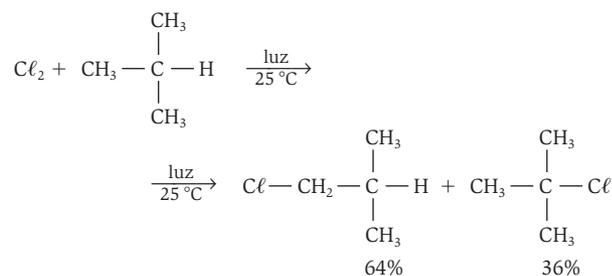
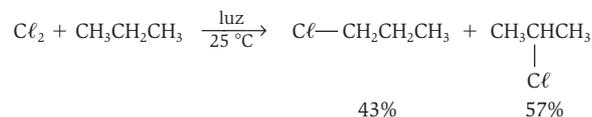
- 3
- 5
- 2
- 6
- 4

9. (Cesgranrio-RJ) No 3-metil-pentano, cuja estrutura está representada abaixo, o hidrogênio mais facilmente substituível por halogênio está situado no carbono de número:



- 1
- 2
- 3
- 4
- 6

10. (Fuvest-SP) Alcanos reagem com cloro, em condições apropriadas, produzindo alcanos monoclorados, por substituição de átomos de hidrogênio por átomos de cloro, como esquematizado:



Considerando os rendimentos percentuais de cada produto e o número de átomos de hidrogênio de mesmo tipo (primário, secundário ou terciário), presentes nos alcanos citados, pode-se afirmar que, na reação de cloração, efetuada a 25 °C,

- um átomo de hidrogênio terciário é cinco vezes mais reativo do que um átomo de hidrogênio primário.
- um átomo de hidrogênio secundário é quatro vezes mais reativo do que um átomo de hidrogênio primário.

Observação: Hidrogênios primário, secundário e terciário são os que se ligam, respectivamente, a

carbonos primário, secundário e terciário.

A monocloração do 3-metilpentano, a 25 °C, na presença de luz, resulta em quatro produtos, um dos quais é o 3-cloro-3-metilpentano, obtido com 17% de rendimento.

- Escreva a fórmula estrutural de cada um dos quatro produtos formados.
- Com base na porcentagem de 3-cloro-3-metilpentano formado, calcule a porcentagem de cada um dos outros três produtos.

## 2 Substituição em aromáticos

### 2.1 Halogenação

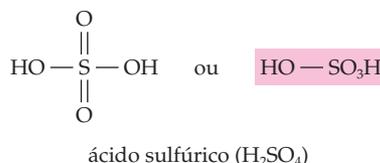
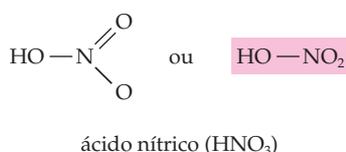
As reações químicas de substituição são também uma característica química dos hidrocarbonetos aromáticos. Veja a equação química que representa a **halogenação** do benzeno:



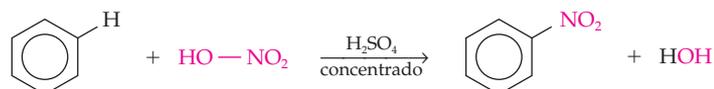
*Halogenação (AlCl<sub>3</sub>, FeCl<sub>3</sub> ou FeBr<sub>3</sub> são catalisadores)*

### 2.2 Nitração e sulfonação

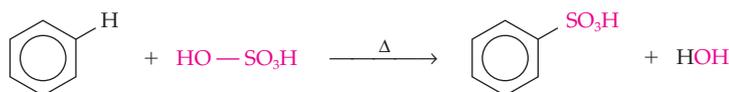
Os ácidos nítrico (HNO<sub>3</sub>) e sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) apresentam as fórmulas estruturais a seguir. Para facilitar o entendimento das próximas reações, escreveremos essas fórmulas do modo que está sombreado em rosa:



A reação entre um hidrocarboneto aromático e o HNO<sub>3</sub> é denominada **nitração**. Trata-se de um processo no qual um hidrogênio do hidrocarboneto é substituído por um grupo nitro, —NO<sub>2</sub>. E a reação entre um hidrocarboneto aromático e o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> é chamada de **sulfonação**. Nela, um átomo de hidrogênio é substituído por um grupo ácido sulfônico, —SO<sub>3</sub>H.



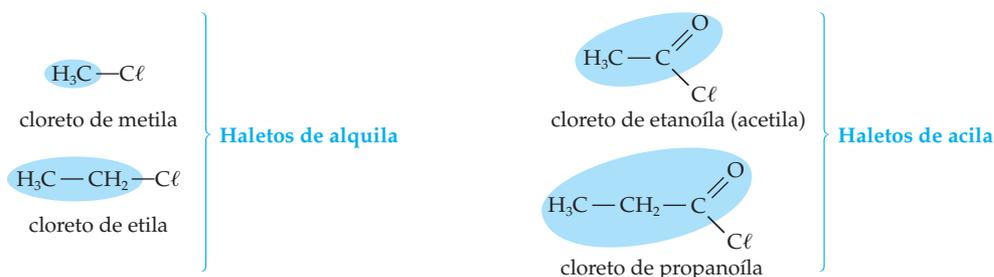
*Nitração (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado é o catalisador)*



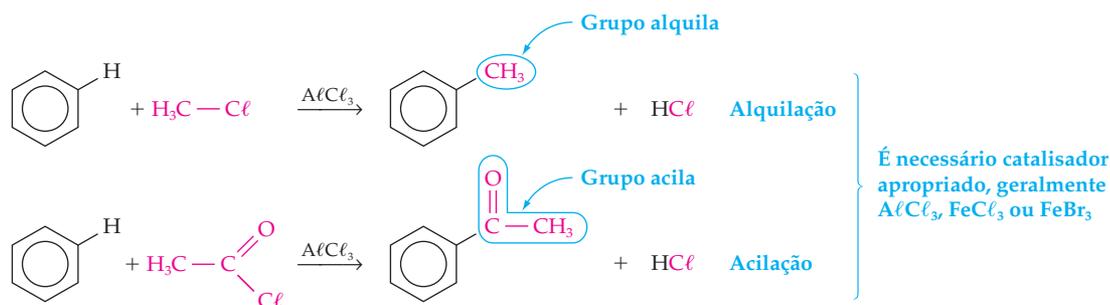
*Sulfonação (necessita de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> fumegante, isto é, contendo SO<sub>3</sub> dissolvido)*

## 2.3 Alquilação e acilação de Friedel-Crafts

Um grupo de átomos proveniente de um hidrocarboneto pela retirada de um hidrogênio de um carbono saturado é chamado de **grupo alquila**. Se um grupo provém de um ácido carboxílico pela retirada da hidroxila (OH), é chamado de **grupo acila**. Os haletos orgânicos podem ser dos tipos **haletos de alquila** ou **haletos de acila**, dependendo do grupo que esteja ligado ao halogênio:

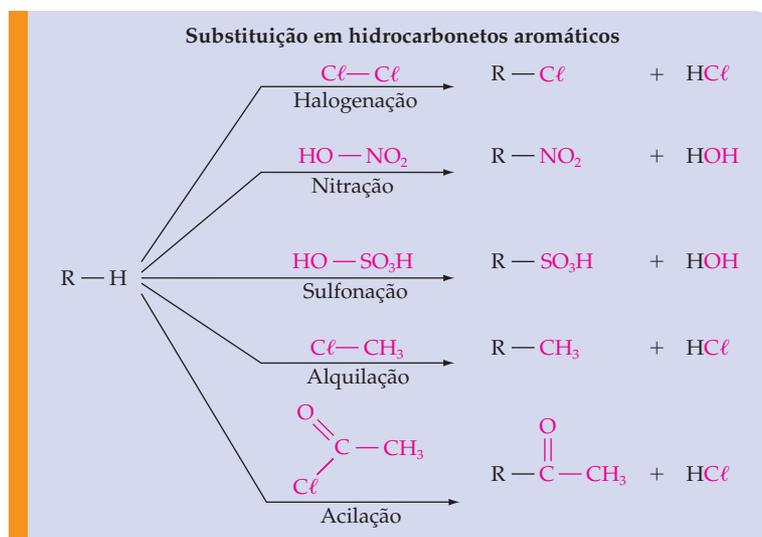


Sob catálise apropriada, haletos de alquila ou de acila e hidrocarbonetos aromáticos participam de reações de substituição. As duas equações químicas a seguir ilustram a reação de um haleto de alquila com um hidrocarboneto aromático e a de um haleto de acila com um hidrocarboneto aromático.



Na primeira reação, chamada de **alquilação**, um hidrogênio é substituído por um grupo alquila, e na segunda, chamada de **acilação**, um hidrogênio é substituído por um grupo acila. Essas reações foram descobertas em 1877 pelo francês Charles Friedel e pelo estadunidense James Crafts.

A halogenação, a nitração, a sulfonação, a alquilação de Friedel-Crafts e a acilação de Friedel-Crafts são **substituições em anéis aromáticos**.



Quando a substância que reage com o composto aromático numa reação de substituição contém halogênio, forma-se HX (em que X = halogênio). Caso contrário, forma-se H<sub>2</sub>O.

## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

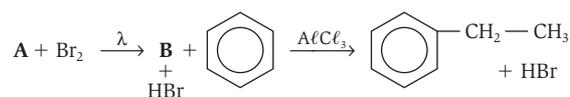
A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

11. Equacione as reações de:
- cloração do benzeno
  - nitração do benzeno
12. Equacione a reação do benzeno com:
- cloreto de etila sob catálise de  $AlCl_3$
  - brometo de acetila sob catálise de  $FeBr_3$
13. (UFJF-MG) “Um terreno em Mauá (SP), de 160 mil m<sup>2</sup>, em que há 59 prédios onde vivem cerca de 7.500 pessoas, está contaminado por 44 substâncias tóxicas, uma delas cancerígena. O estado atribuiu a contaminação ao descarte clandestino de resíduos industriais. No solo, entre as 44 substâncias encontradas, a que oferece mais riscos à saúde é o benzeno — produto cancerígeno. Além dele, há ainda cloro-benzeno, trimetil-benzeno e decano — prejudiciais à saúde se inalados. Até agora, a Cetesb (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental) examinou apenas os vapores que exalam do solo. A água subterrânea e o ar externo ainda passarão por análise.”

(Folha de S.Paulo, 17/8/2001.)

- Sobre os compostos citados no texto, pede-se:
- o número de compostos aromáticos;
  - a fórmula molecular do trimetil-benzeno;
  - a classificação da cadeia carbônica do decano quanto ao tipo de ligação e quanto à natureza dos átomos nela presentes;
  - o nome do produto da reação do benzeno com cloro-metano em presença de  $AlCl_3$ .

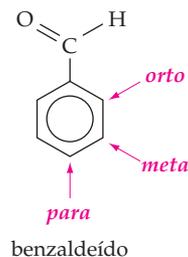
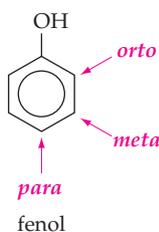
14. (Mackenzie-SP) No sistema de equações a seguir, as substâncias **A** e **B** são, respectivamente:



- metano e bromo-metano.
- etano e bromo-etano.
- eteno e bromo-etano.
- propeno e 2-bromo-propeno.
- eteno e etino.

## 2.4 Dirigência da substituição em aromáticos

Observe as fórmulas estruturais do fenol e do benzaldeído:



Consideremos a reação de cloração do fenol. É de esperar que nessa reação sejam obtidos três produtos isômeros, resultantes da substituição dos hidrogênios em *orto*, *meta* e *para*. No entanto, na prática, não se obtém o produto *meta*.

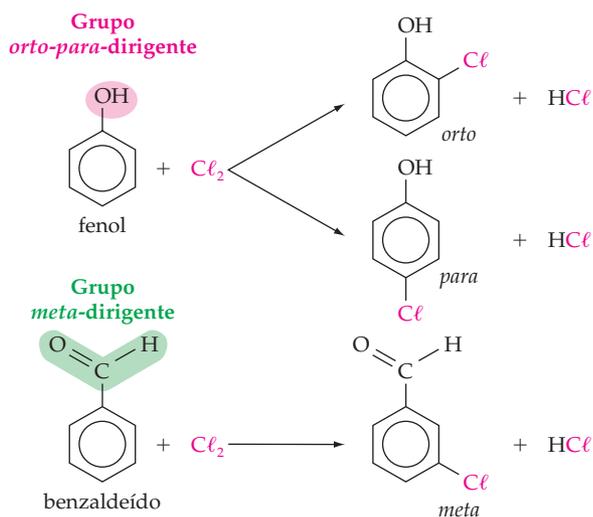
Um fenômeno igualmente curioso acontece na cloração do benzaldeído. Dos três isômeros possíveis, apenas o *meta* é obtido em quantidades apreciáveis.

Como ambas as reações são de cloração, certamente o que determina essa diferença nos produtos observados não é o  $Cl_2$ , mas sim o grupo já presente na molécula, ou seja, o  $-OH$  e o  $-CHO$ .

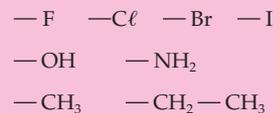
Os químicos perceberam que em situações desse tipo, dependendo do substituinte já presente no anel, a reação produz uma mistura dos isômeros *orto-para* ou produz apenas o isômero *meta*.

Grupos como o  $-OH$ , cuja presença favorece a substituição nas posições *orto* e *para*, são chamados de *orto-para-dirigentes* e grupos como o  $-CHO$ , cuja presença favorece a substituição na posição *meta*, são chamados de *meta-dirigentes*.

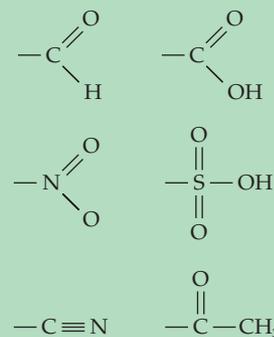
Se verificarmos o caráter dirigente do substituinte presente no reagente, podemos prever o(s) produto(s) orgânico(s) obtido(s). Em geral, os grupos *orto-para-dirigentes* são formados somente por um átomo ou então um grupo de átomos unidos por ligações simples. Já os *meta-dirigentes* possuem pelo menos uma ligação dupla ou tripla.



**Exemplos de grupos orto-para-dirigentes**



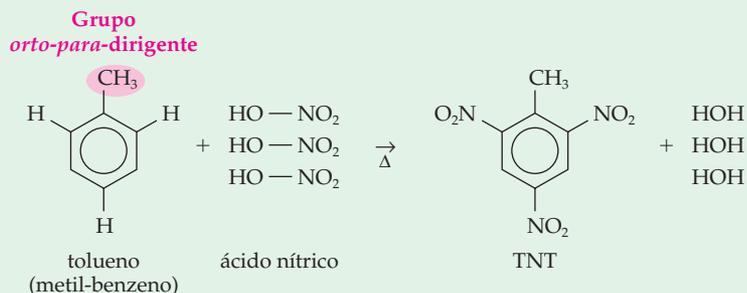
**Exemplos de grupos meta-dirigentes**



## TNT

O TNT (**trinitrotolueno**, ou melhor, 2,4,6-trinitro-tolueno) é um sólido cristalino amarelo, de ponto de fusão 82 °C, altamente explosivo. Sofre decomposição muito rápida, liberando gases e calor. A rápida e violenta expansão dos gases aquecidos, produzidos nessa reação, provoca uma onda de choque capaz de causar considerável destruição.

Esse potente explosivo é fabricado a partir da trinitração (isto é, três nitrações seguidas) do tolueno (metil-benzeno). Uma vez que o grupo metil é *orto-para-dirigente*, a entrada dos grupos NO<sub>2</sub> se dá em *orto* e *para*, conforme mostra a equação química a seguir.



**• ATENÇÃO**

Nunca caia na tentação de manipular explosivos. Acidentes sérios com queimaduras e até morte atestam o risco que é manuseá-los.



▲ O TNT é um potente explosivo, útil, por exemplo, na exploração de jazidas minerais. Na foto, explosão em uma jazida de minério de cobre, no Chile, 1999.

## SEPARAÇÃO DOS PRODUTOS POR CROMATOGRAFIA

Num laboratório de Química Orgânica, na grande maioria das vezes, uma reação não produz apenas um produto orgânico, e sim uma mistura deles. Neste capítulo, você viu alguns exemplos.

Não é raro acontecer de a parte mais complicada do trabalho ser a separação e a identificação desses produtos.



ROBIN LAURANCE/  
PHOTORESSARCHES/LATINSTOCK

◀ Químico separando mistura (de produtos obtidos em reação orgânica) por meio de cromatografia.

A foto mostra um químico empregando a técnica da **cromatografia** para separar produtos de uma reação. Nessa técnica, a mistura é colocada no alto de uma coluna de vidro (alimentada constantemente com solvente apropriado na parte superior) e a percorre até sair pela parte de baixo. A coluna é preenchida com um material sólido em pó e os diferentes componentes da mistura interagem (por meio de forças intermoleculares) com ele e com o solvente usado em diferentes intensidades.

Os componentes que interagem mais fracamente com o material da coluna e mais fortemente com o solvente saem primeiro que os demais.

Quando os componentes da mistura têm cores diferentes, veem-se as camadas coloridas dentro da coluna como aparece na foto (*croma* vem do grego **cor**).

## FABRICAÇÃO DE DETERGENTES

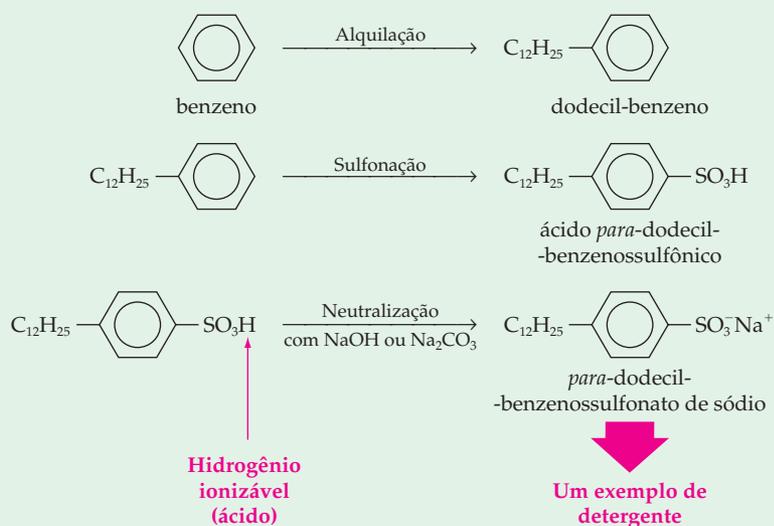
O benzeno é uma das substâncias orgânicas de maior importância para a indústria química. Entre suas inúmeras aplicações, muitas estão relacionadas às reações de substituição. Um exemplo é a fabricação de detergentes.

Por meio da alquilação de Friedel-Crafts, é possível para as indústrias de detergentes inserirem um grupo dodecil no anel benzênico. Trata-se de um grupo linear e saturado que contém doze átomos de carbono ( $-C_{12}H_{25}$ ). O produto dessa reação é o dodecil-benzeno. A seguir, realizando uma sulfonação, também uma reação de substituição, tais indústrias obtêm o ácido *para*-dodecil-benzenossulfônico, cuja neutralização produz um detergente.



SCHERER, JIM/STOCKFOODS/LATINSTOCK

▲ As reações de substituição no anel aromático são muito importantes na fabricação dos detergentes. O mecanismo pelo qual detergentes atuam na limpeza é explicado no capítulo 10.

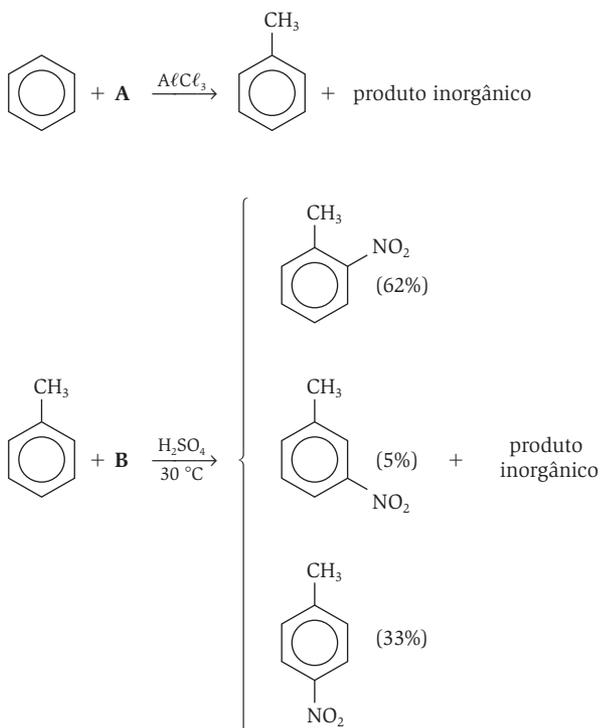


## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

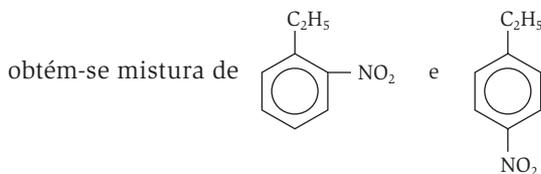
A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

15. (UFRJ) Os nitrotoluenos são compostos intermediários importantes na produção de explosivos. Os mononitrotoluenos podem ser obtidos simultaneamente, a partir do benzeno, através da seguinte sequência de reações:



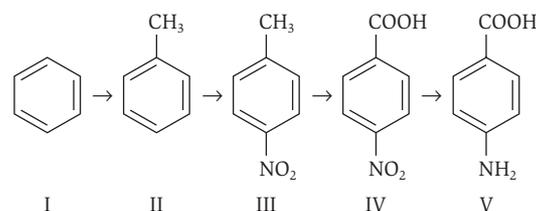
- a) Escreva a fórmula estrutural do composto **A** e o nome do composto **B**.  
b) Identifique o tipo de isomeria plana presente nos três produtos orgânicos finais da sequência de reações.

16. (Unifor-CE) Na reação de nitração do etil-benzeno



Pode-se, portanto, afirmar que o grupo etil é:

- a) *meta* dirigente.  
b) *orto* e *meta* dirigente.  
c) *orto* e *para* dirigente.  
d) *meta* e *para* dirigente.  
e) *orto*, *meta* e *para* dirigente.
17. (UEPG-PR) Quando derivados do benzeno sofrem reações de substituição no anel aromático, os grupos ligados ao anel influem na formação dos produtos, agindo como orientadores das posições onde ocorrerão as substituições. Entre as alternativas, determine a que contém apenas grupos que, ligados ao anel, agirão preferencialmente como orientadores *orto-para*-dirigentes.
- a)  $-\text{NO}_2$ ;  $-\text{CN}$ ;  $-\text{OH}$   
b)  $-\text{NH}_2$ ;  $-\text{COOH}$ ;  $-\text{CH}_3$   
c)  $-\text{Cl}$ ;  $-\text{CHO}$ ;  $-\text{COOH}$   
d)  $-\text{SO}_3\text{H}$ ;  $-\text{CHO}$ ;  $-\text{COOH}$   
e)  $-\text{OH}$ ;  $-\text{NH}_2$ ;  $-\text{Cl}$
18. (UFJF-MG) O ácido *para*-amino benzoico (PABA) é um aminoácido utilizado como intermediário para a preparação de anestésicos e de corantes. Ele pode ser sintetizado a partir do benzeno, de acordo com a sequência abaixo:



Considere os compostos representados no esquema para responder aos itens a seguir:

- a) Na reação de preparação do composto III, ocorre também a formação de um outro isômero. Qual a fórmula estrutural desse isômero e que tipo de isomeria existe entre esses dois compostos?  
b) Quais os reagentes que permitem a transformação do benzeno no composto II?

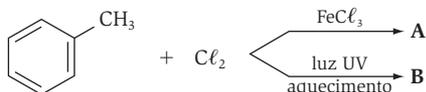
## Exercícios adicionais

Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

19. (Unirio-RJ) Os hidrocarbonetos aromáticos são nitrados mais facilmente que os alifáticos, em presença de uma mistura de ácidos nítrico e sulfúrico, denominada de mistura sulfonítrica. A entrada de dois ou mais grupos nitro é facilitada pela presença de, por exemplo, um grupo metil ligado ao anel benzênico. Uma utilização da citada reação é a obtenção do trinitrotolueno (TNT), que é uma substância explosiva obtida pela nitração total do tolueno. Esquematize a reação balanceada de nitração do tolueno.

20. (UFJF-MG) Determine qual das alternativas representa, respectivamente, o nome dos produtos A e B formados a partir das reações de cloração descritas a seguir:



- a) cloreto de benzila e ácido benzoico  
b) ácido benzoico e 2-cloro-metilbenzeno  
c) 2-cloro-metilbenzeno e cloreto de benzila  
d) 3-cloro-metilbenzeno e tolueno  
e) tolueno e 2-cloro-metilbenzeno

21. (UFF-RJ) O anel benzênico pode sofrer reação de substituição aromática com cloro e gerar clorobenzeno, e a subsequente cloração desse produto leva à formação de três isômeros dissustituídos.

Com base nessas informações:

- a) represente a fórmula estrutural dos isômeros;  
b) aponte os isômeros polares;  
c) mencione os produtos principais da segunda reação.
22. (FUVEST-SP) Equacionar a reação de sulfonação do benzeno, dando o nome do produto orgânico formado.

## Informe-se sobre a Química

### A Química Verde\*

#### “Abordagens para a Prevenção da Poluição

Antes de estudar as especificidades dos diferentes processos de poluição, sejam no ar, na água, em nossa dieta alimentícia ou no solo, é instrutivo considerar a filosofia geral que está sendo atualmente implementada nos países desenvolvidos para reduzir, no futuro, a exposição humana aos poluentes químicos.

Historicamente, foi considerado implícita ou explicitamente que os produtos químicos emitidos para o ambiente seriam assimilados pela natureza: ou o sistema natural os transformaria em substâncias de ocorrência natural, não prejudiciais, ou os produtos químicos seriam diluídos em tal extensão que não poderiam ser atribuídos aos mesmos quaisquer riscos para a vida. A estratégia de que ‘a solução para a poluição é a diluição’ é, de fato, bem-sucedida com muitos poluentes. Porém, nos anos 60 e 70, ficou bem claro que muitos produtos químicos sintéticos não são assimilados porque são persistentes, isto é, não são alterados pela ação de luz, água, ar ou microrganismos (que atuam com frequência na degradação de muitos poluentes) durante períodos muito longos de tempo. Exemplos dessas substâncias persistentes incluem pesticidas, como o DDT, os gases de refrigeração chamados CFCs, o gás dióxido de carbono e as formas tóxicas do elemento mercúrio. Devido a sua persistência e a sua contínua liberação, as concentrações ambientais de tais substâncias aumentaram no passado em níveis inquietantes. Devido à quantidade de problemas que provocam, foi descoberto que muitas substâncias persistentes não se tornam uniformemente dispersas no meio ambiente. Em vez disso, concentram-se em organismos vivos, podendo atingir, em seres humanos e outros animais, níveis que, em alguns casos, afetam sua saúde e até levam à morte prematura.

A resposta ao problema dos pesticidas persistentes e bioacumulativos, como o DDT, tem consistido em suspender sua produção, ou pelo menos eliminar seu uso em países desenvolvidos, e proibir sua utilização uma vez que os estoques existentes tenham se esgotado. Como consequência de tais proibições, os níveis ambientais de DDT e outros

\* Podemos citar a definição de **química verde** proposta pelo Dr. Joseph Breen (diretor executivo do Green Chemistry Institute e Professor adjunto do Hood College, Frederick, Maryland, e da State University – Bakersfield, do Estado da Califórnia: “A química verde – sínteses e processos químicos benignos do ponto de vista ambiental – é uma estratégia para cuidar dos negócios em novos tempos. A redução de riscos através de uma prevenção da poluição que seja economicamente viável e ambientalmente responsável deve ser o selo de qualidade da indústria química no século XXI.” **Fonte:** BAIRD, C. *Química Ambiental*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. p. 579.

pesticidas persistentes têm caído significativamente desde que aconteceram seus picos de concentração nos anos 60 e início dos anos 70. Porém, o rápido declínio interrompeu-se, e os níveis atuais permanecem bem acima de zero. [...] a concentração dos pesticidas proibidos diminui atualmente em ritmo lento, à medida que a carga ambiental está reciclando-se entre os diferentes meios. [...]

Tão importunos como estes agentes químicos industriais são os subprodutos tóxicos, que são substâncias produzidas de modo não intencional em pequenas quantidades e emitidas para o ambiente como consequência da produção, da distribuição e do uso de grandes quantidades de outras substâncias comerciais. Um exemplo de subproduto tóxico é a 'dioxina', formada inadvertidamente em quantidades minúsculas como subproduto de muitos processos industriais, entre os quais incluem-se o branqueamento da polpa da madeira e a produção de alguns pesticidas comuns e preservantes da madeira.

A estratégia inicial usada no tratamento dos subprodutos tóxicos consistiu em reduzir a quantidade dessas substâncias emitida para o ambiente, geralmente mediante a captura e disposição de uma grande fração de sua massa antes da ocorrência da dispersão. A captura de poluentes gasosos nas chaminés das usinas termelétricas é um exemplo dessa abordagem; uma vez capturados, os poluentes gasosos são convertidos em sólidos e depois dispostos em aterros. As abordagens para o controle da poluição que centram-se na captura dos subprodutos tóxicos, em vez da redução de sua produção, são chamadas soluções de controle no final do processo. Uma desvantagem de tais estratégias é que normalmente os poluentes não são destruídos no processo, mas apenas convertidos em formas mais benignas ou depositados em um meio diferente. No caso dos poluentes das usinas de energia, por exemplo, os agentes químicos são meramente colocados na terra em vez de liberados para o ar.

A estratégia, chamada de **química verde** [ou química ecológica], que está substituindo na atualidade a abordagem anterior, consiste na reformulação das rotas sintéticas, de maneira que, em primeiro lugar, não sejam produzidos subprodutos tóxicos; em outras palavras, a nova abordagem consiste em 'deslocar o processo' para o ponto de origem dos poluentes. Exemplos da nova estratégia incluem a substituição de solventes orgânicos por água, como meio em que os produtos desejados são formados, ou talvez a eliminação total do solvente; a utilização de substâncias benignas do ponto de vista ambiental para substituir catalisadores à base de metais pesados; e o projeto da fabricação de produtos que sejam recicláveis ou descartáveis sem perigo. Para aqueles produtos que apresentam, por suas características, perigo ambiental quando dispersos, o que está sendo colocado em prática é a 'reciclagem em círculo fechado'. A estratégia global é eliminar as substâncias persistentes e tóxicas do ambiente, não permitindo emissões ulteriores e, onde possível, coletando e destruindo os depósitos existentes desses produtos químicos. [...]

Alguns ambientalistas preveem a adoção final de práticas ambientais nas quais certos tipos de substâncias não serão gerados pelo conjunto da sociedade pelo fato de sua produção e uso apresentarem inevitavelmente riscos inaceitáveis em longo prazo. A ideia em relação a isto é obter **descarga zero** de determinadas substâncias persistentes e tóxicas para o ambiente, garantida pelo fato de que elas nunca serão produzidas.

Muitas pessoas fazem sua parte na redução da poluição e do lixo modificando seus hábitos como consumidores. Quantidades muito maiores que na década passada de jornais, latas de alumínio, garrafas de vidro e plásticos estão sendo coletadas seletivamente do lixo e recicladas. Os produtos 'verdes' (ecológicos) têm se tornado comuns nas prateleiras dos supermercados de países desenvolvidos.

Os consumidores estão rejeitando produtos que vêm com embalagens excessivas ou que são processados a partir de materiais sintéticos em vez de 'naturais'. Em muitos casos, porém, a escolha ótima do ponto de vista ambiental entre dois produtos alternativos pode não ser intuitivamente óbvia. Tome como exemplo os dois tipos principais de copos descartáveis: um deles é fabricado com papel derivado das árvores e o outro é feito de poliestireno sintetizado a partir do petróleo. A maioria dos consumidores acha que o copo de papel é preferível no aspecto ambiental. Contudo, uma análise dos impactos de todas as etapas de produção e descarte demonstra que o copo de papel consome mais reagentes químicos e causa mais poluição na água que o copo de poliestireno, sobretudo porque o papel deve ser branqueado. Obviamente, para poder selecionar sem dúvidas o melhor produto, necessitamos conhecer previamente as consequências ambientais de todas as etapas envolvidas na produção e no descarte das mercadorias a serem consumidas.

[...]

### A Prevenção da Poluição

[...]

Quando é constatado que um produto químico está sendo produzido de uma maneira ambientalmente inadequada, existem duas opções possíveis para seu aperfeiçoamento:

- substituir o produto por um fabricado através de um processo verde;
- fabricar o produto mediante um processo que seja mais adequado do ponto de vista ambiental.

As estratégias usadas na última opção incluem mudar o reagente ou o solvente de uma reação por outros menos tóxicos, utilizando com frequência uma reação diferente para obter o produto desejado. O químico Barry Trost, da Stanford University, tem proposto o conceito de economia de átomos; esse conceito combina os objetivos de benignidade ambiental com a elegância sintética no planejamento dos métodos para produzir compostos. Por exemplo, a eliminação do uso de grupos de átomos em uma etapa da síntese, os quais deveriam ser removidos e descartados em etapa posterior, é evidentemente uma maneira de minimizar a produção de resíduos.

Uma das áreas mais promissoras da química verde baseia-se no uso de fluidos supercríticos\* como solventes, substituindo os orgânicos, que são com frequência perigosos – tóxicos, às vezes inflamáveis e mesmo explosivos – e geram um problema substancial para seu descarte. Nesse sentido, o dióxido de carbono supercrítico é especialmente promissor, porque suas propriedades solventes podem ser facilmente 'ajustadas em função da pressão' variando levemente sua pressão nas proximidades do ponto crítico, e porque é atóxico, não inflamável, barato e apresenta propriedades solventes semelhantes às de solventes amplamente usados, como o hexano. Outros fluidos que podem ser convertidos em supercríticos com facilidade e mostram-se bons solventes, sendo atóxicos, são a água e o xenônio.

Por exemplo, o CO<sub>2</sub> supercrítico pode substituir os CFCs (atualmente banidos) e/ou os hidrocarbonetos aromáticos como solventes, na produção de vários polímeros orgânicos comerciais. Como já foi mencionado, visto que as substâncias iônicas e as moléculas altamente polares não são facilmente solúveis nesse fluido, a maioria das reações iônicas é descartada, do mesmo modo que aquelas envolvendo grandes moléculas hidrocarbonônicas, que são também insolúveis. Contudo, pesquisas recentes sobre a adição de

\* Veja a explicação do que é fluido supercrítico: "O estado supercrítico da matéria é produzido quando gases ou líquidos são submetidos a pressões muito altas e, em alguns casos, a temperaturas elevadas. Na pressão e temperatura do **ponto crítico** ou superiores, as fases líquida e gasosa de uma substância deixam de existir separadamente; em seu lugar existe apenas o estado supercrítico, cujas propriedades são intermediárias entre as de um gás e as de um líquido." **Fonte do texto:** BAIRD, C. *Química Ambiental*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. p. 541.

pequenas quantidades de outras substâncias, como surfatantes [substâncias que atuam como detergentes], ao dióxido de carbono, mostram-se promissoras quanto à superação dos obstáculos de solubilidade para viabilizar seu uso.

O CO<sub>2</sub> supercrítico também é usado atualmente no lugar de solventes orgânicos, para extrair compostos de águas residuais e outros materiais poluídos usados em análise química. Todas essas aplicações eliminam a necessidade final de descarte dos solventes orgânicos contaminados, dado que uma simples mudança na pressão vaporiza o dióxido de carbono, que pode ser reciclado para uso posterior.

Muitos dos esforços no planejamento de processos livres de resíduos envolvem o uso de catalisadores no estado sólido, que, em muitos casos, podem ser selecionados de maneira que o rendimento do produto comercial seja maximizado e que aquele do subproduto indesejável seja minimizado. [...]"

Fonte do texto: BAIRD, C. *Química Ambiental*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. p. 29, 30, 31, 570, 571 e 572.

### ● Você entendeu a leitura?

Responda em seu caderno

1. Enumere alguns fatores que deram origem à estratégia denominada **química verde**.
2. No que consiste a estratégia denominada **química verde**?
3. Certa indústria química obtém, como subproduto indesejável de suas atividades, um composto sólido tóxico. A legislação impede que tal substância seja descartada no meio ambiente. Após um estudo, verificou-se que há duas possibilidades para atender à legislação:  
**Opção 1** – reagir esse composto com reagentes adequadamente escolhidos, que o transformam em uma substância inofensiva e que pode ser encaminhada para um aterro de lixo industrial.  
**Opção 2** – modificar os processos químicos empregados na fábrica, de modo a manter a produção e o faturamento da empresa, mas sem gerar o subproduto indesejável.  
 Explique por que uma dessas opções está de acordo com os princípios da química verde e a outra não está.
4. O texto cita a “dioxina” como exemplo de subproduto tóxico emitido para o meio ambiente. Faça uma pesquisa para saber o que é “dioxina” e que problemas de saúde ela acarreta.
5. Uma parte do texto diz: *Muitas pessoas fazem sua parte na redução da poluição e do lixo modificando seus hábitos como consumidores. Quantidades muito maiores que na década passada de jornais, latas de alumínio, garrafas de vidro e plásticos estão sendo coletadas seletivamente do lixo e recicladas. Os produtos “verdes” (ecológicos) têm se tornado comuns nas prateleiras dos supermercados de países desenvolvidos.*  
 Elabore, juntamente com seus colegas, uma lista das atitudes concretas que cada um pode tomar para fazer sua parte na redução da poluição e do lixo.
6. Considere a seguinte ideia: “A embalagem da maioria dos produtos está destinada a se transformar em lixo.” Localize no texto e transcreva em seu caderno um trecho que fala da reação de consumidores a uma questão envolvendo embalagens. A seguir, junto com seus colegas, faça uma relação de produtos que, na opinião de vocês, são exemplos do tipo de produto que gera a reação dos consumidores mencionada no trecho transcrito.
7. Cite uma razão do emprego do CO<sub>2</sub> como fluido supercrítico.

### ○ Reavalie o que você pensa a respeito



Resolva em seu caderno

Verifique em que mudaram suas concepções prévias

Reveja sua resposta à atividade da segunda página deste capítulo, reavalie o que escreveu, discuta com seus colegas e, se julgar necessário, elabore novas justificativas ou aprimore as que tinha escrito. Apresente-as ao professor.

## Reações de adição



MANUEL LOURENÇO/LHAR IMAGEM

◀ O mentol é um dos principais responsáveis pelo aroma das folhas de plantas do gênero *Mentha*, como é o caso da hortelã (foto) e do poejo-das-hortas. O mentol pertence à categoria dos **terpenos**, um grupo de compostos naturais que você conhecerá neste capítulo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

### Alguns conteúdos importantes:

- ✓ Adição em alcenos
- ✓ Adição em alcinos
- ✓ Importância do acetileno como matéria-prima industrial
- ✓ Noção de como o conceito de ressonância explica a baixa tendência de os aromáticos sofrerem adição
- ✓ Noção de tensão angular em ciclanos e sua relação com a tendência de esses compostos sofrerem rompimento do ciclo
- ✓ Conceito e exemplos de terpenos

## O que você pensa a respeito?



Sondagem de concepções prévias

Na lista abaixo estão relacionados alguns termos e conceitos. Indique no seu caderno aqueles que você julga que estejam relacionados à imagem e justifique sua escolha. Discuta com seus colegas e apresente as conclusões ao professor.

- halogenação
- hidrogenação catalítica
- adição de hidrogênio
- diminuição do número de insaturações
- tensão angular
- Regra de Markovnikov
- acetileno
- carbureto



CC STUDIO/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

## Pare e situe-se!

Texto introdutório ao capítulo

No capítulo anterior, vimos que os alcanos e os hidrocarbonetos aromáticos se caracterizam por reações de substituição. Este capítulo é dedicado às reações de adição.

Principiaremos com as reações de adição a alcenos e alcinos. Em uma adição a alceno, tudo se passa como se uma molécula como  $H_2$ ,  $Cl_2$  ou  $HCl$  fosse “quebrada” em dois “fragmentos”, que se ligam aos carbonos da dupla. Esses dois carbonos, após a reação, passam a estar ligados por ligação simples. Em alcinos, a adição completa ocorre de modo análogo, porém consome maior quantidade de  $H_2$ ,  $Cl_2$  ou  $HCl$ .

Hidrocarbonetos aromáticos, apesar de apresentarem insaturações duplas, normalmente não apresentam tendência a sofrer adição. Neste capítulo, veremos a razão disso. Também comentaremos que, em condições enérgicas, é possível forçar a adição a aromáticos.

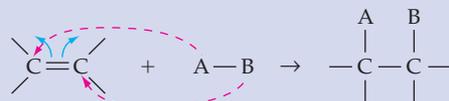
O caso dos ciclanos é interessante. Os que apresentam anéis de 3 ou 4 átomos de carbono tendem a sofrer reações de adição com ruptura do anel. Já os ciclanos com anéis de 5 ou 6 átomos de carbono não apresentam essa tendência. Tendem, isso sim, na presença de reagentes adequados, a sofrer substituição, como ocorre com alcanos. Veremos a razão da maior estabilidade dos ciclos de 5 e 6 membros em relação aos de 3 e 4 membros.

Ainda neste capítulo, aprenderemos algo sobre a importância industrial do acetileno e conheceremos os terpenos, importante grupo de compostos naturais.

Por tudo isso, este capítulo complementa o anterior. Após estudar ambos, o estudante terá noções sobre meios que possibilitam transformar hidrocarbonetos em outros compostos, o que oferece às indústrias químicas vastas possibilidades para obter matérias-primas. Estas, por meio de outras reações orgânicas, são convertidas em produtos de interesse da sociedade.

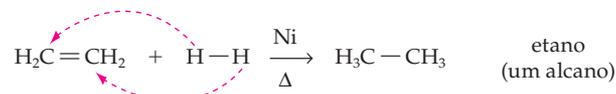
## 1 Reações de adição a alcenos

Os **alcenos** (também chamados de **alquenos** ou **olefinas**) caracterizam-se por participar de **reações de adição**, nas quais os fragmentos da quebra de pequenas moléculas como  $H_2$ ,  $Cl_2$ ,  $HCl$  e  $H_2O$  se adicionam aos carbonos que estabeleciam ligação dupla e que, após a reação, passam a estabelecer ligação simples.



### 1.1 Adição de $H_2$ ou hidrogenação catalítica

Consiste na reação de aleno com gás hidrogênio ( $H_2$ ), que é catalisada por níquel (Ni), platina (Pt) ou paládio (Pd). Daí o nome **hidrogenação catalítica**.



A hidrogenação catalítica é também conhecida como reação de Sabatier-Senderens e constitui um meio de obter alcanos a partir de alcenos.

O catalisador aumenta a rapidez de uma reação. Dessa forma, uma reação que seja muito lenta para ter aplicação prática em uma indústria ou laboratório passa a ser possível com o uso do catalisador adequado. Um catalisador propicia à reação um novo mecanismo alternativo. Esse novo mecanismo apresenta uma energia de ativação menor.

Na hidrogenação, os metais níquel, platina ou paládio conseguem catalisar a reação em virtude de uma importante propriedade que possuem: a capacidade de **adsorver** o  $H_2$  e o aleno. **Adsorver significa aderir à superfície**. Assim, tanto as moléculas de gás hidrogênio como do aleno ficam aderidas à superfície do metal (isto é, são adsorvidas por ele), o que provoca o enfraquecimento das ligações, tornando mais fácil a reação.



▲ Paul Sabatier (1854-1941), químico francês que se notabilizou pelo estudo da hidrogenação catalítica de alcenos. Foto durante o recebimento do Prêmio Nobel em 1912.

TOULOUSE UNIVERSITY, TOULOUSE, FRANÇA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

### HIDROGENAÇÃO NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

Estudaremos no capítulo 10 que os óleos vegetais (de milho, algodão, soja, arroz etc.) são constituídos por longas moléculas contendo ligações duplas  $C=C$ .

Essas ligações duplas presentes nos óleos, que são “líquidos”, podem ser hidrogenadas, dando origem às gorduras, que são “sólidas”. Dessa maneira, os óleos de milho, algodão, soja, arroz e outros podem ser transformados em materiais pastosos, que são empregados no preparo das margarinas.

As margarinas contêm, além dos óleos vegetais hidrogenados, outros ingredientes, como, por exemplo, leite, vitamina A, aromatizantes e corantes.

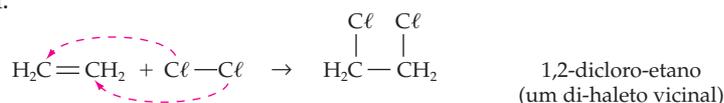


▲ Óleos vegetais contêm ligações duplas entre carbonos. A hidrogenação dessas insaturações transforma esses óleos (líquidos viscosos, como o da colher à esquerda) em gorduras (sólidos pastosos, como o da colher à direita).

FOTOS: EDUARDO SANTALIESTRACID

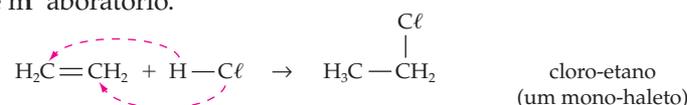
## 1.2 Adição de halogênios

Os halogênios  $\text{Cl}_2$  e  $\text{Br}_2$  reagem com alcenos em reações de adição. O produto obtido é um di-haleto no qual os átomos de halogênio estão posicionados em carbonos vizinhos, chamado de **di-haleto vicinal**. Ao contrário da hidrogenação, não há necessidade de catalisadores para que essa reação seja viável.



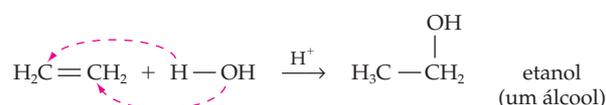
## 1.3 Adição de haletos de hidrogênio (HX)

$\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$  e  $\text{HI}$  adicionam-se a alcenos conforme o exemplo a seguir. Essa reação é catalisada pelos íons  $\text{H}^+$  liberados pelo próprio haleto de hidrogênio  $\text{HX}$ . Trata-se de um método para obter um **mono-haleto** em laboratório.



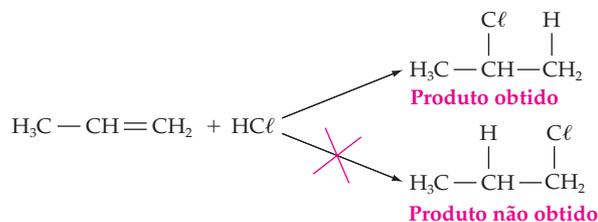
## 1.4 Adição de água

A adição de água, também conhecida como **hidratação**, acontece de modo semelhante à adição de  $\text{HX}$ . Contudo, a reação requer catálise ácida ( $\text{H}^+$ ). Esse método permite obter álcoois a partir de alcenos.



## 1.5 Regra de Markovnikov

Ao realizar a adição de  $\text{HX}$  ( $\text{X}$  = halogênio) ou  $\text{H}_2\text{O}$  a um alceno, se a molécula da substância orgânica não for simétrica em relação à dupla  $\text{C}=\text{C}$ , poderemos pensar na possibilidade de dois produtos diferentes. Considere, por exemplo, a adição de  $\text{HCl}$  a propeno:

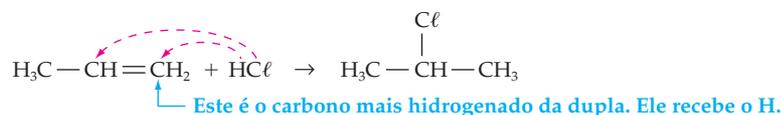


Na prática, só se obtém um dos produtos esperados teoricamente. Isso também é observado na adição de  $\text{H}-\text{Br}$ ,  $\text{H}-\text{I}$  e  $\text{H}-\text{OH}$ .

Em 1869, o químico russo Vladimir Markovnikov enunciou para esse tipo de situação a seguinte regra empírica (isto é, com base puramente experimental), hoje conhecida como **Regra de Markovnikov** (pronuncia-se “marconicóv”):

Na adição de  $\text{HX}$  ( $\text{X}$  = halogênio) ou  $\text{H}_2\text{O}$  a uma ligação dupla  $\text{C}=\text{C}$ , o átomo de  $\text{H}$  adiciona-se preferencialmente ao carbono da dupla que já contém mais hidrogênios, ou seja, **o  $\text{H}$  adiciona-se ao carbono mais hidrogenado**.

Assim:



## 1.6 O teste da solução de bromo

Vimos que os halogênios podem se adicionar à ligação dupla de um alceno. Esse fato propicia aos químicos um teste para identificar a presença de ligação dupla  $C=C$  numa substância orgânica.

Nesse teste, algumas gotas da substância na qual se deseja testar a presença de ligação  $C=C$  são adicionadas a uma solução de bromo ( $Br_2$ , alaranjado) em tetracloreto de carbono ( $CCl_4$ , incolor). A solução é originalmente alaranjada, graças à presença de bromo.

A reação de adição do  $Br_2$  à ligação dupla alcênica consome o  $Br_2$  da solução e ela perde a cor. Assim, dizemos que **o teste da solução de bromo dá resultado positivo quando há descoloração do alaranjado** característico desse reagente. Teste positivo indica a presença de insaturação  $C=C$ . Por sua vez, se a substância adicionada for saturada, não haverá descoloração e se diz, nesse caso, que o teste deu negativo.

Se, por acaso, você está pensando que um alceno deveria dar resultado positivo graças à reação de substituição envolvendo o  $Br_2$ , fique atento ao fato de as substituições em alcanos requererem condições apropriadas, como luz de frequência adequada ou aquecimento. Realizada em solução e à temperatura ambiente, uma reação de substituição envolvendo um alceno e o  $Br_2$  é tão lenta que a descoloração da solução de bromo, se ocorrer, não será imediata. Já uma reação de adição de  $Br_2$  à ligação dupla de um alceno é muito rápida nessas condições, propiciando uma perda de cor quase que imediata.

### ATENÇÃO

O experimento da foto está sendo aqui **RELATADO** por sua relevância no estudo da Química.

Por ser **PERIGOSO**, **NÃO** deve ser realizado.

O **tetracloreto de carbono** é uma substância tóxica cujo contato por inalação, ingestão ou cutâneo altera o sistema nervoso central e o sistema circulatório. Provoca danos no fígado, rins e pulmões.

O **bromo** é um líquido castanho-escuro, extremamente volátil, que provoca ulceração da córnea, queimaduras na pele, dor de cabeça, edema pulmonar e diarreia.



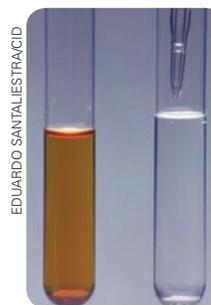
Tetracloreto de carbono  
TÓXICO



Bromo  
TÓXICO

ADILSON SECCO

ADILSON SECCO



EDUARDO SANTALIESTRACID

◀ O tubo da esquerda mostra uma solução de  $Br_2$  em  $CCl_4$ , com sua cor alaranjada característica. Após a adição de poucas gotas de um alceno, ocorre perda da cor. Diz-se que o **teste da solução de bromo deu positivo**.

## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

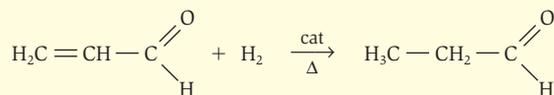
### Exercício Resolvido

1. Acroleína é o nome usual de uma substância que se forma quando um óleo é utilizado por muito tempo na fritura de alimentos. É ela um dos principais responsáveis pelo odor característico de óleo muito usado.

O nome da acroleína, de acordo com as regras sistemáticas da IUPAC, é propenal.

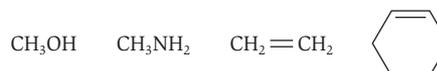
Equacione a reação de hidrogenação catalítica da ligação dupla alcênica (isto é, ligação dupla  $C=C$ ) presente nessa substância.

### Resolução



2. (Ufac) Quando um alceno sofre o processo de hidrogenação, forma-se como produto:
- um alceno.
  - um alcino.
  - um hidrocarboneto aromático.
  - um aldeído.
  - outro alceno.

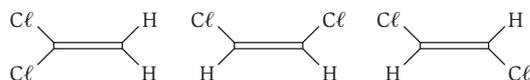
3. (UFC-CE) São apresentados, abaixo, quatro compostos pertencentes a várias funções orgânicas:



A alternativa que corresponde a dois compostos capazes de sofrer reação de adição é:

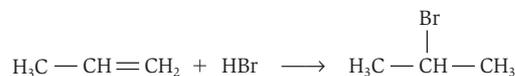
- metanol e metilamina.
  - metilamina e eteno.
  - ciclo-hexeno e metilamina.
  - ciclo-hexeno e metanol.
  - eteno e ciclo-hexeno.
4. Represente a fórmula e o nome do produto que se espera obter na reação de hidrogenação catalítica da ligação dupla da molécula de ciclo-hexeno.
5. (UFRJ) Um determinado alceno, por hidrogenação catalítica, produz o 2,3-dimetilpentano.
- Apresente o nome e a fórmula estrutural desse alceno, sabendo que ele possui isomeria geométrica (*cis-trans*).
  - Escreva a fórmula estrutural de um isômero de posição do 2,3-dimetilpentano que apresenta um carbono quaternário.

6. (UFMG) Considere os três compostos químicos diferentes com a fórmula molecular  $C_2H_2Cl_2$ :

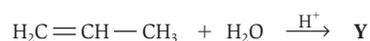
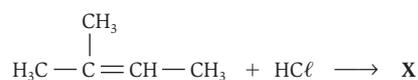


Em relação a esses três isômeros, todas as afirmativas a seguir estão corretas, exceto:

- Possuem a mesma massa molar.
  - Possuem estrutura plana.
  - Apresentam o mesmo número de ligações químicas.
  - Formam, por adição de  $H_2$ , três compostos distintos.
7. (Estácio-RJ) Quando um alceno adiciona cloreto de hidrogênio, o halogênio liga-se ao carbono:
- mais próximo da dupla ligação;
  - de maior potencial eletronegativo;
  - mais distante da dupla ligação;
  - com menor número de hidrogênios;
  - com maior número de hidrogênios.
8. (PUC-SP) As reações de adição na ausência de peróxidos ocorrem seguindo a regra de Markovnikov, como mostra o exemplo.



Considere as seguintes reações:



Os produtos principais, X e Y, são, respectivamente,

- 3-cloro-2-metilbutano e 1-propanol.
  - 3-cloro-2-metilbutano e 2-propanol.
  - 2-cloro-2-metilbutano e 1-propanol.
  - 2-cloro-2-metilbutano e 2-propanol.
  - 2-cloro-2-metilbutano e propanal.
9. (UFRJ) Os alcenos, devido à presença de insaturação, são muito mais reativos do que os alcanos. Eles reagem, por exemplo, com haletos de hidrogênio, tornando-se, assim, compostos saturados.
- Classifique a reação entre um alceno e um haleto de hidrogênio.
  - Apresente a fórmula estrutural do produto principal obtido pela reação do  $HCl$  com um alceno de fórmula molecular  $C_6H_{12}$  que possui um carbono quaternário.
10. (Vunesp) Álcoois podem ser obtidos pela hidratação de alcenos, catalisada por ácido sulfúrico. A reação de adição segue a regra de Markovnikov, que prevê a adição do átomo de hidrogênio da água ao átomo de carbono mais hidrogenado do alceno.
- Dê a equação química balanceada da reação de hidratação catalisada do 1-buteno.
  - Dê o nome oficial do produto formado na reação indicada no item a.

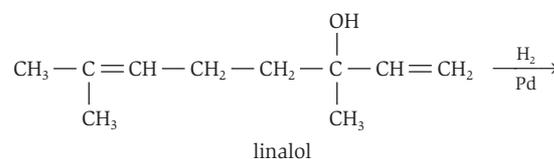
11. (Unifor-CE) A fórmula  $CH_3CH_2OH$  representa um composto:

- combustível
- pouco solúvel em água
- que pode ser obtido pela hidratação do eteno

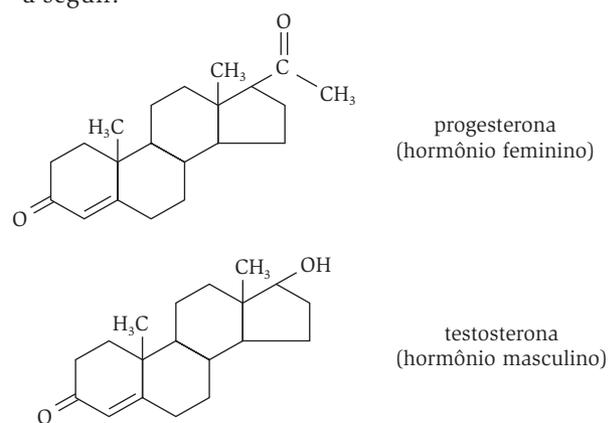
É correto afirmar:

- I, somente.
- II, somente.
- I e III, somente.
- II e III, somente.
- I, II e III.

12. (UFJF-MG) O linalol (estrutura representada abaixo) é uma substância orgânica encontrada no óleo de alfavaca. Quando esta substância é submetida à hidrogenação completa, obtém-se um composto cuja cadeia pode ser classificada como:



- cadeia carbônica cíclica, ramificada, saturada, homogênea.
  - cadeia carbônica acíclica, ramificada, saturada, homogênea.
  - cadeia carbônica acíclica, ramificada, insaturada, homogênea.
  - cadeia carbônica acíclica, normal, saturada, heterogênea.
  - cadeia carbônica cíclica, normal, insaturada, heterogênea.
13. (Vunesp) Considere os hormônios progesterona e testosterona, cujas fórmulas estruturais são fornecidas a seguir.



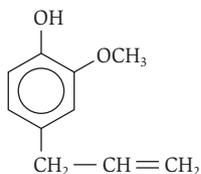
- Quais são as funções orgânicas que diferenciam os dois hormônios?
- Tanto a molécula de progesterona como a de testosterona reagem com solução de bromo. Utilizando apenas o grupo de átomos que participam da reação, formule a equação química que representa a reação entre o bromo e um dos hormônios.

## Exercícios adicionais

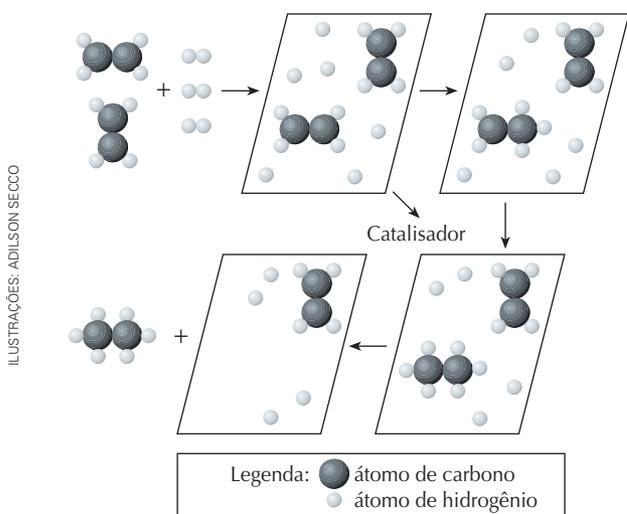
Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor (a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

14. (UFMS-RS) O eugenol tem a fórmula estrutural ao lado. Com relação a esse composto, não é correto afirmar que:
- descora a solução de bromo em  $CCl_4$ .
  - é uma substância insaturada.
  - apresenta função fenol.
  - apresenta função éter.
  - apresenta função álcool.



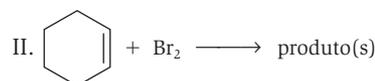
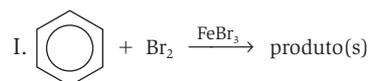
15. (Fuvest-SP) O esquema abaixo representa uma transformação química que ocorre na superfície de um catalisador.



Uma transformação química análoga é utilizada industrialmente para a obtenção de:

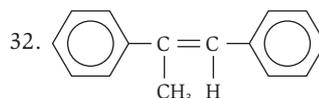
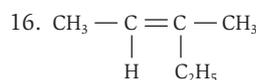
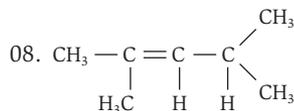
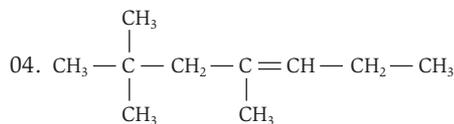
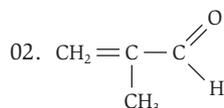
- polietileno a partir de etileno.
  - celulose a partir de glicose.
  - peróxido de hidrogênio a partir de água.
  - margarina a partir de óleo vegetal.
  - naftaleno a partir de benzeno.
16. (Unifesp) Muitos álcoois podem ser obtidos pela hidratação catalisada por ácidos de alcenos. Nessa reação de adição, o H da água se adiciona ao carbono que tem mais hidrogênios ligados a ele e o grupo hidroxila se liga ao carbono menos hidrogenado (regra de Markovnikov). Sabendo-se que os álcoois formados na hidratação de dois alcenos são respectivamente 2-metil-2-pentanol e 1-etilciclopentanol, quais os nomes dos alcenos correspondentes que lhes deram origem?
- 2-metil-2-penteno e 2-etilciclopenteno.
  - 2-metil-2-penteno e 1-etilciclopenteno.
  - 2-metil-3-penteno e 1-etilciclopenteno.
  - 2-metil-1-penteno e 2-etilciclopenteno.
  - 3-metil-2-penteno e 2-etilciclopenteno.

17. (UFRN) Um perito químico da polícia técnica recebeu duas amostras líquidas apreendidas na residência de um suspeito de envolvimento com narcotráfico. Uma análise preliminar das amostras e a determinação dos respectivos pontos de ebulição indicaram que as substâncias mais prováveis eram os hidrocarbonetos cicloexeno ( $C_6H_{10}$ ,  $80\text{ }^\circ\text{C}$ ) e benzeno ( $C_6H_6$ ,  $83\text{ }^\circ\text{C}$ ). Com o objetivo de comprovar a presença desses hidrocarbonetos e sabendo que eles possuem reatividades diferentes, o perito realizou as reações de bromação a seguir:

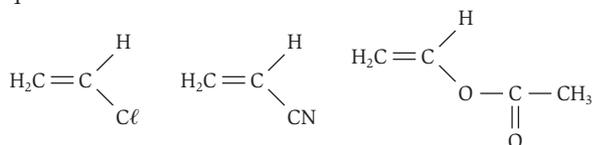


- Equacionar as reações anteriores, escrevendo a fórmula estrutural dos produtos, e denominar cada produto de acordo com as regras da IUPAC.
- Indicar que tipo de reação ocorre nos casos I e II.
- Explicar a função do  $FeBr_3$  na reação de bromação do benzeno (I).

18. (UFSC) Determine qual(is) dos composto(s) a seguir formaria(m), por hidrogenação, um hidrocarboneto opticamente ativo.



19. (Fuvest-SP) Os compostos representados abaixo podem ser obtidos por reações de adição de substâncias adequadas ao:



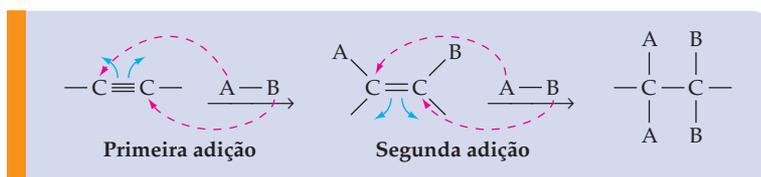
- a) metano.  
b) eteno.  
c) etino.  
d) propeno.  
e) 2-butino.

20. (UEM-PR-modificado) Sabendo-se que um composto apresenta fórmula molecular  $\text{C}_8\text{H}_{18}$ , julgue os itens em verdadeiros ou falsos.

01. O composto pode ser o 2-octeno.  
02. O composto pode ser o 2,2,4-trimetil-pentano.  
04. O composto pode apresentar o grupo *n*-butil.  
08. O composto pode apresentar 3 carbonos primários, 4 secundários e 1 terciário.  
16. O composto poderá apresentar 1 carbono insaturado e 7 carbonos saturados.  
32. A hidrogenação desse composto poderá formar o  $\text{C}_8\text{H}_{20}$ .

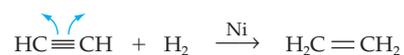
## 2 Reações de adição a alcinos

A ligação tripla dos alcinos comporta-se como a dupla dos alcenos, porém pode sofrer uma ou duas adições, dependendo da quantidade do outro reagente.

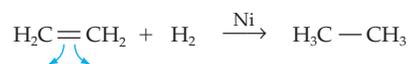


### 2.1 Hidrogenação catalítica

A adição de  $\text{H}_2$ , se for feita na proporção em mols de 1 : 1 (1 mol de alcino para 1 mol de  $\text{H}_2$ ), produzirá um alceno. Se a proporção for de 1 : 2, o alceno formado também sofrerá adição, produzindo um alcano.



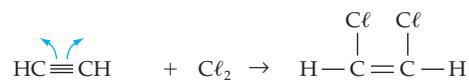
1 mol de alcino e 1 mol de  $\text{H}_2$  produzem 1 mol de alceno...



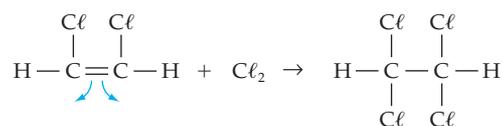
... que pode reagir com mais 1 mol de  $\text{H}_2$ , formando 1 mol de alcano

### 2.2 Adição de halogênios

A adição de  $\text{Cl}_2$  ou  $\text{Br}_2$  segue os mesmos moldes da hidrogenação:



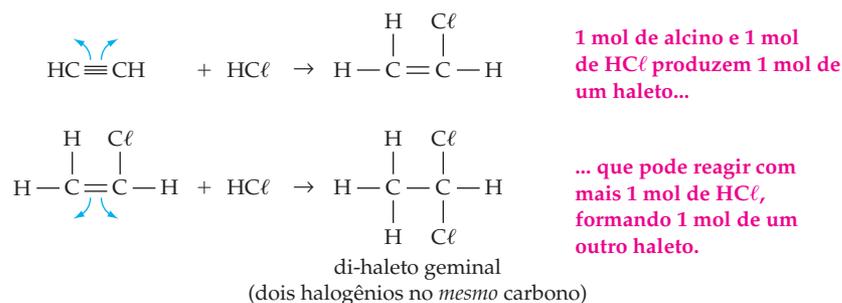
1 mol de alcino e 1 mol de  $\text{Cl}_2$  produzem 1 mol de haleto...



... que pode reagir com mais 1 mol de  $\text{Cl}_2$ , formando 1 mol de um outro haleto.

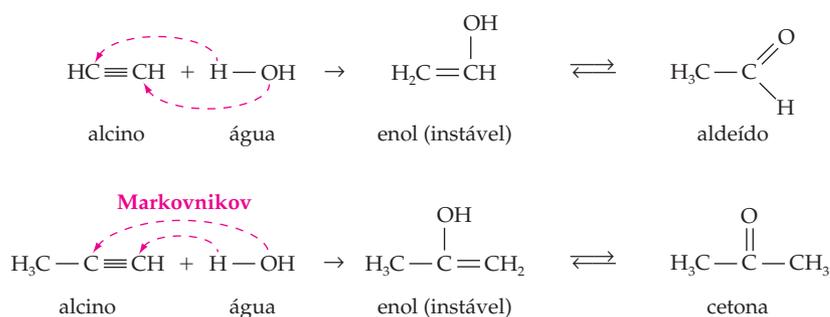
## 2.3 Adição de haletos de hidrogênio (HX)

Também neste caso a reação pode parar no produto com ligação dupla ou continuar até formar o produto saturado. É importante perceber que a **Regra de Markovnikov direciona as reações.**



## 2.4 Adição de água

Na hidratação de um alcino não acontece a segunda adição. Isso se explica em virtude de o produto da primeira adição ser um **enol** que, tão logo formado, **se transforma em um aldeído ou cetona**, dependendo do alcino utilizado.

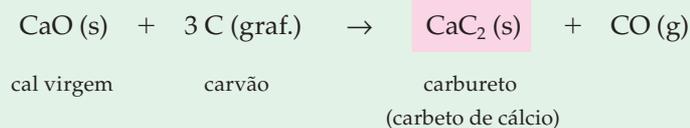
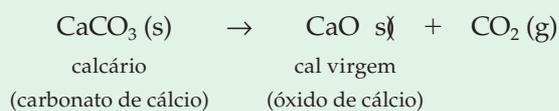


### AQUÍMICA DO ACETILENO

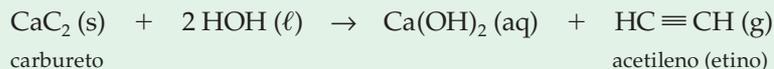
O **etino** é conhecido pelo nome trivial de **acetileno** (aceito pela IUPAC). É utilizado como combustível nos chamados maçaricos de oxiacetileno, uma vez que sua chama é extremamente quente (3.000 °C). (Esses maçaricos destinam-se a soldar ferragens ou cortar chapas metálicas.)

Sob o ponto de vista industrial, o acetileno constitui uma das mais importantes matérias-primas. A partir dele pode-se obter uma infinidade de outros compostos usados para fabricar plásticos, tintas, adesivos, fibras têxteis etc.

O acetileno é um composto importante na chamada indústria **carboquímica**, isto é, aquela que utiliza matérias-primas provenientes do carvão. Aquecendo calcário (CaCO<sub>3</sub>) podemos obter cal virgem (CaO), que, aquecida com carvão, em uma segunda etapa, produz o **carbeto dec álco**, mais conhecido como **carbureto dec álco** ou **pedrad ec arbureto**.



O  $\text{CaC}_2$  é um sólido iônico branco-acinzentado que, em contato com a água, reage imediatamente, produzindo gás acetileno. Essa reação, chamada de **hidrólise do carbureto**, tem um efeito visual muito parecido com o de um comprimido efervescente jogado em água.



Antes que as lanternas a pilha se tornassem populares, a hidrólise do carbureto, seguida da combustão do acetileno, era usada em lanternas para acampamentos e exploração de cavernas.

O acetileno utilizado na indústria química não vem exclusivamente do carvão. A maior parte dele vem atualmente do petróleo, por meio do craqueamento catalítico.

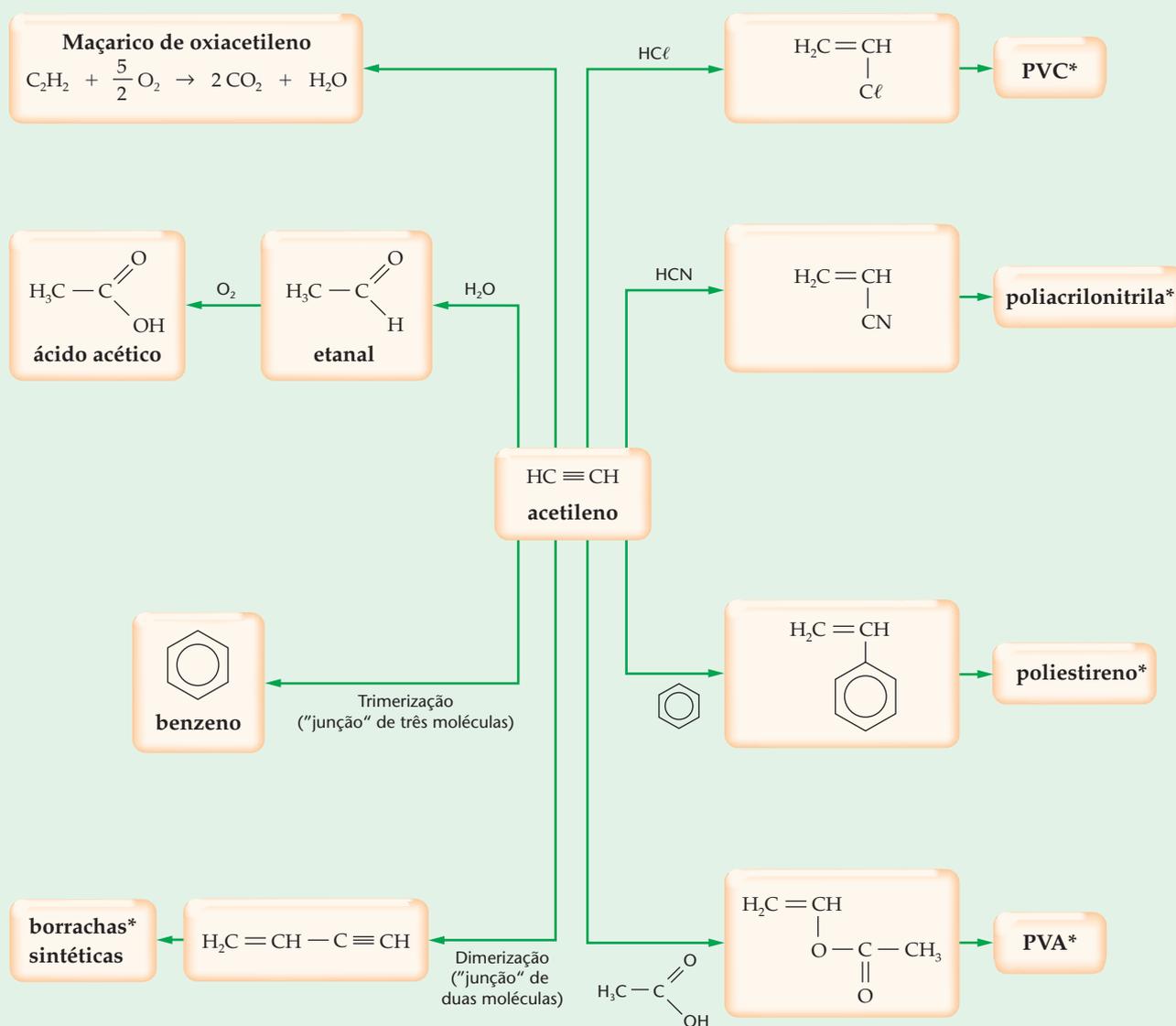
**ATENÇÃO**

Não faça o experimento da hidrólise do carbureto por conta própria.

Sua eventual realização deve ser em laboratório, com autorização e supervisão do(a) professor(a) para evitar acidentes com o gás acetileno, que é altamente inflamável.

Óculos de segurança, luvas e aventais protetores são obrigatórios.

### ALGUMAS APLICAÇÕES DO ACETILENO



\* Polímeros que estudaremos no capítulo 9.

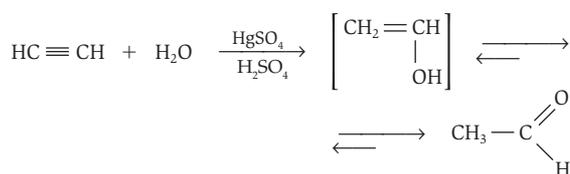
## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

21. Represente a fórmula estrutural do produto das reações de 1 mol de propino com:  
a) 1 mol de  $H_2$                       b) 2 mol de  $H_2$
22. Represente a fórmula estrutural do produto das reações de 1 mol de propino com:  
a) 1 mol de  $Cl_2$                       b) 2 mol de  $Cl_2$
23. Represente a fórmula estrutural do produto das reações de 1 mol de propino com:  
a) 1 mol de  $HCl$                       b) 2 mol de  $HCl$
24. (UFMG) A reação entre um mol de propino,  $HC \equiv C - CH_3$ , e dois mols de bromo,  $Br_2$ , na ausência de luz ou calor, produz:  
a)  $CHBr_2 - CBr_2 - CH_3$                       c)  $CBr_2 = CH - CHBr_2$   
b)  $CH_2Br - CBr_2 - CH_2Br$                       d)  $CHBr - CBr - CHBr_2$
25. (UFRN) O produto da reação entre 2 mol de  $HBr$  e 1 mol de 1-butino em meio aquoso é:  
a) 2-bromo-1-buteno.                      d) 2,2-dibromo-butano.  
b) 1-bromo-1-buteno.                      e) 1,2-dibromo-butano.  
c) 1,1-dibromo-buteno.

26. (UEG) O exame da equação a seguir:



permite afirmar que:

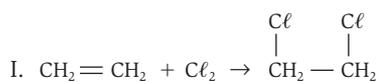
- a) representa a reação de hidratação de um alceno.  
b) a água é adicionada a um composto saturado.  
c) há formação de um enol e um ácido carboxílico.  
d) há formação de um composto de menor massa molecular.  
e) há formação de tautômeros.
27. (FEI-SP) Qual das substâncias abaixo é produzida pela hidratação do acetileno?  
a) etileno                                      d) acetaldeído  
b) etanol                                      e) ácido acético  
c) acetona
28. (UEPG-PR) O composto propino sofreu hidratação em meio ácido. O principal produto dessa reação é:  
a) ácido acético.                              d) 2-propanol.  
b) 2,2-propanodiol.                              e) propanona.  
c) propanaldeído.
29. (UFPB) O etino (acetileno) é um gás combustível muito usado em maçarico na soldagem de metais. Esse gás pode ser obtido a partir do carbeto de cálcio (carbureto). A equação balanceada, que representa a reação de obtenção do etino, é:  
a)  $CaCO_3 + H_2O \rightarrow H_2C = CH_2 + Ca(OH)_2$   
b)  $CaC_2 + H_2O \rightarrow HC \equiv CH + Ca(OH)_2$   
c)  $CaCO_3 + 2 H_2O \rightarrow HC \equiv CH + Ca(OH)_2$   
d)  $CaC_2 + 2 H_2O \rightarrow H_2C = CH_2 + Ca(OH)_2$   
e)  $CaC_2 + 2 H_2O \rightarrow HC \equiv CH + Ca(OH)_2$

## Exercícios adicionais

Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

30. (FGV-SP) As equações I e II referem-se a dois tipos diferentes de reações orgânicas em que os reagentes são o eteno e o etino, respectivamente.



As equações I e II podem ser classificadas, respectivamente, como reações de:

- a) adição e eliminação.  
b) redução e adição.  
c) adição e dimerização.  
d) eliminação e adição.  
e) eliminação e dimerização.
31. (PUC-RS) Da hidrólise do carbureto de cálcio, de fórmula  $CaC_2$ , obtêm-se o etino e o hidróxido de cálcio.

A quantidade em mols de água necessária para consumir, totalmente, 2 mol de carbureto é:  
a) 0,5                      b) 2                      c) 4                      d) 6                      e) 8

**Enunciado comum às questões 32 e 33.**

O Grito de Satanás nas Melancias  
in "Zé Limeira, Poeta do Absurdo"

Orlando Tejo

"Possantes candeeiros a carbureto iluminam a sala espaçosa pintada a óleo, refletindo a luz forte nas lentes escuras que protegem os grandes olhos firmes do poeta, sob as grossas pestanas negras."

32. (UFRJ) Nas lanternas a carbureto ocorre a reação entre o carbeto de cálcio ou carbureto ( $CaC_2$ ) e a água, gerando hidróxido de cálcio ( $Ca(OH)_2$ ) e gás acetileno (etino), que queima produzindo uma luz intensa. Escreva a equação balanceada da reação de carbeto de cálcio com água.

33. (UFRJ) Em duas lanternas idênticas, carregadas com a mesma massa de carbureto, goteja-se água, na mesma vazão, sobre o carbureto. Na lanterna I, o carbureto encontra-se na forma de pedras e, na lanterna II, finamente granulado.
- Indique qual das lanternas apresentará a chama mais intensa.
  - Indique qual delas se apagará primeiro.
- Justifique sua resposta, com base em seus conhecimentos de cinética química.
34. (IME-RJ) Proponha uma síntese para o TNT (2,4,6-trinitrotolueno) a partir do carbeto de cálcio e de outras matérias-primas convenientes.

## 3 Os aromáticos e as reações de adição

### 3.1 Recordando o conceito de ressonância

Considere a representação **(A)** de uma molécula de benzeno. Vamos colocar em cada carbono um número, de 1 a 6. Mudando apenas a posição das ligações duplas, sem alterar a posição dos carbonos e hidrogênios, podemos escrever outra fórmula estrutural **(B)** para o benzeno.

**Ressonância** é o termo usado para descrever uma situação na qual, sem mudar a posição dos átomos, podemos escrever **mais de uma** fórmula estrutural diferente, mudando **apenas** a posição de alguns elétrons.

As estruturas **(A)** e **(B)** são chamadas de **estruturas de ressonância**. Nenhuma delas isoladamente representa bem o benzeno. Os elétrons das ligações duplas não se localizam nem como está mostrado em **(A)** nem como em **(B)**. Dizemos que **os elétrons das ligações duplas estão deslocalizados** e que o benzeno é um **híbrido de ressonância**.

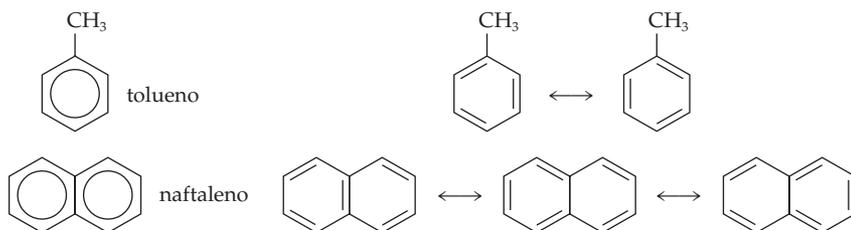


O símbolo  $\longleftrightarrow$  diz que o benzeno é um misto de ambas as estruturas. Não o confunda com o símbolo de equilíbrio químico ( $\rightleftharpoons$ ).

A maneira mais usada para representar o benzeno é:



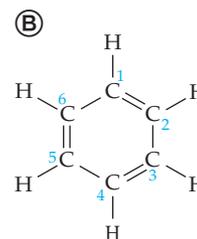
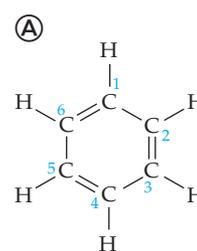
na qual o círculo central indica a ressonância. Todos os compostos aromáticos exibem o fenômeno da ressonância. Veja outros exemplos:



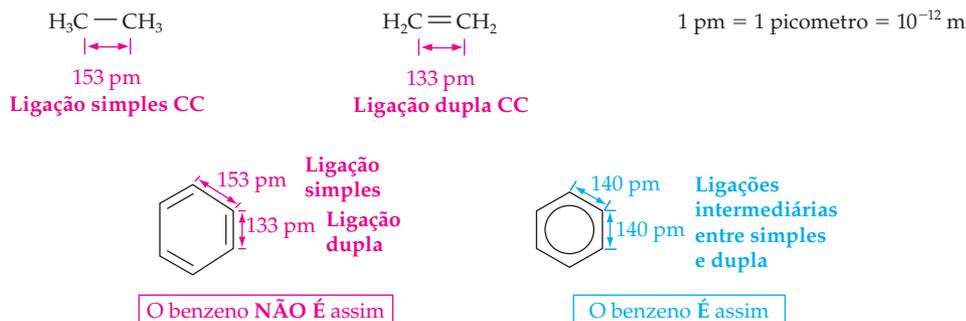
### 3.2 O caráter das ligações no benzeno

No capítulo 5, vimos que os hidrocarbonetos aromáticos caracterizam-se pelas reações de substituição. Mas você pode ter ficado em dúvida: já que o anel benzênico é insaturado, por que ele não sofre adição?

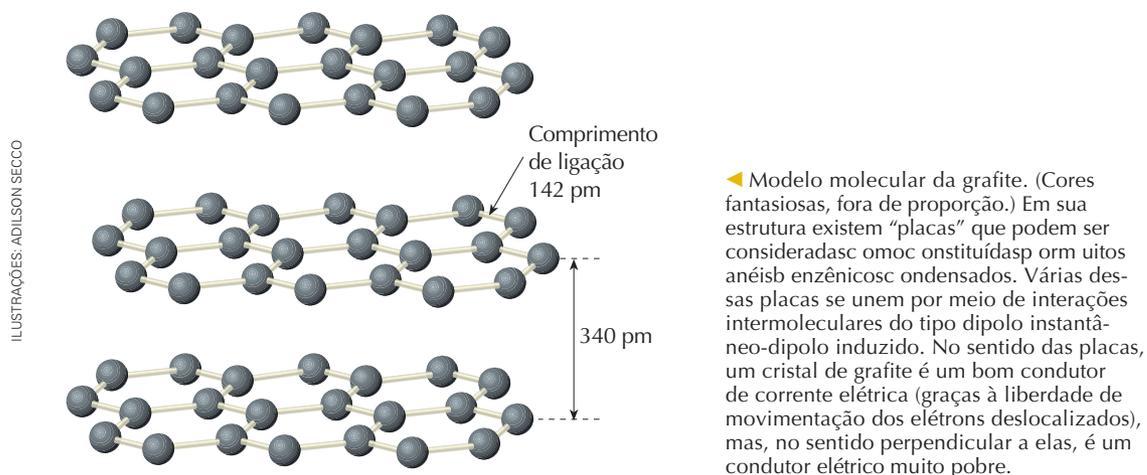
A resposta é simples e baseia-se no fenômeno da ressonância.



Devido à ressonância, não existem realmente ligações simples e duplas no anel benzênico. As ligações CC têm **caráter intermediário entre simples e dupla**. Isso é confirmado por experiências que mostraram que a distância das ligações CC no benzeno é intermediária entre a das ligações simples e a das duplas.

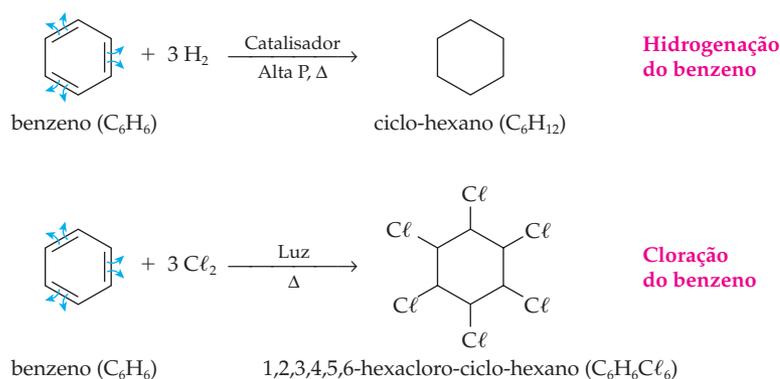


Por essa razão, **o benzeno não costuma dar reações de adição, e sim reações de substituição**, características de compostos saturados.



### 3.3 Forçando a adição em aromáticos

Apesar de os hidrocarbonetos aromáticos normalmente não apresentarem tendência a sofrer reações de adição, podemos realizá-las utilizando **condições enérgicas**, por exemplo, alta pressão, alta temperatura e catalisador apropriado. Nessas condições, as ligações com caráter intermediário entre simples e dupla são forçadas a reagir. Os exemplos mais interessantes dessas reações forçadas são a hidrogenação e a halogenação do benzeno:



Essa última reação é o processo usado para obter o inseticida BHC, sigla do nome trivial **benzeno hexa clorado**.

## Exercícios essenciais

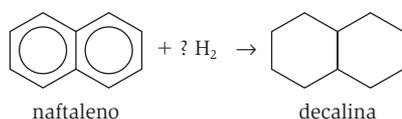
Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

35. (PUC-RJ) O benzeno, produto altamente tóxico, pode ser transformado em outro composto menos tóxico, que é o ciclo-hexano, através da reação de:

- oxidação.
- hidrogenação.
- nitração.
- sulfonação.
- polimerização.

36. As bolinhas de naftalina, usadas para espantar traças e baratas, são constituídas do hidrocarboneto cujo nome, segundo a IUPAC, é naftaleno. Usualmente, tal composto tende a sofrer reações de substituição, mas não de adição. Contudo, sob condições extremamente enérgicas, é possível hidrogenar o naftaleno, produzindo uma substância chamada decalina, de acordo com a seguinte equação química, na qual falta o coeficiente do  $H_2$ :

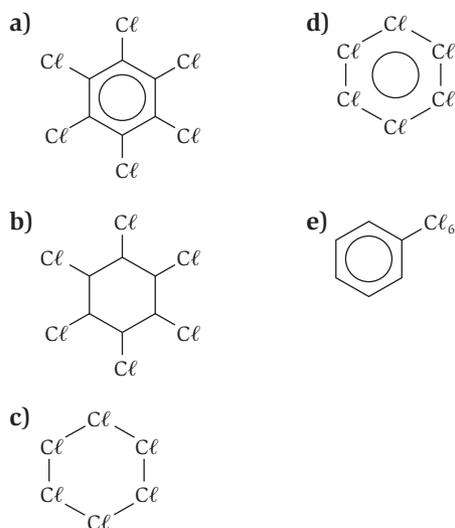


- Represente a fórmula molecular do naftaleno.
- Represente a fórmula molecular da decalina.
- Qual é o coeficiente estequiométrico do  $H_2$  na equação química mostrada?

37. (Unifor-CE) A cloração do benzeno, por adição, produz:

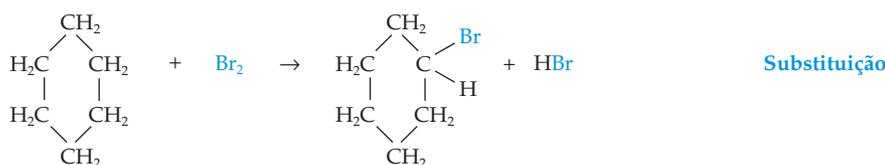
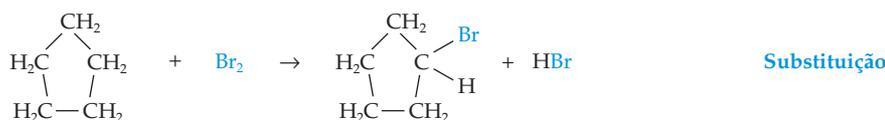
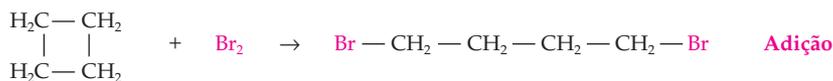
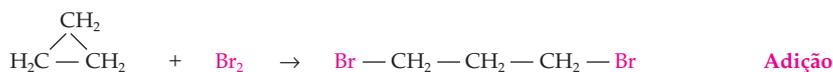
- $C_6Cl_{12}$
- $C_6CH_3Cl_5$
- $C_6H_5CH_2Cl$
- $C_6H_{10}Cl_2$
- $C_6H_6Cl_6$

38. (Vunesp) A molécula do inseticida BHC apresenta seis cloros, substituindo os átomos de hidrogênio do ciclo-hexano. Sua fórmula estrutural é:



## 4 Ciclanos: adição × substituição

Observe as seguintes equações químicas:



Essas equações representam reações que ilustram tendências verificadas experimentalmente.

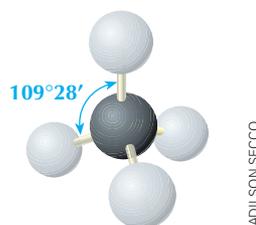
Os **ciclanos de três e quatro carbonos** apresentam tendência para sofrer **reações de adição**, nas quais ocorre o **rompimento do ciclo**. Já os **ciclanos de cinco e seis carbonos** apresentam tendência para sofrer **reações de substituição**, de modo similar aos alcanos.

Para tentar explicar a razão dessas diferentes tendências de comportamento químico, vamos fazer uma analogia. Considere um pegador de aço inox. Se o soltarmos sobre a mesa, ele ficará aberto com um certo ângulo. Toda vez que tentarmos fechar ou abrir esse pegador, estaremos forçando-o a ficar em uma situação que não lhe é natural, ou seja, estaremos introduzindo uma **tensão angular** no sistema. Tão logo o soltemos, ele retornará ao ângulo inicial.

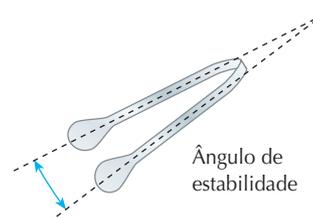
Um carbono saturado pode ser comparado a um desses pegadores. Ele é estável com suas ligações em ângulo de  $109^{\circ}28'$ . Se tentarmos alterar esse ângulo, estaremos introduzindo uma tensão na molécula. O sistema sempre tenderá a retornar ao ângulo estável.



▲ Um pegador de aço inox permite uma analogia para entender o que é tensão angular.



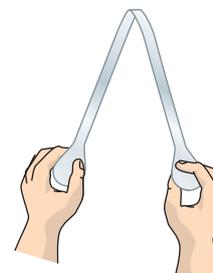
▲ Um carbono com quatro ligações simples é análogo a um pegador de aço inox, com ângulo de estabilidade de  $109^{\circ}28'$ . (Átomos representados por esferas em cores fantasiosas e fora de proporção.)



Um pegador de aço inox pode ser tensionado...



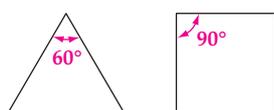
... quando reduzimos...



... ou aumentamos seu ângulo em relação ao de estabilidade.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

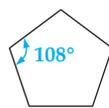
Verificando os ângulos destacados nos ciclanos esquematizados abaixo, notamos que **há considerável tensão angular no ciclo-propano e no ciclo-butano**. Isso explica por que esses ciclos de três e quatro carbonos possuem tendência para se romper: dessa maneira a tensão angular é eliminada e a molécula se estabiliza.



Ângulos distantes de  $109^{\circ}28'$

Moléculas com tensão angular

HÁ tendência ao rompimento do ciclo.



Ângulos próximos de  $109^{\circ}28'$

Pequena tensão angular

NÃO há tendência ao rompimento do ciclo.



▲ Johann Friedrich Wilhelm Adolf von Baeyer (1835-1917), pioneiro na tentativa de explicar as diferentes estabilidades dos ciclos de carbono. Foto de 1900.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

No entanto, ele previu incorretamente que o ciclo-hexano também possuiria elevada tensão angular, pois imaginou que suas moléculas fossem planares.

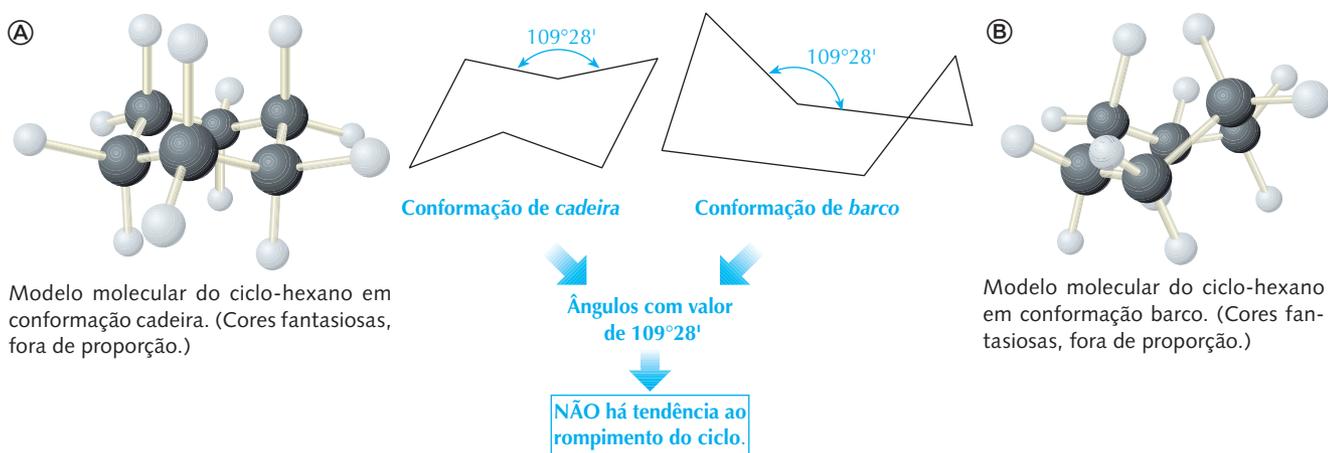


Se o ciclo-hexano fosse planar, ele teria elevada tensão angular, pois o ângulo estaria distante de  $109^{\circ}28'$ .

Sabe-se, atualmente, que as moléculas de ciclo-hexano não são planares, existindo em duas conformações diferentes, chamadas de cadeira e barco.

Observe, a seguir, os modelos da conformação cadeira (A) e da conformação barco (B) da molécula de ciclo-hexano.

A perda da planaridade propicia a minimização das tensões angulares, já que os ângulos se aproximam do valor estável de  $109^{\circ}28'$ . Com isso, a cadeia carbônica do ciclo-hexano é razoavelmente resistente ao rompimento, não apresentando tendência de sofrer reações de adição, mas sim de se comportar como alcano, sofrendo reações de substituição.



## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

39. Os ciclanos com três e quatro carbonos apresentam alta ou baixa tensão angular? Eles apresentam tendência para sofrer que tipo de reação?
40. Os ciclanos com cinco e seis carbonos apresentam alta ou baixa tensão angular? Eles apresentam tendência para sofrer que tipo de reação?
41. Represente a fórmula estrutural do produto obtido na reação, sob condições adequadas, do ciclo-propano com:
- $H_2$
  - $Br_2$
  - HBr
42. Represente a fórmula estrutural do produto orgânico monoclorado obtido na reação do ciclo-hexano com  $Cl_2$ .
43. (Fuvest-SP) Duas substâncias diferentes têm fórmula molecular  $C_6H_{12}$ . Uma delas, quando submetida a atmosfera de hidrogênio, na presença de um catalisador, reage com o gás e a outra não.
- Qual é a razão dessa diferença de comportamento?
  - Dê uma fórmula estrutural possível para cada uma dessas substâncias.
44. (Uespi) O brometo de ciclopentila pode ser obtido pela reação de:
- pentano + HBr
  - ciclopentano +  $Br_2$
  - ciclopentano + HBr
  - brometo de ciclopropila +  $CH_3CH_2Br$
  - brometo de ciclobutila +  $CH_3Br$
45. (ITA-SP) Explique por que a temperatura de hidrogenação de ciclo-alcenos, catalisada por níquel metálico, aumenta com o aumento da quantidade de átomos de carbono presentes nos ciclo-alcenos.

## O Informe-se sobre a Química

### Terpenos

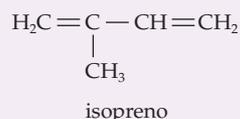
O odor de muitos vegetais, como menta, louro, cedro, pinho, rosas, e a cor de outros, como cenouras, tomates e pimentões vermelhos, se devem a uma grande classe de compostos naturais denominados **terpenos**.

Alguns povos da Antiguidade já sabiam que o aroma de muitos vegetais poderia ser concentrado e extraído por meio de aquecimento. Posteriormente, descobriu-se que o vapor de água pode realizar mais facilmente a extração de tais essências de odor agradável.

No final do século XVI já eram conhecidos cerca de sessenta diferentes **óleos essenciais**, ou seja, óleos contendo a essência de vegetais.

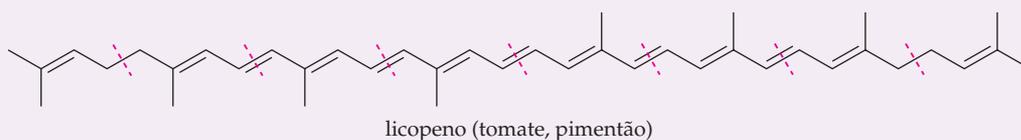
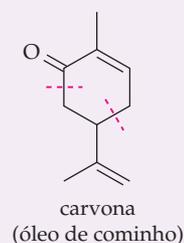
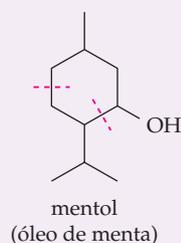
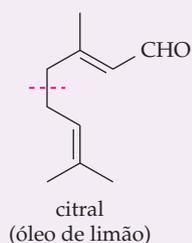
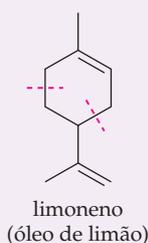
A investigação química da composição desses óleos essenciais só se iniciou no século XIX. Ela levou à descoberta de várias substâncias que foram denominadas **terpenos**, presentes não só em vegetais como também em animais.

Trata-se de compostos orgânicos cujo esqueleto carbônico pode ser encarado como o resultado da união de duas ou mais unidades do hidrocarboneto isopreno (nome de acordo com as regras da IUPAC: 2-metil-buta-1,3-dieno):



Há terpenos de cadeia aberta e de cadeia fechada. No último caso, podem estar presentes um ou mais ciclos.

A seguir aparecem alguns exemplos de terpenos. Os tracejados foram usados para mostrar as diferentes unidades de isopreno presentes. Note que os terpenos não são necessariamente hidrocarbonetos. Há aldeídos, cetonas, álcoois etc.



FABIO COLOMBINI

▲ O aroma característico do limão se deve à presença de terpenos.



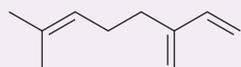
FABIO COLOMBINI

▲ O licopeno é o responsável pela cor vermelha do tomate.

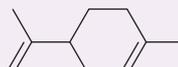
● **Você entendeu a leitura?**

Responda em seu caderno

1. Considere a estrutura dos dois terpenos a seguir:

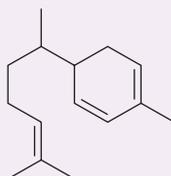


Myrceno  
(presente no óleo de louro)



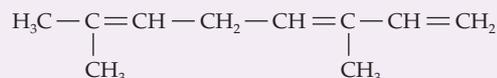
Limoneno  
(um dos responsáveis pelo  
aroma característico dos limões)

- a) Qual a classe funcional a que pertence cada um desses compostos?  
b) São isômeros?
2. A substância cuja fórmula estrutural aparece a seguir, encontrada no gengibre, é largamente empregada para aromatizar bebidas típicas da época das festas juninas.



Substância presente no gengibre

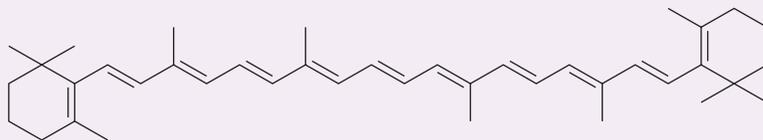
- a) Represente a fórmula molecular dessa substância.  
b) O que se espera observar ao adicioná-la a uma solução de bromo em tetracloreto de carbono?
3. O manjericão é uma planta cujas folhas são utilizadas em culinária para elaborar deliciosos molhos, como é o caso do exótico *pesto genovês*. Uma das substâncias responsáveis pelo aroma característico do manjericão é o ocimeno, cuja fórmula estrutural é mostrada a seguir.



Ocimeno  
(presente no manjericão)

Represente a fórmula estrutural do produto obtido quando o ocimeno sofre:

- a) hidrogenação catalítica completa;  
b) adição de bromo a todas as ligações duplas;  
c) adição de  $\text{HCl}$  a todas as ligações duplas.
4. Considere a fórmula do  $\beta$ -caroteno, substância que dá a cor alaranjada às cenouras:



$\beta$ -caroteno  
(presente nas cenouras)

Considerando que o  $\beta$ -caroteno sofra hidrogenação catalítica em todas as ligações duplas, pergunta-se:

Quantos mols de gás hidrogênio são necessários para reagir com 1 mol de  $\beta$ -caroteno?

5. Faça uma pesquisa em sua casa e liste itens que contêm terpenos em sua composição.

## Informe-se sobre a Química

### “Metátese dá prêmio a dois americanos e um francês

A Real Academia Sueca de Ciências conferiu no ano de 2005 o Prêmio Nobel de Química aos pesquisadores Yves Chauvin, do Instituto Francês do Petróleo (França); Robert H. Grubbs, do Instituto de Tecnologia da Califórnia (EUA); e Richard R. Schrock, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts — MIT (EUA).



◀ Da esquerda para a direita, Richard Schrock, Yves Chauvin e Robert Grubbs no ato de recebimento do Prêmio Nobel. Estocolmo, Suécia, 2005.

O prêmio foi conferido pelo trabalho desenvolvido pelos três pesquisadores em síntese orgânica envolvendo uma reação química chamada metátese. Nessa reação, as duplas ligações das olefinas são quebradas e os átomos de carbono podem formar novas duplas ligações com outros substituintes. É como se houvesse uma troca dos grupos orgânicos ligados à dupla ligação da olefina. Por isso mesmo, a reação é comparada a uma dança na qual os pares trocam de parceiros constantemente. Aliás, metátese significa mesmo ‘troca de lugares’.

A metátese é uma reação que ocorre em presença de um catalisador metálico. O catalisador utilizado por Grubbs (chamado de catalisador de Grubbs) é um composto organometálico de rutênio e o catalisador de Schrock é um composto organometálico de molibdênio.

Em 1990, Schrock foi o primeiro pesquisador a sintetizar um eficiente composto organometálico de molibdênio para a reação de metátese e, dois anos depois, Grubbs obteve um outro catalisador de rutênio mais eficiente e mais estável ao ar do que o de molibdênio. Já Chauvin, em 1971, explicou em detalhes como funcionam as reações de metátese e qual tipo de composto metálico funciona como catalisador.

#### Aplicações

As reações de metátese são muito utilizadas na indústria química principalmente para se obter novos produtos farmacêuticos e polímeros, como os materiais plásticos, com novas propriedades. Essas reações são importantes ferramentas na produção de novas drogas de combate a doenças como câncer, Alzheimer e aids. Elas também poderão ser usadas para fabricar herbicidas e combustíveis.

Os trabalhos dos três pesquisadores constituem contribuições efetivas para o desenvolvimento de novos métodos catalíticos em sínteses orgânicas. Os processos são mais eficientes (menor número de etapas, menos produtos secundários e menor custo), mais simples (catalisadores estáveis ao ar, temperatura e pressão ambientais) e menos agressivos ao meio ambiente (solventes não tóxicos e menos subprodutos tóxicos).

Por estas razões, os vencedores do Nobel ofereceram uma importante colaboração ao desenvolvimento da chamada 'química verde', porque seus estudos contribuíram para a redução do lixo tóxico em potencial que se forma nos processos químicos industriais. A premiação é um reconhecimento internacional de como a pesquisa em química básica pode ser aplicada para beneficiar o homem, a sociedade e o meio ambiente."

Fonte: MASSABNI, A. C. *Informativo do Conselho Regional de Química — 4ª Região*, nov.-dez. 2005. p. 3

### ● Você entendeu a leitura? Responda em seu caderno

1. Pesquise o significado da palavra **metátese**, no sentido gramatical e químico.
2. Tente juntamente com seus colegas criar um modelo para representar no papel como se dá a troca entre os grupos orgânicos numa reação de metátese.
3. Faça uma pesquisa que resulte em algumas aplicações proporcionadas pela reação de metátese.
4. (UFRJ) O Prêmio Nobel de Química de 2005 foi concedido a pesquisadores que estudaram reações de metátese.

Um exemplo é a reação de metátese de 2-penteno, na qual moléculas desse hidrocarboneto reagem entre si, fornecendo 2-buteno e 3-hexeno como produtos.

- a) Represente o isômero *cis* do 3-hexeno, usando a representação em bastão.
- b) Determine o valor da entalpia de reação de metátese de 2-penteno, sabendo que os valores das entalpias molares de formação das três substâncias envolvidas na reação são:

Substância	Entalpia molar de formação (kJ/mol)
2-buteno	-11
2-penteno	-32
3-hexeno	-54

### ○ Reavalie o que você pensa a respeito



Verifique em que mudaram suas concepções prévias

Reveja sua resposta à atividade da segunda página deste capítulo, reavalie o que escreveu, discuta com seus colegas e, se julgar necessário, elabore novas justificativas ou aprimore as que tinha escrito. Apresente-as ao professor.

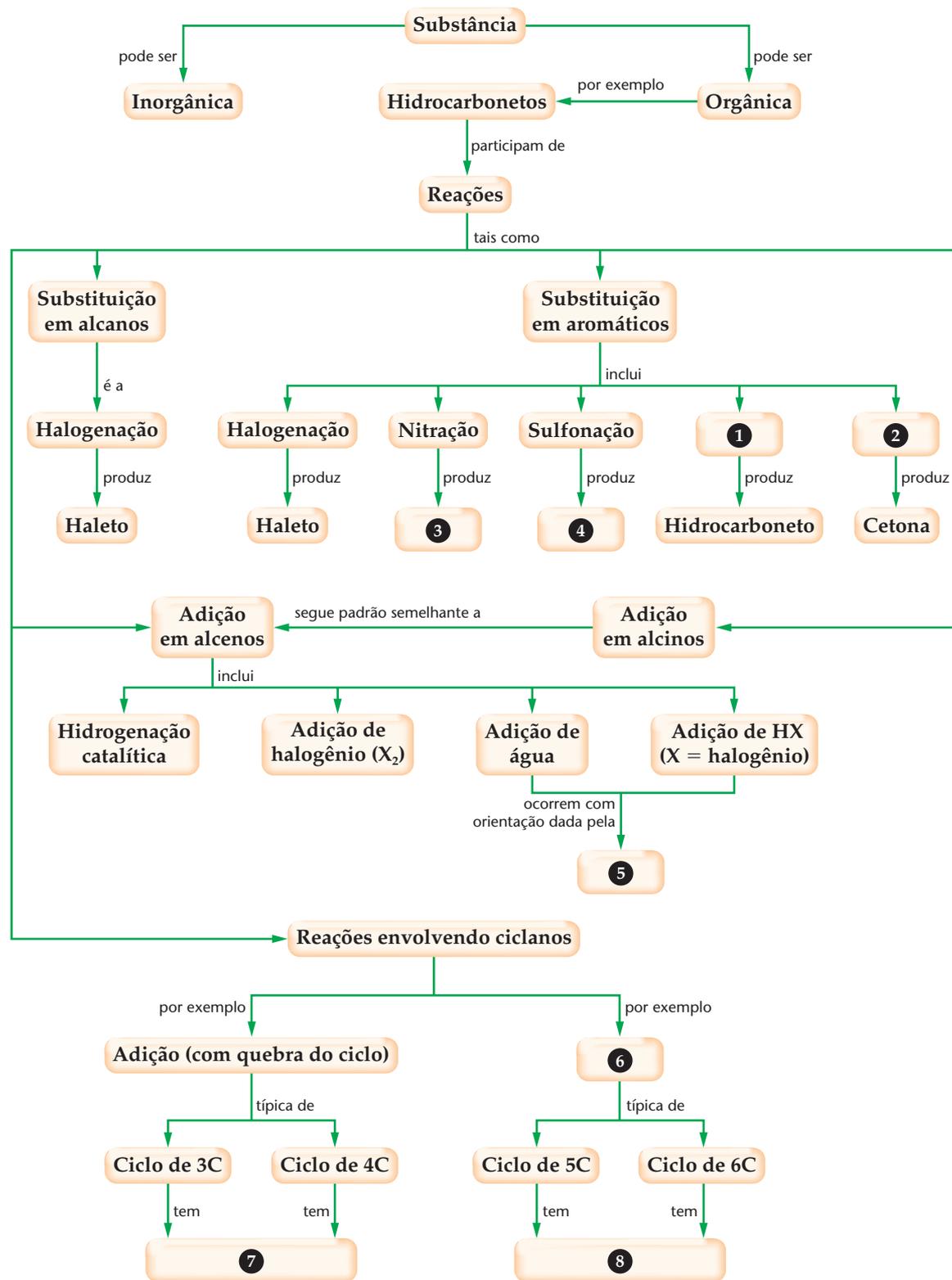


**Importante:**

Este mapa é apenas uma das muitas possibilidades de relacionar esses conteúdos conceituais.

## MAPA CONCEITUAL – REAÇÕES DE HIDROCARBONETOS

Revise os conceitos estudados e decida como podem ser completados os locais em que aparecem os números.



# Noções de acidez e de basicidade em compostos orgânicos



Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

CHRIS BAKER/STONE-GETTY IMAGES

## Alguns conteúdos importantes:

▲ Parte do funcionamento dos desodorantes se deve à química ácido-base envolvendo ácidos orgânicos.

- ✓ Acidez de ácidos carboxílicos e de fenóis, sua ionização em água e sua reação com hidróxidos inorgânicos
- ✓ Grupos substituintes que podem provocar alterações na força de um ácido carboxílico ou de um fenol
- ✓ Basicidade de aminas, sua ionização em água e sua reação com ácidos inorgânicos e com ácidos carboxílicos
- ✓ Conceito de composto orgânico anfótero, com destaque para os  $\alpha$ -aminoácidos

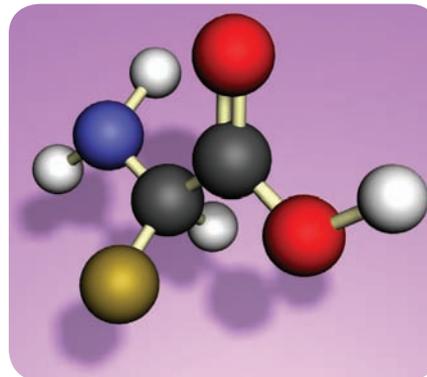
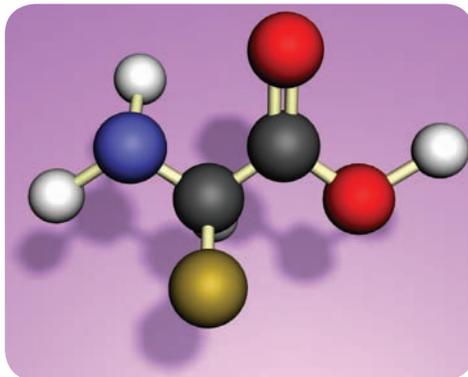
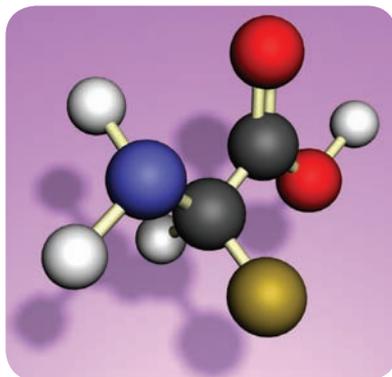
## O que você pensa a respeito?



Sondagem de concepções prévias

Na lista abaixo estão relacionados alguns termos e conceitos. Indique no seu caderno aqueles que você julga que estejam relacionados às imagens abaixo e justifique sua escolha. Discuta com seus colegas e apresente as conclusões ao professor.

- cloreto de amônio
- caráter anfótero
- amina
- cloridrato
- carboxila
- $\alpha$ -aminoácido



ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES

▲ Um mesmo modelo molecular, visto de três ângulos diferentes. O código de cores é branco: H; preto: C; vermelho: O; azul: N; ocre: grupo substituinte como, por exemplo, H, CH<sub>3</sub>, CH<sub>2</sub>OH ou CH<sub>2</sub>SH. (Cores fantasiosas, fora de proporção.)

## O Pare e situe-se!

Texto introdutório ao capítulo

Na Química Inorgânica, dois importantes grupos de substâncias são os **ácidos** e as **bases**. De acordo com a **definição de Arrhenius**:

- **ácido** é toda substância que, dissolvida em água, libera íons H<sup>+</sup> como único cátion;
- **base** é toda substância que, dissolvida em água, libera íons OH<sup>-</sup> como único ânion.

Este capítulo é dedicado ao estudo das principais substâncias orgânicas que possuem caráter ácido e/ou caráter básico. Aprenderemos a reconhecê-las e a equacionar os processos de liberação de H<sup>+</sup> e OH<sup>-</sup> que ocorrem quando tais substâncias se dissolvem em água.

Conhecemos exemplos do processo de neutralização que envolva um ácido orgânico e/ou uma base orgânica.

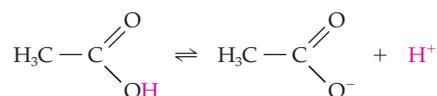
Veremos, também neste capítulo, alguns exemplos da presença de compostos orgânicos que exibem propriedades ácidas e/ou básicas no cotidiano.

Tomaremos contato com exemplos de substâncias orgânicas que apresentam grupo funcional que lhes confere propriedades ácidas e, simultaneamente, grupo funcional que lhes confere propriedades básicas, denominadas **substâncias anfóteras**. Entre esses exemplos estão os  $\alpha$ -aminoácidos, importante pré-requisito para o estudo das proteínas, que será realizado no capítulo 10.

# 1 Acidez química orgânica

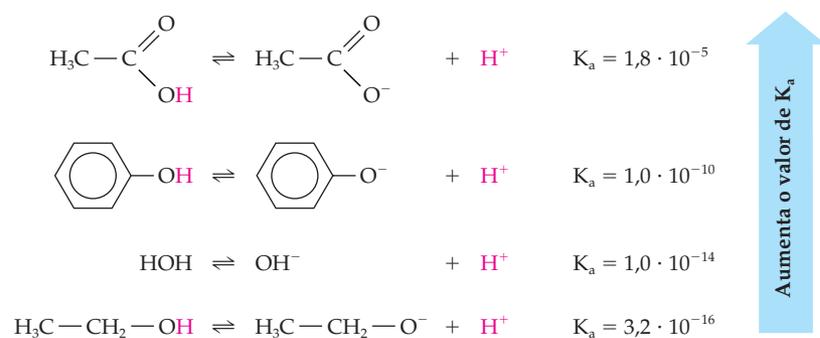
## 1.1 Acidez de ácidos carboxílicos, fenóis e álcoois

Como o vinagre apresenta sabor azedo, nele devem existir íons  $H^+$ , característicos de meio ácido. A presença de  $H^+$  é explicada por intermédio da seguinte equação química, que representa a ionização sofrida em água pelo ácido acético (lembre-se de que o vinagre é uma solução aquosa desse composto orgânico):



Todos os **ácidos carboxílicos** apresentam essa característica química: a capacidade de **ionizar e doar hidrogênio ácido**.

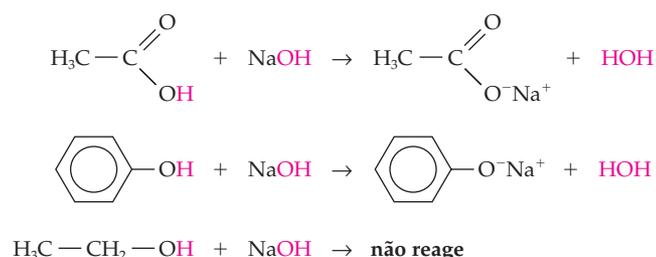
Observe os seguintes dados:



Esses valores de  $K_a$  revelam que os compostos apresentados seguem a seguinte **ordem de acidez** (isto é, **ordem de força ácida**): **álcool < água < fenol < ácido carboxílico**.

Já que o álcool é menos ácido que a água, podemos dizer que, na prática, ele não possui tendência para liberar  $H^+$ . (Lembre-se de que a água é o referencial para a definição do caráter ácido-base no conceito de Arrhenius.)

Assim, quando tenta-se reagir esses compostos orgânicos com um hidróxido inorgânico (como, por exemplo, NaOH), obtém-se sucesso com ácidos carboxílicos e fenóis, e não com álcoois, pois estes não são suficientemente ácidos.



Ácidos carboxílicos e fenóis reagem com NaOH.

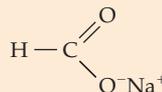
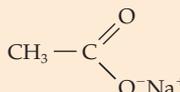
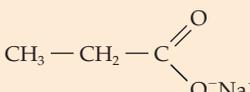
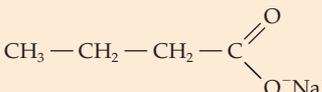
O composto orgânico obtido numa reação entre um ácido carboxílico e uma base é chamado de sal orgânico. O nome dos sais orgânicos é dado de um modo muito semelhante ao dos sais inorgânicos. A tabela 1, a seguir, apresenta alguns exemplos de sais e de sua nomenclatura.

### ATENÇÃO

A eventual realização de experimentos com ácidos e/ou bases orgânicos precisa ter a autorização e a supervisão do(a) professor(a).

Entre outros possíveis perigos, tais experimentos envolvem riscos relacionados à manipulação de substâncias tóxicas e/ou corrosivas.

**TABELA 1** Exemplos de sais de sódio de ácidos carboxílicos

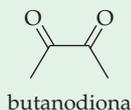
Nome do ácido	Nome e fórmula do sal
metanoico (fórmico)	metanoato de sódio (formiato de sódio) 
etanoico (acético)	etanoato de sódio (acetato de sódio) 
propanoico (propiónico)	propanoato de sódio (propionato de sódio) 
butanoico (butírico)	butanoato de sódio (butirato de sódio) 

### Ácidos sulfônicos também têm hidrogênio ionizável

O grupo funcional ácido sulfônico ( $-\text{SO}_3\text{H}$ ) deriva do ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) e seu hidrogênio é ionizável. Ácidos sulfônicos são, em geral, ácidos fortes:



### BUTANODIONA $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$



“As moléculas que contêm o grupo carbonila ( $\text{C}=\text{O}$ )

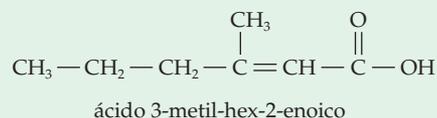
chamadas cetonas, são responsáveis por muitos sabores e odores naturais. A butanodiona (também conhecida como *diacetilo*) é uma cetona líquida amarela e volátil com cheiro de queijo. É, na verdade, a molécula que dá à manteiga o seu sabor característico e aquela que você deverá ter em mente quando cheirar a manteiga, pois, quando o creme do leite é incubado com bactérias, elas produzem um pouco de butanodiona. Após a incubação, o creme é batido quebrando as camadas de revestimento em volta das

gotículas de gordura que se aglutinam numa massa sólida e macia. O leite de ovelha e o leite de cabra são mais ricos em triglicéridos de cadeia curta do que o leite de vaca, e o queijo feito com eles (tal como o *Roquefort*) é mais rico em moléculas com odor acentuado. Você pode sentir o cheiro de butanodiona cheirando as suas axilas ou os pés ainda não lavados de alguém, pois ela contribui para o cheiro da transpiração fermentada. O suor fresco é quase inodoro, mas a ação da bactéria *Streptococcus albus*, presente na pele, aumenta sua acidez e torna-o um banquete convidativo para outras bactérias; estas, por sua vez, excretam compostos com odor forte, inclusive a butanodiona. [...]”

Fonte do texto: ATKINS, P. W. *Moléculas*. Trad. SANTOS, P. S.; GALLEMBECK, F. São Paulo: Edusp, 2006. p. 58.

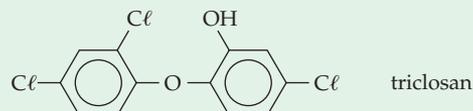
## UM POUCO SOBRE A QUÍMICA DOS DESODORANTES

Os cientistas ainda estudam os processos que ocorrem na pele humana e os motivos que causam o odor desagradável da transpiração. Entre os muitos progressos obtidos nos últimos anos está a descoberta de que ácidos carboxílicos são, em geral, as substâncias responsáveis pelo mau cheiro. Entre eles, um dos principais é o ácido 3-metil-hex-2-enoico:

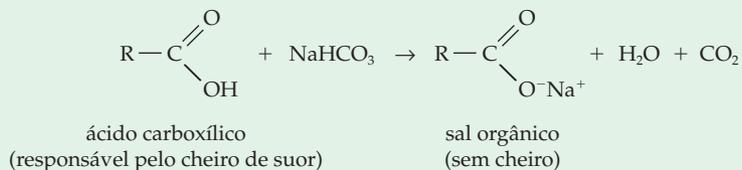


Esses compostos malcheirosos são produzidos por bactérias que se “alimentam” do material liberado por glândulas que temos nas axilas. Tais bactérias são encontradas em 90% dos homens e 60% das mulheres.

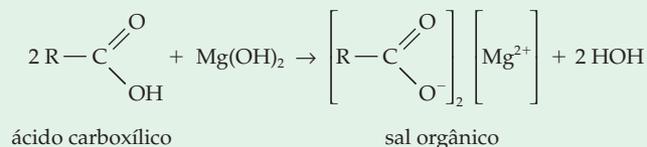
Existem muitas variedades de desodorantes no mercado. Algumas simplesmente tentam utilizar um perfume para mascarar o cheiro da transpiração. Outras incluem em sua composição substâncias que inibem a atuação dos microrganismos, como é o caso do triclosan:



Outros desodorantes contêm substâncias básicas, capazes de neutralizar os ácidos responsáveis pelo odor desagradável. Há no mercado, por exemplo, talcos e desodorantes que incluem em sua composição bicarbonato de sódio. A função dessa substância é diminuir o odor por meio da reação com os ácidos carboxílicos, transformando-os no sal correspondente.



Desde há muito tempo, um “saber popular em Química” recomenda o uso de leite de magnésia como desodorante. E isso realmente funciona! A justificativa baseia-se nas propriedades básicas desse produto, que é uma suspensão aquosa de  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Assim, ele é capaz de neutralizar os ácidos da transpiração, eliminando o odor.



### • ATENÇÃO

O consumo de medicamentos sem orientação médica, a automedicação, é uma atitude perigosíssima à saúde.

**JAMAIS SE AUTOMEDIQUE.**

◀ Leite de magnésia como desodorante: um saber popular com base científica.



## Exercícios adicionais

Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

7. (Unicamp-SP) Uma das substâncias responsáveis pelo odor característico do suor humano é o ácido caproico ou hexanoico,  $C_5H_{11}COOH$ . Seu sal de sódio é praticamente inodoro por ser menos volátil. Em consequência dessa propriedade, em algumas formulações de talco adiciona-se “bicarbonato de sódio” (hidrogenocarbonato de sódio,  $NaHCO_3$ ) para combater os odores da transpiração.

a) Dê a equação química representativa da reação do ácido caproico com o  $NaHCO_3$ .

b) Qual é o gás que se desprende da reação?

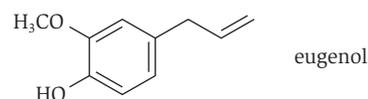
8. (UFRJ) Alguns produtos químicos, tais como **liga de ferro-titânio**, **benzoato de sódio**, **hexacloroetano** e **cloreto de cálcio**, podem ser utilizados para obter efeitos especiais em fogos de artifício.

A tabela a seguir fornece informações relativas à natureza das ligações químicas presentes nesses quatro produtos:

Produto químico	Natureza das ligações químicas	Efeito
A	somente iônica	estrelas de cor laranja
B	somente covalente	fumaça
C	metálica	centelhas branco-amareladas
D	covalente e iônica	assovio

Identifique os produtos químicos A, B, C e D.

9. (UFRRJ) O cravo (*Syzygium aromaticum*) é uma planta usada como tempero há vários séculos, tendo motivado inúmeras viagens de navegadores europeus ao continente asiático. Desta planta extrai-se um óleo essencial que tem como componente majoritário o eugenol (mostrado abaixo).



a) Quando o eugenol reage com uma solução de  $Br_2$  em  $CCl_4$  (solução de coloração castanho-avermelhada) ocorre imediata descoloração da solução. Dê a estrutura do produto de adição formado nesta reação.

b) Dê a estrutura do produto formado, quando o eugenol é tratado com uma solução aquosa de  $NaOH$ .

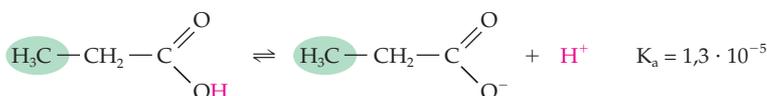
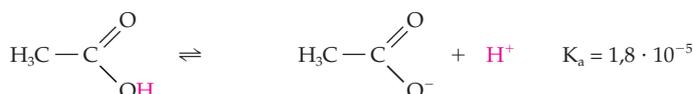
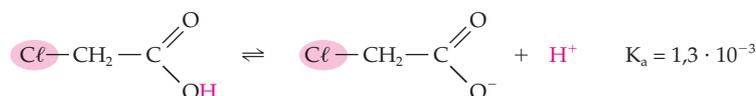
10. (UCS-RS) A destilação seca de formigas origina um composto orgânico cuja molécula possui um grupo funcional denominado carboxila. Essa substância é incolor, corrosiva e de cheiro típico. Em função dessas características é que sentimos ardência na pele quando uma formiga nos pica e, por isso, passamos algum produto para aliviar a ardência.

Determine a alternativa que contém, respectivamente, a representação do composto da destilação seca das formigas e do produto que poderia ser aplicado na pele a fim de neutralizar a ardência da picada das formigas.

- a)  $C_2H_6O$  e  $NaOH$                       d)  $CO_2$  e  $HBr$   
 b)  $CH_2O_2$  e  $Mg(OH)_2$                 e)  $CH_4$  e  $H_3BO_3$   
 c)  $C_3H_6O$  e  $H_3PO_4$

### 1.2 Alterando a força de um ácido carboxílico

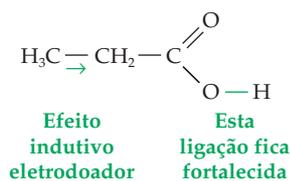
Imagine que façamos a substituição de um dos hidrogênios do grupo  $CH_3$  do ácido acético por  $-Cl$  ou por  $-CH_3$ . Chegamos a dois novos ácidos. Qual deles será o mais forte? Para responder, vamos consultar os valores de  $K_a$ :


 Aumenta o valor de  $K_a$

Essas constantes de ionização  $K_a$  revelam que a **substituição de um H por um Cl aumentou a força ácida**, ao passo que a **substituição por um CH<sub>3</sub> a diminuiu**. Qual seria a explicação para isso?

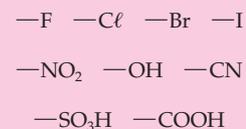
A resposta encontra-se no fato de ser o Cl um elemento muito eletronegativo. Ele atrai a nuvem eletrônica da molécula em sua direção, enfraquecendo a ligação O—H, que se quebra mais facilmente, liberando o H<sup>+</sup>. Assim, o cloro torna o ácido resultante mais forte. A essa atuação do cloro dá-se o nome de **efeito indutivo eletroatraente**.

Quando o H é substituído pelo CH<sub>3</sub>, o inverso ocorre. O grupo CH<sub>3</sub> possui uma tendência menor que o H para atrair elétrons, o que acarreta um fortalecimento da ligação O—H, tornando mais difícil a saída do H<sup>+</sup>. Dessa maneira, o CH<sub>3</sub> faz o ácido resultante ficar mais fraco. Trata-se do chamado **efeito indutivo eletrodoador**.

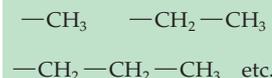


Apesar de termos utilizado Cl e CH<sub>3</sub> como exemplos, poderíamos ter usado muitos outros grupos. Aqueles que contêm elementos de alta eletronegatividade (F, O, N, Cl etc.) se comportam como eletroatraentes, e aqueles com átomos pouco eletronegativos (H e C), como eletrodoadores.

#### Grupos com efeito indutivo eletroatraente



#### Grupos com efeito indutivo eletrodoador



#### • ATENÇÃO

O ácido tricloro-acético e o ácido pícrico são corrosivos e perigosos.

O ácido tricloro-acético é utilizado, em solução aquosa, pelos dentistas para cauterizar feridas na gengiva (cauterizar significa "forçar a cicatrização" por meio da destruição do tecido).

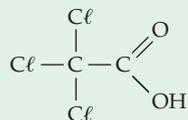
Como se trata de um ácido forte, ele destrói o tecido lesado, permitindo o crescimento de uma nova porção sadia da gengiva. É também empregado por dermatologistas para extirpar pequenos focos potenciais de câncer de pele.

O ácido pícrico, por sua vez, tem sua principal aplicação não relacionada ao fato de ter caráter fortemente ácido. Trata-se de uma substância altamente explosiva.

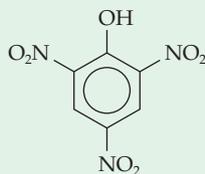
Alguns de seus sais, como, por exemplo, o picrato de chumbo, são sensíveis ao choque e podem explodir ao impacto. São utilizados como detonadores de outros explosivos (pólvora, TNT etc.).

## DOIS ÁCIDOS ORGÂNICOS DE DESTAQUE

Os compostos orgânicos de caráter ácido (fenóis e ácidos carboxílicos) caracterizam-se por ser, em sua grande maioria, fracos. Duas exceções notáveis são o ácido tricloro-acético e o ácido pícrico. Em suas moléculas, a presença de grupos eletroatraentes aumenta, e muito, a força desses ácidos.



ácido tricloro-acético



ácido pícrico  
(2,4,6-trinitro-fenol)

## Exercícios essenciais

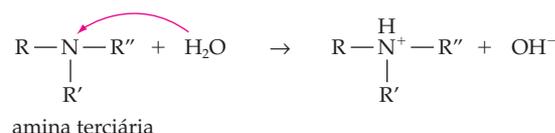
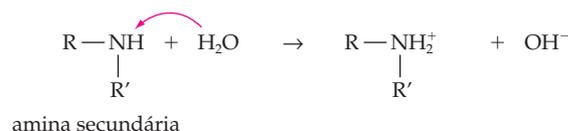
Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

11. (PUC-MG) Considerando os ácidos CH<sub>2</sub>ClCOOH, CHCl<sub>2</sub>COOH, CCl<sub>3</sub>COOH, CH<sub>3</sub>COOH, CF<sub>3</sub>COOH, o mais fraco e o mais forte são, respectivamente:
- a) CH<sub>2</sub>ClCOOH e CH<sub>3</sub>COOH      c) CCl<sub>3</sub>COOH e CHCl<sub>2</sub>COOH      e) CCl<sub>3</sub>COOH e CF<sub>3</sub>COOH  
b) CH<sub>3</sub>COOH e CCl<sub>3</sub>COOH      d) CH<sub>3</sub>COOH e CF<sub>3</sub>COOH



Dessa maneira, **pode-se esperar das aminas comportamento básico** semelhante ao da amônia. De fato, verifica-se experimentalmente que as aminas reagem com a água de modo análogo a  $\text{NH}_3$ , originando íons  $\text{OH}^-$  e deixando o meio básico. As equações químicas que representam tais reações são:



## 2.2 Reação de ácidos com aminas



### • ATENÇÃO

#### Não faça o experimento ilustrado ao lado por conta própria.

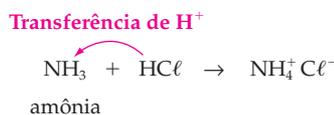
Ele está sendo **APENAS RELATADO** por sua importância para a compreensão dos temas da Química tratados na sequência.

Sua eventual realização, de **modo demonstrativo** pelo(a) professor(a), requer laboratório equipado com "capela" com sistema de exaustão em funcionamento.

Óculos de segurança, luvas e aventais protetores são obrigatórios.

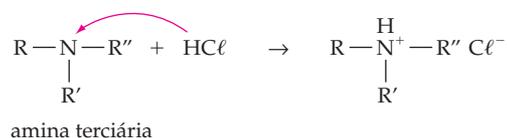
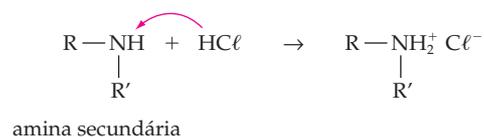
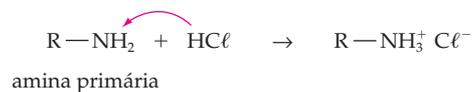
◀ Reação entre  $\text{HCl}$  e  $\text{NH}_3$  em fase gasosa, fotografada ao aproximar um frasco com solução de  $\text{HCl}$  de outro com solução de  $\text{NH}_3$ . A amônia revela ter caráter básico. As aminas, suas derivadas, também apresentam esse caráter.

Uma névoa branca se forma quando  $\text{HCl}$  (g) e  $\text{NH}_3$  (g) reagem de acordo com a equação:

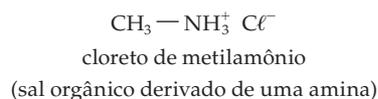


O composto formado é iônico (lembre-se de que, nas condições ambientes, os compostos iônicos são, em geral, sólidos). Isso explica a névoa observada: ela é formada por partículas muito pequenas do sólido  $\text{NH}_4\text{Cl}$  em suspensão no ar.

As aminas também reagem com  $\text{HCl}$ , tal qual a amônia. As equações químicas são:



O produto de cada uma dessas reações é um **sal orgânico de amônio**, no qual o cátion orgânico é derivado da amina. Por exemplo:



SÉRGIO DOTTA, JR./CID

**• ATENÇÃO**

**Esse experimento NÃO deve ser feito pelo aluno.**

As soluções desprendem gases tóxicos e corrosivos.



Ácido clorídrico  
CORROSIVO



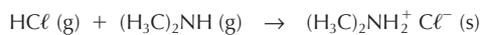
Ácido clorídrico  
TÓXICO



Dimetilamina  
TÓXICA

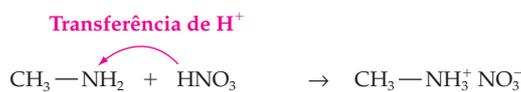
ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

◀ Solução aquosa de  $\text{HCl}$  é vagarosamente adicionada a solução aquosa de dimetilamina,  $(\text{H}_3\text{C})_2\text{NH}$ . A fumaça branca consiste em minúsculos cristais de um sólido formado na reação entre os solutos que se desprendem das soluções na forma gasosa:



Esse experimento ilustra a **basicidade das aminas**.

Outras substâncias de caráter ácido também reagem com as aminas, de maneira análoga ao  $\text{HCl}$ . Veja, por exemplo, as equações das reações dos ácidos nítrico e acético com a metilamina:



## SAIS DE AMÔNIO NA FARMACOLOGIA

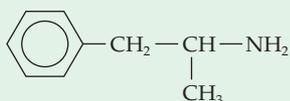
Muitos medicamentos possuem em suas moléculas a classe funcional química amina.

Alguns exemplos são a quinina, usada no combate à malária, a xilocaína, um anestésico local, a anfetamina e a fluoxetina, drogas antidepressivas.

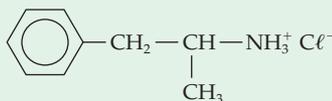
Vamos simbolizar por M a molécula desses medicamentos. Como M apresenta a função amina (básica), podemos dizer que reage com  $\text{HCl}$ , dando origem a  $\text{MH}^+\text{Cl}^-$ , isto é, um sal de amônio.

Esses sais são menos voláteis e geralmente mais solúveis em água do que as respectivas moléculas, o que justifica o fato de os medicamentos mencionados serem comercializados e ingeridos sob a forma do respectivo sal.

Para exemplificar, considere a droga antidepressiva anfetamina, cuja fórmula estrutural é:



Os comprimidos de anfetamina não contêm essa molécula, e sim o sal representado a seguir:



sal resultante da reação da anfetamina com o  $\text{HCl}$

### • ATENÇÃO

O consumo de medicamentos sem orientação médica, a automedicação, é uma atitude perigosíssima à saúde.

**JAMAIS SE AUTOMEDIQUE.**



TERRY WHY/INDEX-LATINSTOCK

Medicamentos cujo princípio ativo é uma amina são frequentemente comercializados na forma de sal orgânico de amônio.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

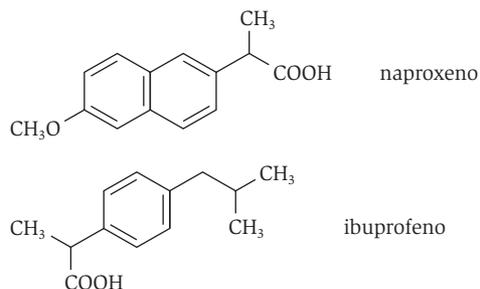
16. (Uerj) Uma indústria química tem como despejo industrial as substâncias abaixo numeradas:

- I.  $\text{CH}_3 - \text{COOH}$
- II.  $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{OH}$
- III.  $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{NH}_2$
- IV.  $\text{CH}_3 - \text{CONH}_2$

Para processar um tratamento adequado a esse despejo, a fim de evitar agressão ao meio ambiente, foram necessários vários tipos de tratamento. A primeira substância tratada foi a de caráter básico mais acentuado, que corresponde à de número:

- a) I      b) II      c) III      d) IV

17. (UFMG) O naproxeno e o ibuprofeno são indicados para o tratamento da artrite e reumatismo.



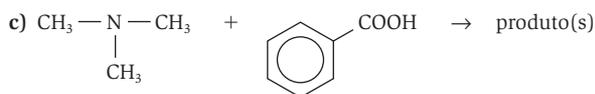
Considerando-se essas estruturas moleculares, é **INCORRETO** afirmar que:

- a) as duas substâncias são aromáticas.
- b) as duas substâncias têm características básicas.
- c) o grupamento  $-\text{CH}(\text{CH}_3)\text{COOH}$  é comum às duas substâncias.
- d) o naproxen apresenta um número maior de átomos de carbono em sua molécula.

18. (UFV-MG) Um estudante abre, simultaneamente, um frasco contendo solução aquosa de ácido clorídrico (HCl) concentrado e um frasco de solução aquosa de hidróxido de amônio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) concentrado. Ao aproximá-los, o estudante irá observar a formação de uma “fumaça” de coloração branca, que contém sal:

- a) nitrato de amônio.
- b) perclorato de amônio.
- c) cloreto de amônio.
- d) cloreto de sódio.
- e) hipoclorito de amônio.

19. Complete no caderno as seguintes equações químicas:

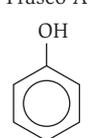
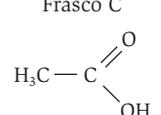


## Exercícios adicionais

Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

20. (PUC-SP) Os frascos A, B, C e D apresentam *soluções aquosas* das seguintes substâncias:

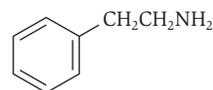
Frasco A  fenol	Frasco B $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{OH}$ etanol
Frasco C  ácido acético	Frasco D $\text{H}_3\text{C}-\text{NH}_2$ metilamina

Determine a alternativa que apresenta corretamente o pH dessas soluções:

	Frasco A	Frasco B	Frasco C	Frasco D
a)	pH = 7	pH = 7	pH = 7	pH = 7
b)	pH > 7	pH > 7	pH < 7	pH > 7
c)	pH > 7	pH > 7	pH > 7	pH = 7
d)	pH < 7	pH = 7	pH < 7	pH > 7
e)	pH < 7	pH < 7	pH < 7	pH < 7

21. (Unicamp-SP) A comunicação que ocorre entre neurônios merece ser destacada. É através dela que se manifestam as nossas sensações. Dentre as inúmeras substâncias que participam desse processo, está a 2-feniletilamina, à qual se atribui o “ficar enamorado”. Algumas pessoas acreditam que sua ingestão poderia estimular o “processo do amor” mas, de fato,

isto não se verifica. A estrutura da molécula dessa substância está a seguir representada.



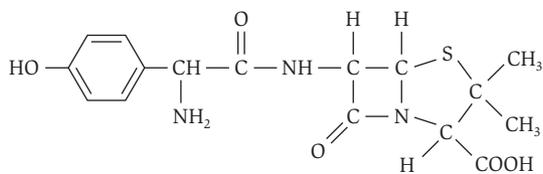
- a) Considerando que alguém ingeriu certa quantidade de 2-feniletilamina, com a intenção de cair de amores, escreva a equação que representa o equilíbrio ácido-base dessa substância no estômago. Use fórmulas estruturais.
  - b) Em que meio (aquoso) a 2-feniletilamina é mais solúvel: básico, neutro ou ácido? Justifique.
22. (UFSCar-SP) A metilamina é um produto gasoso formado na decomposição da carne de peixe, responsável pelo odor característico que impregna as mãos de quem trabalha com peixe. A prática mostra que é mais fácil remover o odor de peixe das mãos esfregando-as primeiro com suco de limão ou vinagre, e depois lavando com água pura, do que diretamente com água e sabão. Com base nessas informações, considere o seguinte texto sobre a metilamina:

A metilamina é um gás bastante solúvel em água. Tem propriedades ■, por conter na molécula o grupo amina. Reage com ■, produzindo o sal  $\text{CH}_3\text{NH}_3^+ \text{Cl}^-$ . Esse sal, quando puro e dissolvido em água, por hidrólise, forma uma solução de caráter ■.

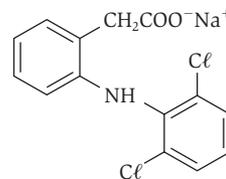
O texto é completado de forma correta, respectivamente, por:

- a) básicas - HCl - ácido.
- b) básicas -  $\text{NaHCO}_3$  - ácido.
- c) ácidas - NaOH - neutro.
- d) ácidas - HCl - básico.
- e) ácidas - NaOH - neutro.

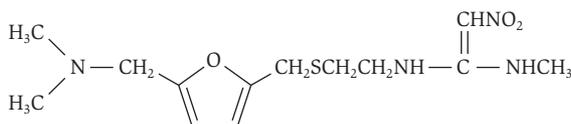
23. (UFJF-MG) As substâncias **I**, **II**, **III** e **IV**, cujas estruturas estão representadas a seguir, são utilizadas como princípio ativo de medicamentos aplicados na clínica médica.



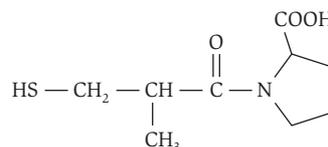
**I**  
amoxicilina  
(antibiótico)



**III**  
diclofenaco sódico  
(anti-inflamatório)



**II**  
ranitidina  
(antiulcerativo)



**IV**  
captopril  
(anti-hipertensivo)

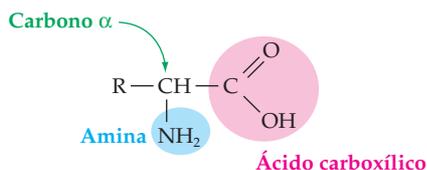
Com relação a essas estruturas, determine a alternativa **CORRETA**:

- A substância **III**, por possuir a função amina em sua estrutura, é mais ácida que a substância **IV**.
- Todas as substâncias apresentadas possuem, pelos menos, um anel aromático em suas estruturas.
- A substância **I** possui, em sua estrutura, as funções éster e éter.
- As substâncias **II** e **III** possuem, em suas estruturas, átomos de carbono assimétricos.
- As substâncias **I**, **II** e **IV** apresentam, em suas estruturas, pelo menos um átomo de carbono primário.

### 3

## Caráter anfótero na Química Orgânica

As proteínas existentes nos seres vivos são formadas por compostos denominados  **$\alpha$ -aminoácidos**. Eles possuem em comum a estrutura que está representada abaixo.

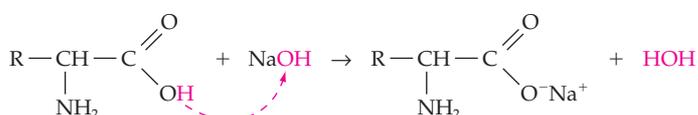


Na estrutura de um  $\alpha$ -aminoácido, o grupo característico da função amina ( $\text{NH}_2$ ) está posicionado no carbono vizinho à carbonila ( $\text{C}=\text{O}$ ), denominado carbono  $\alpha$  (alfa).

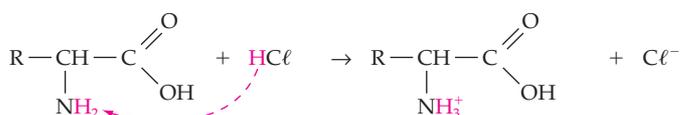
Como você pode ver, trata-se de um composto pertencente às classes funcionais **amina** e **ácido carboxílico**, daí o nome **aminoácido**. O que muda de um  $\alpha$ -aminoácido para outro é o grupo R.

Que podemos afirmar a respeito do caráter ácido-base de um aminoácido?

Já que em suas estruturas estão presentes as funções amina e ácido carboxílico, um aminoácido pode comportar-se como base ou ácido. Veja as equações de duas reações:



Nessa reação química, o aminoácido está se comportando como ácido ao reagir com a base hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ).



Nessa reação química, o aminoácido está se comportando como base ao reagir com o ácido clorídrico ( $\text{HCl}$ ).

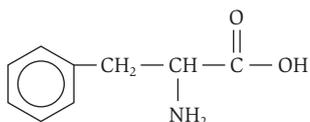


## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

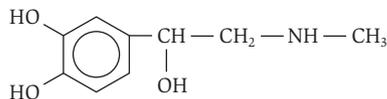
A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

24. (UFRGS-RS) A fenilalanina pode ser responsável pela fenilcetonúria, doença genética que causa o retardamento mental em algumas crianças que não apresentam a enzima fenilalanina-hidroxilase. A fenilalanina é utilizada em adoçantes dietéticos e refrigerantes do tipo “light”. Sua fórmula estrutural é representada abaixo.



Pode-se concluir que a fenilalanina é um:

- a) glicídio.                      d) lipídio.  
b) ácido carboxílico.        e) aminoácido.  
c) aldeído.
25. (Unama-PA) Em situações de estresse emocional, raiva ou medo, ocorre uma descarga extra dessa substância, elevando temporariamente a atividade metabólica. A fórmula estrutural da adrenalina é:



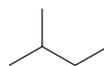
Responda quais as funções orgânicas (grupos funcionais) que constituem a molécula dessa substância, qual dessas funções possui caráter ácido mais acentuado e qual o número de carbonos assimétricos presentes nessa molécula.

26. (Unifesp) Glicina, o  $\alpha$ -aminoácido mais simples, se apresenta na forma de um sólido cristalino branco, bastante solúvel na água. A presença de um grupo carboxila e de um grupo amino em sua molécula

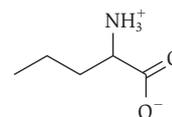
faz com que seja possível a transferência de um íon hidrogênio do primeiro para o segundo grupo em uma espécie de reação interna ácido-base, originalmente um íon dipolar, chamado de “zwitterion”.

- a) Escreva a fórmula estrutural da glicina e do seu “zwitterion” correspondente.  
b) Como o “zwitterion” se comporta frente à diminuição de pH da solução em que estiver dissolvido?
27. (Ufal) Considere os compostos orgânicos representados por:

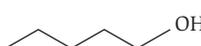
I.



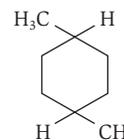
IV.



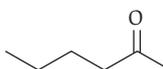
II.



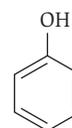
V.



III.



VI.



Analise os compostos representados e julgue os itens em verdadeiros ou falsos:

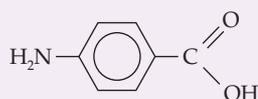
- 0 - Dois deles são aromáticos.  
1 - Dois deles são hidrocarbonetos.  
2 - Dois deles representam cetonas.  
3 - O composto V é um dimetilciclohexano.  
4 - O único composto que forma sais quer reagindo com ácidos ou com bases é o IV.

## Informe-se sobre a Química

### Protetores solares

A pele humana contém uma substância denominada **melanina**. Seu papel é o de absorver a radiação ultravioleta (proveniente do sol e perigosa para a pele) e reemitir essa energia absorvida na forma de calor. Assim, a melanina consiste numa proteção natural da pele.

A exposição gradual à luz solar, ao longo de dias, provoca um aumento da concentração de melanina na pele, o bronzeamento. Quanto mais branca for a pele de uma pessoa, mais suscetível ela é a queimaduras de sol. Para proteger dos danos provocados pelos raios ultravioleta, que incluem até mesmo câncer de pele, foram criados os protetores (ou filtros) solares. Alguns deles contêm ácido *para*-amino-benzoico, que atua de modo similar à melanina, impedindo a radiação ultravioleta de causar danos à pele.



ácido *para*-amino-benzoico (PABA)

O **fator de proteção solar** (FPS) que aparece nos filtros solares nada mais é do que o número de vezes pelo qual o tempo de exposição, sem prejudicar a pele, fica ampliado ao se utilizar corretamente aquele produto. Um fator de proteção 8, por exemplo, multiplica por 8 o tempo de exposição: se a pessoa ficar 40 minutos exposta ao sol, utilizando protetor solar, terá os mesmos efeitos sobre a pele que se ficasse 5 minutos sem usá-lo (8 vezes 5 minutos igual a 40 minutos).



MICHAEL KELLER/CORBIS/LATINSTOCK

◀ O uso de protetor solar é importantíssimo para evitar os danos causados pelos raios ultravioleta.

● **Você entendeu a leitura?**

Responda em seu caderno

- (Enem-MEC) Os níveis de irradiância ultravioleta efetiva (IUV) indicam o risco de exposição ao Sol para pessoas de pele do tipo II — pele de pigmentação clara. O tempo de exposição segura (TES) corresponde ao tempo de exposição aos raios solares sem que ocorram queimaduras de pele. A tabela mostra a correlação entre riscos de exposição, IUV e TES.

Riscos de exposição	IUV	TES (em minutos)
Baixo	0 a 2	Máximo 60
Médio	3 a 5	30 a 60
Alto	6 a 8	20 a 30
Extremo	Acima de 8	Máximo 20

Uma das maneiras de se proteger contra queimaduras provocadas pela radiação ultravioleta é o uso dos cremes protetores solares, cujo Fator de Proteção Solar (FPS) é calculado da seguinte maneira:

$$\text{FPS} = \frac{\text{TPP}}{\text{TPD}}$$

TPP = tempo de exposição mínima para produção de vermelhidão na pele protegida (em minutos)

TPD = tempo de exposição mínima para produção de vermelhidão na pele desprotegida (em minutos)

O FPS mínimo que uma pessoa de pele do tipo II necessita para evitar queimaduras ao se expor ao Sol, considerando TPP o intervalo das 12 às 14 h, num dia e que a irradiância efetiva é maior que 8, de acordo com os dados fornecidos, é:

- a) 5                      b) 6                      c) 8                      d) 10                      e) 20

(Enem-MEC) **Texto para as atividades 2 e 3.**

A pele humana é sensível à radiação solar, e essa sensibilidade depende das características da pele. Os filtros solares são produtos que podem ser aplicados sobre a pele para protegê-la da radiação solar. A eficácia dos filtros solares é definida pelo fator de prote-

ção solar (FPS), que indica quantas vezes o tempo de exposição ao sol, sem o risco de vermelhidão, pode ser aumentado com o uso do protetor solar. A tabela seguinte reúne informações encontradas em rótulos de filtros solares.

sensibilidade	tipo de pele e outras características	proteção recomendada	FPS recomendado	proteção a queimaduras
extremamente sensível	branca, olhos e cabelos claros	muito alta	$FPS \geq 20$	muito alta
muito sensível	branca, olhos e cabelos próximos do claro	alta	$12 \leq FPS < 20$	alta
sensível	morena ou amarela	moderada	$6 \leq FPS < 12$	moderada
pouco sensível	negra	baixa	$2 \leq FPS < 6$	baixa

ProTeste, ano V, nº 55, fev./2007 (com adaptações)

2. (Enem-MEC) As informações acima permitem afirmar que:
- as pessoas de pele muito sensível, ao usarem filtro solar, estarão isentas do risco de queimaduras.
  - o uso de filtro solar é recomendado para todos os tipos de pele exposta à radiação solar.
  - as pessoas de pele sensível devem expor-se 6 minutos ao sol antes de aplicarem o filtro solar.
  - pessoas de pele amarela, usando ou não filtro solar, devem expor-se ao sol por menos tempo que pessoas de pele morena.
  - o período recomendado para que pessoas de pele negra se exponham ao sol é de 2 a 6 horas diárias.
3. (Enem-MEC) Uma família de europeus escolheu as praias do Nordeste para uma temporada de férias. Fazem parte da família um garoto de 4 anos de idade, que se recupera de icterícia, e um bebê de 1 ano de idade, ambos loiros de olhos azuis. Os pais concordam que os meninos devem usar chapéu durante os passeios na praia. Entretanto, divergem quanto ao uso do filtro solar. Na opinião do pai, o bebê deve usar filtro solar com  $FPS \geq 20$  e o seu irmão não deve usar filtro algum porque precisa tomar sol para se fortalecer. A mãe opina que os dois meninos devem usar filtro solar com  $FPS \geq 20$ . Na situação apresentada, comparada à opinião da mãe, a opinião do pai é:
- correta, porque ele sugere que a família use chapéu durante todo o passeio na praia.
  - correta, porque o bebê loiro de olhos azuis tem a pele mais sensível que a de seu irmão.
  - correta, porque o filtro solar com  $FPS \geq 20$  bloqueia o efeito benéfico do sol na recuperação da icterícia.
  - incorreta, porque o uso do filtro solar com  $FPS \geq 20$ , com eficiência moderada, evita queimaduras na pele.
  - incorreta, porque é recomendado que pessoas com olhos e cabelos claros usem filtro solar com  $FPS \geq 20$ .

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Reavalie o que você pensa a respeito



Verifique em que mudaram suas concepções prévias

Reveja sua resposta à atividade da segunda página deste capítulo, reavalie o que escreveu, discuta com seus colegas e, se julgar necessário, elabore novas justificativas ou aprimore as que tinha escrito. Apresente-as ao professor.

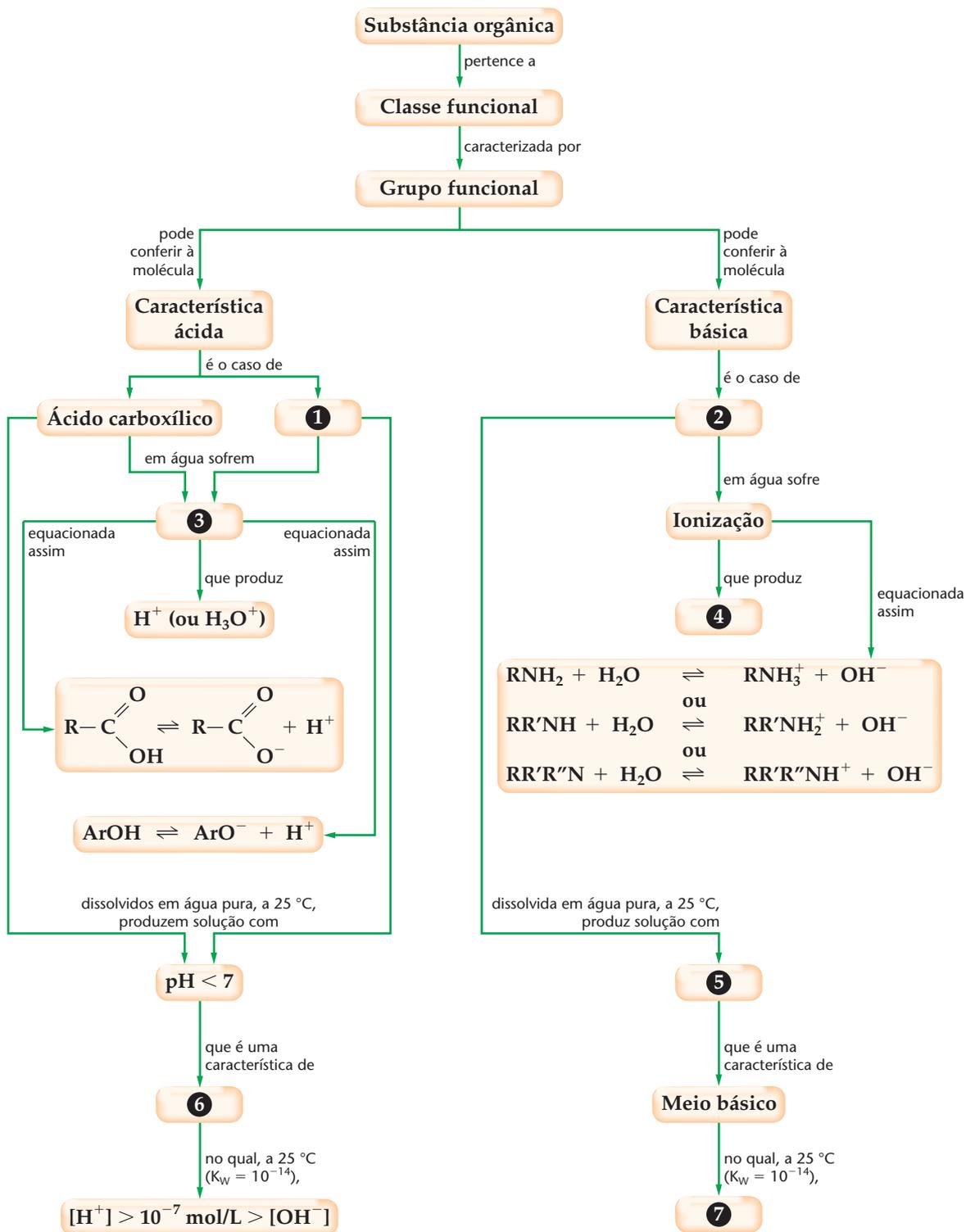


### Importante:

Este mapa é apenas uma das muitas possibilidades de relacionar esses conteúdos conceituais.

## MAPA CONCEITUAL - ÁCIDOS E BASES ORGÂNICOS

Revise os conceitos estudados e decida como podem ser completados os locais em que aparecem os números.



# Oxirredução, desidratação e esterificação

## Alguns conteúdos importantes:

- ✓ Reconhecimento da ocorrência de oxidação ou de redução de um composto orgânico por meio da análise de uma equação química
- ✓ Reconhecimento de agente oxidante e de agente redutor em reações orgânicas
- ✓ Oxidação de álcoois
- ✓ Noção do que acontece quando o vinho se transforma em vinagre
- ✓ Oxidação de alcenos
- ✓ Desidratação intermolecular e desidratação intramolecular de álcoois
- ✓ Esterificação
- ✓ Hidrólise ácida de ésteres
- ✓ Hidrólise básica de ésteres
- ✓ O papel da redução na obtenção industrial da anilina

MARVY/CORBIS/LATINSTOCK

▲ É sempre conveniente fazer um suco no momento em que ele vai ser consumido. Você sabe explicar por quê?

## O que você pensa a respeito?

Resolva em seu caderno

Sondagem de concepções prévias

Na lista abaixo estão relacionados alguns termos e conceitos. Indique no seu caderno aqueles que você julga que estejam relacionados às imagens e justifique sua escolha. Discuta com seus colegas e apresente as conclusões ao professor.

- oxidação
- desidratação de álcool
- hidrólise de ésteres
- anilina
- redução
- ozonólise
- número de oxidação



## O Pare e situe-se!

Texto introdutório ao capítulo

Nos capítulos 5 e 6 iniciamos o estudo das reações orgânicas mais significativas, discutindo as reações de substituição e de adição. No capítulo 7, estudamos reações cuja ocorrência está relacionada à presença, numa molécula orgânica, de grupos funcionais com características ácidas e/ou básicas.

Este capítulo prossegue o estudo das principais reações orgânicas, apresentando reações de oxirredução, de desidratação e de esterificação.

Para maior clareza, seu conteúdo pode ser assim dividido:

- Os itens 1 a 3 estendem os conceitos de **oxidação**, **redução**, **agente oxidante** e **agente redutor** aos compostos orgânicos. Não há a preocupação de abranger todas as classes funcionais orgânicas. Ao contrário, são comentados alguns processos de oxirredução mais relevantes ao estudo da Química Orgânica no Ensino Médio. A reação que transforma vinho em vinagre é um exemplo.
- O item 4 trata da **desidratação de álcoois**, processo que permite a obtenção de alcenos ou de éteres, em laboratório ou em indústria.
- Os itens 5 a 7 versam sobre reações envolvendo ésteres. Inicialmente é apresentada a reação de **esterificação**, por meio da qual um éster pode ser obtido a partir de um ácido carboxílico e de um álcool. A seguir, é apresentada a reação inversa que ocorre em meio ácido, denominada **hidrólise ácida**. Finalmente, discute-se a ocorrência dessa mesma reação inversa em meio básico, chamada **hidrólise básica**. Os conceitos de esterificação e de hidrólise básica serão essenciais para, no capítulo 10, ajudar o estudante a entender a composição de óleos e gorduras e como eles podem ser usados como matérias-primas na produção de sabões.

# 1

## Oxidação e redução de compostos orgânicos

### 1.1 Número de oxidação do carbono

Recordemos, inicialmente, o conceito de número de oxidação ( $N_{Ox}$ ) de um elemento em uma espécie química na qual há ligação covalente.

Em espécies químicas nas quais há ligação covalente, o **número de oxidação** de um elemento expressa a carga parcial de cada átomo desse elemento na molécula, gerada pela distribuição não igualitária dos elétrons das ligações covalentes em decorrência das diferenças de eletronegatividade.

Para um par de átomos unidos covalentemente, o número de oxidação negativo é atribuído ao átomo do elemento mais eletronegativo (que atrai mais intensamente os elétrons da ligação), e o número de oxidação positivo é atribuído ao átomo do elemento menos eletronegativo (que atrai menos intensamente os elétrons da ligação). Se necessário, recorde o conceito de eletro-negatividade no capítulo 3.

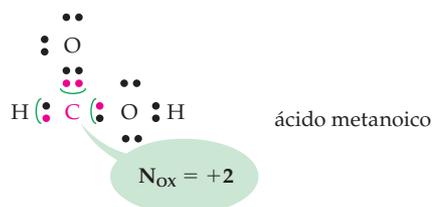
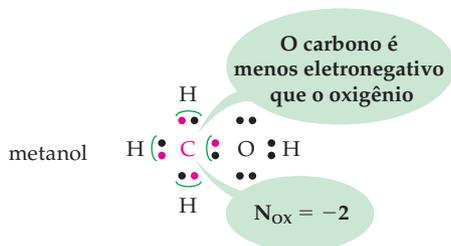
#### Recordando a fila de eletronegatividade

F O N Cl Br I S C P H



Sentido crescente

Veja exemplos do número de oxidação ( $N_{Ox}$ ) do carbono em compostos orgânicos:



### 1.2 Oxidação e redução de moléculas orgânicas

Recordemos algumas terminologias que são estudadas juntamente com o conceito de *número de oxidação*, em Físico-Química.

**Reação de oxirredução** é uma reação química em que o número de oxidação de um ou mais elementos se altera.

**Oxidação** é o aumento do número de oxidação de um elemento.

**Redução** é a diminuição do número de oxidação de um elemento.

Entre os reagentes de uma reação de oxirredução é possível reconhecer um *agente oxidante* e um *agente redutor*:

**Agente oxidante** é o reagente que contém o elemento que se reduz.

**Agente redutor** é o reagente que contém o elemento que se oxida.

Vamos exemplificar com compostos orgânicos. Se, em uma reação, o metanol se transformar em ácido metanoico, dizemos que ocorre **oxidação do composto orgânico**, pois o  $N_{OX}$  do carbono **aumenta** de  $-2$  para  $+2$ :



Outro exemplo: se, ao reagir com uma substância adequada, a propanona for convertida em propan-2-ol, dizemos que ocorre **redução do composto orgânico**, pois o  $N_{OX}$  do carbono da **carbonila diminui** de  $+2$  para zero (os outros dois carbonos não sofrem variação de  $N_{OX}$ ):

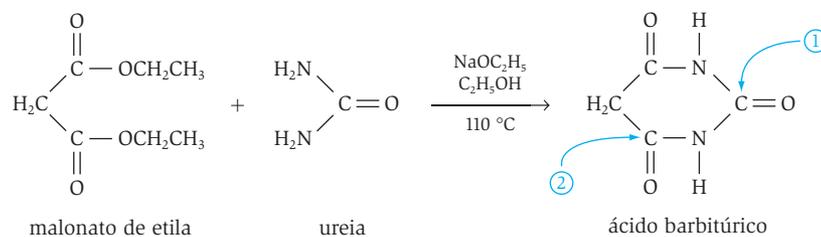


## Exercícios essenciais

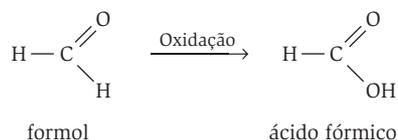
Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

- (UFC-CE) A sequência dos números de oxidação do carbono nos compostos:  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CCl}_4$  e  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  é:
  - $+2$ ,  $-4$ ,  $+4$ ,  $+4$  e  $-4$ .
  - $-2$ ,  $+4$ ,  $+4$ ,  $+4$  e  $0$ .
  - $+4$ ,  $-2$ ,  $-4$ ,  $-4$  e  $+4$ .
  - $+2$ ,  $+4$ ,  $-4$ ,  $+4$  e  $0$ .
- (Fuvest-SP)
  - Escreva as fórmulas estruturais dos seguintes compostos de carbono: metano, tetrafluoreto de carbono, brometo de metila e clorofórmio.
  - Em qual desses compostos o carbono apresenta maior número de oxidação? Justifique sua resposta.
- (Uerj-modificado) O ácido barbitúrico e seus derivados são indicados, exclusivamente sob receita médica, como tranquilizantes para reduzir a ansiedade e induzir o sono. A síntese desse ácido pode ser resumida pela seguinte equação:



- a) Identifique a função orgânica presente no ácido barbitúrico.  
 b) Com base nos valores de eletronegatividade, determine os números de oxidação dos átomos de carbono indicados por **1** e **2** na molécula do ácido barbitúrico.
4. (Uerj) O formol ou formalina é uma solução aquosa de metanal, utilizada na conservação dos tecidos de animais e cadáveres humanos para estudos em Biologia e Medicina. Ele é oxidado a ácido fórmico, segundo a equação abaixo, para evitar que os tecidos animais sofram deterioração ou oxidação.



Nessa transformação, o número de oxidação do carbono sofreu uma variação de:

- a) -4 para +4      b) -3 para -2      c) -2 para -1      d) 0 para +2

## Exercícios adicionais



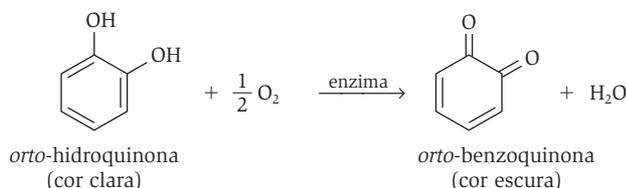
Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

5. (UFPE) Em qual das reações abaixo ocorre maior variação de estado de oxidação do carbono?

- a)  $\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{COOH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$       d)  $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$   
 b)  $\text{CaC}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + \text{CaO}$       e)  $\text{CO} + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$   
 c)  $\text{C}_2\text{H}_2 + 5/2 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

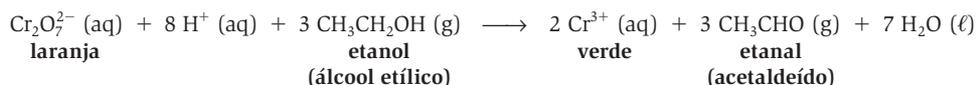
6. (UFMG) Certas frutas — a banana e a maçã, por exemplo — escurecem em contato com o ar quando são descascadas. Isso ocorre devido à conversão da substância *orto*-hidroquinona em *orto*-benzoquinona, catalisada por uma enzima.



Considerando-se essas substâncias e suas moléculas, é INCORRETO afirmar que:

- a) a *orto*-hidroquinona apresenta duas hidroxilas fenólicas.  
 b) a *orto*-benzoquinona apresenta duas carbonilas em suas moléculas.  
 c) a *orto*-benzoquinona apresenta moléculas saturadas.  
 d) a *orto*-hidroquinona sofre oxidação na conversão apresentada.
7. (PUC-SP) A pessoa alcoolizada não está apta a dirigir ou operar máquinas industriais, podendo causar graves acidentes. É possível determinar a concentração de etanol no sangue a partir da quantidade dessa substância presente no ar expirado. Os aparelhos desenvolvidos com essa finalidade são conhecidos como bafômetros.

O bafômetro mais simples e descartável é baseado na reação entre o etanol e o dicromato de potássio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) em meio ácido, representada pela equação a seguir:



Sobre o funcionamento desse bafômetro, foram feitas algumas considerações:

- I. Quanto maior a intensidade da cor verde, maior a concentração de álcool no sangue da pessoa testada.  
 II. A oxidação de um mol de etanol a acetaldeído envolve 2 mol de elétrons.  
 III. O ânion dicromato age como agente oxidante no processo.

Está correto o que se afirma apenas em:

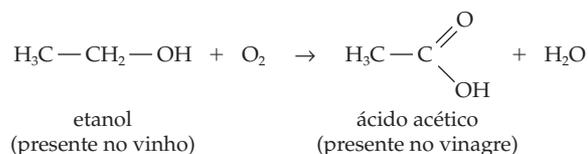
- a) I e II      b) I e III      c) II e III      d) I      e) I, II e III

## 2 Oxidação de álcoois

### 2.1 Transformação de vinho em vinagre

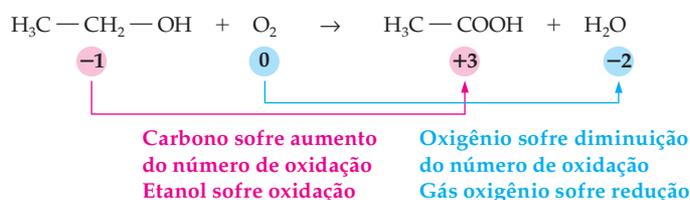
A palavra vinagre vem do latim *vinum*, “vinho”, e *acre*, “azedo”. Desde a Antiguidade a humanidade sabe fabricar vinagre; basta deixar o vinho azedar.

Nessa reação, o etanol, presente no vinho, reage com o  $O_2$  e transforma-se em ácido acético.

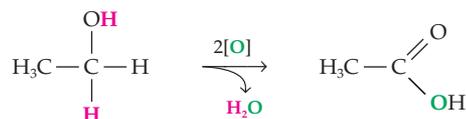


◀ A palavra **vinagre** significa “vinho azedo”. O azedamento do vinho consiste na oxidação do etanol a ácido etanoico (acético).

Se determinarmos os números de oxidação dos átomos presentes nas substâncias envolvidas nessa reação, veremos que um dos carbonos e o oxigênio sofreram alterações.



Podemos dizer que o  $O_2$  atuou como **agente oxidante**, pois causou a oxidação do álcool. Muitos outros agentes oxidantes seriam capazes de executar essa oxidação, como, por exemplo, o permanganato de potássio em meio ácido ( $\text{KMnO}_4/\text{H}^+$ ) ou o dicromato de potássio em meio ácido ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}^+$ ). De modo geral, podemos representar essa reação como segue, na qual o símbolo **[O]** representa um agente oxidante:



Quando o etanol sofreu oxidação, transformando-se em ácido acético, um de seus átomos de carbono deixou de fazer ligação simples com o oxigênio e passou a fazer ligação dupla. Como o oxigênio é mais eletronegativo que o carbono, isso faz com que o número de oxidação do carbono aumente.

### Em palavras mais simples

Toda vez que, em uma reação química, um ou mais **átomos de carbono** de uma substância orgânica **passarem a “estar mais ligados” a oxigênio(s)**, isso corresponderá a uma **oxidação** da substância.

Por sua vez, quando um ou mais **carbonos deixarem de “estar tão ligados” a átomo(s) de oxigênio**, isso corresponderá a uma **redução** da substância orgânica. Com essa diminuição do número de ligações com o oxigênio, notaremos que haverá um aumento do número de ligações estabelecidas com hidrogênio(s) ou outro(s) carbono(s).

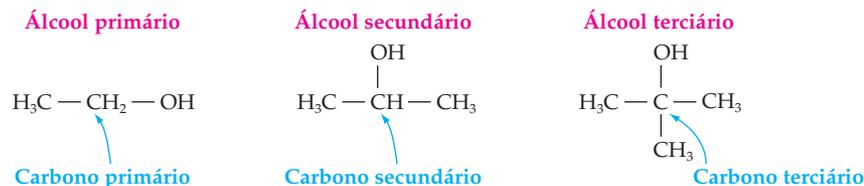
Historicamente, o termo “oxidação” está relacionado com “reação com o oxigênio” e, embora o conceito moderno de **oxidação** seja **aumento do número de oxidação**, podemos dizer que, na Química Orgânica, o significado original ainda mantém muito de sua essência.

## 2.2 Reações de oxidação de álcoois

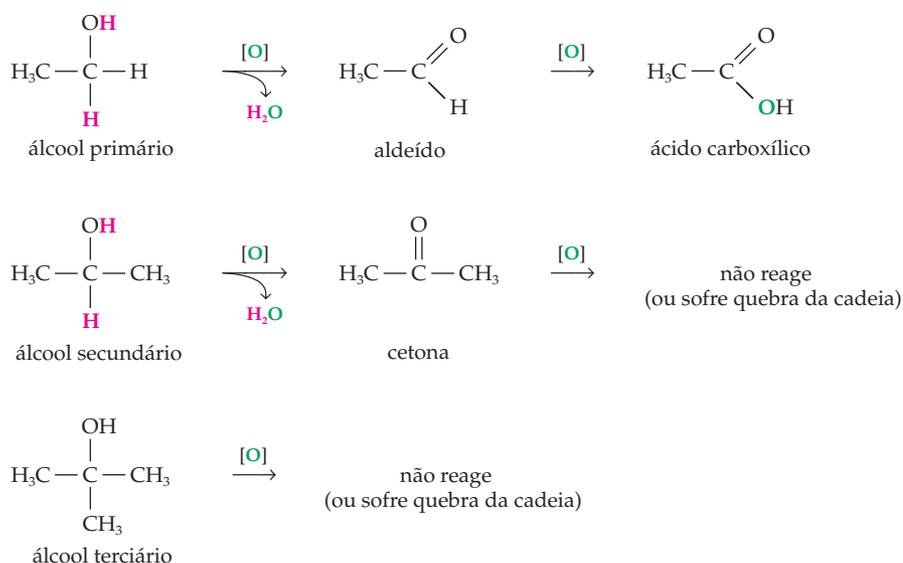
A oxidação é uma reação que ocorre não apenas com o etanol, mas também com muitos outros álcoois. Para generalizar o que vimos, precisamos antes saber classificar os álcoois.

Os álcoois são classificados em primários, secundários e terciários, de acordo com o carbono ao qual se encontra ligada a hidroxila.

Alguns exemplos são:



Quando colocados em contato com um agente oxidante, os diversos álcoois comportam-se diferentemente, dependendo de serem primários, secundários ou terciários.



**Refleta!**  
Por que não existe álcool quaternário?

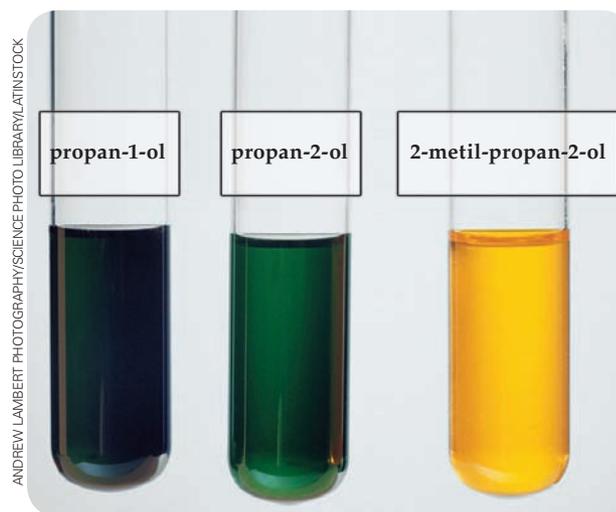
Durante a oxidação de um álcool primário, forma-se de modo intermediário um aldeído. A reação raramente para nesse estágio, e esse aldeído é oxidado a ácido carboxílico.

A oxidação de um álcool a aldeído ou cetona é também chamada de **desidrogenação** (perda de hidrogênio).

O nome *aldeído* vem do latim *alcohol*, “álcool”, e *dehydrogenatum*, “desidrogenado”, indicando a relação entre esse tipo de composto e os álcoois.



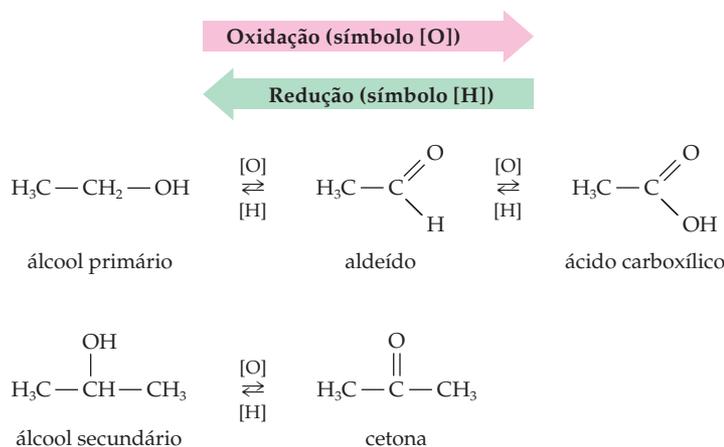
▲ Em três tubos com  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}^+$  serão adicionados os álcoois indicados.



▲ Apenas os álcoois primário e secundário sofrem oxidação, provocando a redução do  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  (laranja) a  $\text{Cr}^{3+}$  (verde).

## 2.3 Obtenção de álcoois por redução

Sabe-se que o oposto da oxidação é a redução. Assim, a redução de um aldeído produz um álcool primário, e a de uma cetona, um álcool secundário.



O uso de um **agente redutor é representado** na equação química por [H].

Importantes agentes redutores usados em Química Orgânica são: hidrogênio ( $\text{H}_2$ ) sob alta pressão e na presença de catalisador (Ni, Pd, Pt); ferro, zinco ou outro metal mais reativo que o hidrogênio na presença de  $\text{HCl}$  ( $\text{Fe}/\text{HCl}$ ,  $\text{Zn}/\text{HCl}$ ); sódio (Na) ou lítio (Li) metálicos misturados com amônia ( $\text{NH}_3$ ) líquida; hidreto de lítio e alumínio ( $\text{LiAlH}_4$ ) e boroidreto de sódio ( $\text{NaBH}_4$ ).

### ATENÇÃO

Não faça esse experimento por conta própria. Sua eventual realização requer autorização e supervisão do(a) professor(a).

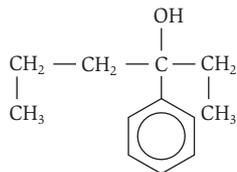
Óculos de segurança, luvas e aventais protetores são obrigatórios.

## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

8. (Cefet-PR) O composto representado a seguir é um:
- fenol.
  - álcool terciário.
  - álcool secundário.
  - álcool primário.
  - aldeído.



9. (UFJF-MG) O acetaldeído (etanal) é o produto metabólico primário formado pela ingestão de bebidas alcoólicas, com posterior conversão a ácido acético (ácido etanoico). Ele é produzido no fígado e é um dos responsáveis pela “ressaca”. Escreva a equação da reação de formação do acetaldeído e do ácido acético, a partir do álcool presente em maior con-

centração nestas bebidas, dizendo qual é o nome deste tipo de reação.

10. (ITA-SP) Qual das opções apresenta uma substância que ao reagir com um agente oxidante ([O]), em excesso, produz um ácido carboxílico?
- 2-propanol
  - 2-metil-2-propanol
  - ciclobutano
  - propanona
  - etanol
11. (UFRRJ) O nome do isômero funcional do composto obtido pela oxidação do álcool secundário com o menor número de átomos de carbono é:
- etanal.
  - propanal.
  - butanal.
  - propanona.
  - butanona.

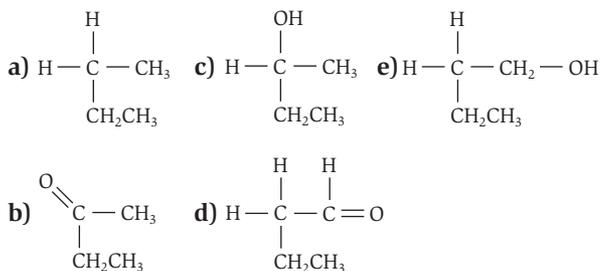
## Exercícios adicionais

Resolva em seu caderno

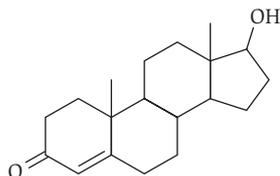
Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

12. (UPE) O álcool 2-propanol pode ser obtido por:
- redução da propanona.
  - redução do propanal.
  - oxidação do propanal.
  - redução do ácido propanoico.
  - desidratação do ácido propanoico.

13. (UFG-GO) A butanona, ao ser reduzida cataliticamente, produz um racemato em que um dos isômeros pode ser representado por:

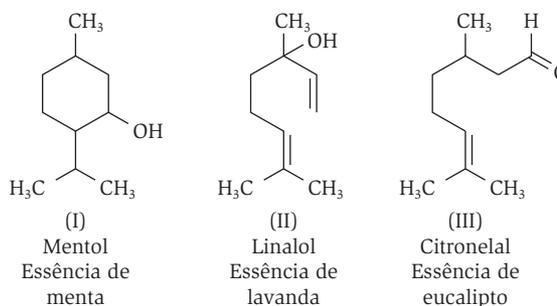


14. (UFSCar-SP) Pesquisas na área médica têm associado o câncer de próstata e a calvície ao hormônio DHT, um subproduto da testosterona, o principal hormônio masculino. Algumas drogas desenvolvidas nos últimos anos têm como função combater o DHT. No entanto, essas drogas têm efeitos colaterais. Uma substância produzida na digestão da soja combate o DHT. Por isso, alimentos à base de soja podem auxiliar no combate ao DHT. A figura a seguir apresenta a fórmula estrutural da testosterona.



Na estrutura da testosterona, o número de átomos de carbono ligados a quatro grupos diferentes e o grupo funcional resultante da oxidação do carbono ligado à hidroxila são, respectivamente,

- 4 e ácido carboxílico.
  - 5 e aldeído.
  - 3 e aldeído.
  - 6 e cetona.
  - 5 e cetona.
15. (UFV-MG) As estruturas abaixo (I, II e III) representam algumas substâncias utilizadas em perfumaria devido às suas fragrâncias.

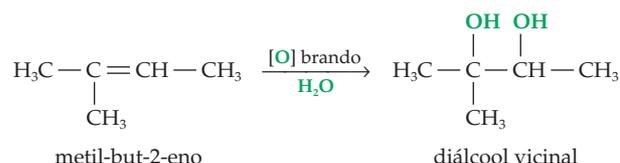


- Dentre as substâncias representadas acima, quais são isômeros? Justifique sua resposta.
  - Represente a estrutura do produto de oxidação de I com  $\text{KMnO}_4$ , em meio ácido.
  - Represente a estrutura do produto resultante da reação de III com 1 mol de hidrogênio ( $\text{H}_2$ ) catalisada por platina (Pt).
16. (UFJF-MG) O ácido oxálico (ácido etanodioico) pode ser obtido através da reação de oxidação do 1,2-etanodiol. Dê o nome ou a fórmula de um reagente que, ao reagir com o 1,2-etanodiol, permitiria sua conversão no ácido oxálico.

## 3 Oxidação de alcenos

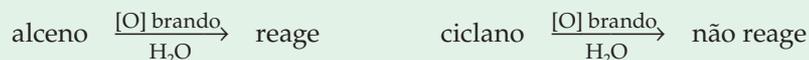
### 3.1 Oxidação branda

Também conhecida como **di-hidroxilação do alceno**, é uma reação com um agente oxidante que causa uma adição à ligação dupla, com a entrada de uma hidroxila em cada um dos seus dois carbonos. O  $\text{KMnO}_4$  (permanganato de potássio) em solução diluída e fria, em meio neutro ou levemente básico, é um agente oxidante brando muito usado.



### TESTE DE BAEYER

Alceno e ciclanos possuem a mesma fórmula geral  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ . Assim, é frequente encontrarmos alcenos e ciclanos isômeros. Para diferenciá-los em laboratório, o químico alemão Adolf von Baeyer elaborou um teste baseado na oxidação branda com  $\text{KMnO}_4$  (de cor violeta).



Alcenos reagem, pois possuem ligação dupla, e ciclanos, não. Assim, a **cor violeta** do  $\text{KMnO}_4$  **desaparecerá quando a substância for alceno, mas não quando for ciclano**. Esse é o teste de Baeyer.



▲ O tubo da esquerda mostra uma fase superior de ciclo-hexano e uma fase inferior de  $\text{KMnO}_4$ . Como o composto orgânico é saturado, não ocorre descoloramento da cor violeta do permanganato. No tubo da direita, permanganato foi misturado com hex-1-eno, havendo desaparecimento da cor violeta graças à oxidação da ligação dupla. O material ocre resultante é o produto da redução do manganês.

#### • ATENÇÃO

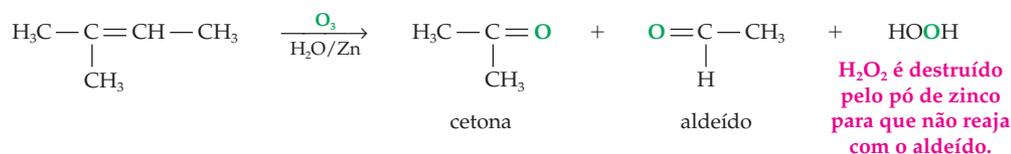
**Não faça esse experimento por conta própria. Sua eventual realização requer autorização e supervisão do(a) professor(a).**

Óculos de segurança, luvas e aventais protetores são obrigatórios.

### 3.2 Ozonólise

Como o nome diz, trata-se da quebra pelo ozônio ( $\text{O}_3$ ). A reação é feita em meio aquoso e na presença de pó de zinco. A molécula de alceno é quebrada na ligação dupla e um átomo de oxigênio se adiciona a cada fragmento.

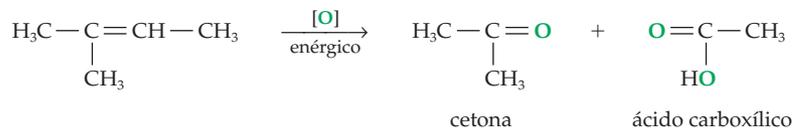
A presença da água é fundamental para evitar as explosões que podem ocorrer se a ozonólise for feita na sua ausência.



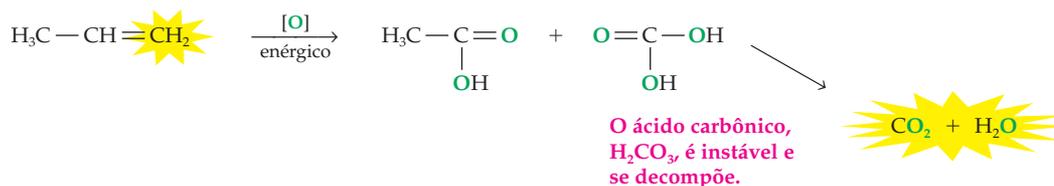
◀ A borracha dos pneus contém ligações duplas C=C que podem ser atacadas pelo ozônio, poluente atmosférico oxidante. Para evitar essa oxidação indesejável, o fabricante inclui, na formulação da borracha, aditivos antioxidantes.

### 3.3 Oxidação enérgica

O alceno reage com um agente oxidante capaz de quebrar a molécula na ligação dupla e, além disso, caso seja formado aldeído, oxidá-lo a ácido carboxílico. Exemplos de oxidantes enérgicos são KMnO<sub>4</sub>/H<sup>+</sup> e K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>/H<sup>+</sup>.



Quando a ligação dupla se encontra na ponta da cadeia, o CH<sub>2</sub> terminal se transforma em ácido carbônico, que, finalmente, se decompõe em CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O.



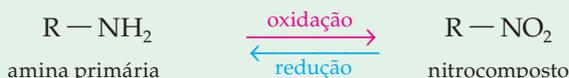
### NÃO CONFUNDA OZONÓLISE COM OXIDAÇÃO ENÉRGICA

Em ambas as reações, o alceno fragmenta-se na ligação dupla e um oxigênio se une a cada fragmento assim obtido. Nessa primeira fase podemos obter somente cetonas, somente aldeídos ou cetona e aldeído, dependendo da estrutura do alceno. **Na oxidação enérgica, caso se forme aldeído como produto, o agente oxidante irá oxidá-lo a ácido carboxílico.** Já na ozonólise, a presença de Zn impede que isso ocorra. (Se, contudo, a ozonólise for realizada sem o Zn, um aldeído produzido será oxidado a ácido carboxílico.)

Outra diferença pode ser notada quando o alceno apresenta uma **dupla ligação na extremidade da cadeia**. Nesse caso, ao realizar a **oxidação enérgica, o CH<sub>2</sub> terminal se transforma em ácido carbônico**, que, finalmente, se decompõe em CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O.

## A FABRICAÇÃO DA ANILINA

Uma visão abrangente dos processos de oxirredução envolvendo os compostos orgânicos é complexa e não será mostrada neste livro. Para finalizar o tema oxirredução na Química Orgânica vamos considerar a oxidação de amins primárias e a redução de nitrocompostos, que segue o esquema:



A produção industrial de anilina a partir do benzeno envolve a redução de um nitrocomposto. Primeiramente, o benzeno passa por um processo de nitração (isto é, substituição de um átomo de hidrogênio por um grupo nitro, como mostrado no capítulo 5) e, a seguir, o nitro-benzeno é reduzido a anilina:



A anilina é a matéria-prima para a fabricação de uma imensa variedade de corantes, que são largamente empregados em tecidos, xampus, embalagens, alimentos industrializados e muitos outros produtos.



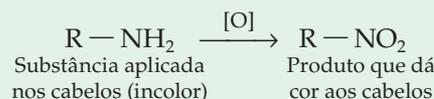
▲ A anilina é matéria-prima para muitos **corantes** que são, em virtude disso, genericamente denominados **“anilinas”**. A indústria têxtil e a de cosméticos são alguns dos muitos ramos industriais que empregam corantes.

## COLORINDO E DESCOLORINDO OS CABELOS

O cabelo contém fundamentalmente dois pigmentos. Um deles é castanho-escuro e se chama melanina. O outro é avermelhado. A coloração capilar natural depende da quantidade e da proporção entre eles.

A coloração temporária dos cabelos normalmente é realizada usando um corante solúvel em água, que é aplicado sobre a superfície dos fios (por exemplo, na forma de xampus). Pelo próprio fato de o corante ser solúvel em água, a coloração é perdida gradualmente nas próximas lavagens do cabelo.

Existe, por outro lado, um método de produzir uma cor mais duradoura. Tal método consiste em aplicar substâncias incolores especiais que penetram nas fibras de proteínas existentes nos fios de cabelo. A seguir, empregando-se um agente oxidante apropriado, promove-se a oxidação dessas substâncias, que, após o processo, adquirem coloração. Dependendo da substância usada, os cabelos podem ficar claros ou escuros. Muitas dessas substâncias são amins aromáticas que são oxidadas a nitrocompostos:



Alguns exemplos são mostrados a seguir.

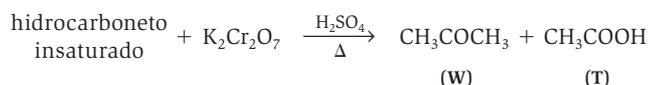


O agente oxidante empregado nesses processos é, geralmente, o peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), vendido em solução aquosa com o nome de água oxigenada. As soluções usadas não são muito concentradas.

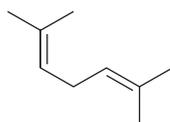
Quando se utiliza uma concentração um pouco mais alta de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , ocorre a destruição dos pigmentos naturais dos cabelos e eles adquirem uma coloração muito clara conhecida como “cabelo oxigenado”.



24. (Uerj) Um dos métodos de identificação de estruturas de hidrocarbonetos contendo ligações duplas ou triplas é feito a partir da análise dos produtos ou fragmentos, obtidos da reação de oxidação enérgica. Observe os produtos orgânicos da reação de oxidação enérgica de um hidrocarboneto insaturado:

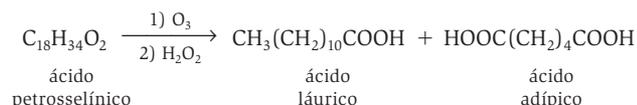


- a) Em relação ao hidrocarboneto insaturado, indique as fórmulas mínima e estrutural plana.
- b) Cite a nomenclatura oficial do composto W e determine a percentagem de carbono, em número de átomos, na substância T.
25. (Ufes) A reação de adição de  $\text{O}_3$  a alquenos, seguida de hidrólise, é denominada ozonólise. No passado, essa reação foi empregada como uma forma de se determinar a estrutura de um alqueno a partir da análise dos produtos formados. Quantos compostos diferentes a ozonólise do hidrocarboneto abaixo vai produzir?



- a) 1      b) 2      c) 3      d) 4      e) 5

26. (Ufes) O coentro (*Coriandrum sativum*) é uma planta da família Umbeliferae e é muito usado na culinária capixaba. Dele, e de outras umbelíferas, como a salsa (*Petroselinum sativum*), extrai-se o ácido carboxílico petrosselínico. Como mostra a reação abaixo, a clivagem por ozonólise desse ácido leva à produção de dois ácidos: o ácido láurico, utilizado na produção de detergentes; o ácido adípico, utilizado na preparação de um importante polímero sintético, o náilon.

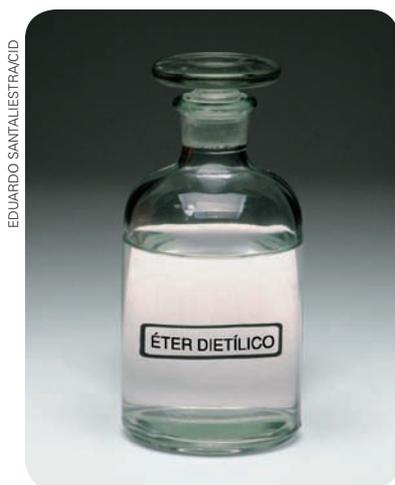
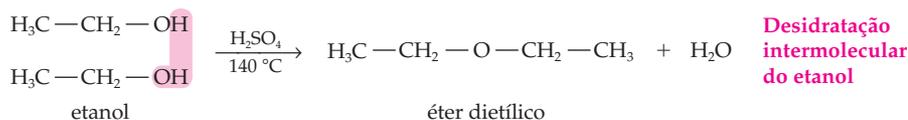


Sobre as substâncias citadas, pode-se afirmar que:

- a) a estrutura do ácido petrosselínico possui apenas uma ligação dupla.
- b) o ácido petrosselínico possui uma insaturação no carbono 6 de sua cadeia carbônica.
- c) a cadeia carbônica do ácido láurico é aberta, saturada e heterogênea.
- d) o ácido petrosselínico é formado por uma cadeia carbônica cíclica, saturada, heterogênea.
- e) o ácido adípico possui uma cadeia carbônica alicíclica, insaturada e ramificada.

## 4 Desidratação de álcoois

O éter comum (éter dietílico ou, ainda, éter sulfúrico) é produzido usando o etanol como matéria-prima. A reação em questão é conhecida como desidratação, uma vez que ocorre a perda de água por parte do álcool.



### • ATENÇÃO

O éter dietílico é um líquido incolor, volátil e **altamente inflamável**. Seus vapores são **tóxicos** e podem causar, por exemplo, tontura, dor de cabeça, narcose, náusea, vômitos e irritação do sistema respiratório.

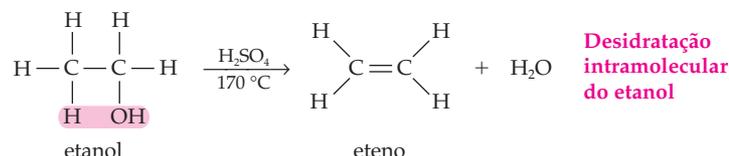


LÍQUIDO INFLAMÁVEL

◀ O éter dietílico, largamente usado em hospitais e laboratórios, é obtido industrialmente por meio da desidratação intermolecular do etanol.

O **ácido sulfúrico** exerce o papel de **agente desidratante** na reação, ou seja, é ele que provoca a saída da molécula de água. Trivialmente, o éter dietílico é também chamado de **éter sulfúrico**, em virtude de esse ácido ser utilizado em sua fabricação.

Se o etanol e o ácido sulfúrico forem colocados em contato a 170 °C, a reação não produzirá éter. O principal produto obtido será o eteno. Esse é um exemplo ilustrativo de como uma mudança de temperatura pode afetar o transcorrer de uma reação.



A primeira reação equacionada é uma **desidratação intermolecular**, pois a água saiu de entre duas moléculas de álcool. Já a segunda é uma **desidratação intramolecular**, pois a água saiu de dentro de uma molécula de álcool.

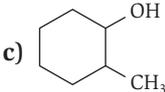
Os nomes desses processos vêm do latim *inter*, “entre”, e *intra*, “dentro”.

Generalizando, podemos dizer que a desidratação intermolecular de álcoois produz éteres e que a intramolecular produz alcenos. A desidratação intramolecular envolve, geralmente, temperaturas mais altas do que a intermolecular.

## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

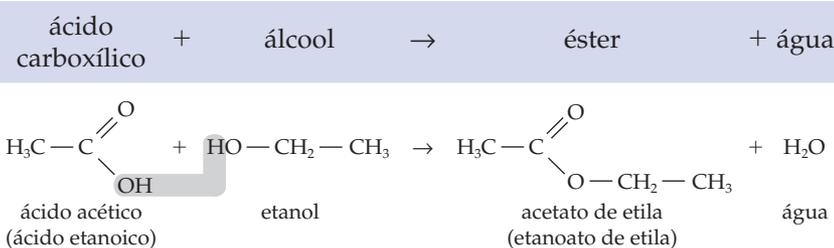
- 27.** (FEI-SP) É possível preparar etileno e éter etílico, a partir do álcool etílico, de acordo com o esquema:  
 álcool etílico → etileno + substância X  
 álcool etílico → éter etílico + substância Y  
 As substâncias X e Y representam, respectivamente:  
 a) água e água.  
 b) hidrogênio e hidrogênio.  
 c) água e hidrogênio.  
 d) oxigênio e hidrogênio.  
 e) oxigênio e água.
- 28.** Se submetemos uma mistura dos álcoois metanol e propan-2-ol às condições de desidratação intermolecular, serão obtidos três éteres diferentes. Escreva suas fórmulas estruturais.
- 29.** (Uerj) Um composto aromático carbonilado A, de fórmula molecular  $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}$ , é reduzido com  $\text{H}_2/\text{Pt}$  formando um álcool secundário B. Considerando essa afirmativa, determine a fórmula estrutural plana do produto orgânico formado na desidratação intramolecular do composto B.
- 30.** (Unifesp) O composto A, um álcool de fórmula molecular  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ , quando aquecido fortemente na presença de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, se transforma no composto B. A adição de água em B, catalisada por ácido, dá o composto C, que é um isômero de A. Quando C é oxidado, se transforma em D. Os nomes dos compostos B, C e D devem ser, respectivamente,  
 a) propeno, 2-propanol e propanona.  
 b) propeno, 1-propanol e propanona.  
 c) propeno, 2-propanol e ácido propiônico.  
 d) propino, 2-propanol e propanal.  
 e) propino, 1-propanol e propanal.
- 31.** (Unifor-CE) O 3-metil-1,3-butanodiol, por perda intramolecular de duas moléculas de água para cada molécula de reagente, produz um hidrocarboneto  
 a) insaturado com duas duplas ligações.  
 b) saturado com cinco átomos de carbono.  
 c) insaturado com uma dupla ligação.  
 d) saturado com quatro átomos de carbono.  
 e) insaturado com uma tripla ligação.
- 32.** Em 1875, o químico russo Alexander Saytzeff (há autores que grafam esse sobrenome como Zaitsev) percebeu que, na desidratação intramolecular sofrida por álcoois, se houver a possibilidade de produzir mais de um alceno diferente, há uma preferência da natureza para que ocorra a eliminação do hidrogênio do carbono menos hidrogenado. Essa é a chamada **Regra de Saytzeff**.  
 Veja, por exemplo, os produtos obtidos na desidratação intramolecular do butan-2-ol:
- $$\begin{array}{c}
 \text{OH} \\
 | \\
 \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\
 \text{butan-2-ol}
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \nearrow \\
 \searrow
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3 \\
 \text{but-2-eno (80\%)} \\
 \\
 \text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\
 \text{but-1-eno (20\%)}
 \end{array}$$
- Fundamentado nessa informação, escreva a fórmula estrutural do produto principal esperado na desidratação intramolecular dos seguintes álcoois:
- a)  $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
- b)  $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_3$
- c) 

## 5 Esterificação

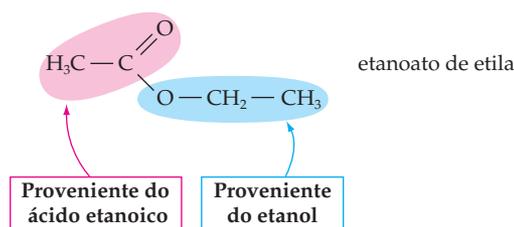
FRANÇOIS GOHIER/  
PHOTORESEARCHES/LATINSTOCK

◀ No passado, grandes populações de cachalotes (*Physeter macrocephalus*) foram dizimadas para extração de cera usada na indústria de cosméticos. Hoje, sabe-se que um dos principais constituintes dessa cera pode ser produzido por meio de uma reação de esterificação. Ao lado, cachalote com 12 m de comprimento fotografado nos Açores, Portugal, em 1996.

A reação química entre um ácido carboxílico e um álcool é chamada de **reação de esterificação**. Nessa reação, forma-se também água devido à saída de um H do álcool e um OH do ácido.

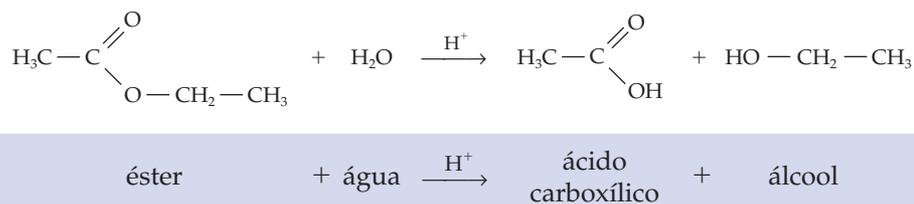


Assim, podemos ser mais claros sobre o assunto do que fomos no capítulo 2. Um éster é derivado de um ácido e de um álcool. Em sua estrutura e em seu nome podemos reconhecer a parte que veio de cada um.



## 6 Hidrólise ácida de ésteres

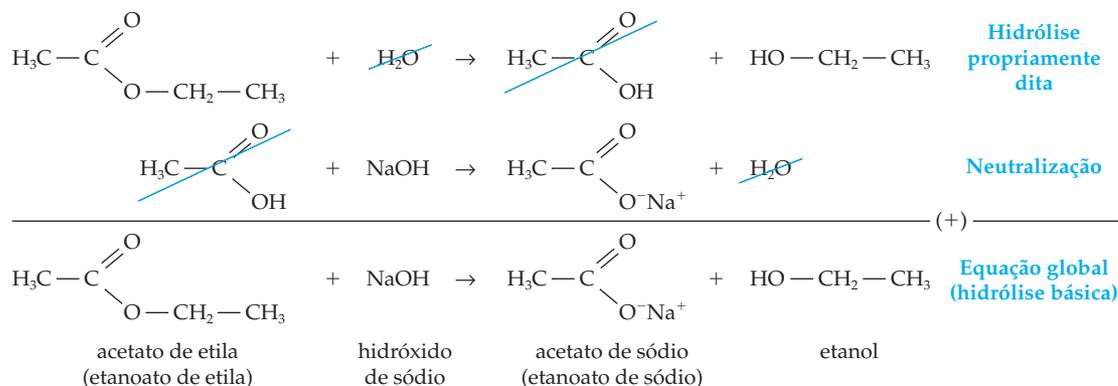
A reação de esterificação é facilmente reversível, e a reação inversa é chamada de **hidrólise de um éster**. Assim, por exemplo, a hidrólise do acetato de etila pode ser representada por:



Essa reação é feita normalmente usando um ácido como catalisador, sendo chamada de **hidrólise ácida** de um éster. Comparando a equação dessa reação com a da esterificação, você pode constatar que uma é exatamente o inverso da outra.

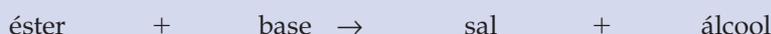
## 7 Hidrólise básica de ésteres

A hidrólise de um éster pode ser catalisada por uma substância alcalina (hidróxido de sódio, por exemplo) em vez de um ácido. Com **finalidade didática**, podemos imaginar que essa reação seja o resultado de duas etapas:



A primeira etapa representa a hidrólise exatamente como acontece sob catálise ácida. No entanto, tão logo formado, o ácido carboxílico é neutralizado pela base presente no meio. Dessa forma **não se obtém o ácido carboxílico, e sim o sal correspondente**.

Assim, nessa reação chamada de **hidrólise básica** de um éster, os produtos são muito semelhantes aos da hidrólise ácida, porém, em vez de um ácido, forma-se um sal.



## Exercícios essenciais

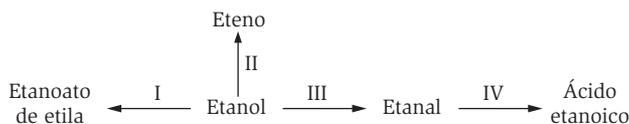
Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

33. (UFRJ) Escreva a equação da reação do ácido propanoico com o 1-butanol e dê o nome do composto orgânico obtido.
34. (UFSCar-SP) Obtém-se o éster propanoato de etila na reação de:
- propeno com etanol, na presença de catalisador heterogêneo.
  - etanol com ácido propanoico, catalisada por ácido.
  - 1-propanol com ácido acético, catalisada por ácido.
  - desidratação de etanol, catalisada por ácido sulfúrico.
  - oxidação de propanal por dicromato de potássio em meio ácido.
35. (UCPel-RS) O etanol ou álcool etílico é um dos álcoois mais importantes, sendo obtido principalmente por fermentação de cereais, mandioca e cana-de-açúcar. Está presente em bebidas alcoólicas, sendo também usado como solvente, como combustível etc. A partir do etanol, a indústria obtém vários compostos, tais como: eteno (etileno), etóxi-etano (éter dietílico), acetato de etila, etanal, ácido etanoico (ácido acético),

entre outros. Com base nessas informações:

- Escreva o nome de três funções orgânicas correspondentes aos compostos citados.
  - Equacione a reação de hidrólise do acetato de etila, na qual se obtém o ácido acético e o etanol.
36. (UFJF-MG) O esquema abaixo mostra que, a partir do etanol, substância facilmente obtida da cana-de-açúcar, podemos preparar vários compostos orgânicos, como, por exemplo, o etanoato de etila, o eteno, o etanal e o ácido etanoico, através dos processos I, II, III e IV, respectivamente.

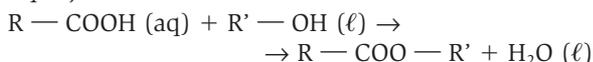


Determine a alternativa CORRETA:

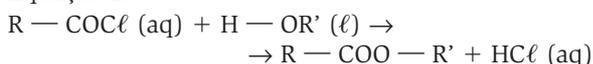
- Os processos III e IV representam reações de oxidação.
- O etanol e o etanal são isômeros de função.
- O eteno possui dois isômeros geométricos.
- O processo II envolve uma reação de esterificação.
- O processo I envolve uma reação de eliminação.

37. (Vunesp) Os ésteres podem ser obtidos por reação entre ácidos carboxílicos com álcoois, reação esta denominada de esterificação (Equação 1). Uma outra maneira de se obterem esses compostos é através da reação entre cloretos ácidos e álcoois (Equação 2).

Equação 1:



Equação 2:



- a) Com base nas informações do texto, escreva a equação da reação entre o cloreto de etanoíla ( $\text{H}_3\text{C} - \text{COCl}$ ) e o álcool etílico ( $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{OH}$ ).
- b) Considerando-se que os ésteres podem reagir com água, formando ácidos carboxílicos e álcoois, escreva a equação química da reação de hidrólise em meio ácido do etanoato de etila ( $\text{H}_3\text{C} - \text{COO} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$ ).
38. (Fuvest-SP) Na reação de saponificação
- $$\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3 + \text{NaOH} \rightarrow \text{X} + \text{Y}$$

os produtos X e Y são:

- a) álcool etílico e propionato de sódio.  
 b) ácido acético e propóxido de sódio.  
 c) acetato de sódio e álcool propílico.  
 d) etóxido de sódio e ácido propanoico.  
 e) ácido acético e álcool propílico.
39. (UCB-DF) Considere as estruturas orgânicas seguintes: (a)  $\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3$  (b)  $\text{CH}_3\text{CONH}_2$   
 Dados: C = 12, H = 1 e O = 16.  
 Analise as afirmativas seguintes, julgando-as em verdadeiras ou falsas.
- A fórmula molecular da estrutura (a) é  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$  e sua massa molar é 88 g/mol e sua nomenclatura etanoato de etila é compatível com sua função orgânica.
  - A reação de hidrólise da estrutura (a) em meio fortemente básico (NaOH) produz um ácido carboxílico.
  - Os ésteres são responsáveis pelo odor agradável das frutas, podendo, dessa forma, ser classificados como compostos orgânicos aromáticos.
  - A função representada pela estrutura (b) é uma amida.

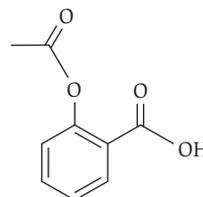
## Exercícios adicionais

Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

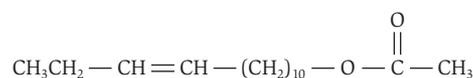
40. (Fuvest-SP) O Ministério da Agricultura estabeleceu um novo padrão de qualidade e identidade da cachaça brasileira, definindo limites para determinadas substâncias formadas na sua fabricação. Algumas dessas substâncias são ésteres, aldeídos e ácidos carboxílicos voláteis, conforme o caderno Agrícola de 08 de junho de 2005, do jornal O Estado de S. Paulo. Nesse processo de fabricação, pode ter ocorrido a formação de
- ácido carboxílico pela oxidação de aldeído.
  - éster pela reação de álcool com ácido carboxílico.
  - aldeído pela oxidação de álcool.
- É correto o que se afirma em:
- a) I, apenas.      c) I e II, apenas.      e) I, II e III.  
 b) II, apenas.      d) II e III, apenas.
41. (ITA-SP) Certa substância Y é obtida pela oxidação de uma substância X com solução aquosa de permanganato de potássio. A substância Y reage tanto com o bicarbonato presente numa solução aquosa de bicarbonato de sódio como com álcool etílico. Com base nestas informações, é CORRETO afirmar que:
- a) X é um éter.      d) Y é uma cetona.  
 b) X é um álcool.      e) Y é um aldeído.  
 c) Y é um éster.
42. (Unifesp) Medicamentos obtidos da natureza são utilizados pelo homem há muito tempo. Produtos naturais e seus derivados são muito empregados na fabricação de medicamentos pelas indústrias farmacêuticas modernas. A maioria das pessoas, em algum momento, já fez uso de alguns desses

compostos. O ácido acetilsalicílico, estrutura representada na figura, é obtido a partir do ácido salicílico que ocorre na casca da árvore do salgueiro branco, *Salix alba*.



Na hidrólise desse composto é formada uma substância que está presente no vinagre e também o ácido salicílico, que tem fórmula molecular:

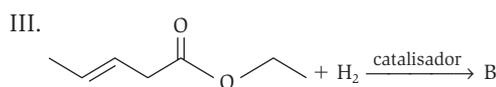
- a)  $\text{C}_7\text{H}_2\text{O}_3$       c)  $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$       e)  $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$   
 b)  $\text{C}_7\text{H}_4\text{O}_2$       d)  $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_3$
43. (UFPB) O composto abaixo, um éster, principal componente da mistura *feromonal* liberada pelas fêmeas do inseto *Argyrotaenia velutinata*, age como atraente sexual e pode sofrer hidrólise ácida ou básica.



Em relação ao éster indicado:

- a) represente a sua reação de hidrólise básica.  
 b) responda qual(is) dos produtos apresenta(m) isomeria geométrica. Justifique.

44. (UFRJ) Cloro, hidróxido de sódio e hidrogênio são insumos de grande importância para o país, pois são utilizados como reagentes em vários processos químicos. As reações, I, II e III a seguir são exemplos de aplicação desses insumos:



- Dê o nome do NaClO produzido na reação I.
- Escreva a estrutura em bastão do reagente A na reação II e dê um isômero de função do 2-butanol.
- Dê o nome do éster B produzido na reação III.

## O Informe-se sobre a Química

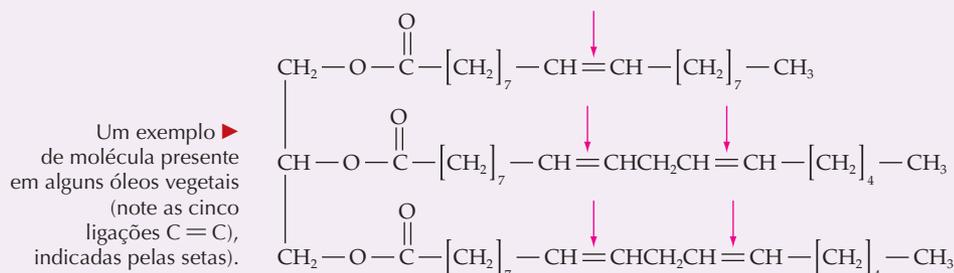
### Oxidação dos alimentos

Os alimentos que consumimos contêm muitas substâncias orgânicas. Nelas, é frequente encontrarmos grupos funcionais e/ou ligações duplas facilmente oxidáveis pelo oxigênio do ar ( $\text{O}_2$ ).

A oxidação das substâncias presentes nos alimentos não apenas pode modificar seu sabor, aroma e aspecto, como também pode produzir substâncias tóxicas ao organismo.

Provavelmente já aconteceu de você, ao ingerir algum produto contendo óleo (por exemplo, salgadinhos fritos vendidos em saquinhos), perceber que seu sabor está desagradável. Isso se deve à oxidação das ligações duplas presentes nas moléculas de óleo.

Considere, como exemplo, uma molécula do seguinte óleo:



Suas ligações duplas podem ser oxidadas pelo oxigênio atmosférico, alterando seu aroma. Quando isso acontece, costuma-se dizer que o produto ficou rançoso.

**Rancificação** é um processo no qual ocorre a oxidação das ligações duplas das moléculas dos óleos e das gorduras. O produto dessa oxidação apresenta, via de regra, odor desagradável. Os óleos, por apresentarem várias insaturações, estão sujeitos à rancificação. As gorduras, que contêm muito poucas insaturações, são menos suscetíveis a esse processo, porém também ficam rançosas.

Não são apenas os óleos e as gorduras que podem sofrer oxidação. Muitas outras substâncias presentes nos alimentos sofrem modificações com o passar do tempo quando expostas ao ar. É o caso dos sucos de fruta, que, alguns minutos após sua obtenção, já começam a dar sinais de alterações no sabor, ficando amargos e com cheiro diferente do original.

A rancificação afeta o odor ► dos alimentos com óleo ou gordura como, por exemplo, petiscos vendidos em saquinho. Deve haver muita **moderação** na ingestão desses alimentos porque eles têm um **elevado conteúdo calórico** e contribuem para a obesidade.



Vários alimentos industrializados recebem aditivos que visam impedir ou retardar a oxidação. Tais aditivos são os **antioxidantes**. Em geral, seu funcionamento se baseia no fato de sofrerem oxidação mais rápido que o alimento. Assim, enquanto houver antioxidante dentro da embalagem, é ele que estará sendo oxidado, e não o alimento. Costuma-se dizer que o antioxidante é uma substância “sacrificial”, ou seja, que é “sacrificada” a fim de preservar o produto.

No caso dos alimentos contendo antioxidantes, a data de validade é estipulada de tal forma que corresponda ao tempo que o oxidante presente “dará conta” de evitar a oxidação do alimento. Expirado o prazo de validade, provavelmente o antioxidante já tenha sido totalmente consumido e o alimento começará então a sofrer alterações em sua qualidade, tornando-se impróprio para consumo.

### “Antioxidantes naturais

Muitos alimentos ricos em gorduras e óleos estragam-se facilmente por causa da oxidação (particularmente de óleos insaturados, porque as ligações duplas são muito reativas). Embora os processos por meio dos quais essas reações acontecem sejam complexos, podemos dizer, de modo simplificado, que é o oxigênio do ar que provoca tais reações. Para evitar que elas ocorram, antioxidantes são frequentemente adicionados aos alimentos para preservá-los. Antioxidantes são compostos que inibem a oxidação pelo oxigênio molecular. Compostos fenólicos e derivados da hidroquinona são especialmente úteis para tal fim.

O uso de antioxidantes para preservar alimentos não é novo; apenas é novo o entendimento de sua ação química. Desde tempos remotos, temperos e ervas são empregados para ajudar no armazenamento seguro de alimentos. É interessante notar



O orégano (A), o alecrim (B) e a sálvia (C) são especiarias que contêm antioxidantes fenólicos.

que muitos desses materiais naturais têm odor agradável. Especiarias como cravo, orégano, tomilho, alecrim e sálvia contêm compostos fenólicos, que, há muito, foram associados com a classe de substâncias que os químicos denominam aromáticas. O processo de defumação das carnes fornece antioxidantes para a comida porque formaldeído e compostos fenólicos são encontrados na fumaça proveniente da madeira. Antioxidantes também estão presentes nos tecidos animais para prevenir a oxidação das gorduras naturais no organismo. Há quem considere que o processo de envelhecimento é acelerado pela oxidação das ligações duplas naturais.

Você não precisa ficar preocupado achando que o ‘mar’ de oxigênio ao nosso redor é destrutivo porque as complexas reações envolvidas nos processos de oxidação não usam diretamente a substância oxigênio na forma em que ela existe na atmosfera. Contudo os poluentes ambientais são capazes de iniciar algumas dessas reações, e essa é uma das razões pelas quais há tanta inquietação acerca da poluição atmosférica.”

**Fonte do segundo texto:** MUNDY, B. P. et. al. *Organic and biological Chemistry*. Orlando: Saunders, 1993. p. 176. (Tradução dos autores.)

### ● Você entendeu a leitura?

Responda em seu caderno

1. Provavelmente já recomendaram a você que um suco de frutas (laranja, por exemplo) deve ser bebido imediatamente após sua obtenção. Você saberia explicar a razão principal dessa recomendação?
2. Há um trecho na leitura sobre oxidação de alimentos que comenta algo que poderia ser comparado à presença de placas de zinco colocadas em cascos de aço de embarcações para impedir o processo de corrosão. Transcreva esse trecho no seu caderno e justifique a semelhança entre os dois processos.
3. Processos de oxidação ocorrem não só em metais, mas também nos alimentos e nos seres vivos. Baseado no texto, aponte um exemplo de processo de oxidação nos alimentos e suas consequências. A seguir, faça uma pesquisa e aponte um exemplo de processo de oxidação nos seres vivos e suas consequências.
4. Faça uma pesquisa e dê uma explicação para o fato de, em uma salada de frutas, a banana ou a maçã não fiquem escuras se você cobri-las com suco de limão.
5. Pesquise alguns métodos utilizados pelos antigos para preservar os alimentos.
6. Pesquise alguns métodos usados atualmente pelas indústrias com a finalidade de preservar os alimentos.
7. Faça uma pesquisa para descobrir como são representados nos rótulos os antioxidantes e os conservantes presentes em alimentos.
8. Amplie sua pesquisa anterior para indicar a função de cada um dos tipos de aditivos alimentares permitidos em nosso país.
9. (Unicamp-SP) A equação abaixo representa, de maneira simplificada e *incompleta*, a formação de *aldeídos* na oxidação que ocorre em gorduras insaturadas, fenômeno responsável pelo aparecimento de gosto ruim (ranço), por exemplo na manteiga.



a) Escreva a equação química completa.

Para evitar a deterioração dos alimentos, inclusive em função da reação a que se refere o item a, muitas embalagens são hermeticamente fechadas sob nitrogênio ou sob uma quantidade de ar muito pequena. Além disso, nos rótulos de diversos produtos alimentícios embalados dessa forma, encontram-se, frequentemente, informações como:

Validade: 6 meses da data de fabricação se não for aberto.

Após aberto deve ser guardado, de preferência, em geladeira e consumido em até 5 dias.

Contém antioxidante.

Pode-se dizer que o antioxidante é uma substância, colocada no produto alimentício, que reage “rapidamente” com o oxigênio.

Baseando-se nas informações acima responda *em termos químicos*:

b) Por que esse prazo de validade diminui muito após a abertura da embalagem?

c) Por que a recomendação de guardar o alimento em geladeira depois de aberto?

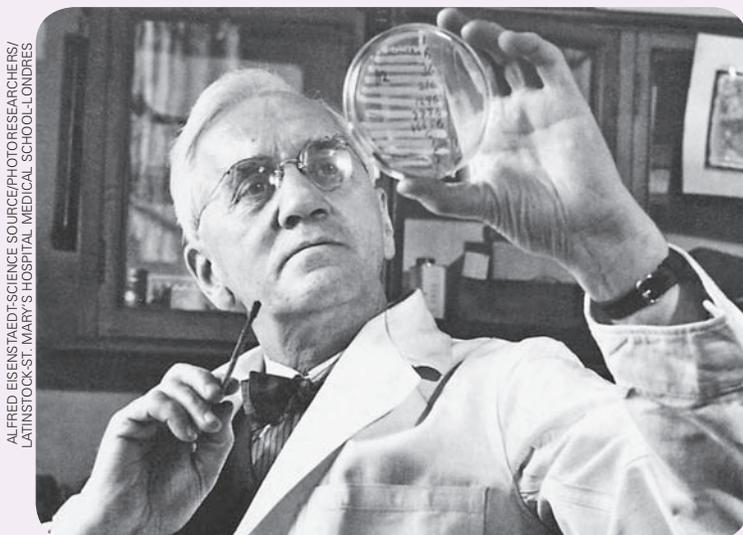
## O Informe-se sobre a Química

### O que é um pró-fármaco?

Na esterificação, um grupo funcional *ácido carboxílico* e um grupo funcional *álcool* reagem, sob catálise apropriada, para formar um grupo funcional *éster*.

E se esses dois grupos funcionais reagentes estiverem na mesma molécula?

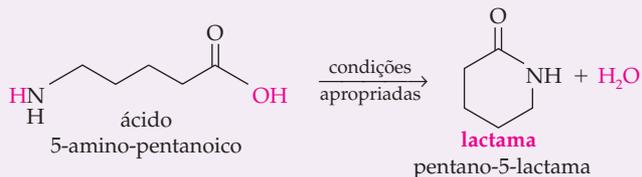
Nesse caso, pode-se formar um **éster cíclico**, denominado **lactona**, como no exemplo:



ALFRED EISENSTAEDT/SCIENCE SOURCE/PHOTORESEARCHERS/  
LATINSTOCK-ST. MARY'S HOSPITAL, MEDICAL SCHOOL-LONDRES

◀ O microbiólogo escocês Alexander Fleming (1881-1955), descobridor da penicilina, fotografado em Londres, 1951.

De modo similar, os grupos funcionais ácido carboxílico e amina (primária ou secundária) presentes em uma mesma molécula podem reagir, sob condições apropriadas, para formar uma **amida cíclica**, chamada de **lactama**. Veja o exemplo:



Um exemplo de substância contendo o grupo funcional lactama é a **penicilina**, antibiótico descoberto em 1928 por Alexander Fleming.

Ele trabalhava no laboratório com culturas de bactérias quando notou algo relevante em uma cultura que tinha sido contaminada com o fungo *Penicillium notatum*, um bolor comum que se desenvolve sobre alimentos. As bactérias não se multiplicavam nas proximidades do bolor, o que levou Fleming a suspeitar que alguma substância produzida pelo fungo impedia a atividade e a multiplicação bacteriana. Após estudos, Fleming conseguiu isolar essa substância, a penicilina, que se tornou o primeiro antibiótico.



Fármaco	R —
Penicilina G	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2$ —
Penicilina V	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OCH}_2$ —
Penicilina T	$\text{H}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{CH}_2$ —
Ampicilina	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH} \text{---} \text{NH}_2$
Amoxicilina	$\text{HOC}_6\text{H}_4\text{CH} \text{---} \text{NH}_2$

Muitos antibióticos derivados da penicilina já foram desenvolvidos. Alguns deles são **pró-fármacos**.

Para entender o que é isso, primeiramente é preciso saber que há medicamentos que apresentam alguns problemas. Um medicamento pode, por exemplo,

- sofrer rápida decomposição no estômago,
- ter baixa tendência a atravessar membranas biológicas,
- ter gosto muito ruim ou
- ter efeitos colaterais indesejáveis.

Uma estratégia para evitar tais problemas é transformar a molécula do fármaco (medicamento) em outra molécula, denominada **pró-fármaco**, que não tenha tais problemas e que seja convertida no fármaco quando já estiver dentro do organismo, no local em que deve atuar. Assim, o pró-fármaco não possui propriamente atividade como medicamento, mas se transformará, no momento adequado após a administração, em uma substância que possui.

Alguns pró-fármacos da penicilina e de outros antibióticos baseados nela (ampicilina, amoxicilina) são **ésteres**. Note, na molécula da penicilina, o grupo ácido carboxílico. Na indústria farmacêutica, esse grupo sofre esterificação com um reagente apropriado, e o éster é comercializado (é o pró-fármaco). Dentro do organismo, **enzimas** catalisam a **hidrólise do éster**, liberando o medicamento para atuação.

#### • ATENÇÃO

O consumo de medicamentos sem orientação médica, a automedicação, é uma atitude perigosíssima à saúde.

**JAMAIS SE AUTOMEDIQUE.**



▲ Placa de cultura bacteriana com o fungo *Penicillium notatum*, na qual Fleming iniciou a descoberta da penicilina. Foto de 1953, 25 anos após a descoberta.

SCIENCE PHOTO LIBRARY/INSTOCK/ST. MARY'S HOSPITAL MEDICAL SCHOOL - LONDRES

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

## O que penicilina tem a ver com pincel?

O nome **penicilina** vem de *Penicillium* que, por sua vez, vem de uma palavra do latim que significa **pincel**, aspecto do bolor *Penicillium notatum* quando observado sob ampliação.



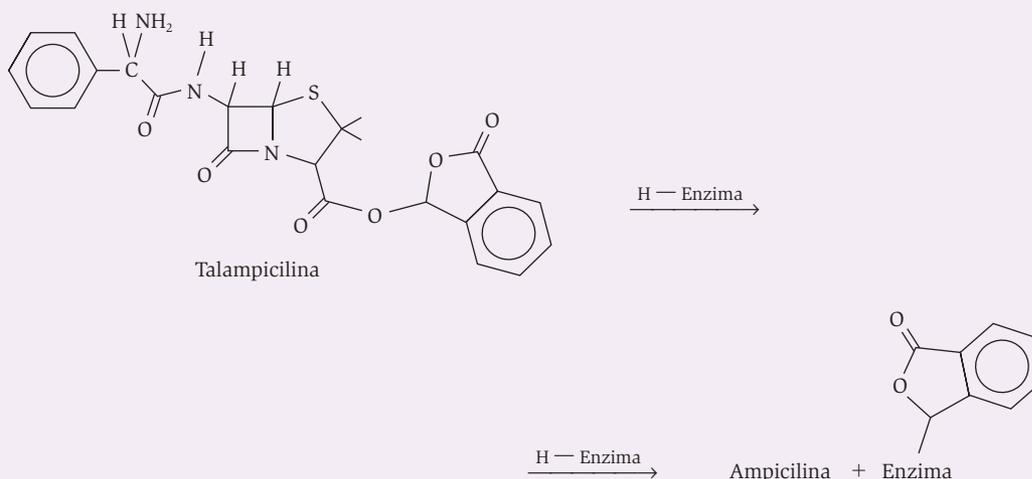
DENNIS KUNKEL/MICROSCOPY/PHOTOTAKE/ALAMY/OTHER IMAGES

Fungo *Penicillium notatum* fotografado ao microscópio eletrônico de varredura, com colorido artificial e ampliação de 1.100 vezes.

### ● Você entendeu a leitura?

Responda em seu caderno

1. Faça uma pesquisa e relate um trabalho realizado por cientistas brasileiros que conduziu à criação de um pró-fármaco.
2. (IME-RJ) Um pró-fármaco é uma substância farmacologicamente inativa, que geralmente é convertida no fármaco ativo dentro do organismo do paciente através de uma transformação enzimática. Um medicamento é ministrado por via oral na forma de pró-fármaco quando se deseja baixar a sua toxidez, melhorar sua solubilidade, facilitar a sua passagem pela membrana celular ou, simplesmente, evitar que seja destruído pelas enzimas do trato gastrointestinal antes de atingir seu alvo. A talampicilina é um exemplo de pró-fármaco do antibiótico ampicilina, largamente empregado contra bactérias *gram*-negativas e *gram*-positivas. Por ser menos polar que a ampicilina, a talampicilina é facilmente absorvida pelas paredes do intestino e cai na corrente sanguínea, onde é transformada em ampicilina por enzimas chamadas esterases conforme a reação a seguir:



Com base nas informações dadas, pede-se:

- a) a fórmula estrutural da ampicilina;
- b) a função orgânica gerada na estrutura da ampicilina pela biotransformação da talampicilina;
- c) as funções orgânicas nitrogenadas presentes na estrutura da talampicilina;
- d) o número de carbonos assimétricos presentes na molécula de talampicilina.



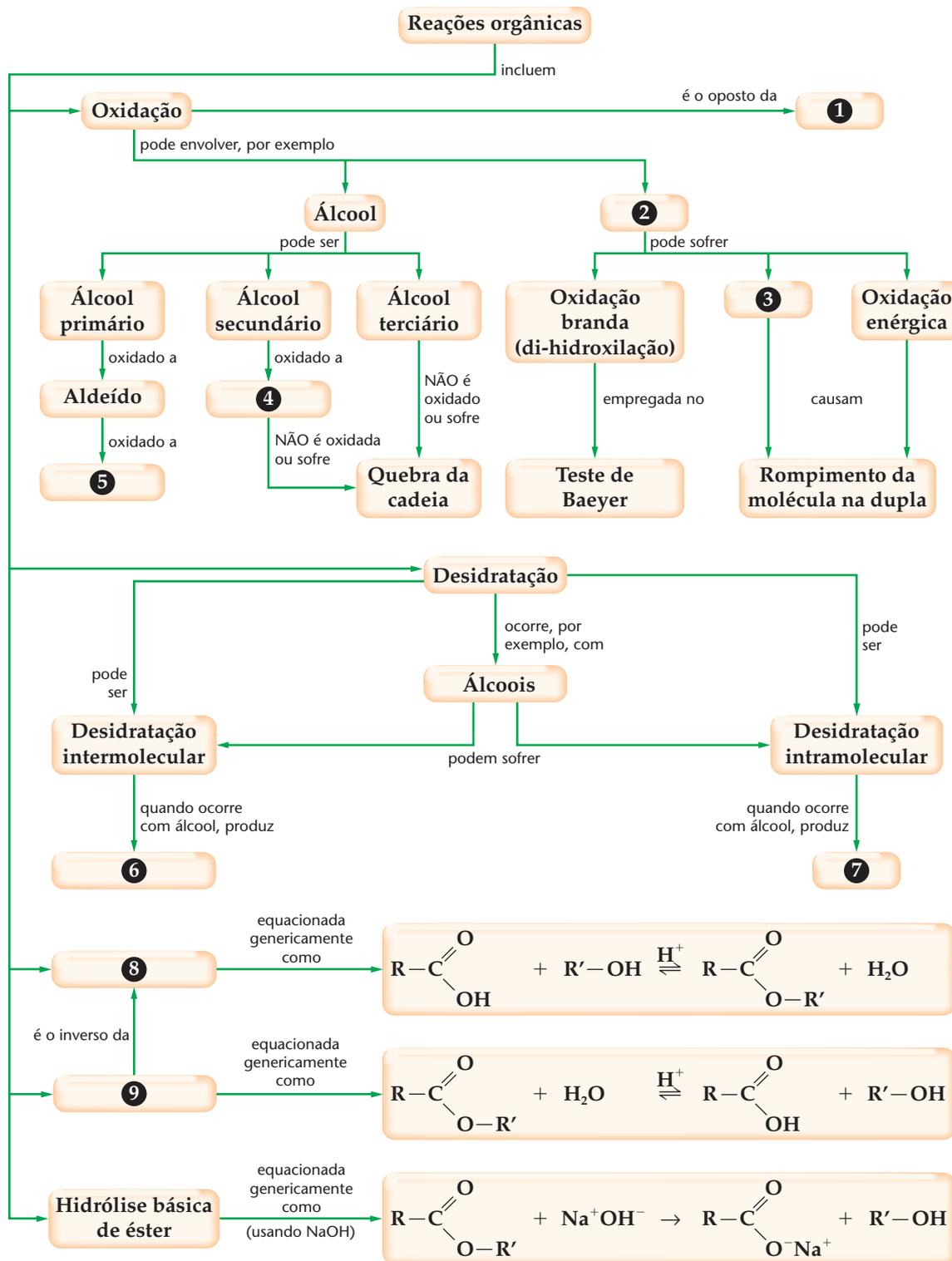


### Importante:

Este mapa é apenas uma das muitas possibilidades de relacionar esses conteúdos conceituais.

## MAPA CONCEITUAL - OXIRREDUÇÃO, DESIDRATAÇÃO E ESTERIFICAÇÃO

Revise os conceitos estudados e decida como podem ser completados os locais em que aparecem os números.



# Polímeros sintéticos

FOTOS: CHARLES D. WINTERS/PHOTORESEARCHES/LATINSTOCK



## • ATENÇÃO

Essa sequência de fotos é aqui mostrada devido à importância do tema.

A síntese de polímeros quase sempre envolve reagentes altamente inflamáveis, tóxicos, corrosivos e irritantes.

**Sínteses desse tipo NÃO devem ser realizadas por conta própria.**

▲ Sequência de fotos tirada durante demonstração da síntese do polímero baquelite.

## ● Alguns conteúdos importantes:

- ✓ Conceito de polimerização por adição
- ✓ Exemplos importantes de polímeros de adição
- ✓ Noção sobre elastômeros
- ✓ Vulcanização da borracha
- ✓ Conceito de polimerização por condensação
- ✓ Exemplos importantes de polímeros de condensação
- ✓ Polímeros termofixos e polímeros termoplásticos

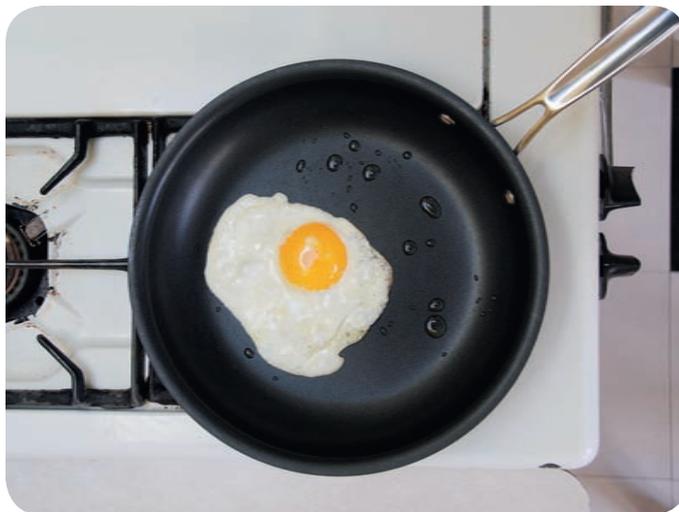
## ○ O que você pensa a respeito?



Sondagem de concepções prévias

Na lista abaixo estão relacionados alguns termos e conceitos. Indique no seu caderno aqueles que você julga que estejam relacionados à imagem e justifique sua escolha. Discuta com seus colegas e apresente as conclusões ao professor.

- composto halogenado
- PVC
- borracha vulcanizada
- polímero de adição
- polímero de condensação
- poliéster
- poliamida



PAUL COLLIS/ALAMY/OTHER IMAGES

## ○ Pare e situe-se!

Texto introdutório ao capítulo

Uma das coisas maravilhosas e intrigantes da natureza é o fato de ela gerar a complexidade a partir da simplicidade ao unir pequenas moléculas produzindo outras, bem maiores, chamadas **macromoléculas** ou **polímeros**.

As proteínas, os polissacarídios e os ácidos nucleicos são os exemplos mais significativos de polímeros naturais e serão estudados no próximo capítulo.

Em sua contínua busca por entender e imitar a natureza, os químicos conseguiram não apenas elaborar moléculas que se assemelhassem aos polímeros naturais, mas também projetar e produzir muitas outras visando atender a propósitos específicos.

Atualmente os polímeros não existem apenas nos seres vivos. Podem ser adquiridos em lojas. Estão presentes ao nosso redor, vestimo-nos com eles, fazemos refeições em sua companhia, dormimos sobre esses materiais, valemo-nos deles para nosso conforto.

Os polímeros sintéticos (isto é, artificiais) são substâncias que modificaram o mundo durante o século XX. E continuam a ter desenvolvimento promissor neste século. Porém, são problemáticos do ponto de vista ambiental.

Este capítulo é dedicado a estudá-los e perceber sua presença em nossa vida e seu impacto ambiental, após o que, certamente, você terá uma outra visão dos materiais presentes em inúmeros objetos que nos cercam cotidianamente.

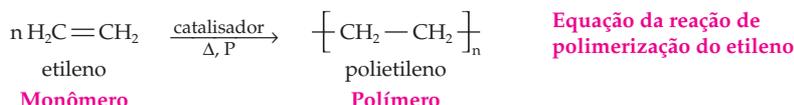
Fundamentalmente, o capítulo apresenta dois grupos de polímeros: os **polímeros de adição** (no item 1) e os **polímeros de condensação** (no item 2). Ao final, são feitos comentários sobre a reciclagem de plásticos, procedimento absolutamente necessário para tentar diminuir o impacto ambiental desses materiais. Também são apresentadas algumas noções sobre as fibras usadas na elaboração de roupas, as fibras têxteis.

# 1 Polímeros e adição

## 1.1 O polietileno e outros polímeros vinílicos

Os químicos conseguiram, na década de 1930, por meio de reações de adição, unir várias moléculas de eteno (nome trivial: etileno), criando um composto de alta massa molecular, o polietileno.

Nesse processo, de modo genérico, o reagente é chamado de **monômero**, o produto recebe o nome de **polímero** e a reação é denominada **polimerização**.



Essa reação de polimerização é, na verdade, uma reação de adição na qual tomam parte muitas moléculas do reagente ( $n$  é um número muito grande, geralmente por volta de 100 mil).

O polietileno é de grande utilidade em nossa vida cotidiana, sendo o material usado, por exemplo, para fabricar alguns brinquedos e sacos plásticos para embalar compras e acondicioná-las.

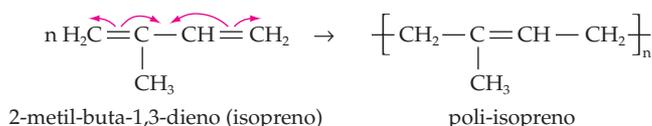
Além do polietileno é possível obter outros plásticos por meio das **reações de adição**. Vários compostos contendo ligação dupla  $\text{C}=\text{C}$  podem ser polimerizados, formando produtos de larga aplicação industrial, como exemplifica a tabela 1 (página seguinte).



◀ Recipientes para líquido, feitos de polietileno rígido.

## 1.2 Elastômeros

A borracha natural (ou *poli-isopreno*) é um polímero resultante da polimerização do monômero 2-metil-buta-1,3-dieno (denominado trivialmente *isopreno*).



A elasticidade é uma propriedade marcante da borracha natural. Polímeros que possuem alta elasticidade são conhecidos como **elastômeros**. Assim, dizemos que a borracha é um elastômero natural. Os químicos já produziram elastômeros sintéticos, sendo exemplos significativos o neopreno e o polibutadieno (veja a fórmula desses polímeros na tabela 2, duas páginas à frente).



Luvas de poli-isopreno. ▶

TABELA 1 Exemplos de polímeros de adição

Monômero	Polímero	Algumas aplicações
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$ etileno	$\left[ \text{CH}_2-\text{CH}_2 \right]_n$ polietileno	Brinquedos, objetos moldados, sacos e sacolas
$\text{F}_2\text{C}=\text{CF}_2$ tetrafluoretileno	$\left[ \text{CF}_2-\text{CF}_2 \right]_n$ teflon ou politetrafluoretileno	Revestimento de painéis e frigideiras, veda-rosca usado por encanadores
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}$ $\quad  $ $\quad \text{CH}_3$ propileno	$\left[ \text{CH}_2-\text{CH} \right]_n$ $\quad  $ $\quad \text{CH}_3$ polipropileno	Para-choques de automóvel, peças moldadas, tapetes
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}$ $\quad  $ $\quad \text{C}_6\text{H}_5$ estireno	$\left[ \text{CH}_2-\text{CH} \right]_n$ $\quad  $ $\quad \text{C}_6\text{H}_5$ poliestireno	Boias, isolantes térmicos
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}$ $\quad  $ $\quad \text{Cl}$ cloreto de vinila	$\left[ \text{CH}_2-\text{CH} \right]_n$ $\quad  $ $\quad \text{Cl}$ PVC poli(cloreto de vinila)	Tubos para encanamento, isolantes elétricos, pisos plásticos, garrafas plásticas e filmes (finas películas) para embalar alimentos
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}$ $\quad  $ $\quad \text{CN}$ acrilonitrila	$\left[ \text{CH}_2-\text{CH} \right]_n$ $\quad  $ $\quad \text{CN}$ orlom ou poli(acrilonitrila)	Fibras têxteis para cobertores, mantas, tapetes, carpetes e bichos de pelúcia
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}$ $\quad  $ $\quad \text{O}$ $\quad  $ $\quad \text{C}=\text{O}$ $\quad  $ $\quad \text{CH}_3$ acetato de vinila	$\left[ \text{CH}_2-\text{CH} \right]_n$ $\quad  $ $\quad \text{O}$ $\quad  $ $\quad \text{C}=\text{O}$ $\quad  $ $\quad \text{CH}_3$ PVA ou poli(acetato de vinila)	Tintas, gomas de mascar, adesivos
$\text{H}_2\text{C}=\text{C}$ $\quad  $ $\quad \text{CH}_3$ $\quad  $ $\quad \text{C}=\text{O}$ $\quad  $ $\quad \text{O}-\text{CH}_3$ metacrilato de metila	$\left[ \text{CH}_2-\text{C} \right]_n$ $\quad  $ $\quad \text{CH}_3$ $\quad  $ $\quad \text{C}=\text{O}$ $\quad  $ $\quad \text{O}-\text{CH}_3$ plexiglass	Artigos moldados, janelas transparentes, globos para lâmpadas



▲ Veda-rosca de teflon.

EDUARDO SANTALIAESTRA/ICID



▲ Tubos e conexões de PVC.

LUCIANA CAVALCANTI/FOLHA IMAGEM



▲ Bicho de pelúcia com revestimento de poli(acrilonitrila).

HUBER-STARKER/MASTERFILE/OTHER IMAGES



▲ Goma de mascar de PVA.

MICHAEL A. KELLER/MASTERFILE/OTHER IMAGES

TABELA 2 Alguns polímeros de adição notáveis por sua elasticidade (elastômeros)

Monômero	Polímero	Comentários
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}=\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2 \\   \\ \text{CH}_3 \\ \text{isopreno} \end{array}$	$\left[ \text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}=\text{CH}-\text{CH}_2 \right]_n$ <p>poli-isopreno</p>	Borracha natural ou cautchu
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$ <p>buta-1,3-dieno</p>	$\left[ \text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2 \right]_n$ <p>polibutadieno</p>	Com algumas modificações (veja o item copolímeros), constitui a mais importante borracha sintética
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}=\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2 \\   \\ \text{Cl} \\ \text{cloropreno} \end{array}$	$\left[ \text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{C}}=\text{CH}-\text{CH}_2 \right]_n$ <p>neopreno</p>	Mais resistente ao calor e aos solventes do que a borracha natural, porém mais caro



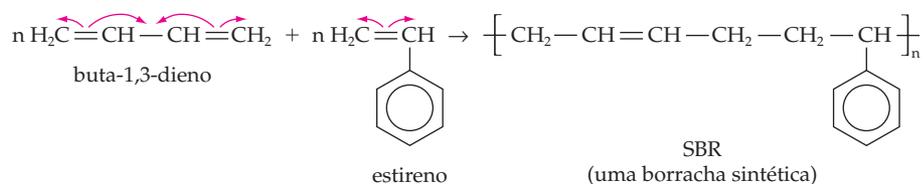
CORDELIA MOLLOY/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

▲ Chupeta de polibutadieno.

### 1.3 Copolímeros

Quando o polímero é fabricado a partir de um único tipo de monômero, ele recebe o nome de **polímero normal**. Se mais de um tipo de monômero for usado, será chamado de **copolímero**.

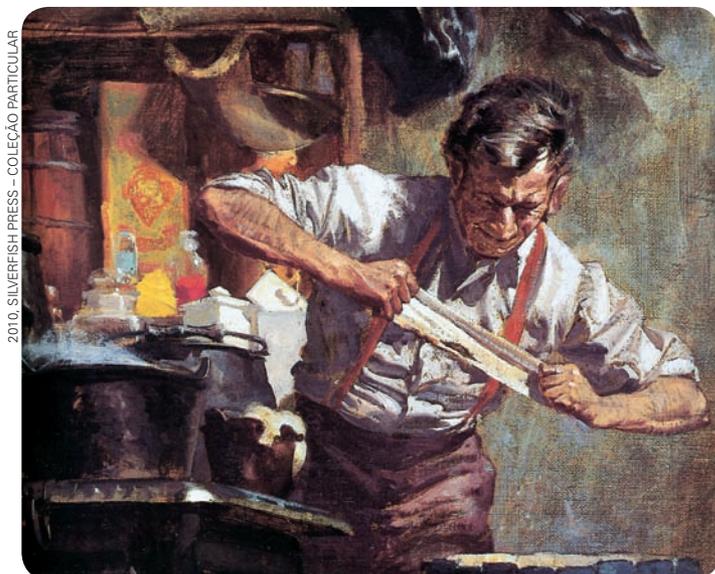
Um importante exemplo de copolímero é o fabricado a partir dos monômeros buta-1,3-dieno e estireno, que constitui a mais importante das chamadas borrachas sintéticas.



Essa borracha, após receber um tratamento especial (a vulcanização), pode ser usada para a fabricação de pneus. É conhecida industrialmente por vários nomes: SBR (*Styrene Butadiene Rubber*), GBR (*Government Butadiene Rubber*), Buna-S (*Butadiene, Styrene*).

### 1.4 Vulcanização

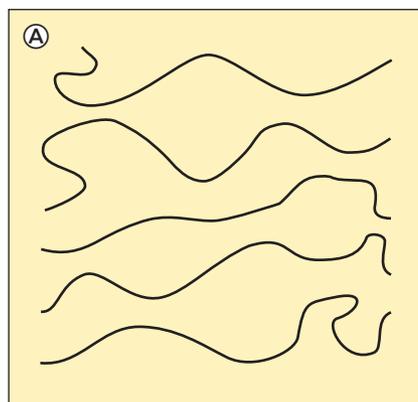
A invenção do processo de **vulcanização** por Charles Goodyear, em 1839, permitiu que a borracha natural passasse a ser utilizada industrialmente, pois aumenta a sua resistência.



2010. SILVERFISH PRESS - COLEÇÃO PARTICULAR

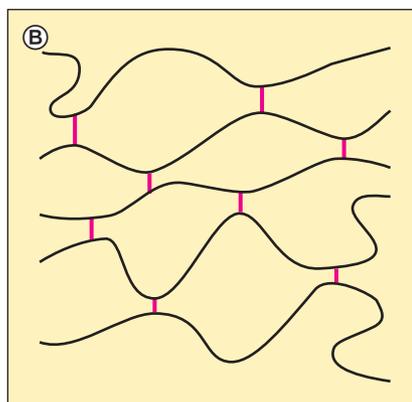
◀ Concepção artística da invenção do processo de vulcanização por Charles Goodyear. Tela de Stanley Meltzoff, de 1963.

A **vulcanização da borracha** consiste em aquecer a borracha (natural ou sintética) com cerca de 3% de enxofre na presença de um catalisador apropriado. Isso faz com que algumas ligações duplas se abram e reajam com o enxofre, formando “pontes”, constituídas por um ou mais átomos de enxofre, que unem as várias cadeias do polímero. Uma borracha não vulcanizada é mole e se rompe facilmente quando esticada. Já a borracha vulcanizada torna-se bem mais resistente e volta ao normal quando cessa a força que a estica. Isso ocorre, por exemplo, com os elásticos de amarrar cédulas de dinheiro.



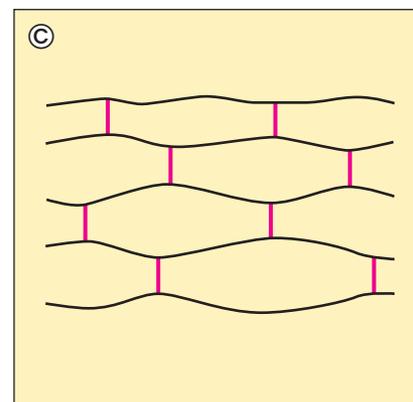
**Borracha não vulcanizada**

▲ A borracha não vulcanizada apresenta moléculas (representadas aqui pelos fios pretos) que podem deslizar e se separar quando ela é esticada.



**Borracha vulcanizada (não esticada)**

▲ O processo de vulcanização cria pontes (representadas em magenta), formadas por átomos de enxofre, que unem as moléculas da borracha.



**Borracha vulcanizada (esticada)**

▲ Quando a borracha é esticada, são as pontes de enxofre que dificultam a ruptura do material. (Representações esquemáticas em cores e formas fantasiosas.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

## Exercícios essenciais

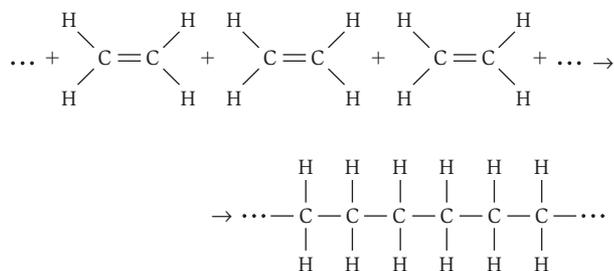
Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

### Enunciado comum às questões 1 e 2.

(UFT-TO) O etileno ( $C_2H_4$ ) é usado na fabricação do polietileno.

Assim sendo, a reação de polimerização pode ser representada por

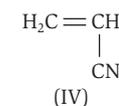
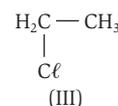
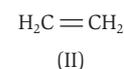
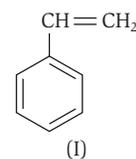


Com base nessas informações, julgue em verdadeiras ou falsas as afirmações dos exercícios 1 e 2.

1. O polietileno é um alqueno.
2. Na molécula do etileno, todos os átomos estão no mesmo plano.
3. (UFSCar-SP) Um dos métodos de produção de polímeros orgânicos envolve a reação geral:



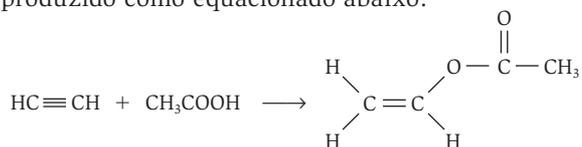
onde X pode ser H, grupos orgânicos alifáticos e aromáticos ou halogênios. Dos compostos orgânicos cujas fórmulas são fornecidas a seguir:



podem sofrer polimerização pelo processo descrito:

- a) I, apenas.
- b) III, apenas.
- c) I e II, apenas.
- d) I, II e IV, apenas.
- e) II, III e IV, apenas.

4. (Unirio-RJ-modificado) O acetato de vinila pode ser produzido como equacionado abaixo:



Da mesma forma, o ácido clorídrico pode ser adicionado ao acetileno, produzindo um composto que pode ser polimerizado posteriormente.

Escreva a equação da reação entre o acetileno e o ácido clorídrico, indicando o nome do produto (polimerizável) formado e sua fórmula estrutural.

5. (Uneb-BA) Como forma lucrativa de reciclar milhões de pneus, descartados a cada ano no país, foi criada por pesquisadores da Unicamp uma máquina capaz de transformar pneus velhos em óleo combustível e em matéria-prima para a fabricação de PVC.

PVC, um polímero de grande utilidade, é:

01. representado pela fórmula  $\left[ \begin{array}{c} \text{C} - \text{C} \\ | \quad | \\ \text{F}_2 \quad \text{F}_2 \end{array} \right]_n$

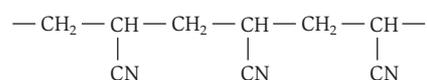
02. conhecido como polietileno.

03. resultante do craqueamento do petróleo.

04. derivado do cloreto de vinila.

05. considerado polímero de condensação.

6. (Ceeteps-SP) A estrutura de polímero “orlon”, utilizado em materiais têxteis, pode ser representada da seguinte forma:



A partir dessa estrutura, e sabendo-se que o “orlon” é um polímero obtido por adição, pode-se concluir que o monômero que forma tal polímero é:

- a)  $\text{CH}_3\text{---CH}_2\text{---CN}$   
b)  $\text{CN---CH=CH---CN}$   
c)  $\text{CH}_3\text{---CN---CH}_3$   
d)  $\text{CH}_2\text{---CH=CN}$   
e)  $\text{CH}_2\text{=CH---CN}$

## Exercícios adicionais

Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

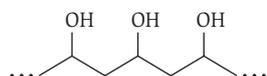
7. (UnB-DF) Julgue se a seguinte afirmação é certa ou errada:

As moléculas de polipropileno apresentam grupos metil em sua estrutura.

8. (ITA-SP) São realizadas reações químicas do acetileno com ácido clorídrico, ácido cianídrico, ácido acético e cloro, nas proporções estequiométricas de 1 : 1.

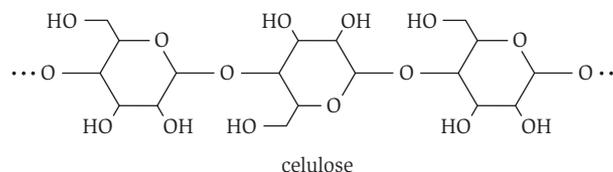
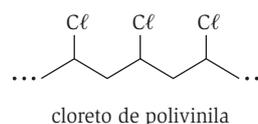
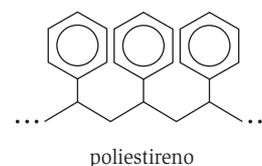
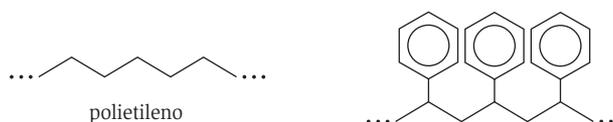
- a) Mostre as equações químicas que representam cada uma das reações químicas especificadas.  
b) Indique quais dos produtos formados podem ser utilizados como monômeros na síntese de polímeros.  
c) Dê os nomes dos polímeros que podem ser formados a partir dos monômeros indicados no item b.

9. (UFMG) Um adesivo tem como base um polímero do tipo álcool polivinílico, que pode ser representado por esta estrutura:



A ação adesiva desse polímero envolve, principalmente, a formação de ligações de hidrogênio entre o adesivo e a superfície do material a que é aplicado.

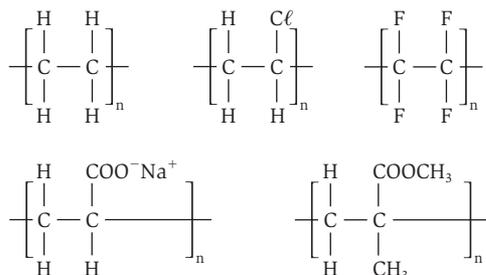
Considere a estrutura destes quatro materiais:



Com base nessas informações, é CORRETO afirmar que o adesivo descrito deve funcionar melhor para colar:

- a) celulose.  
b) cloreto de polivinila.  
c) polietileno.  
d) poliestireno.

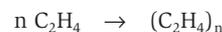
10. (Fuvest-SP) Constituindo fraldas descartáveis, há um polímero capaz de absorver grande quantidade de água por um fenômeno de osmose, em que a membrana semipermeável é o próprio polímero. Dentre as estruturas



aquela que corresponde ao polímero adequado para essa finalidade é a do

- a) polietileno.  
 b) poli(acrilato de sódio).  
 c) poli(metacrilato de metila).  
 d) poli(cloreto de vinila).  
 e) politetrafluoroetileno.

11. (UFRJ) A reação para obtenção de polietileno a partir da polimerização de eteno é representada a seguir.



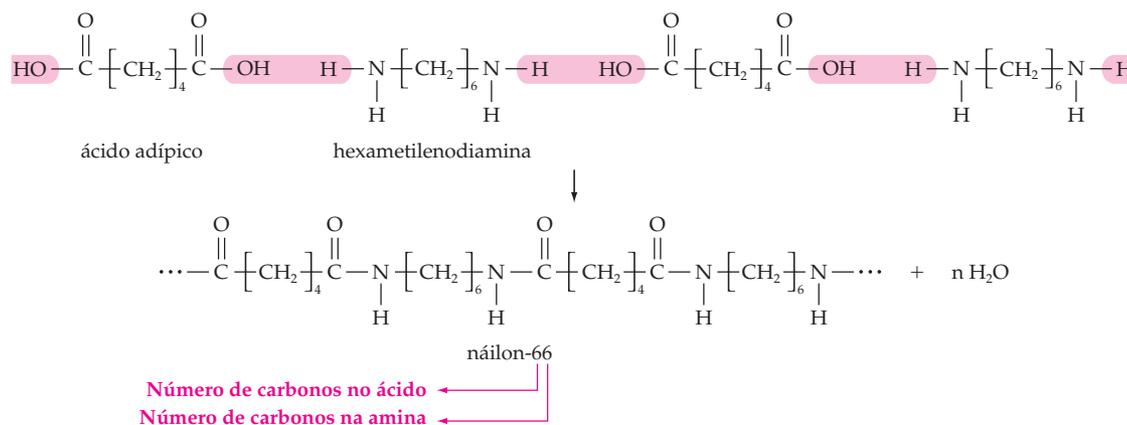
Considere que, no polímero utilizado para a confecção desses balões, o número de unidades monoméricas repetidas seja igual a 2.000 ( $n = 2.000$ ). Sabendo que 14 g de polietileno são usados para confeccionar um balão de pequeno porte, determine o número de mols de eteno necessários para obter essa quantidade de polímero e o número de mols de polietileno utilizados na confecção do balão.

## 2 Polímeros de condensação

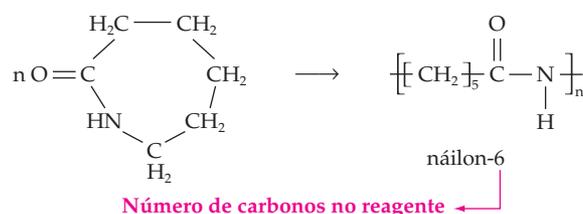
Os **polímeros sintéticos de condensação** são materiais obtidos por meio de reações nas quais há a eliminação de pequenas moléculas, geralmente de água, chamadas **reações de condensação**. (Estudaremos também alguns **polímeros naturais** no capítulo 10.)

### 2.1 Poliamida: de roupas a linhas de pesca

O náilon é uma **poliamida** (polímero pertencente à classe funcional amida), obtido por meio da condensação do ácido adípico com a hexametilenodiamina. A reação pode ser assim equacionada:



As poliamidas têm em geral alta resistência e são facilmente moldáveis. Têm larga aplicação, por exemplo, na confecção de fibras têxteis, engrenagens, pulseiras de relógio, garrafas e linhas de pesca. O náilon-66 é um dos membros da família das poliamidas. Outro exemplo é o náilon-6.



▲ Cadeiras de praia podem ser fabricadas com náilon. Recife, PE, 2006.

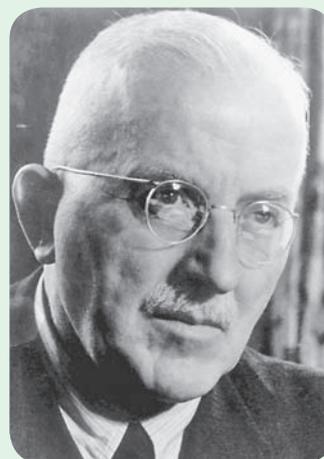
## “COMO O FIO DA ARANHA

Tecidos feitos com fibras sintéticas hoje são coisa comum e corriqueira. Mas faz pouco tempo que é assim. A primeira dessas fibras, o náilon, foi descoberta [...] em 1935 — e teve sucesso imediato. Um dos objetivos de seus descobridores era encontrar um substituto para a seda natural. Conseguiram mais do que isso. O náilon não só é mais leve e mais barato, como pode ser lavado com facilidade, seca rapidamente, resiste a fungos e a umidade e, especialmente, produz tecidos práticos e bonitos. Não que esse resultado fosse alcançado facilmente. Uma equipe de pesquisadores [...] chefiada pelo químico Wallace Carothers, penou oito anos para chegar ao objetivo. Na verdade, o princípio básico estava pronto desde 1920, quando o químico alemão Hermann Staudinger descobriu o processo de polimerização. Ele permite que moléculas simples, os monômeros, se combinem em longas cadeias, os polímeros, extremamente fáceis de ser trabalhadas. Esse foi o primeiro passo para a criação dos plásticos. O problema era chegar a um método de fabricação prático e barato.

Foi o que Carothers obteve — inspirado, de acordo com uma história nunca confirmada, nos fios de uma teia de aranha vista num jardim. Ele escolheu como ponto de partida dois monômeros derivados do benzeno, o ácido adípico e o hexametilenodiamina. Dissolveu o ácido numa mistura da diamina com metanol e submeteu o conjunto a uma condensação controlada. Estava pronto o primeiro polímero de cadeia longa a ser produzido industrialmente. Meias femininas de náilon tornaram-se, rapidamente, sinônimo de elegância, beleza e sensualidade. Logo, porém, chegou a Segunda Guerra Mundial e, com ela, a requisição de toda a produção de náilon para fins militares, como a fabricação de paraquedas e tendas de campanha. A demanda ficou absolutamente reprimida. Quando, numa pesquisa, perguntaram a 60 mulheres americanas do que mais sentiam falta por causa da guerra, 40 responderam: do náilon. As outras 20 citaram maridos ou namorados.

Assim, quando as meias de náilon voltaram ao mercado, em 1946, foram recebidas por longas filas nas portas das lojas — e, às vezes, por disputas a tapas. Hoje, raramente o náilon é usado em roupas, exceto em meias femininas. Foi substituído por fibras mais modernas, como o poliéster, e por tecidos mistos de sintéticos e fios naturais, como o algodão. Mas continua a ser fabricado, especialmente para uso em paraquedas, artigos de pesca, reforço de pneus e tapetes. Perdeu-se, porém, a explicação da origem de seu nome. Uma teoria é a de que une as siglas de Nova York (Ny, pronuncia-se Náí) e Londres (Lon). Bem aplicado a um produto que, há décadas, corre o mundo.”

Fonte do texto: *Globo Ciência*. Rio de Janeiro: Editora Globo. n. 44, 1995. p. 82.



AKGLATINSTOCK – UNIVERSITY OF FREIBURG, ALEMANHA

▲ O alemão Hermann Staudinger (1881-1965), pioneiro na química dos polímeros, recebeu o prêmio Nobel em 1953. Foto de 1953.

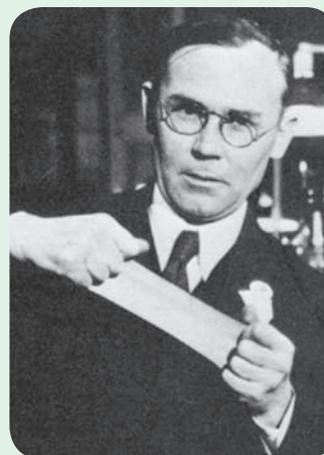


PHOTO RESEARCHERS/LATINSTOCK – HAGLEY MUSEUM AND LIBRARY, DELAWARE, EUA

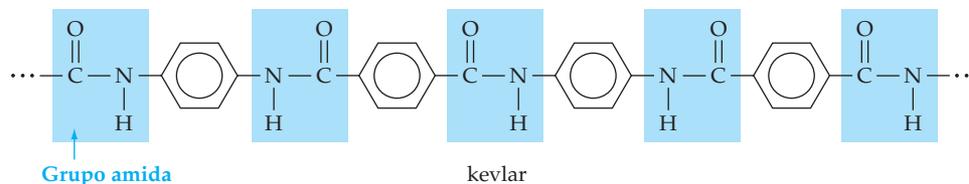
▲ O pesquisador estadunidense Wallace Hume Carothers (1896-1937) foi chefe da equipe de pesquisas que inventou o polímero sintético náilon. Foto de 1930.



HULTON-DEUTSCH COLLECTION/ CORBIS/LATINSTOCK

◀ Fila de pessoas aguardando para comprar meias de náilon, em Londres, 1946.

## 2.2 Aramida: de esquis a coletes à prova de bala



No kevlar há a presença do grupo funcional amida, que se repete várias vezes (poliamida). Trata-se de uma **aramida**, isto é, uma poliamida aromática.

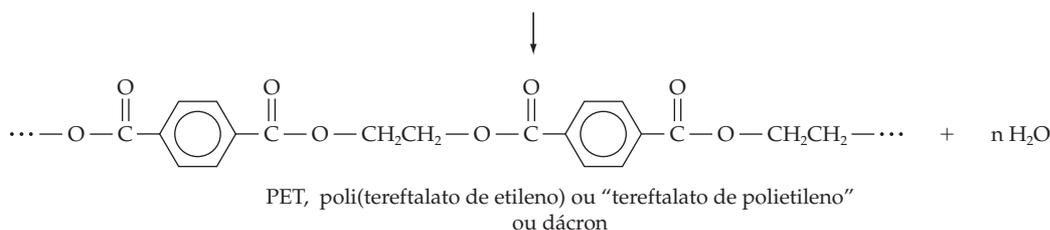
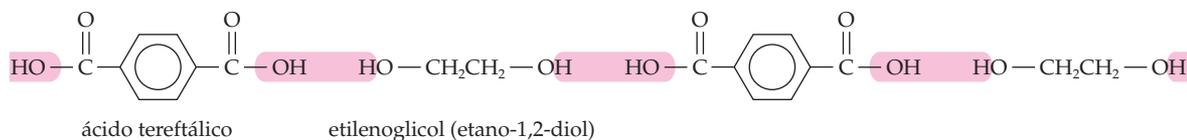
Cada uma das cadeias do kevlar possui massa molecular ao redor de  $10^5$  u. Tais cadeias interagem umas com as outras de um modo muito intenso, o que é feito por interações tipo ligação de hidrogênio e dipolo instantâneo-dipolo induzido. Essa intensa atração entre as cadeias confere ao polímero propriedades excepcionais de resistência, que têm permitido utilizar cordas de aramida em substituição a cabos de aço, em muitas aplicações.

As aramidas também são empregadas na confecção de esquis profissionais, coletes à prova de bala, roupas e luvas protetoras contra calor e chamas, utilizadas por bombeiros.



Uma importante aplicação do kevlar é em coletes à prova de balas.

## 2.3 Poliéster: de varas de pescar a guarda-chuvas



**Poliésteres**, como o nome diz, são polímeros pertencentes à função éster. O exemplo que aparece acima é conhecido como PET ou dácron. É normalmente resistente à corrosão por ácidos e bases, o que o torna útil para a fabricação de varas de pescar, engrenagens de bombas, fibras têxteis para capas de chuva e guarda-chuvas. O tergal é um tecido fabricado da mistura desse polímero com algodão. A "microfibra" é uma fibra têxtil de poliéster.

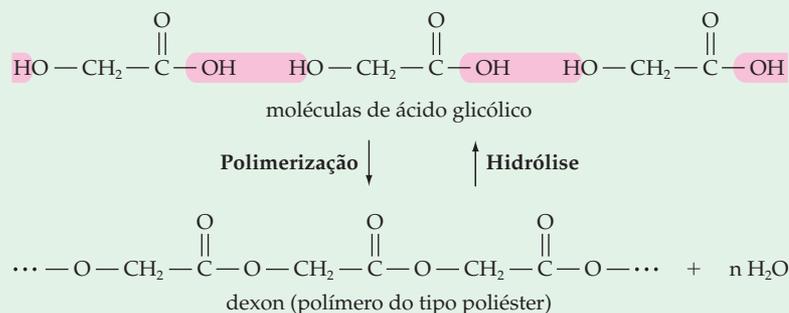
Muitas garrafas descartáveis de água e de refrigerante são feitas de PET.



## SUTURANDO COM FIOS ABSORVÍVEIS

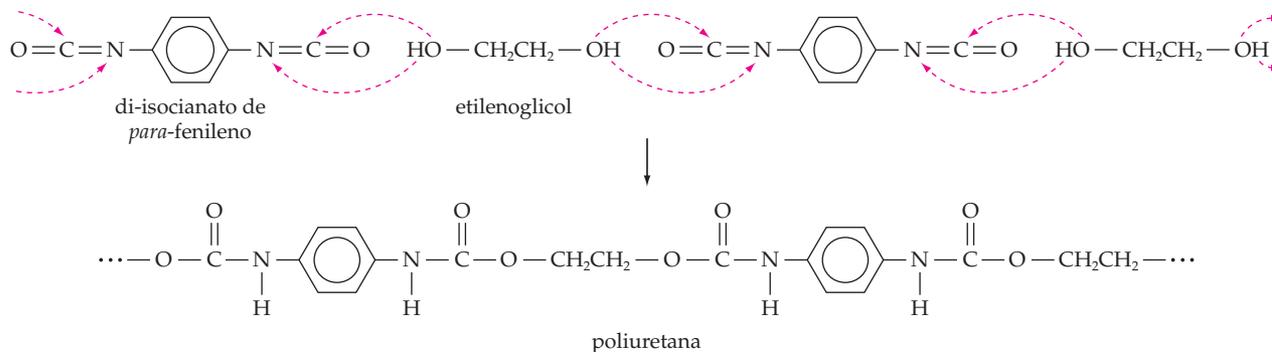
Ao término de uma incisão cirúrgica, o cirurgião une os tecidos lesados utilizando agulhas e fios para “dar pontos”. No caso de pontos dados em regiões internas, é bastante conveniente a utilização de fios absorvíveis, ou seja, fios que são “destruídos” pelo organismo depois de algum tempo, evitando uma nova incisão para sua retirada.

O dextran é um polímero sintético do ácido glicólico, que, ao longo de alguns dias ou semanas, é hidrolisado pelo organismo, fornecendo moléculas de ácido glicólico, que são metabolizadas. Costuma-se dizer que os pontos foram “absorvidos”.



◀ O náilon é um dos materiais usados em fios para suturas cirúrgicas. O dextran é usado para o mesmo propósito só que, ao contrário do náilon, é absorvível pelo organismo.

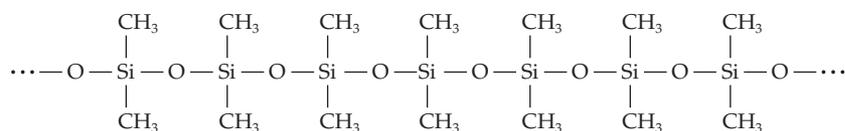
## 2.4 Poliuretana: de colchões a isolantes térmicos



A poliuretana pode ser fabricada em condições tais que, além da reação de polimerização, ocorre também outra reação que libera gás no meio reacional. Isso faz a poliuretana crescer e ficar cheia de bolhas em seu interior, produzindo o conhecido aspecto das espumas usadas em colchões e travesseiros. Esse material sintético também é usado para fabricar isolantes térmicos e acústicos. (Apesar de não haver eliminação de moléculas na polimerização que forma a poliuretana, ela geralmente é classificada como polímero de condensação.)

## 2.5 Silicone: de ceras para automóvel a bicos de mamadeira

**Silicones** (ou siliconas) são polímeros contendo longas cadeias de silício e oxigênio intercalados. Grupos orgânicos estão presentes, unidos aos átomos de silício dessa cadeia, como podemos perceber no seguinte exemplo:



exemplo de silicone

Silicones com moléculas relativamente pequenas apresentam o aspecto de óleos e são empregados na impermeabilização de superfícies. É o caso das ceras para polimento de automóvel e dos líquidos embelezadores de painéis plásticos e para-choques.

À medida que as cadeias se tornam maiores, o silicone passa a adquirir uma consistência de borracha. As borrachas usadas para vedação de janelas e boxes de banheiro são fabricadas com esse tipo de polímero.

Quando as cadeias são muito longas, passamos a ter um material de alta resistência térmica, utilizado na confecção de chupetas e bicos para mamadeira. Tais objetos podem ser esterilizados por aquecimento, sem que sofram danos na sua estrutura.

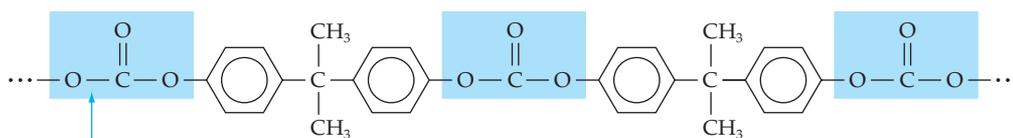


LAWRENCE LAWRY/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

▲ Mamadeiras de poliestireno com bicos de silicone.

## 2.6 Policarbonato: de garrafões a blindagens

Um exemplo de **policarbonato** tem a seguinte estrutura:



Grupo carbonato

exemplo de policarbonato

Os policarbonatos são extremamente resistentes ao impacto, sendo aplicados em situações em que essa propriedade se faça necessária.

Essa espantosa resistência, aliada ao seu aspecto transparente semelhante ao vidro, torna-o de grande utilidade para a fabricação de janelas de avião e do chamado “vidro à prova de balas”. É também usado para confeccionar os visores dos capacetes para astronautas.



NASA

(A)



NATALIE PECHT/ALAMY/OTHER IMAGES

(B)



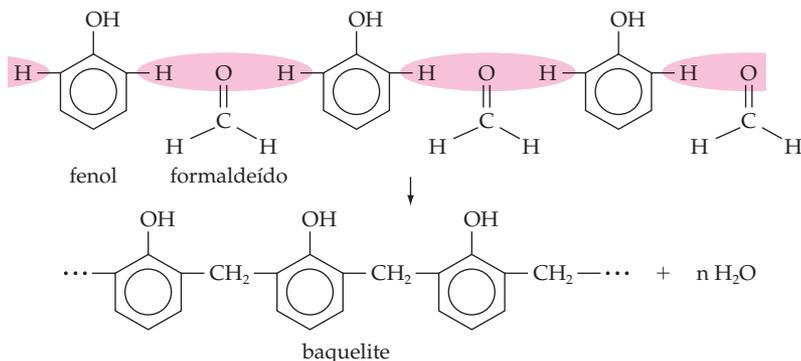
BRIAN HAGIWARA/FOODPIX/GETTY IMAGES

(C)

◀ O policarbonato é empregado, por exemplo, no visor do capacete de astronautas (A) (Bruce McCandless, ônibus espacial *Challenger*, EUA, 1984), na janela de aviões (B) e nos garrafões de água colocados em bebedouros (C).

## 2.7 Polifenol: de tomadas a cabos de panela

A baquelite é um **polifenol**, proveniente da reação entre o fenol comum e o formaldeído. A equação da reação é:



Polímeros desse tipo são resistentes ao impacto e estáveis com relação ao aquecimento. São usados em materiais elétricos (tomadas e interruptores), cabos de panela, revestimento de freios e na forma de chapas decoradas para revestir móveis. Usualmente são produzidos de forma que apresentem uma complexa estrutura em que várias das cadeias se encontram unidas.



FERNANDO MORAES/  
FOLHA IMAGEM

▲ Polifenóis podem ser usados, por exemplo, para fabricar a carcaça de furadeiras elétricas.

## 3 O uso da palavra plástico

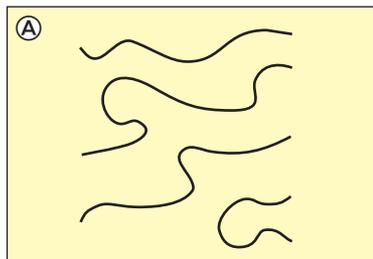
A palavra **plástico** tem o significado de “que pode ser moldado”. É um termo normalmente utilizado para se referir aos polímeros artificiais.

Contudo, no que diz respeito à plasticidade, os químicos dividem os polímeros em dois grupos:

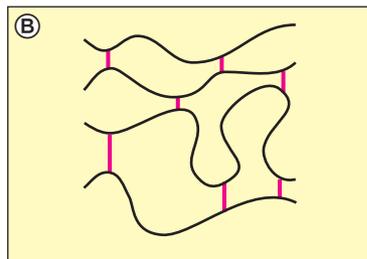
- **Polímeros termoplásticos** — quando aquecidos, amolecem e permitem que sejam moldados, adquirindo o formato desejado. É o caso de polietileno, PVC, PVA, plexiglass e polipropileno (esquema A).
- **Polímeros termofixos** — ao serem aquecidos, não amolecem e, caso o aquecimento continue, começam a se decompor. É o caso da borracha dura e da baquelite (esquema B). Eles devem ser moldados na forma desejada no momento em que são sintetizados, pois, depois disso, a moldagem se torna impossível.

Entende-se por **reciclagem** de um plástico o seu reaproveitamento após ter sido descartado como “lixo”. Isso é feito mediante o seu derretimento e remodelagem ou sua decomposição no(s) monômero(s) correspondente(s). O fato de um plástico ser termofixo dificulta bastante sua reciclagem. Outro problema na reciclagem refere-se à incompatibilidade entre tipos de polímeros que não podem ser derretidos conjuntamente. Quando derretidos conjuntamente, obtém-se um material de aplicações limitadas devido às suas más qualidades. (Veja os códigos que facilitam a reciclagem no esquema C.)

Códigos stampados nos plásticos, a fim de orientar para a reciclagem.



▲ Polímeros **termoplásticos** apresentam cadeias independentes.



▲ Polímeros **termofixos** apresentam cadeias com ligações entre si. Essas ligações estão representadas em magenta.

(Representações esquemáticas, em formas e cores fantasiosas.)

C	
	Poliéster (PET)
	Polietileno rígido (PEAD)
	Poli(cloreto de vinila) (PVC)
	Polietileno flexível (PEBD)
	Polipropileno (PP)
	Poliestireno (PS)
	Demais plásticos

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

## O QUE OS ECOLOGISTAS VEEM DE ERRADO NA ÁGUA ENGARRAFADA

“Uma pessoa que bebe em média **2 litros** de água mineral por dia ao final de um ano terá consumido **1.460 garrafas de meio litro**.”

A fabricação dessas garrafas provoca os seguintes danos ao meio ambiente:

- Despeja na atmosfera **200 gramas** de partículas poluentes. Parece pouco, mas é o que um caminhão emite após rodar 2.000 quilômetros.
- Emite **4,6 quilogramas** de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e outros gases que provocam o aquecimento global. Uma árvore demora três meses para absorver essa quantidade de CO<sub>2</sub>.
- Consome **505 quilowatts-hora** de energia, o suficiente para deixar **seis lâmpadas de 100 watts** acesas ininterruptamente por trinta dias.
- Se as **1.460 garrafas** de meio litro consumidas por uma pessoa num ano fossem empilhadas, atingiriam **300 metros**, a altura da Torre Eiffel.
- Cada garrafa leva pelo menos **100 anos** para se decompor.

No Brasil, menos da metade de todas as garrafas PET é reciclada.”



JACQUES ALEXANDRE/IMAGE PLUS

### Os campeões do consumo\* (em litros, por ano)



\* Dados de 2006

ADILSON SECCO



JENS MEYER/IMAGE PLUS

▲ Linha de produção de garrafas PET em Schmalkalden, Alemanha, 2006.

Barragem de separação ► de detritos sólidos dos rios Tietê e Pinheiros, São Paulo, SP, 2001.

**Fontes:** CORRÊA, R.; VIEIRA, V. *A guerra contra a água mineral*. Veja. 28 nov. 2007. p. 104-106 e ROXO, E. *Sem reciclagem, Brasil descarta 47 bi de garrafas PET na natureza*. O Estado de S. Paulo. 8 out. 2007. p. A12.



PAULO MANZI

**9 bilhões** de garrafas PET são produzidas por ano no Brasil. **53%** não são reciclados, ou seja, **4,7 bilhões** de garrafas por ano vão parar em lixões, aterros sanitários ou ficam espalhadas no meio ambiente.

J. J. LEISTER/AGÊNCIA ESTADO

## O IMPACTO AMBIENTAL CAUSADO PELOS PLÁSTICOS

Restos de comida, com o passar dos dias, mudam de aspecto e passam a exalar mau cheiro. Os responsáveis por isso são microrganismos que provocam a decomposição dos alimentos. Dizemos que os alimentos são **biodegradáveis**, ou seja, podem ser decompostos por microrganismos.

Os plásticos, ao contrário, em geral **não são biodegradáveis**.

Será preciso tanta durabilidade? Pense em um copinho descartável de café. Seu uso dura cerca de um minuto. Depois disso ele é jogado fora e vai permanecer muito tempo assim, ocupando espaço no lixo.

Se um anel de plástico jogado ao mar enroscar em um leão-marinho, uma foca, um peixe ou uma ave, eles terão dificuldade para retirá-los. Uma foca cujo focinho esteja preso por um rótulo plástico de refrigerante pode, por exemplo, morrer por falta de ar. Uma ave com o bico preso não pode comer e, certamente, também morrerá. Esse é um dos muitos problemas relacionados aos plásticos e ao fato de as pessoas jogarem lixo nas praias e em outros ambientes naturais.

Atualmente, a grande crítica que se faz aos plásticos é: eles não são biodegradáveis!

Existe a preocupação de pesquisar plásticos biodegradáveis e alguns resultados promissores têm sido obtidos.

Degradabilidade dos materiais	
Papel	3 a 6 meses
Pano	6 meses a 1 ano
Filtro de cigarro	5 anos
Goma de mascar	5 anos
Latas de aço	5 a 10 anos
Madeira pintada	13 anos
Náilon	mais de 30 anos
Plástico	centenas de anos
Alumínio	centenas de anos
Vidro	mais de mil anos
Borracha	indeterminado

Fonte da tabela: MENDONÇA, R. (Ed.) *Como cuidar do seu meio ambiente*. São Paulo: Bei Comunicação, 2002. p. 220.

## SACOLA PLÁSTICA USADA PELO COMÉRCIO GERA PROBLEMA AMBIENTAL NO ESTADO

“Hoje [8 dez. 2007], a Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SMA) promove na capital e no interior do estado [de São Paulo] mutirão de conscientização sobre o problema causado pelo uso de sacolas plásticas. Essa opção de embalagem é comum no comércio e supermercados, porém aumenta o volume do lixo coletado nas cidades e diminui a vida útil dos aterros sanitários.

A SMA estima em 66 milhões o número de sacolas usadas a cada ano no estado. Traz como resultado a necessidade permanente de os 645 municípios paulistas ampliarem os aterros e deixarem de investir em educação e saúde. Das 12 mil toneladas de lixo geradas diariamente na capital, mil são de plásticos.

Esse produto aumenta em até 20% o volume do lixo, embora sua massa corresponda a apenas 4% dos resíduos. Outros inconvenientes são o fato de a sacola ser impermeável e demorar até 300 anos para se decompor – e emitir gases ao longo desse processo.

Descartado no ambiente, por ser maleável e leve, o saco plástico contribui também para entupir bueiros e facilitar enchentes nas cidades. Nas áreas verdes, rios e mares é comum encontrar animais mortos por asfixia e ingestão das embalagens.

[...]”

Fonte: Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 8 dez. 2007. Disponível em: <<http://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/lenoticia.php?id=90040&C=6>> Acesso em: 19 abr. 2010.

## ELITE BRASILEIRA É ECOLOGICAMENTE INVIÁVEL

*“Impacto de classes A e B sobre o ambiente no país é comparável ao dos EUA, mostra estudo de ONG*

No Dia Mundial do Meio Ambiente, a organização não governamental WWF-Brasil divulgou pesquisa em que alerta: se toda a população mundial adotasse padrão de consumo semelhante ao das classes A e B brasileiras, seriam necessários três planetas para suprir todos os recursos utilizados.

De acordo com a pesquisa, a elite brasileira tem hábitos insustentáveis ambientalmente e exercem uma má influência ao servir como modelo de aspiração de consumo para as classes emergentes. ‘Afinal, todos querem ter e consumir como as classes A e B’, afirma Irineu Tamaio, coordenador do programa Educação para Sociedades Sustentáveis do WWF.

[...]

Se toda a população mundial consumisse como a média dos cidadãos dos Estados Unidos, país que mais consome e que ocupa o topo da lista de nações insustentáveis do ponto de vista do consumo, seriam necessários cinco planetas. [...]

**Fonte:** FERRAZ, L. *Folha de S.Paulo*, 6 jun. 2008. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/ambiente/ult10007u409480.shtml>>. Acesso em: 20 abr. 2010.

## 4 Fibras têxteis

Quando um material pode ser transformado em fios e, com eles, podem-se obter tecidos, então tal material é denominado **fibra têxtil**.

Alguns exemplos de fibras têxteis naturais são:

- **Lã** — proveniente da tosa (ou tosquia) de alguns animais, entre os quais se destaca a ovelha. A lã nada mais é do que o pelo desses animais. É um material formado por proteínas (estudadas no capítulo 10).
- **Seda** — consiste em um material de natureza proteica, produzido pelo bicho-da-seda ao elaborar seus casulos.
- **Algodão** — fibras do polissacarídeo celulose (estudado no capítulo 10) existentes ao redor da semente da planta algodão, que são facilmente transformadas em fios e, posteriormente, em tecidos.

Entre as fibras têxteis artificiais (ou sintéticas), destacam-se:

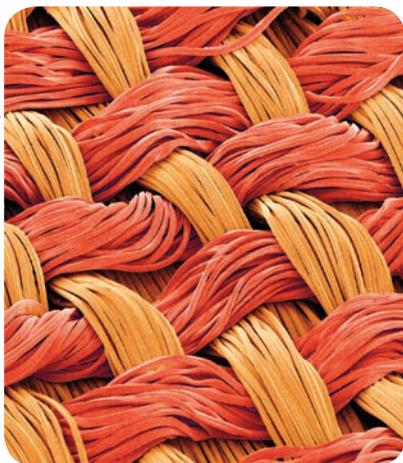
- **Poliéster** — polímero que atualmente corresponde à maior parte do mercado mundial de fibras têxteis artificiais. É conhecido por vários nomes comerciais, entre os quais tergal, dácron e “microfibra”.
- **Poliâmidas** — a primeira e mais famosa das poliamidas é o náilon. Com a chegada do poliéster, as poliamidas perderam um pouco do mercado têxtil, mas ainda são bastante úteis, principalmente em sungas, maiôs, biquínis, colantes e roupas íntimas.
- **Poliuretanas** — seu representante mais famoso é a laicra, muitas vezes misturada ao elastano, uma fibra elástica que contém poliamida.

Para que uma roupa dure mais tempo sem desbotar, furar ou deformar, alguns cuidados são necessários ao lavar, secar e passar. Frequentemente, as etiquetas das roupas contêm instruções do fabricante acerca de tais cuidados.

É muito interessante notar que a temperatura do ferro na hora de passar a roupa depende da(s) fibra(s) têxtil(eis) presente(s). As fibras têxteis sintéticas começam a se derreter, via de regra, a uma temperatura mais baixa do que as naturais. Exigem, portanto, um ferro regulado para

temperaturas mais baixas. Usando o ferro muito quente, elas começam a ficar pegajosas, evidenciando um início de amolecimento por fusão. O algodão, uma fibra natural, suporta temperaturas mais altas. Contudo, se for exageradamente aquecido, passa por um processo de decomposição, ficando inicialmente amarelado e exalando cheiro de queimado. O aquecimento mais prolongado deixa-o preto, comprovando a ocorrência de carbonização (produção de carvão).

SUSUMU NISHINAGA/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK



Tecido de poliéster ► fotografado ao microscópio eletrônico de varredura, sob amplificação estimada de 116 vezes (cores aplicadas por computador).

MOODBOARD/CORBIS/LATINSTOCK



► A temperatura do ferro de passar roupa deve ser regulada conforme a fibra têxtil.

## ENTENDENDO AS ETIQUETAS DAS ROUPAS

### LAVAGEM



- Pode ser lavado na máquina. O número indica a temperatura máxima da água durante a lavagem. Neste exemplo a temperatura máxima indicada é 60 °C.



- Deve ser lavado à mão.



- Deve ser lavado a seco (não usar água).



- Pode ser usado alvejante.



- Não pode ser usado alvejante.

### LAVAGEM A SECO



- Pode ser lavado a seco. Lavagens a seco devem ser feitas por lavanderias especializadas. A letra no interior do círculo pode ser **A**, **F** ou **P** e indica o produto químico que a lavanderia deve usar\*.



- Não lavar a seco.

\* A letra **A** indica que pode ser lavado a seco com os solventes comumente usados para tal fim. **F** sugere solventes fluorados e **P** recomenda lavagem com percloroetileno ( $C_2Cl_4 = CCl_2$ ).

### SECAGEM



- Pode ser seco em secadora.



- Não deve ser seco em secadora.



- Secar verticalmente (varal).



- Secar em cabide.



- Deve ser seco na horizontal, sobre uma superfície plana.

### PASSAR A FERRO



- Passar a baixa temperatura (no máximo 120 °C).



- Passar a temperatura média (no máximo 160 °C)



- Passar a alta temperatura.



- Não passar a ferro.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

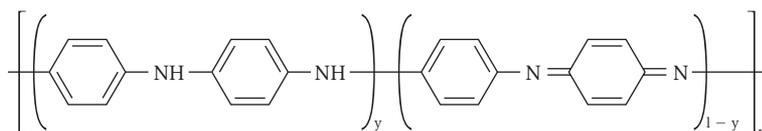
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

## 12. (UnB-DF)

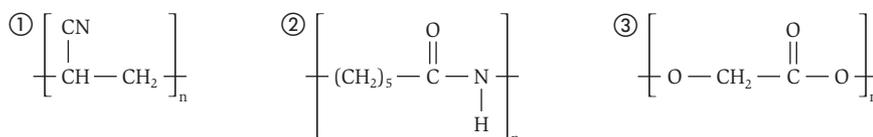


O carbono é usado na síntese de polímeros condutores, muitos dos quais utilizados no desenvolvimento de instrumentação agropecuária. Um dos polímeros condutores sintetizados em laboratório é a polianilina, em cuja estrutura encontram-se, também, hidrogênio e nitrogênio. Além da elevada condutividade elétrica, outra propriedade interessante da polianilina é a capacidade de exibir diferentes colorações quando se variam as condições de pH. A fórmula da polianilina é mostrada acima.

Acerca da polianilina e suas propriedades, julgue os itens em certos ou errados.

1. A fórmula da polianilina indica tratar-se de substância cuja estrutura apresenta anéis benzênicos.
2. Na molécula de polianilina, cada átomo de hidrogênio (H) se une, por meio de ligações covalentes simples, a um átomo de nitrogênio e a um de carbono.

## 13. (UFSM-RS) Analisando as representações de polímeros sintéticos



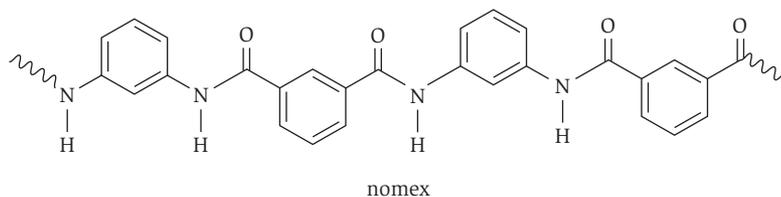
determine a alternativa correta.

- a) ① e ② são poliamidas, polímeros de condensação.
- b) ① e ③ são polivinilas, polímeros de adição.
- c) ② e ③ são poliésteres, polímeros de condensação.
- d) ① é um polivinil, polímero de adição.
- e) ③ é uma poliamida, polímero de condensação.

**COMENTÁRIO DOS AUTORES:**

O termo “polivinil” ou “polímero vinílico” é usado para designar um polímero cujo monômero apresente uma ligação dupla C=C envolvida na polimerização por adição.

14. (UFC-CE) Determinadas substâncias macromoleculares, usadas na fabricação de fibras têxteis, fios, membranas de dessalinizadores de águas etc., são obtidas através de reação de condensação (com eliminação de H<sub>2</sub>O sob aquecimento e pressão) de dois compostos (monômeros). Uma destas macromoléculas, identificada pelo nome de nomex, tem a estrutura mostrada abaixo:



Determine a alternativa que indica corretamente os tipos de compostos necessários para a obtenção do nomex.

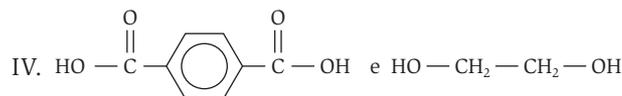
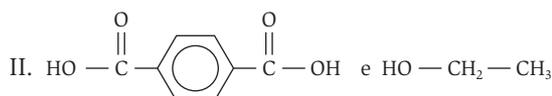
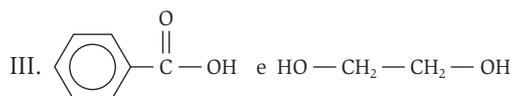
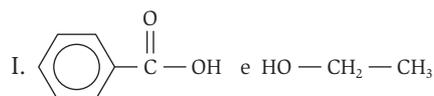
- a) diácido e diálcool.
- b) diéster e diálcool.
- c) di-haleta e diéster.
- d) diácido e diamina.
- e) bisfenol e diamina.

## Exercícios adicionais

Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

15. (Fuvest-SP) Os poliésteres são polímeros fabricados por condensação de dois monômeros diferentes, em sucessivas reações de esterificação. Dentre os pares de monômeros abaixo,

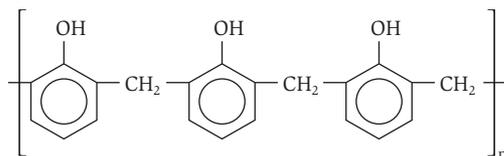


poliésteres podem ser formados:

- a) por todos os pares.      c) apenas pelos pares II e III.      e) apenas pelo par IV.  
b) apenas pelos pares II, III e IV.      d) apenas pelos pares I e IV.
16. (UFMG) A baquelite é utilizada, por exemplo, na fabricação de cabos de panela. Um polímero conhecido como novolac é um precursor da baquelite e pode ser produzido pela reação entre fenol e formaldeído, representados pelas seguintes estruturas.

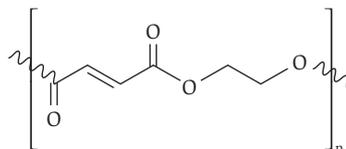


O novolac pode ser representado, simplificada, por esta estrutura:



Com base nessas informações, é INCORRETO afirmar que:

- a) o novolac apresenta carbonos trigonais e tetraédricos.  
b) o novolac é classificado como um poliálcool.  
c) a reação entre fenol e formaldeído produz novolac e água.  
d) a estrutura do polímero apresenta grupos hidroxila e anéis fenila.
17. (IME-RJ) Os náilon são polímeros usualmente empregados na forma de fios, úteis na fabricação de cordas, tecidos, linhas de pesca etc. Um dos mais comuns é o náilon-66, resultante da reação de polimerização entre a hexametilenodiamina (1,6-diamino-*n*-hexano) e o ácido adípico (ácido hexanodioico). Com base nessa informação, determine a fórmula mínima do náilon-66.
18. (UFRJ) Muitas peças de plataformas marítimas para exploração de petróleo são fabricadas com compósitos poliméricos à base de poliésteres insaturados; esses poliésteres são misturados com microesferas ocas de vidro, formando estruturas rígidas, leves e resistentes.
- a) A principal matéria-prima utilizada na fabricação das microesferas ocas de vidro é o  $\text{SiO}_2$ . Dê o nome dessa substância.  
b) A figura a seguir representa um poliéster insaturado.



Escreva a estrutura em bastão dos dois monômeros que reagem entre si para formar essa resina poliéster.

## Informe-se sobre a Química

### “A importância das propriedades físicas dos polímeros na reciclagem

Plásticos são constituídos de grandes moléculas (macromoléculas) chamadas polímeros que, dependendo de sua composição (unidades formadoras ou monômeros), apresentarão propriedades físicas e químicas diferentes. A partir de reações envolvendo substâncias químicas menores (monômeros), sob determinadas condições, são produzidos polímeros, cujas estruturas dependem do método de polimerização empregado. As reações de polimerização mais importantes são: adição e condensação. A polimerização por adição produz uma macromolécula com repetidas unidades monoméricas; por exemplo, monômeros de etileno produzem o polímero polietileno e monômeros de cloreto de vinila produzem o poli(cloreto de vinila) — PVC. Outros exemplos: poliestireno, poli(metacrilato de metila), politetrafluoretileno e poliacrilonitrila. Na polimerização por condensação, dois monômeros com grupos funcionais diferentes combinam-se e formam um dímero, que reage com um dos monômeros, formando o trímero e assim por diante, fazendo a cadeia polimérica crescer. Exemplos: poliésteres, policarbonato, náilon-66 e poliuretanas.

As estruturas químicas e a massa molar do polímero determinam suas propriedades físico-químicas. Propriedades como resistência à chama, cristalinidade, estabilidade térmica, resistência à ação química e propriedades mecânicas determinam a utilidade do polímero.

Os materiais plásticos são cada vez mais utilizados no cotidiano, sendo que, em geral, sua incineração causa danos ao meio ambiente. Os plásticos mais utilizados no mundo são o PVC, o polietileno e o PET.

A reciclagem dos plásticos é viável do ponto de vista econômico e da preservação do meio ambiente. A seguir, são descritos os tipos mais comuns de reciclagem.

#### **Reciclagem primária**

Reaproveitamento de peças defeituosas, aparas, rebarbas das linhas de produção da própria fábrica.

#### **Reciclagem secundária ou mecânica**

Transformação dos resíduos plásticos descartados, em grânulos que podem ser reutilizados na produção de outros materiais, como: pisos, conduítes, sacos de lixo, solados, mangueiras, componentes de carros, fibras etc.

#### **Reciclagem terciária ou química**

Reprocessamento de plásticos descartados, convertendo-os em monômeros e misturas de hidrocarbonetos, que poderão ser reutilizados como produtos químicos em refinarias ou centrais petroquímicas. Este tipo de reciclagem permite também tratar misturas de plásticos, reduzindo custos de pré-tratamento, de coleta e seleção, além de permitir a produção de plásticos novos com a mesma qualidade de um polímero original.

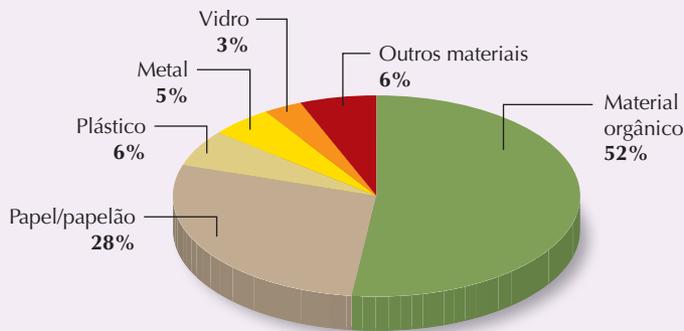
#### **Reciclagem quaternária ou energética**

Recuperação de energia através do tratamento térmico aplicado aos resíduos plásticos. Distingue-se da simples incineração, pois utiliza os resíduos plásticos como combustível na geração de energia elétrica. A energia contida em 1 kg de plásticos é equivalente à contida em 1 kg de óleo combustível. Com a reciclagem de plásticos, pode-se economizar até 88% de energia elétrica, quando comparada com a produção a partir de derivados de petróleo.

A reciclagem pode ser empregada desde que se faça uma coleta seletiva do lixo, separando e identificando os diferentes materiais plásticos descartados. Essa separação torna-se possível empregando-se uma das propriedades físicas do plástico: a

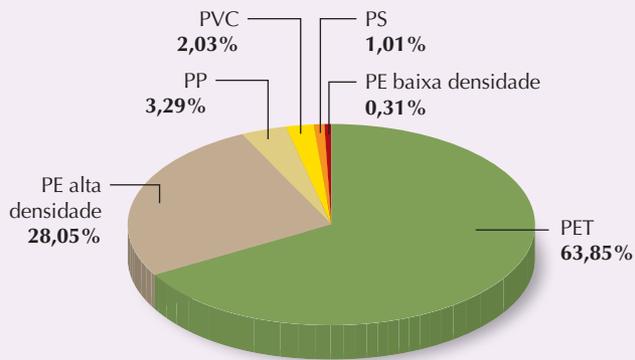
densidade. A diferença de densidade entre os diferentes polímeros é importante na separação mecânica e reciclagem dos plásticos.

No Brasil, a reciclagem tem crescido 15% ao ano. A produção anual brasileira de plásticos é de cerca de 2,2 milhões de toneladas, das quais 40% destinam-se à indústria de embalagens. Os EUA produzem cerca de 50 milhões de toneladas de plásticos por ano, sendo um terço desse material usado na indústria de capas, malas, embalagens, recipientes e bandejas descartáveis. Estima-se que cada brasileiro descarta 10 kg de lixo plástico por ano, cada norte-americano 70 kg e cada europeu 38 kg. Um dos problemas do lixo plástico é a grande variedade de tipos de plásticos. A composição do lixo plástico, nos lixões municipais, varia conforme a região, mas pode-se considerar a distribuição percentual média, conforme mostrada na figura 1.



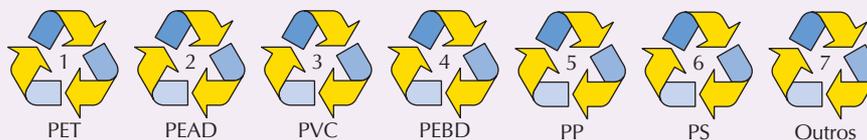
◀ Figura 1: Composição média percentual, em massa, do lixo urbano no Brasil.

Considerando que, atualmente, a massa de plástico descartado, isto é, 6% a 11% do lixo total, não é tão significativa, o volume correspondente é bastante significativo, em relação ao espaço total dos lixões municipais. A figura 2 apresenta a distribuição percentual, em massa, dos diferentes plásticos descartados nos lixões, tendo por base levantamento feito no município de Araraquara-SP.



◀ Figura 2: Composição percentual, em massa, de plásticos presentes no sólido urbano do lixão processado pela Usina de Compostagem do município de Araraquara-SP.

Para facilitar a separação em usinas de reciclagem, muitos materiais plásticos trazem uma marcação de identificação (figura 3).



▲ Figura 3: Simbologia empregada pelas empresas produtoras de embalagens plásticas para diferenciar os vários tipos de plásticos utilizados.

Essa simbologia é empregada no Brasil e em outros países, com exceção da Alemanha, onde a numeração vai de um a oito, sendo que o número 7 corresponde à resina ABS (acrilonitrila-butadieno-estireno). Essa simbologia permite uma melhor separação dos materiais plásticos nas usinas de triagem:

**1 – PET** – poli(tereftalato de etileno) – garrafas de refrigerantes, água, vinagre, detergentes.

**2 – HDPE (PEAD)** – polietileno de alta densidade – recipientes de detergentes, amaciantes, branqueadores, leite, condicionadores, xampus, óleos de motor.

**3 – PVC** – [poli(cloreto de vinila)] [...] – pipas, cortinas de banheiros, bandejas de refeições, capas, assoalhos, forros.

**4 – LDPE (PEBD)** – polietileno de baixa densidade – filmes, sacolas de supermercado, embalagens de lanches.

**5 – PP** – polipropileno – recipientes para guardar alimentos [...], carpetes, embalagens de pudins, de iogurtes e de água mineral.

**6 – PS** – poliestireno – copos de água e de café, protetor de embalagens [...], protetor de cartuchos de impressora.

**7 – Outros:** PC, PU, ABS – policarbonato, poliuretano e acrilonitrila-butadieno-estireno. O PC é utilizado na fabricação de mamadeiras, coberturas de residências, lentes de óculos, escudo protetor contra balas; o PU é empregado em solados, saltos de calçados, batentes, rodas, para-choques; e o ABS é usado em maçanetas, carcaças de aparelhos, tubulações de produtos químicos corrosivos.

Os diferentes polímeros (plásticos), para serem reciclados, isto é, processados, devem ser amolecidos a altas temperaturas, separadamente. A separação, portanto, é a primeira etapa do processo de reciclagem e deve utilizar diferentes propriedades físicas dos polímeros, isto é, densidade, condutividade térmica, temperatura de amolecimento etc. Os polímeros *termofixos* ou *termorrígidos* (como a baquelite, usada em cabos de panelas, em tomadas e em interruptores, e a resina alquídica, usada na pintura de automóveis, geladeiras e fogões) não podem ser reciclados, pois não podem ser derretidos e remodelados por aquecimento.

A densidade é um dos métodos mais simples e práticos de separação e identificação dos diferentes polímeros plásticos. A tabela abaixo apresenta as densidades de alguns dos plásticos mais comumente empregados.

Densidade de alguns polímeros	
Polímeros	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
Poli(tereftalato de etileno) — PET	1,29-1,40
Poli(etileno) de alta densidade — PEAD	0,952-0,965
Poli(cloreto de vinila) — PVC (rígido)	1,30-1,58
Poli(cloreto de vinila) — PVC (flexível)	1,16-1,35
Poli(etileno) de baixa densidade — PEBD	0,917-0,940
Polipropileno — (PP)	0,900-0,910
Poliestireno (PS) — (sólido)	1,04-1,05
Poliestireno (PS) — (espuma)	Menor que 1,00

[...]"

Fonte do texto e dos dados: FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. *Química Nova na Escola*. n. 18, nov. 2003. p. 42-45.

## ● Você entendeu a leitura?

Responda em seu caderno

1. Sob seu ponto de vista, enumere alguns fatores que tornam a reciclagem tão importante.
2. Como o consumidor pode contribuir na reciclagem do plástico?
3. Enumere alguns materiais que **devem** ser depositados nas lixeiras vermelhas de recolhimento de lixo reciclável.
4. Enumere alguns materiais que **não devem** ser depositados nas lixeiras vermelhas.
5. Faça uma pesquisa e enumere alguns materiais que podem ser produzidos com plástico reciclado.
6. Os chamados *plásticos oxidegradáveis* foram propostos como uma solução para o problema ambiental dos plásticos, porém, além de não resolverem esse problema, podem agravá-lo. Faça uma pesquisa a respeito de plásticos oxidegradáveis que esclareça o que vem a ser esse tipo de plástico e que **problema ambiental** ele traz.
7. (Enem-MEC) No verão de 2000 foram realizadas, para análise, duas coletas do lixo deixado pelos frequentadores em uma praia no litoral brasileiro. O lixo foi pesado, separado e classificado. Os resultados das coletas feitas estão na tabela a seguir.

Dados obtidos (em área de cerca de 1.900 m <sup>2</sup> )		
Coleta de lixo	1ª coleta	2ª coleta
Massa total	8,3 kg	3,2 kg
Itens de Plástico	399 (86,4%)	174 (88,8%)
Itens de Vidro	10 (2,1%)	03 (1,6%)
Itens de Metal	14 (3,0%)	07 (3,6%)
Itens de Papel	17 (3,7%)	06 (3,0%)
Número de pessoas na praia	270	80

Adaptado de *Ciência Hoje*.

Embora fosse grande a venda de bebidas em latas nessa praia, não se encontrou a quantidade esperada dessas embalagens no lixo coletado, o que foi atribuído à existência de um bom mercado para a reciclagem de alumínio. Considerada essa hipótese, para reduzir o lixo nessa praia, a iniciativa que mais diretamente atende à variedade de interesses envolvidos, respeitando a preservação ambiental, seria:

- a) proibir o consumo de bebidas e de outros alimentos nas praias.
- b) realizar a coleta de lixo somente no período noturno.
- c) proibir a comercialização apenas de produtos com embalagem.
- d) substituir embalagens plásticas por embalagens de vidro.
- e) incentivar a reciclagem de plásticos, estimulando seu recolhimento.

## ○ Reavalie o que você pensa a respeito

Resolva em seu caderno

Verifique em que mudaram suas concepções prévias

Reveja sua resposta à atividade da segunda página deste capítulo, reavalie o que escreveu, discuta com seus colegas e, se julgar necessário, elabore novas justificativas ou aprimore as que tinha escrito. Apresente-as ao professor.

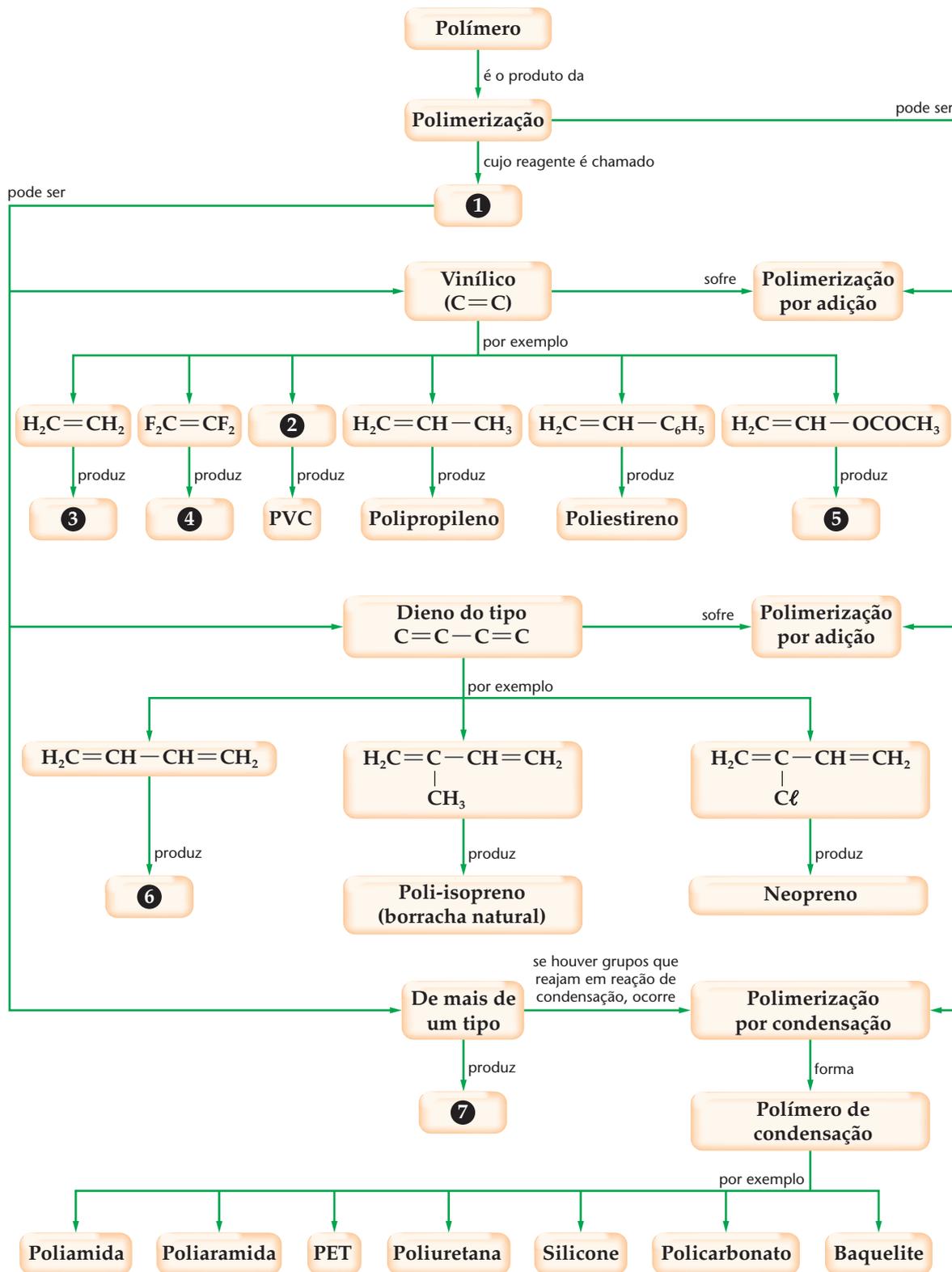


### Importante:

Este mapa é apenas uma das muitas possibilidades de relacionar esses conteúdos conceituais.

## MAPA CONCEITUAL – POLÍMEROS

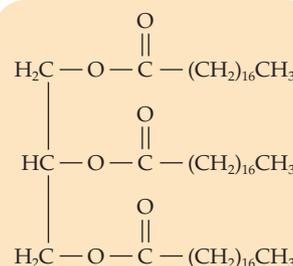
Revise os conceitos estudados e decida como podem ser completados os locais em que aparecem os números.



# Noções sobre alguns compostos presentes em seres vivos



PAULO MANZI



triestearina

▲ Chocolates contêm triestearina, um triacilglicerol encontrado no cacau.

## Alguns conteúdos importantes:

- ✓ Estrutura dos triacilgliceróis
- ✓ Noção da distinção, em nível molecular, entre óleos e gorduras
- ✓ Ácidos graxos saturados, monoinsaturados e poli-insaturados
- ✓ Aproveitamento de triacilgliceróis na produção de sabão
- ✓ Mecanismo de atuação do sabão ou do detergente na limpeza
- ✓ Conceito de  $\alpha$ -aminoácido e de ligação peptídica
- ✓ Noção do que é proteína
- ✓ Enzimas
- ✓ Hidrólise de proteínas
- ✓ Principais carboidratos e sua ocorrência natural
- ✓ Carboidratos como fonte energética na dieta
- ✓ Obtenção do etanol por fermentação alcoólica
- ✓ Breves noções sobre ácidos nucleicos

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

## O que você pensa a respeito?



Sondagem de concepções prévias

Na lista abaixo estão relacionados alguns termos e conceitos. Indique no seu caderno aqueles que você julga que estejam relacionados à imagem e justifique sua escolha. Discuta com seus colegas e apresente as conclusões ao professor.

- sal orgânico
- ácido graxo
- carboidrato
- monossacarídeo
- dissacarídeo
- hidrólise básica
- emulsificante



HIGHRESS PRESS STOCK

## O Pare e situe-se!

Texto introdutório ao capítulo

O funcionamento dos organismos vivos depende de inúmeros processos químicos que envolvem as substâncias químicas presentes nesses organismos. Incluem-se entre tais processos a produção de substâncias necessárias ao crescimento e à manutenção dos tecidos vivos, o aproveitamento de nutrientes energéticos, a degradação de substâncias não necessárias e o armazenamento do excedente de alimento energético sob forma apropriada. Tais processos são estudados pela **Bioquímica**, ciência estreitamente vinculada à Química Orgânica.

Inúmeras moléculas orgânicas existem nos organismos vivos e são essenciais ao seu funcionamento saudável. Entre elas, merecem destaque as moléculas de triacilgliceróis, de  $\alpha$ -aminoácidos e proteínas, de carboidratos e de ácidos nucleicos.

Este capítulo tem por objetivo fornecer noções sobre a composição química e a estrutura dessas moléculas.

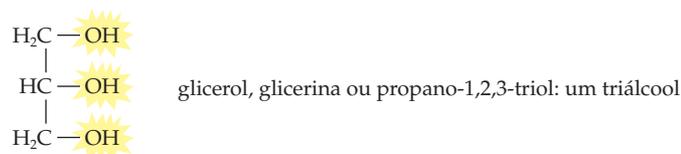
- O item 1 versa sobre os **triacilgliceróis**, compostos que integram a categoria dos **lipídios**, exemplificados na vida diária pelos óleos e gorduras, de origem animal ou vegetal. O item 2 trata do aproveitamento dos triacilgliceróis para a produção de **sabões** e explica por que os sabões conseguem atuar na limpeza.
- O item 3 aborda os  **$\alpha$ -aminoácidos** e como estes se unem formando as **proteínas**. O item comenta o que são enzimas e sua importância para os organismos.
- O item 4 trata dos **carboidratos**, categoria de compostos bioquímicos que inclui a glicose, o açúcar de cana, o amido e a celulose.
- O item 5 apresenta breves noções sobre a estrutura química do DNA e do RNA, os **ácidos nucleicos**.

# 1 Triacilgliceróis

## 1.1 Glicerol e ácidos graxos

Os óleos e as gorduras, de origem animal ou vegetal, são ésteres e, por isso, derivam de um ácido e de um álcool.

O álcool em questão é o **glicerol** ou **glicerina**.



Como esse álcool possui três grupos OH, ele pode formar um triéster, ou seja, um composto que possua três grupos funcionais éster ( $-\text{COO}-$ ).

Os ácidos que, ao reagirem com o glicerol, formam os óleos e as gorduras são ácidos graxos.

**Ácido graxo** é o nome dado a um ácido carboxílico que possua uma cadeia carbônica longa, em geral com doze ou mais átomos de carbono.

São exemplos de ácidos graxos:

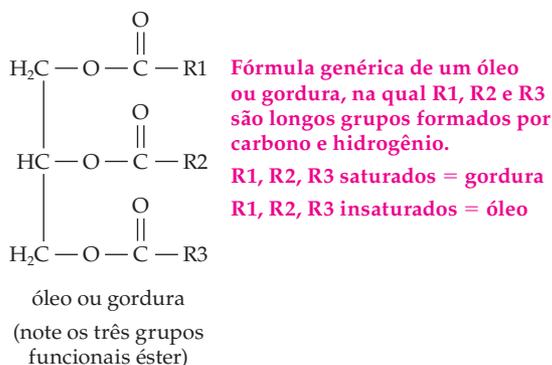
mirístico (14C)	$\text{H}_3\text{C}[\text{CH}_2]_{12}\text{COOH}$
palmitico (16C)	$\text{H}_3\text{C}[\text{CH}_2]_{14}\text{COOH}$
esteárico (18C)	$\text{H}_3\text{C}[\text{CH}_2]_{16}\text{COOH}$
palmitoleico (16C)	$\text{H}_3\text{C}[\text{CH}_2]_5\text{CH}=\text{CH}[\text{CH}_2]_7\text{COOH}$
oleico (18C)	$\text{H}_3\text{C}[\text{CH}_2]_7\text{CH}=\text{CH}[\text{CH}_2]_7\text{COOH}$
linoleico (18C)	$\text{H}_3\text{C}[\text{CH}_2]_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}[\text{CH}_2]_7\text{COOH}$

Os ácidos graxos podem ser divididos em três grupos:

- **saturados** — apresentam apenas ligações simples entre os carbonos;
- **monoinsaturados** — possuem uma ligação dupla na cadeia carbônica;
- **poli-insaturados** — têm duas ou mais ligações duplas na cadeia carbônica.

## 1.2 Estrutura de um triacilglicerol

Os óleos e as gorduras de origem animal ou vegetal são triésteres de ácidos graxos e glicerol. Costumam ser denominados **triacilgliceróis**, **triglicéridos**, **glicerídios** ou **lipídios**.



### Os lipídios são uma classe muito ampla de substâncias

De fato, o grupo das substâncias biológicas conhecidas como **lipídios** engloba outros tipos de moléculas além dos triacilgliceróis, tais como os diacilgliceróis, os monoacilgliceróis, o colesterol e a lecitina. Por sua relevância para a Química do Ensino Médio, daremos destaque aos **triacilgliceróis**.

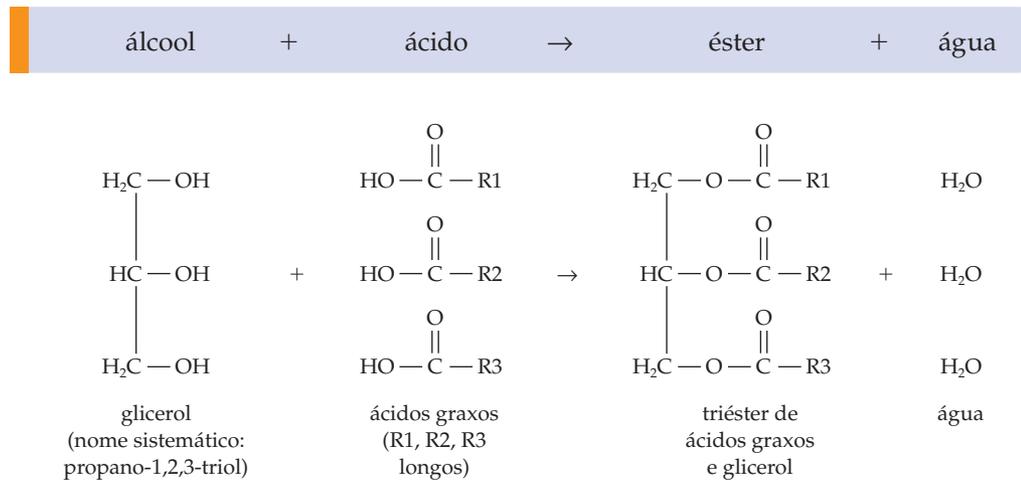
As gorduras possuem os grupos R1, R2 e R3 saturados, enquanto os óleos possuem insaturações. Na verdade, em óleos e gorduras naturais, os triacilgliceróis presentes podem ser derivados de mais de um ácido graxo diferente. Quanto maior a quantidade de grupos R1, R2 e R3 saturados nos triacilgliceróis, maior a tendência de o material ser uma gordura. Por sua vez, quanto mais grupos R1, R2 e R3 insaturados, mais propensão para ser um óleo.

Cada grama de açúcar ou proteína “queimado” pelo corpo produz 4 kcal de energia. Já um grama de lipídio libera 9 kcal! Isso explica por que nas dietas para emagrecimento os óleos e as gorduras são alvo de tantas restrições.

Por serem os triacilgliceróis um meio biológico eficiente para armazenamento de energia (isto é, muita energia armazenada por grama de material), nosso organismo elabora tecido adiposo (tecido gorduroso) quando ingerimos alimentos acima de nossas necessidades calóricas. Trata-se, do ponto de vista evolutivo, de uma reserva de energia para a eventualidade de um período de escassez de alimentos. A formação de triacilgliceróis pelo organismo a partir de glicerol e ácidos graxos pode ser assim equacionada:



▲ O azeite de oliva é rico em triacilgliceróis derivados de ácidos graxos monoinsaturados.



Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

### LIGUE-SE NA SUA SAÚDE: A GORDURA TRANS

Evidências mostram que a ingestão frequente de triacilgliceróis hidrogenados cataliticamente pode oferecer risco. Durante o processo industrial de hidrogenação, parte dos ácidos graxos *cis* (arranjo natural das duplas C=C dos ácidos graxos) transforma-se em ácidos graxos *trans* que **não** existem na natureza. Esses são até mais prejudiciais à saúde do que os ácidos graxos saturados.

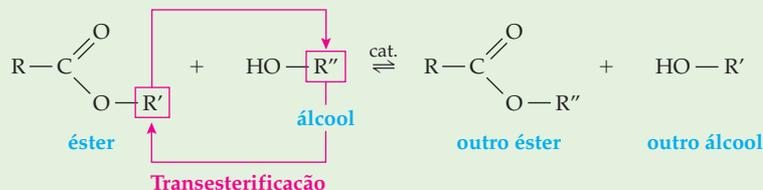


◀ Indicação em rótulo de produto alimentício da ausência de triacilgliceróis derivados de ácidos graxos *trans*.

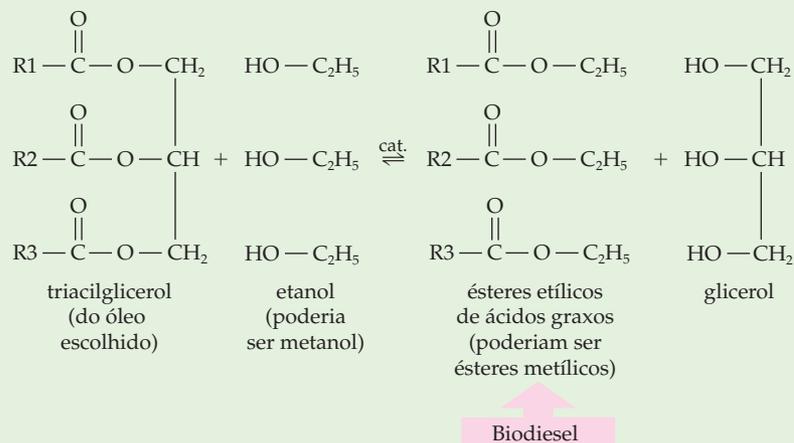
## BIODIESEL

O **biodiesel** é um combustível obtido a partir de álcoois pequenos (etanol, metanol) e óleos vegetais como, por exemplo, de mamona, de babaçu ou até óleo de fritura usado.

O processo de obtenção envolve uma **transesterificação**, que é uma reação entre um éster e um álcool produzindo outro éster e outro álcool, genericamente representada assim:



Na transesterificação que visa obter biodiesel, o éster é um triacilglicerol (do óleo escolhido) e o álcool é o etanol (ou metanol). A equação da reação é:



## Exercícios essenciais

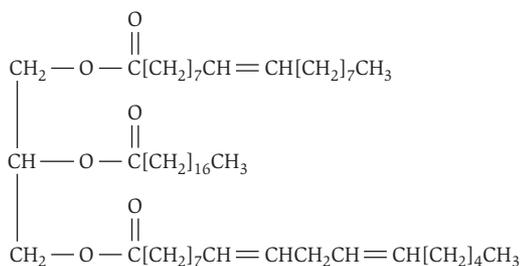
Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

1. Sendo dada a fórmula dos seguintes ácidos graxos, decida se são saturados ou insaturados.

- ácido behênico:  $\text{C}_{21}\text{H}_{43}\text{COOH}$
- ácido erúico:  $\text{C}_{21}\text{H}_{41}\text{COOH}$
- ácido gondoico:  $\text{C}_{19}\text{H}_{37}\text{COOH}$

As questões 2 a 6 se referem ao seguinte triacilglicerol:



2. Escreva a fórmula estrutural dos três ácidos graxos correspondentes a ele.
3. Classifique os três ácidos graxos em saturados, monoinsaturados ou poli-insaturados.
4. Admitindo que todas as insaturações  $\text{C}=\text{C}$  presentes em uma molécula do triacilglicerol em questão fossem hidrogenadas, num processo de fabricação de gordura saturada, qual seria a fórmula estrutural do produto da reação?
5. Quantos mols de  $\text{H}_2$  seriam necessários para hidrogenar 1 mol desse triacilglicerol?
6. Se esse triacilglicerol fosse submetido à reação com iodo ( $\text{I}_2$ ) e todas as ligações duplas  $\text{C}=\text{C}$  sofressem adição, quantas moléculas de  $\text{I}_2$  seriam necessárias para reagir com uma molécula da substância orgânica?

A utilização de biodiesel em vez de *diesel* é vantajosa do ponto de vista ambiental, pois permite substituir um combustível fóssil, o *diesel*, que é um **recurso natural não renovável**, por um combustível de origem vegetal, que é um **recurso natural renovável**.



DELFIM MARTINS/PULSAR IMAGENS



FABIO COLOMBINI

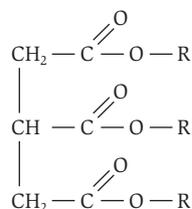
O biodiesel pode ser obtido, por exemplo, do óleo extraído da mamona (foto acima) e do etanol proveniente da cana-de-açúcar (foto ao lado, em Valparaíso, SP, 2002).

## Exercícios adicionais

Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

7. (UFRGS-RS) Um óleo de massa molar 900 g/mol, obtido pela combinação de glicerol com um ácido graxo, apresenta a fórmula estrutural representada abaixo.



Sabendo que o ácido graxo que originou **R** é monoinsaturado, a massa, em gramas, de hidrogênio necessária para transformar 12 kg desse óleo em gordura saturada é:

- a) 0,04                      c) 40                      e) 1.800  
 b) 13                          d) 80

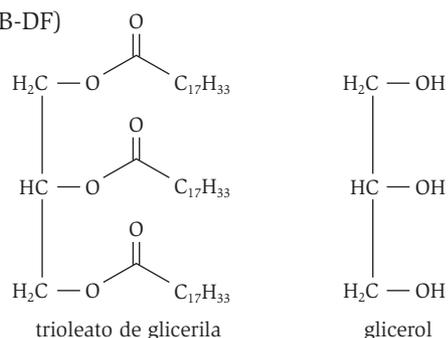
8. (Unicamp-SP) Fontes vegetais de lipídios contêm moléculas de ácidos graxos (ácidos carboxílicos poli-insaturados) que apresentam estrutura *cis*. O processo de hidrogenação parcial dessas gorduras, como por exemplo na fabricação de margarinas, pode conduzir à formação de isômeros *trans*, que não são desejáveis, visto que estes são suspeitos de elevarem o teor de colesterol no sangue.

- a) Escreva a equação química que representa, genericamente, a hidrogenação de uma dupla ligação carbono-carbono  $\left( \begin{array}{c} \diagdown \text{C} = \text{C} \diagup \end{array} \right)$ .

O ácido linoleico pode ser representado pela fórmula  $\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_2$ .

- b) Quantas duplas ligações  $\left( \begin{array}{c} \diagdown \text{C} = \text{C} \diagup \end{array} \right)$  contém uma molécula desse ácido? Justifique.

9. (UnB-DF)



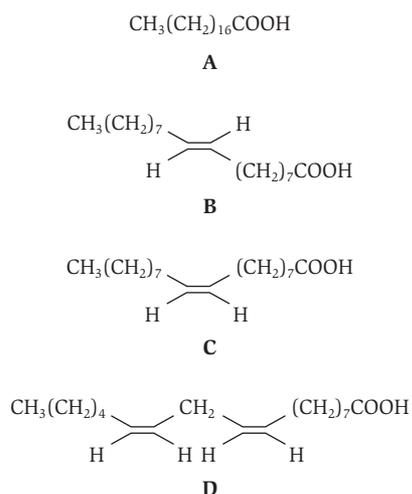
A adrenoleucodistrofia, doença genética rara, é caracterizada pela quebra ou perda da bainha de mielina que envolve as células nervosas no cérebro e pela disfunção progressiva da glândula adrenal. Como consequência, os pacientes apresentam sintomas como perda visual, surdez, demência progressiva, entre outros. O óleo de Lorenzo é utilizado para reduzir a concentração de ácidos graxos de cadeias longas, o que auxilia na redução da desmielinização e na progressão clínica. Esse óleo é composto por uma mistura de trioleato de glicerila e trierucato de glicerila. O trioleato de glicerila, cuja estrutura é mostrada acima, pode ser obtido a partir da reação entre o glicerol, também representado acima, e o ácido oleico ( $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$ ).

A partir dessas informações, julgue os itens seguintes em certos ou errados.

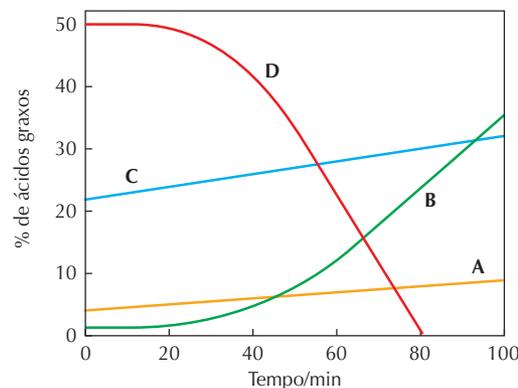
- O trioleato de glicerila possui cadeia carbônica homogênea, alifática, ramificada e insaturada.
  - O trioleato de glicerila possui, em sua estrutura, a função cetona.
  - A reação de obtenção do trioleato de glicerila a partir do glicerol é uma reação de esterificação.
  - O glicerol é um triéster.
  - Sabendo que, no ácido oleico, a cadeia  $\text{C}_{17}\text{H}_{33}$  ligada à carboxila é não ramificada, conclui-se que a estrutura desse ácido apresenta duas ligações duplas.
  - O ácido oleico pode ser isômero de função de um monoálcool — álcool que contém apenas um grupo funcional.
10. (Fuvest-SP) “Durante muitos anos, a gordura saturada foi considerada a grande vilã das doenças cardiovasculares. Agora, o olhar vigilante de médicos e nutricionistas volta-se contra a prima dela, cujos efeitos são ainda piores: a gordura *trans*.”

Veja, 2003

Uma das fontes mais comuns da margarina é o óleo de soja, que contém triglicerídeos, ésteres do glicerol com ácidos graxos. Alguns desses ácidos graxos são:



Durante a hidrogenação catalítica, que transforma o óleo de soja em margarina, ligações duplas tornam-se ligações simples. A porcentagem dos ácidos graxos A, B, C e D, que compõem os triglicerídeos, varia com o tempo de hidrogenação. O gráfico a seguir mostra esse fato.



ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Considere as afirmações:

- O óleo de soja original é mais rico em cadeias monoinsaturadas *trans* do que em *cis*.
- A partir de cerca de 30 minutos de hidrogenação, cadeias monoinsaturadas *trans* são formadas mais rapidamente que cadeias totalmente saturadas.
- Nesse processo de produção de margarina, aumenta a porcentagem de compostos que, atualmente, são considerados pelos nutricionistas como nocivos à saúde.

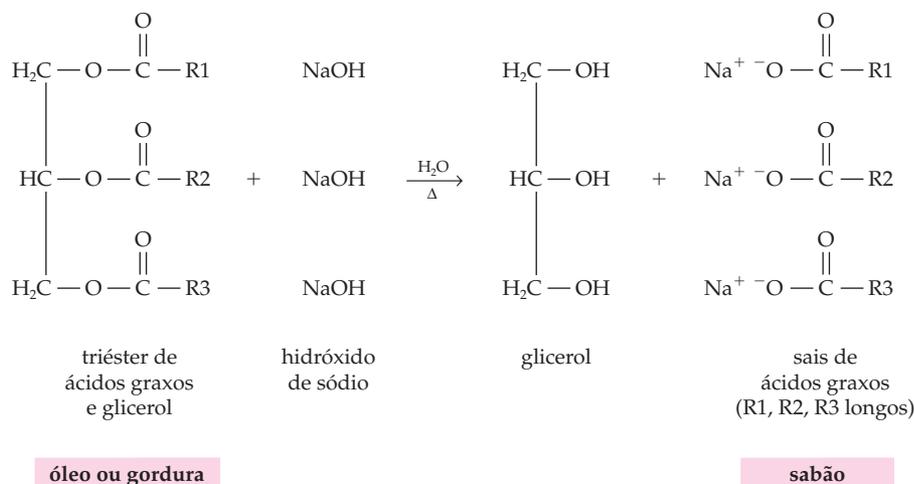
É correto apenas o que se afirma em:

- I.
- II.
- III.
- I e II.
- II e III.

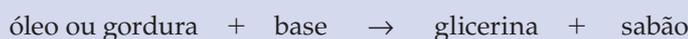
## 2 Sabões e detergentes

### 2.1 Saponificação: a reação que produz sabão

A hidrólise básica de um triacilglicerol produz o glicerol e os sais dos ácidos graxos. Esses sais são o que chamamos de **sabão**.



Assim, aquecendo-se gordura em presença de uma base, realiza-se uma reação química que produz sabão. Essa reação, a hidrólise básica de um triéster de ácidos graxos e glicerol, é chamada de **saponificação**.



O uso de KOH no lugar de NaOH permite obter *sabões potássicos*, empregados, por exemplo, na fabricação de cremes de barbear.

Em muitas localidades do Brasil é comum, ainda hoje, encontrar pessoas que fazem o chamado *sabão de cinza*. Para fabricá-lo, gordura animal (banha de vaca, por exemplo) ou vegetal (gordura de coco, por exemplo) é aquecida com água de cinzas, também conhecida como *lixívia*. Após cerca de duas horas, está pronto o sabão de cinza. Esse processo é o mesmo usado em fábricas de sabão, sendo a cinza um substituto para o NaOH ou KOH. O caráter básico da água de cinza se deve à presença de carbonato de potássio ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ), que reage com a água, dando origem a íons  $\text{OH}^-$ .

### 2.2 A glicerina

A glicerina (ou glicerol) é um subproduto da fabricação do sabão. Por esse motivo, toda fábrica de sabão produz também glicerina. Ela é adicionada aos cremes de beleza e sabonetes, pois é um bom **umectante**, isto é, mantém a umidade da pele. Em produtos alimentícios, ela também é adicionada com a finalidade de manter a umidade do produto.

Outra aplicação da glicerina é na fabricação do explosivo conhecido como **nitroglicerina**, realizada por meio da reação equacionada a seguir.



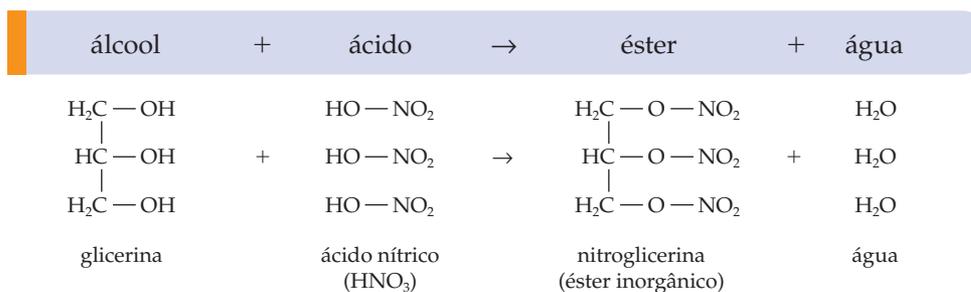
BURKE-TRIOLO PROD./  
BOTANICA/OTHER IMAGES

▲ O sabão já era conhecido, antes de Cristo, entre os fenícios e também entre os romanos. Porém, o entendimento do processo de saponificação em nível molecular é mais recente, datando do século XIX.

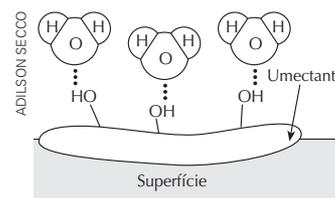
#### ATENÇÃO

NaOH e KOH não devem ser manipulados sem orientação e supervisão adequadas. Esses hidróxidos são sólidos brancos que provocam queimaduras na pele e nos olhos. Se ingeridos, causam sérias lesões internas.

Cinzas têm características básicas e podem causar sérias lesões. Elas não devem ter contato com a pele e os olhos.



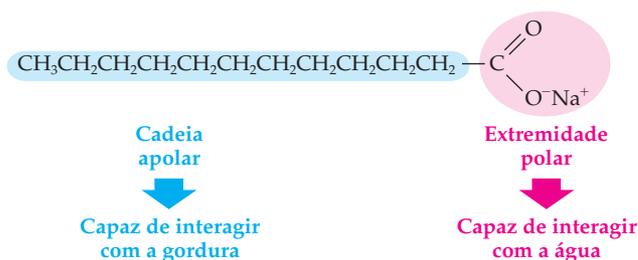
Não estranhe se chamamos a nitroglicerina de éster, pois ela é formada pela reação de um ácido ( $\text{HNO}_3$ ) e um álcool (a glicerina). Trata-se de um **éster derivado de um ácido inorgânico**. A nitroglicerina também é chamada de trinitrato de glicerina ou trinitrato de glicerila.



▲ Os umectantes, como por exemplo a glicerina, interagem com a superfície do material que se deseja umectar (pele, cabelo, produto alimentício) e também com a água. A interação com a água ocorre por meio de ligações de hidrogênio. (Representação esquemática, fora de escala e em forma fantasiosa.)

### 2.3 Atuação de sabões e detergentes na limpeza

O sabão exerce papel importantíssimo na limpeza porque consegue interagir tanto com substâncias polares quanto com substâncias apolares.

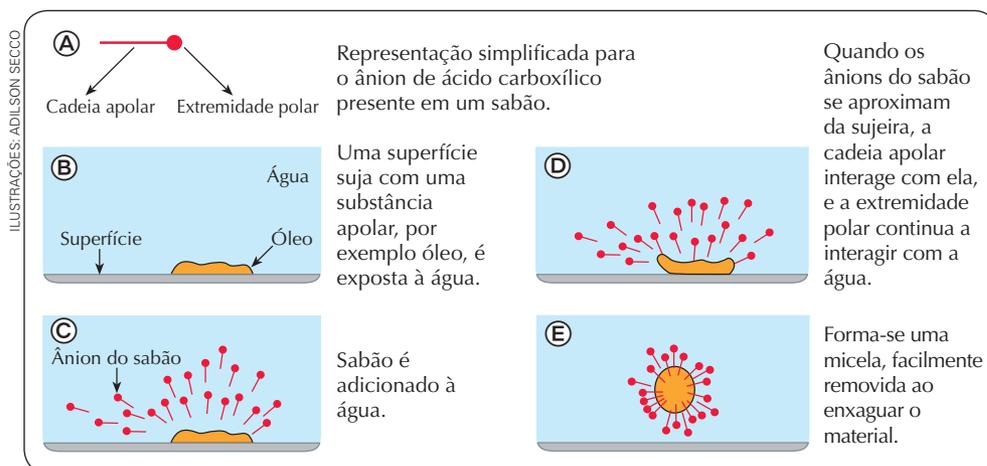


Podemos dizer que a cadeia apolar de um sabão é **hidrófoba** (possui aversão pela água) e que a extremidade polar é **hidrófila** (possui afinidade pela água).

Ao lavarmos um prato sujo de óleo, forma-se o que os químicos chamam de **micela**, uma gotícula microscópica de gordura envolvida por moléculas de sabão, orientadas com a cadeia apolar direcionada para dentro (interagindo com o óleo) e a extremidade polar para fora (interagindo com a água).

A água usada para enxaguar o prato interage com a parte externa da micela, que é constituída pelas extremidades polares das moléculas de sabão. Assim, a micela é dispersa na água e levada por ela, o que torna fácil remover, com auxílio dos abões, sujeira polares.

O processo de formação de micelas é denominado **emulsificação**. O esquema a seguir ilustra esse processo. Dizemos que o sabão atua como **emulsificante** ou **emulsionante**, ou seja, ele tem a propriedade de fazer com que o óleo se disperse na água na forma de micelas.



◀ Esquema do mecanismo da limpeza usando sabão. (Fora de proporção, cores e formas fantasiosas.)

Os **detergentes sintéticos** atuam da mesma maneira que os sabões, porém diferem deles na estrutura da molécula. Sabões são sais de ácido carboxílico de cadeia longa, e detergentes sintéticos, na grande maioria, são sais de ácidos sulfônicos de cadeia longa. Atualmente existem muitos outros tipos de detergentes com estruturas diferentes, mas que, invariavelmente, possuem uma longa cadeia apolar e uma extremidade polar.



Ácido carboxílico de cadeia longa e seu sal (um sabão)



Ácido sulfônico de cadeia longa e seu sal (um detergente)



Amina de cadeia longa e seu sal (um detergente)

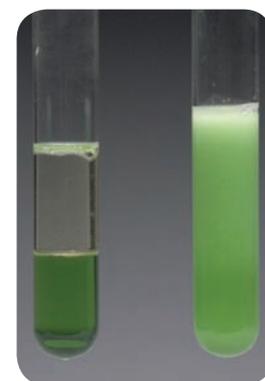
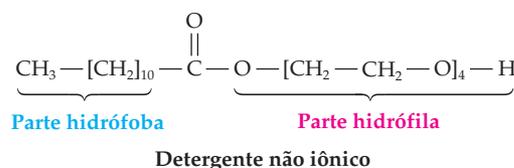
Os **detergentes sintéticos** podem ser **aniônicos** ou **catiônicos**, dependendo da carga do íon orgânico responsável pela limpeza.



Detergente aniônico

Detergente catiônico

Há também, no mercado, alguns produtos que contêm detergentes **não iônicos**. Um exemplo é o da seguinte substância.



THAIS FALCÃO

▲ Amostra de detergente em água e amostra de óleo colocadas em um mesmo tubo de ensaio antes (esquerda) e depois (direita) de uma agitação prolongada. O detergente, assim como o sabão, promove a **emulsificação** do óleo.

## PRODUTOS DE HIGIENE

### O que é o sabonete?

O sabonete é fabricado por meio da mesma reação química que produz o sabão (saponificação de triacilgliceróis), porém com alguns cuidados adicionais. Primeiramente, evita-se a presença de impurezas de odor desagradável, mais frequentes no sabão em barra, e adiciona-se uma essência escolhida para perfumar adequadamente o produto.

No sabonete, costuma-se deixar a glicerina produzida junto com o sabão, uma vez que ela atua como umectante e evita a sensação desagradável de ressecamento da pele que sentimos após usar um sabão comum. Os chamados sabonetes glicerinados contêm ainda mais glicerina que os normais.

Outro recurso que os fabricantes empregam para deixar o sabonete mais agradável ao toque consiste

na escolha adequada da matéria-prima (triacilglicerol). Sabe-se que, quanto mais curta for a cadeia carbônica do sabão e quanto maior o número de ligações duplas, mais solúvel e, conseqüentemente, mais agradável será o sabonete.

Os sabonetes transparentes são obtidos fazendo-se uma mistura, em proporções adequadas, de sabão, glicerina e etanol.

### O que é o xampu?

O xampu foi criado na Alemanha no final do século XIX. Consiste basicamente em uma solução aquosa de detergente, visando à limpeza dos fios de cabelo.

Alguns contêm também outros ingredientes capazes de recobrir os fios e protegê-los do ressecamento.

### O que é o condicionador de cabelos?

Após lavar a cabeça, nosso cabelo geralmente fica espetado e áspero. Isso se deve, entre outros fatores, à repulsão entre uma pequena quantidade de cargas elétricas que permanecem no cabelo após a lavagem, provenientes do xampu.

Os cremes condicionadores contêm substâncias que vão justamente neutralizar essas cargas elétricas, fazendo o cabelo ficar mais macio. Tais substâncias são, geralmente, tensoativos catiônicos e ceras naturais ou artificiais.

O princípio de funcionamento dos amaciantes de roupa é o mesmo dos condicionadores de cabelo. Após a lavagem da roupa, as fibras têxteis (por exemplo, de algodão) ficam ásperas em consequência da ação do tensoativo aniônico presente no sabão em pó. O amaciante de roupas consiste em um tensoativo catiônico ou não iônico capaz de minimizar tal efeito.

### O que é a pasta de dente?

As pastas de dente são formadas fundamentalmente por dois ingredientes: um detergente e um abrasivo.

O detergente tem por tarefa eliminar as partículas de sujeira, principalmente aquelas de natureza apolar, que não sairiam só com água. Um abrasivo

é uma substância sólida na forma de pó muito fino que, ao ser esfregada sobre uma superfície, é capaz de remover sujeiras incrustadas nela. O papel do abrasivo presente nas pastas de dente é eliminar, na hora da escovação, os restos de comida que possam estar mais firmemente aderidos aos dentes.

Como essa mistura de detergente e abrasivo não é muito atraente aos olhos do consumidor, os fabricantes lançam mão de flavorizantes (menta, anis etc.), adoçantes artificiais, espessantes e corantes para dar ao produto aspecto, sabor e odor agradáveis ao usuário.

Finalmente, alguns cremes dentais contêm flúor. Não se trata da substância simples  $F_2$ , e sim de compostos contendo o elemento flúor, por exemplo, na forma de fluoreto,  $F^-$ . Íons fluoreto são capazes de substituir as hidroxilas presentes na hidróxi-apatita (do esmalte do dente), formando a flúor-apatita,  $Ca_5(PO_4)_3F$ , mais resistente à corrosão por ácidos.



FRANK CEZUS/  
PHOTOGRAPHER'S  
CHOICE-GETTY IMAGES

## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

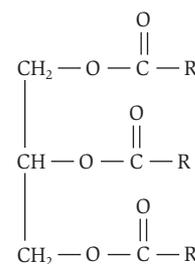
- (UFS-SE) Aquecendo uma mistura de gordura com solução de soda cáustica ocorre saponificação, na qual formam-se, como produtos:
  - sais de ácidos graxos e proteínas.
  - ácidos graxos e etanol.
  - ácidos graxos e propanol.
  - proteínas e glicerol.
  - sais de ácidos graxos e glicerol.
- (Unicamp-SP) O sabão, apesar de sua indiscutível utilidade, apresenta o inconveniente de precipitar o respectivo sal orgânico insolúvel em água que contenha íons cálcio dissolvidos. Em época recente, foram desenvolvidos os detergentes, conhecidos genericamente como alquilsulfônicos, solúveis em água e que não precipitam na presença de íons cálcio. Dê o símbolo e o nome do elemento químico que aparece na fórmula de um detergente alquilsulfônico e que não aparece na fórmula de um sabão.
- (UFRGS-RS) Industrialmente, a hidrólise alcalina de um triéster de ácidos graxos e glicerol é utilizada para a obtenção de sais de ácidos graxos (sabões).

A produção de sabão caseiro é bastante comum em localidades do interior. Para tanto, os reagentes utilizados na indústria podem ser substituídos por reagentes caseiros, tais como:

- suco de limão e restos de comida.
- banha de porco e cinzas de carvão vegetal.
- cera de abelha e gordura de coco.
- gordura de animal e farinha de milho.
- soda cáustica e proteína animal.

- (UFMG) As moléculas dos triglicerídeos, que são a maior reserva de energia em animais, resultam da esterificação de uma molécula de glicerol (1,2,3-propanotriol) com três moléculas de ácidos graxos, conforme exemplifica a estrutura.

Escreva a equação balanceada da reação de hidrólise alcalina completa de um triglicerídeo, usando KOH como reagente.



## Exercícios adicionais

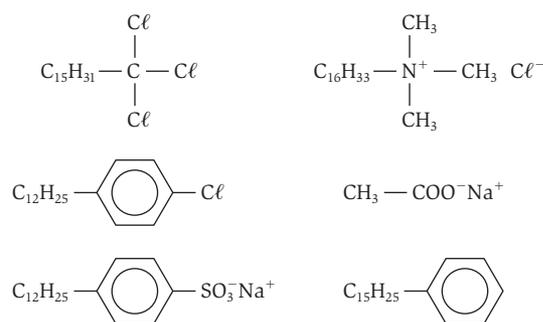
Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

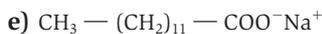
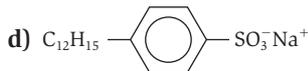
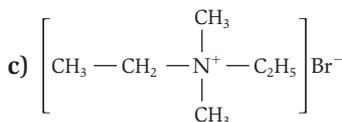
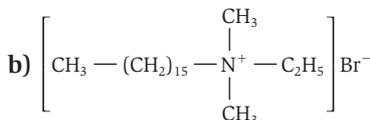
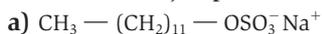
15. (Unicamp-SP) Substâncias com propriedades detergentes, como por exemplo os sabões, caracterizam-se por terem em suas moléculas um grupo *hidrofílico*, capaz de formar fortes ligações de hidrogênio com a água, e um grupo *hidrofóbico*, geralmente uma cadeia carbônica longa. Como exemplo de um sabão, tem-se:



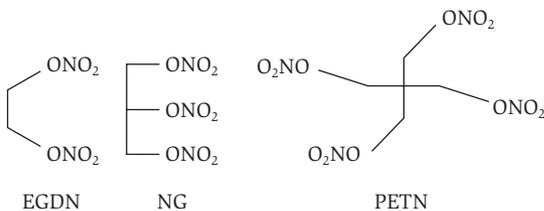
Das moléculas representadas a seguir, copie no caderno as fórmulas das que poderiam apresentar propriedades detergentes e identifique os grupos hidrofílicos e os hidrofóbicos.



16. (UFG-GO) Na formulação de alguns agentes de limpeza encontram-se, além do detergente, ácidos fluorídrico e clorídrico diluídos. O detergente utilizado nessa formulação pode ser representado por:

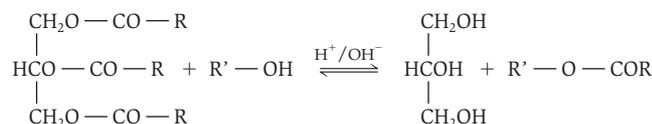


17. (UFC-CE) A seguir se encontram as estruturas de três explosivos, os quais podem ser obtidos pela reação do ácido nítrico com os álcoois correspondentes.



- a) Represente a reação de formação do explosivo PETN, levando em consideração a correta estequiometria da reação.
- b) Indique a nomenclatura do álcool que gerou o explosivo EGDN.
- c) Determine qual das duas nomenclaturas melhor descreve o explosivo NG: trinitroglicerina ou trinitrato de glicerina.

18. (UnB-DF) Se o Brasil não desenvolvesse, além das usinas hidrelétricas, outros sistemas para produzir energia, mais e mais hidrelétricas teriam de surgir, o que poderia intensificar problemas ambientais. Em razão desse fato, o Brasil está iniciando um programa de produção de biodiesel como alternativa energética. A produção de biodiesel pode ser realizada por meio do craqueamento térmico, que consiste na conversão de substâncias por meio do uso de calor. Assim, a obtenção de biodiesel a partir de óleos vegetais *in natura* ou saponificados, por craqueamento térmico, leva à formação de uma mistura de substâncias da qual podem-se obter a gasolina vegetal, o diesel vegetal e o querosene vegetal, a serem usados diretamente em motores convencionais. Um outro processo de obtenção de biocombustível utiliza transesterificação, que é uma reação de um lipídio com um álcool, conforme mostra a equação não balanceada a seguir.



No tocante a esse assunto, julgue os itens seguintes em certos ou errados.

- A reação de transesterificação pode ser catalisada por ácidos e bases.
- Na reação de transesterificação, uma molécula de lipídio reage com uma molécula de álcool.
- Na transesterificação, se pelo menos dois grupos R do lipídio forem diferentes, serão formados pelo menos dois ésteres e o propanotriol.
- A combustão completa de biocombustível produz C (s).
- A produção do biodiesel é um processo de obtenção de energia a partir da biomassa.
- Um dos produtos liberados na combustão do biodiesel pode ser utilizado por seres fotossintéticos.
- É possível se produzir sabão substituindo-se por solução de hidróxido de sódio o álcool da reação de transesterificação.

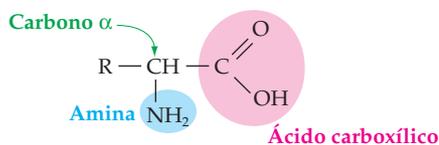
## 3

## Proteínas

### 3.1 Aminoácidos comumente encontrados em proteínas

As proteínas constituem um importantíssimo grupo de substâncias orgânicas presentes em todos os seres vivos. Isso foi percebido desde há muito tempo pelos cientistas e está expresso em seu nome. A palavra *proteína* vem do grego e significa “de primordial importância”. Um número inimaginavelmente grande de proteínas diferentes é encontrado nos seres vivos. Estima-se que uma célula humana típica contenha cerca de nove mil tipos distintos de proteínas e que, ao todo, o corpo humano possua cem mil delas.

Nos **aminoácidos** necessários à formação das proteínas, o grupo funcional amina se encontra no carbono vizinho à carboxila. Tal carbono é designado pelos químicos como carbono  $\alpha$  (alfa). Assim, os aminoácidos encontrados nas proteínas são mais corretamente designados como  $\alpha$ -**aminoácidos**, cuja fórmula geral é mostrada a seguir. Ao longo deste capítulo, a palavra **aminoácido** será utilizada com o significado de  $\alpha$ -**aminoácido**.

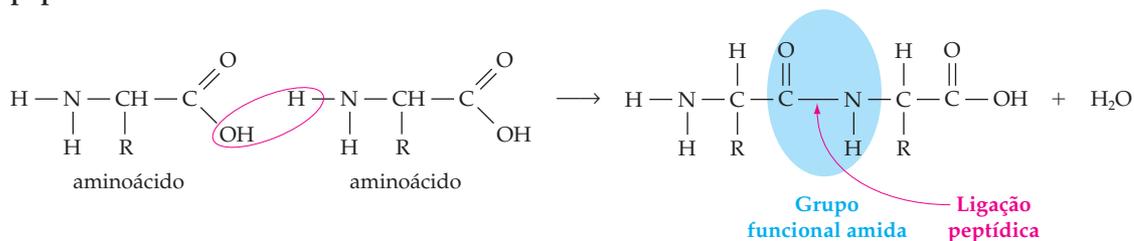


Na estrutura de um  $\alpha$ -aminoácido, o grupo característico da função amina ( $\text{NH}_2$ ) está posicionado no carbono vizinho ao carbonilo ( $\text{C}=\text{O}$ ), denominado carbono  $\alpha$  (alfa).

Há vinte aminoácidos comumente encontrados em proteínas. A fórmula estrutural de cada um deles aparece na tabela 1 (página seguinte). A diferença entre esses vinte compostos está no **grupo R**, chamado de **grupo lateral** ou **cadeia lateral**.

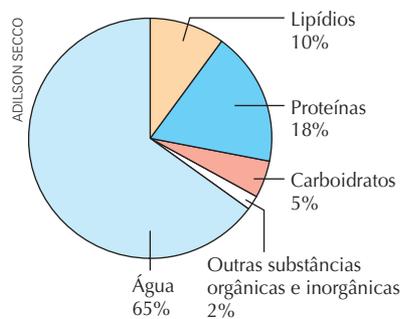
### 3.2 A ligação peptídica

Dois aminoácidos podem se unir por meio de uma reação química de condensação, que resulta na formação de uma molécula de água e de uma substância orgânica com o grupo funcional amida. A ligação química que se estabelece entre os dois aminoácidos nesse processo é denominada **ligação peptídica**.



As moléculas resultantes da união de aminoácidos são genericamente denominadas **peptídios**. Um **dipeptídio** resulta da união de dois aminoácidos; um **tripeptídio**, da união de três; um **polipeptídio**, da união de vários.

Os grandes peptídios (polipeptídios) presentes na natureza são denominados **proteínas**. Constituem a mais variada classe de moléculas naturais, desempenhando diversas funções nos seres vivos.



▲ Composição típica do organismo humano. Note que as proteínas respondem pelo segundo lugar, depois da água.

Fonte: FREEMANTLE, M. *Chemistry in action*, 2. ed. Londres: Macmillan, 1995. p. 664.

#### Recorde, do capítulo 7, que:

- **Aminoácidos** são substâncias de **caráter anfótero**.
- Quando um aminoácido está em solução aquosa, ocorre uma reação ácido-base entre os grupos ácido carboxílico e amina, dando origem ao que é conhecido como **íon dipolar** ou **zwitterion**.

**TABELA 1** Fórmulas estruturais, nomes e abreviaturas dos vinte aminoácidos comumente encontrados em proteínas

	glicina (Gly)		serina (Ser)
	alanina (Ala)		treonina (Thr)
	valina (Val)		asparagina (Asn)
	leucina (Leu)		glutamina (Gln)
	isoleucina (Ile)		ácido aspártico (Asp)
	fenilalanina (Phe)		ácido glutâmico (Glu)
	metionina (Met)		tirosina (Tyr)
	triptofano (Trp)		cisteína (Cys)
	prolina (Pro)		lisina (Lys)
			arginina (Arg)
			histidina (His)

Legenda para os grupos laterais (cadeias laterais):

- Apolares
- Polares (neutros)
- Polares (de caráter ácido)
- Polares (de caráter básico)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fonte: VOET, D. et al. *Fundamentals of Biochemistry*. 3. ed. Hoboken: John Wiley, 2008. p. 76-77.

## FENILCETONÚRIA E O TESTE DO PEZINHO

Um dos aminoácidos presentes em proteínas que ingerimos é a fenilalanina. O fígado transforma parte do aminoácido fenilalanina em tirosina, outro aminoácido. Este último é necessário para a produção de melanina (pigmento que dá cor escura à pele e aos cabelos) e de hormônios como adrenalina, noradrenalina e tiroxina.

Nos portadores de uma doença genética denominada **fenilcetonúria** (frequentemente abreviada pela sigla inglesa PKU), o fígado apresenta uma deficiência que não permite a conversão de fenilalanina em tirosina. Isso eleva o nível de fenilalanina presente no sangue, provocando outros distúrbios no organismo, entre os quais atraso mental.

Atualmente, existem meios de diagnosticar a fenilcetonúria nos primeiros dias de vida do recém-nascido. Isso é feito coletando-se algumas gotas de sangue e medindo nele a concentração de fenilalanina. Níveis acima dos considerados normais diagnosticam a enfermidade. O teste é conhecido como **teste de PKU** ou **teste do pezinho**, uma vez que o sangue é coletado perfurando-se o calcanhar do recém-nascido.

Se diagnosticada a tempo, a doença pode ser controlada por meio de uma dieta alimentar adequada (pobre em fenilalanina), evitando-se, dessa forma, suas graves consequências.

Durante a digestão do adoçante artificial **aspartame** ocorre a liberação de fenilalanina. Assim sendo, os produtos que contêm tal substância devem exibir um **aviso aos portadores de fenilcetonúria**. Provavelmente você já viu, por exemplo em refrigerante *diet* ou *light* que contêm aspartame, inscrição do tipo “fenilcetonúrico contém fenilalanina”.



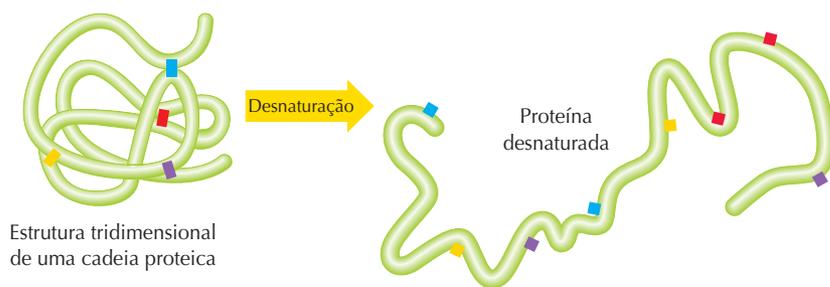
GARCIAPELAJO/CID

▲ O teste do pezinho é realizado logo após o nascimento para diagnosticar a fenilcetonúria e evitar sérios problemas de saúde para a criança.

### 3.3 Desnaturação proteica

A atividade e a importância das proteínas nos organismos vivos está intimamente relacionada com a sua estrutura tridimensional, que é mantida por meio de interações intermoleculares entre partes distintas da cadeia proteica.

Qualquer agente químico ou físico capaz de destruir essas interações pode fazer com que a proteína tenha sua estrutura tridimensional alterada. Nesse caso, dizemos que a proteína foi desnaturada.



◀ Esquema mostrando a desnaturação proteica, que corresponde à perda da estrutura tridimensional da proteína. (Esquema em cores e formas fantasiosas.)

Fonte: STRYER, L. et al. *Biochemistry*. 6. ed. Nova York: Freeman, 2007. p. 51-52.

Denomina-se **desnaturação proteica** a alteração da estrutura tridimensional de uma proteína. Quando ocorre desnaturação proteica, os aminoácidos continuam unidos na mesma sequência.

Quando cozinhamos um ovo, por exemplo, ocorre a desnaturação das proteínas nele presentes. Isso está associado às mudanças de cor e de textura que podemos observar.

Alguns agentes que podem causar a desnaturação proteica, dependendo da proteína e das circunstâncias envolvidas, são o calor, as micro-ondas, a radiação ultravioleta, os sabões e detergentes, solventes orgânicos (como o etanol), alterações de pH e cátions de alguns metais pesados (como  $Hg^{2+}$  e  $Pb^{2+}$ ).

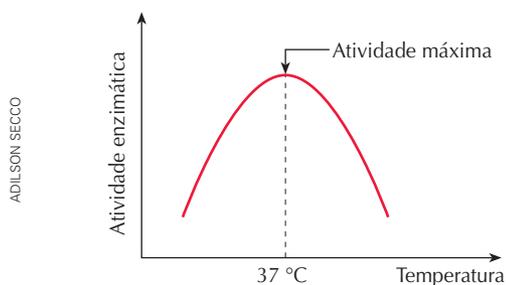
### 3.4 Enzimas

Catalisador é uma substância que aumenta a velocidade de uma reação química, sem ser efetivamente consumida nela.

Nos seres vivos são encontradas proteínas que atuam como catalisadores em reações químicas essenciais à vida. São as enzimas.

**Enzimas** são catalisadores biológicos, ou seja, substâncias que aumentam a velocidade de reações bioquímicas sem serem efetivamente consumidas nessas reações.

A temperatura de ação das enzimas é uma característica interessante. Quando elevamos a temperatura, sua atividade atinge um ponto máximo depois do qual, continuando o aquecimento, a atividade começa a diminuir (analisar o gráfico abaixo). O aumento da temperatura aumenta a velocidade das reações químicas, pois promove um aumento da energia cinética das moléculas reagentes. No entanto, o aquecimento exagerado provoca a **desnaturação das proteínas**, isto é, a alteração de sua estrutura tridimensional. Como as enzimas são proteínas, elas podem ser desnaturadas com o aquecimento, perdendo sua atividade catalítica.



◀ Gráfico da atividade de uma enzima do organismo humano em função da temperatura. O máximo da atividade corresponde aproximadamente à temperatura corporal, 37°C. Acima disso, começa a haver a desnaturação proteica, que se torna tanto mais prejudicial quanto maior for a temperatura.

### 3.5 Hidrólise de proteínas

A **hidrólise de uma proteína** consiste no rompimento das ligações peptídicas e na consequente formação de aminoácidos livres.

No organismo humano, a hidrólise das proteínas que ingerimos em nossa alimentação ocorre sob catálise enzimática.

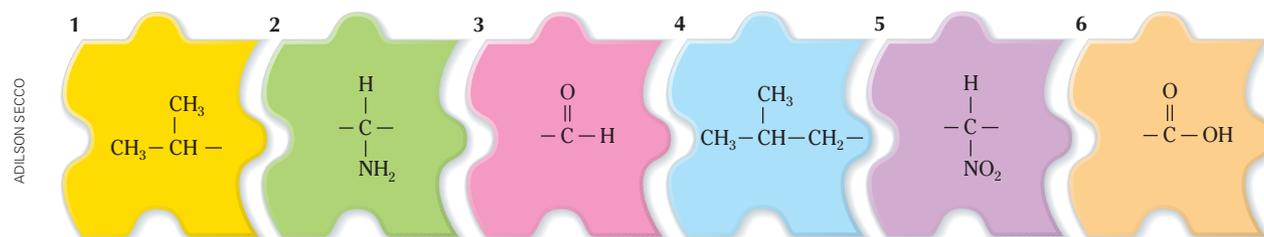
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

19. (Uerj) Um estudante recebeu um quebra-cabeça que contém peças numeradas de 1 a 6, representando partes de moléculas.



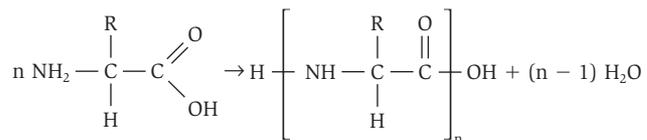
Para montar a estrutura de uma unidade fundamental de uma proteína, ele deverá juntar três peças do jogo na seguinte sequência:

- a) 1, 5 e 3      b) 1, 5 e 6      c) 4, 2 e 3      d) 4, 2 e 6

20. (UFPE) Dentre os elementos abaixo, qual está presente apenas em alguns dos aminoácidos constituintes das proteínas?

- a) carbono                      d) oxigênio  
b) hidrogênio                  e) enxofre  
c) nitrogênio

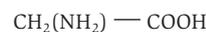
21. (UFMG) A estrutura primária das proteínas é formada pela polimerização de sequências definidas de aminoácidos, conforme representado pela equação:



Essa estrutura primária é mantida unida por:

- a) ligações iônicas.  
b) ligações covalentes.  
c) ligações de van der Waals.  
d) ligações de hidrogênio.

22. (PUC-RJ) Considere a glicina, que é uma importante substância para o funcionamento bioquímico dos mamíferos, e responda às seguintes questões:



- a) Qual o nome da glicina segundo a IUPAC?  
b) Quais as funções orgânicas que podem ser identificadas nessa molécula?  
c) Considere a reação entre duas moléculas de glicina e escreva a reação de formação do dipeptídeo e água.

23. (Uesb-BA) Tanto as carnes “vermelhas” quanto as carnes “brancas” são alimentos ricos em macromoléculas formadas pela união de moléculas de:

- a) glicose.  
b) sacarose.  
c) aminoácidos.  
d) vitaminas.  
e) sais minerais.

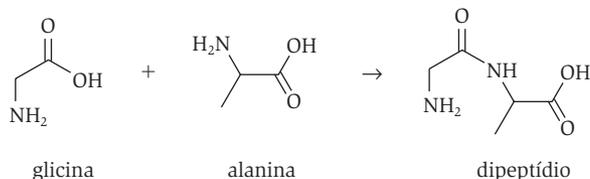
## Exercícios adicionais



Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

24. (UnB-DF)



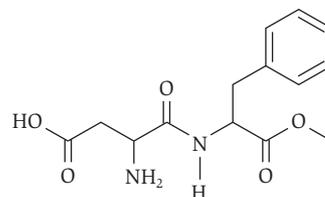
Em pesquisa conduzida em 2005 na Universidade de Brasília, realizou-se com sucesso, de forma inédita, o acoplamento entre duas importantes técnicas: a microscopia de força atômica (MFA) e a espectrometria de massa (EM). Essa nova abordagem permitiu a medida precisa da massa molar de diversos oligômeros da proteína ribonuclease A, por EM, e, ao mesmo tempo, a visualização da topografia desses oligômeros, por MFA, tudo em um mesmo suporte. Um oligômero é a união de diversas unidades moleculares da proteína, por meio de ligações não covalentes, formando um complexo proteico. Uma proteína é um polímero formado por diversas unidades de aminoácidos ligados por meio de ligações peptídicas. A figura acima, que mostra a reação entre o aminoácido glicina e o aminoácido alanina, formando um dipeptídeo, exemplifica como uma ligação peptídica pode ser formada.

A partir dessas informações, julgue os itens que se seguem em certos ou errados.

1. A reação de formação de uma ligação peptídica é um exemplo de reação entre um grupo ácido carboxílico e um grupo amina, formando um grupo amida.
2. Na reação mostrada, uma molécula de água é consumida para se obter o produto formado.
3. As informações do texto permitem inferir que um oligômero proteico é um complexo em que diversas unidades moleculares unem-se por meio de ligações intermoleculares, como ligações de hidrogênio e dipolos permanentes.

**Enunciado comum às questões 25 e 26.**

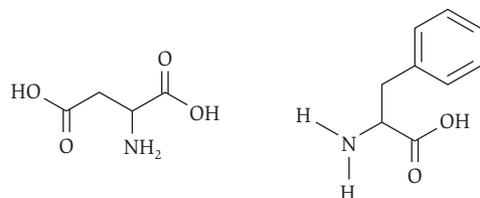
O aspartame, um adoçante sintético, é um éster metílico do L-aspartil-L-fenilalanina, cuja estrutura é assim representada:



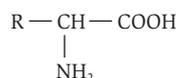
Com base nessas informações, julgue em verdadeiras ou falsas as afirmações dos exercícios 25 e 26.

25. (UFT-TO) A molécula do aspartame apresenta, entre outras funções, a de cetona.

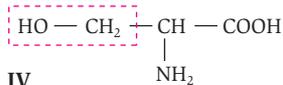
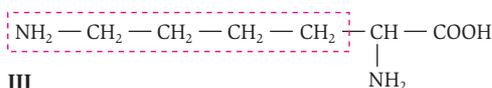
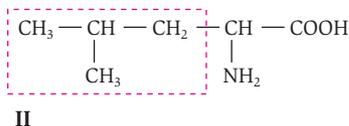
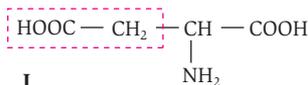
26. (UFT-TO) A hidrólise do aspartame produz dois aminoácidos, cujas estruturas são assim representadas:



27. (UFMG) Os aminoácidos são os blocos construtivos das proteínas, as quais são agentes indispensáveis para as funções biológicas. Os aminoácidos têm como fórmula geral a estrutura abaixo.



1. As cadeias laterais, **R**, dos aminoácidos podem ser classificadas como apolares ou polares.



Considerando as estruturas das cadeias laterais, **R**, dos aminoácidos **I**, **II**, **III** e **IV**, determine qual deles apresenta a cadeia lateral:

- menos polar de todas;
- com maior caráter ácido;
- com maior caráter básico.

2. A formação de proteínas e peptídeos ocorre pela ligação covalente entre aminoácidos, que leva à formação de um grupo amida.

Escreva a estrutura de um peptídeo formado pela ligação entre os aminoácidos **II** e **IV**, **em qualquer ordem**.

28. (Enem-MEC) O milho verde recém-colhido tem um sabor adocicado. Já o milho verde comprado na feira, um ou dois dias depois de colhido, não é mais tão doce, pois cerca de 50% dos carboidratos responsáveis pelo sabor adocicado são convertidos em amido nas primeiras 24 horas.

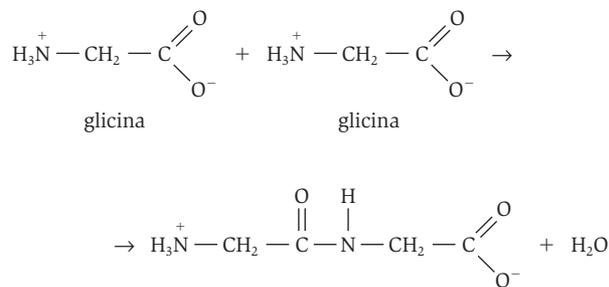
Para preservar o sabor do milho verde pode-se usar o seguinte procedimento em três etapas:

- 1ª descascar e mergulhar as espigas em água fervente por alguns minutos;
- 2ª resfriá-las em água corrente;
- 3ª conservá-las na geladeira.

A preservação do sabor original do milho verde pelo procedimento descrito pode ser explicada pelo seguinte argumento:

- a) O choque térmico converte as proteínas do milho em amido até a saturação; este ocupa o lugar do amido que seria formado espontaneamente.
- b) A água fervente e o resfriamento impermeabilizam a casca dos grãos de milho, impedindo a difusão de oxigênio e a oxidação da glicose.
- c) As enzimas responsáveis pela conversão desses carboidratos em amido são desnaturadas pelo tratamento com água quente.
- d) Microrganismos que, ao retirarem nutrientes dos grãos, convertem esses carboidratos em amido, são destruídos pelo aquecimento.
- e) O aquecimento desidrata os grãos de milho, alterando o meio de dissolução onde ocorreria espontaneamente a transformação desses carboidratos em amido.

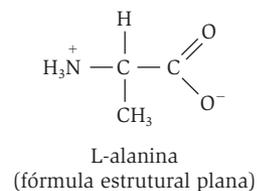
29. (Fuvest-SP) O grupo amino de uma molécula de aminoácido pode reagir com o grupo carboxila de outra molécula de aminoácido (igual ou diferente), formando um dipeptídeo com eliminação de água, como exemplificado para a glicina:



Analogamente, de uma mistura equimolar de glicina e L-alanina, poderão resultar dipeptídeos diferentes entre si, cujo número máximo será:

- a) 2
- b) 3
- c) 4
- d) 5
- e) 6

Dado:



## AMINOÁCIDOS ESSENCIAIS E AMINOÁCIDOS NÃO ESSENCIAIS

As moléculas das proteínas ingeridas são hidrolisadas na digestão, fornecendo aminoácidos, que passam para a corrente sanguínea. Esses aminoácidos são utilizados pelo organismo para a síntese das proteínas necessárias a seu bom funcionamento. (Em caso de necessidade, o organismo pode utilizar aminoácidos como fonte de energia; cada grama de aminoácidos metabolizados fornece 4 kcal de energia.)

Dos vinte aminoácidos encontrados em proteínas, alguns são **essenciais** ao ser humano, ou seja, não são sintetizados pelo organismo e, portanto, precisam estar presentes na dieta alimentar. Outros são sintetizáveis pelo nosso corpo e, graças a isso, não precisam necessariamente fazer parte da alimentação. São denominados aminoácidos **não essenciais**.

**TABELA 2** Aminoácidos essenciais e não essenciais à espécie humana

Essenciais	Não essenciais
fenilalanina	ácido aspártico
histidina	ácido glutâmico
isoleucina	alanina
leucina	arginina*
lisina	asparagina
metionina	cisteína*
treonina	glicina*
triptofano	glutamina*
valina	prolina*
	serina
	tirosina

Fonte: NELSON, D. L.; COX, M. M. *Lehninger Principles of Biochemistry*. 5. ed. Nova York: Freeman, 2008. p. 686.



BRIGITTE WEGNER/STOCKFOOD  
CREATIVE/GETTY IMAGES

▲ A gelatina consiste em colágeno desnaturado, geralmente proveniente do couro de gado. Apesar de ser uma proteína animal, é deficiente no aminoácido essencial triptofano. Assim, a gelatina não deve ser a única fonte proteica numa dieta (como é frequente acontecer com quem faz certos regimes para emagrecer).

Nem todos os alimentos apresentam a mesma qualidade nutricional no que diz respeito às proteínas. Quando uma proteína presente em um alimento possui todos os aminoácidos essenciais ao ser humano, dizemos que se trata de uma **proteína completa** ou **adequada**. As proteínas animais são, em geral, desse tipo. Já as proteínas de origem vegetal costumam ser **incompletas**, por não possuírem todos os aminoácidos essenciais ou apresentá-los em proporções muito diferentes da exigida por nosso organismo.

Do ponto de vista proteico, no entanto, não há necessidade de que carnes, ovos e leite estejam presentes em nossa alimentação todos os dias. É possível obter todos os aminoácidos essenciais a partir de vegetais por meio da **complementação proteica**, que consiste em combinar adequadamente duas ou mais fontes de proteínas, de modo a obtê-los todos.

Um exemplo bem brasileiro de complementação proteica é o do feijão com arroz. As proteínas do feijão são limitadas em metionina, mas possuem alto conteúdo de lisina. As do arroz possuem pouca lisina, mas são ricas em metionina.

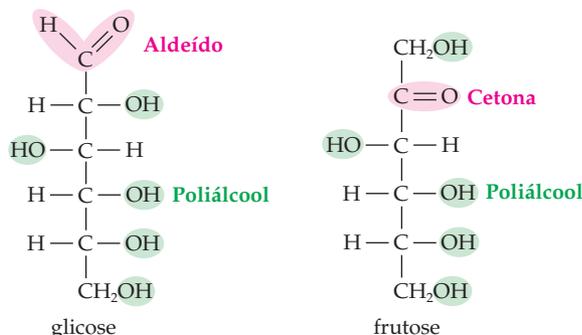
Balaceando a dieta alimentar, é possível ter uma vida saudável, mesmo que por motivos econômicos ou culturais não se consuma carne.

\*Necessários, em certa quantidade, para crianças e adolescentes em crescimento. O adulto saudável sintetiza quantidade suficiente para se manter.

## 4 Carboidratos

### 4.1 Monossacarídeos

Os carboidratos são a classe de compostos que inclui a glicose, a sacarose (o açúcar da cana), o amido e a celulose. Os carboidratos mais simples são denominados **monossacarídeos**. Exemplos de monossacarídeos são a *glicose* e a *frutose*.



Como você pode perceber, a glicose é aldeído e poliálcool (vários grupos OH) e a frutose é cetona e poliálcool. Quimicamente falando, os monossacarídeos se dividem em aldoses e cetoses.

**Aldose** é um composto que apresenta os grupos funcionais aldeído e álcool (poliálcool) e **cetose** é um composto que apresenta os grupos funcionais cetona e álcool (poliálcool).

### 4.2 Dissacarídeos

A molécula da *sacarose* (açúcar presente na cana) é formada pela união de uma molécula de glicose e uma de frutose. Podemos dizer que a sacarose é um exemplo de **dissacarídeo**, pois é o resultado da **união de dois monossacarídeos**.

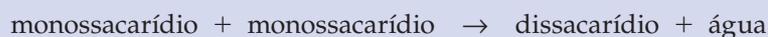
A formação da sacarose pode ser assim resumidamente equacionada:



Outros exemplos de dissacarídeos são:

- *lactose* (encontrada no leite), da união galactose + glicose;
- *maltose* (encontrada no malte), da união glicose + glicose.

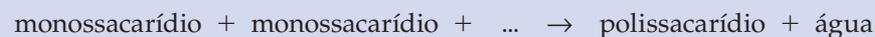
Generalizando:



A reação inversa é a **hidrólise** do dissacarídeo.

### 4.3 Polissacarídeos

Várias moléculas de monossacarídeos podem unir-se dando origem a um **polissacarídeo**. É o caso do *amido*, do *glicogênio* e da *celulose*, formados pela **união de muitas moléculas de glicose**.



A reação inversa é a **hidrólise** do polissacarídeo.

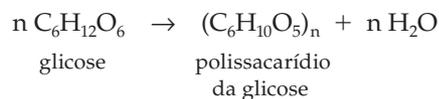


▲ A glicose é encontrada em muitos outros alimentos, principalmente no de uvas.



▲ Os dissacarídeos sacarose é encontrado na cana-de-açúcar. Morro Agudo, SP, 2003.

Podemos representar simplificada a formação de amido, de glicogênio ou de celulose, polissacarídeos da glicose, assim:



Nem todo carboidrato tem sabor doce; amido e celulose são exemplos de carboidratos que não possuem sabor doce. Os carboidratos, sejam eles mono, di ou polissacarídeos, podem ser representados pela fórmula geral  $\text{C}_m(\text{H}_2\text{O})_n$ , derivando daí o nome **hidrato de carbono** ou **carboidrato**.

O amido é um polissacarídeo de reserva em vegetais, ou seja, é uma maneira que eles utilizam para armazenar alimento (glicose) para ser usado quando houver necessidade. Grânulos de amido podem ser encontrados em sementes (milho, arroz e feijão), caules (batata), raízes (mandioca) ou folhas (alcachofra). Nosso organismo é capaz de digerir o amido, que é hidrolisado no intestino, fornecendo glicose. As moléculas desse monossacarídeo passam para a corrente sanguínea e são distribuídas pelo corpo para ser usadas como fonte de energia.

A celulose é um importante material estrutural que forma a parede das células vegetais. Estima-se que cerca de 50% da matéria orgânica existente em nosso planeta corresponda à celulose. Ela não é digerida pelo nosso organismo, que não possui enzimas digestivas para tal finalidade. Quando ingerimos uma verdura, estamos ingerindo celulose. Costuma-se dizer que comer verduras é bom para a saúde. Mas por quê, já que a celulose não é digerida? A resposta está ligada às fibras de celulose. Como passam pelo intestino sem sofrer alteração, elas dão consistência ao bolo de material fecal, facilitando sua movimentação ao longo do intestino e evitando o ressecamento das fezes e a prisão de ventre.

A celulose presente na madeira é usada para a fabricação de papel e a celulose encontrada no algodão é utilizada na fabricação de fibras têxteis industriais destinadas à confecção de roupas, cortinas e sacarias.



PHOTODISCY  
GETTY IMAGES

▲ Alimentos elaborados com farinha, como o macarrão, são ricos em amido.



▲ Cerca de 50% da massa da madeira se deve à celulose.



▲ Boievs acasc onseguema limentar-sed ac elulosee xistente nos vegetais graças à presença, em seus sistemas digestórios, dem icrorganismosq ued igereme ssep olissacarídeo. Valparaíso, SP, 2003.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

## 4.4 Carboidratos como fonte de energia na dieta

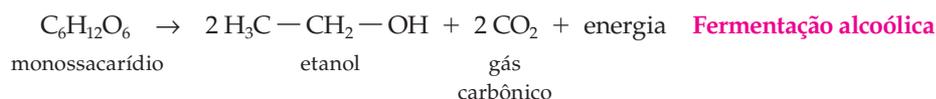
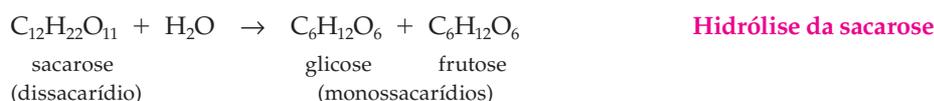
Os carboidratos são uma importante fonte de energia em nossa dieta alimentar. Os dissacarídeos e os monossacarídeos ingeridos são hidrolisados no intestino, produzindo monossacarídeos. Esses, por sua vez, são absorvidos e distribuídos pela corrente sanguínea para todas as células do corpo.

Nas células, as moléculas de monossacarídeos são metabolizadas pelo organismo, em um processo que libera energia. A equação global do processo é:



## 4.5 A produção de etanol por fermentação

A produção de álcool a partir de cana-de-açúcar começa com a moagem. O caldo de cana obtido (garapa) é deixado, então, por volta de 24 horas em tanques contendo fermento, constituído de microrganismos (fungos da espécie *Saccharomyces cerevisiae*) que se encarregam de executar a transformação de açúcar em álcool etílico. O processo pode ser assim equacionado:



A primeira etapa é a **hidrólise da sacarose** e a segunda é denominada **fermentação alcoólica**. Os microrganismos executam essa reação, obtendo, por meio dela, a energia necessária para sua sobrevivência.

Durante o processo, o caldo esquenta devido à energia liberada e são desprendidas bolhas de  $CO_2$ . Muitas outras reações (que não são de nosso interesse) acontecem e o caldo adquire um odor desagradável. O álcool produzido está misturado com a água e muitas outras substâncias. Por meio de uma destilação fracionada, o álcool é separado dos demais componentes.

Por melhor que seja a coluna de destilação fracionada que se utilize, o álcool destilado nunca será completamente puro. O que se obtém é **álcool 96 °GL** (lê-se o símbolo "°GL" como "graus Gay-Lussac"), ou seja, 96% em volume de álcool e 4% em volume de água. Essa mistura, que não pode ser separada por destilação, é uma **mistura azeotrópica** (possui ponto de ebulição bem definido e inferior ao do álcool puro).

O resíduo pastoso e malcheiroso que sobra após a destilação é conhecido como **vinhoto** ou **vinhaça**. Quando jogado nos rios constitui uma séria fonte de poluição. Pode, no entanto, ser aproveitado como adubo ou na produção de biogás. O bagaço da cana, por sua vez, pode ser usado para a alimentação do gado ou pode ser seco e aproveitado como combustível.

Para obter **álcool anidro** (100 °GL), o etanol 96 °GL é tratado com cal virgem (CaO) e, a seguir, destilado. A reação entre a cal virgem e a água produz cal hidratada (Ca(OH)<sub>2</sub>), que não sai na destilação.



MAURICIO SIMONETTI/PULSAR IMAGENS

▲ Caldo de cana em fermentação: as bolhas são de gás carbônico,  $CO_2$ , liberado no processo. A palavra **fermentar** vem do latim *fervere*, "ferver".



RACHEL WELLS/FOODPIX/OTHER IMAGES

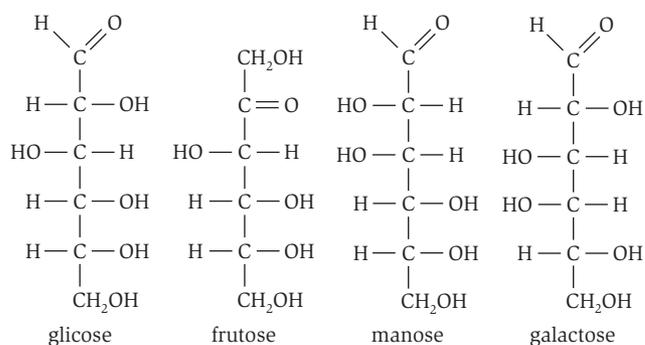
▲ Ocha madofer mento biológico é cons tituído por microrganismos (omes mo *Saccharomyces cere visiae* usado na produção de álcool) que exe cutam reações de fer mentação com uma pequena parte dos carboidratos presentes na massa, libe rando  $CO_2$  den tro dela, o que a faz crescer e ficar macia. Por esse motivo é que se deve, ao usar fermen tobio lógico, dei xar a massa "descansar" antes de assá-la. Durante esse "descanso" é que a fer mentação ocorre.

## Exercícios essenciais

Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

- 30.** (Vunesp) Os monossacarídeos são os carboidratos mais simples, onde o número de átomos de carbono pode variar de cinco, como nas pentoses, a seis carbonos, como nas hexoses. Os monossacarídeos glicose, frutose, manose e galactose estão representados a seguir.



Os grupos funcionais presentes nessas moléculas são:

- a) ácido carboxílico, poliálcool e aldeído.  
 b) poliálcool, aldeído e cetona.  
 c) poliálcool, éster e cetona.  
 d) éster, aldeído e cetona.  
 e) poliálcool, ácido carboxílico e cetona.
- 31.** (Ufes) O estado do Espírito Santo é um grande produtor de polpa de celulose branqueada. A celulose é um carboidrato fibroso encontrado em todas as plantas, sendo o polissacarídeo mais abundante na natureza, formado pela condensação de moléculas de:
- a) sacarose.      c) maltose.      e) ribose.  
 b) ribulose.      d) glicose.
- 32.** (PUC-RS) A Coluna I apresenta as fórmulas gerais de alguns compostos e a Coluna II, as fontes de ocorrência desses compostos.

Coluna I	Coluna II
1. $\text{R}-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$	(?) óleo de cozinha
2. $\text{R}-\text{COONa}$	(?) farinha
3. $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}-\text{O}-\text{COR} \\   \\ \text{HC}-\text{O}-\text{COR} \\   \\ \text{H}_2\text{C}-\text{O}-\text{COR} \end{array}$	(?) clara de ovo
4. $\text{C}_x(\text{H}_2\text{O})_y$	(?) sabão

A sequência correta dos números da Coluna II, de cima para baixo, é:

- a) 1 - 2 - 3 - 4      d) 3 - 4 - 1 - 2  
 b) 2 - 1 - 4 - 3      e) 4 - 3 - 1 - 2  
 c) 3 - 1 - 4 - 2

- 33.** (UFSCar-SP) Foram feitas as seguintes afirmações sobre a química dos alimentos:

- I. As proteínas são polímeros naturais nitrogenados, que no processo da digestão fornecem aminoácidos.  
 II. O grau de insaturação de um óleo de cozinha pode ser estimado pela reação de descolorimento de solução de iodo.  
 III. O amido é um dímero de frutose e glicose, isômeros de fórmula molecular  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ .  
 IV. Um triglicerídeo saturado é mais suscetível à oxidação pelo oxigênio do ar do que um poli-insaturado.

São verdadeiras as afirmações:

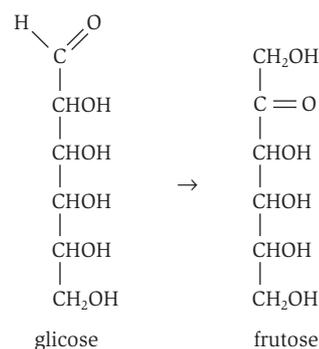
- a) I e II, apenas.      d) I, II e III, apenas.  
 b) II e III, apenas.      e) I, II, III e IV.  
 c) III e IV, apenas.

- 34.** (PUC-RS) O composto orgânico obtido pela substituição de um dos átomos de hidrogênio da molécula da água pelo grupo etil:

- a) é um gás incolor a temperatura ambiente.  
 b) é parcialmente solúvel em água.  
 c) apresenta cadeia carbônica heterogênea.  
 d) é utilizado como comburente.  
 e) pode ser obtido pelo processo de fermentação.

- 35.** (UFMG) A glicose,  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ , é uma das fontes de energia mais importantes para os organismos vivos. A levedura, por exemplo, responsável pela fermentação do caldo da cana-de-açúcar, alimenta-se da glicose.

1. Na decomposição da glicose pela levedura, a primeira reação que ocorre é a conversão da glicose em frutose:



Cite três funções orgânicas que podem ser encontradas em uma ou em ambas as estruturas desses compostos.

2. A levedura utiliza a energia liberada na fermentação e produz etanol e dióxido de carbono. Considerando que a fermentação é anaeróbica — isto é, ocorre na ausência de oxigênio —, escreva a equação balanceada da reação de fermentação da glicose.

## Exercícios adicionais

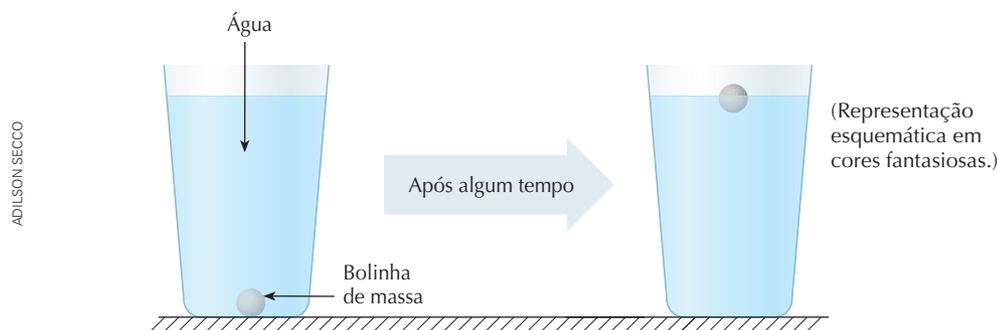
Resolva em seu caderno

Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

36. Uma determinada marca de torradas é produzida com farinha de trigo, sal, água e óleo. Uma vez que o fabricante deseja fazer **torradas salgadas**, ele **não inclui sacarose** (açúcar de cana) na receita. No rótulo desse produto o fabricante colocou a seguinte inscrição: “Não contém carboidrato”. Mesmo bem-intencionado, o fabricante cometeu um engano.
- Explique o que o fabricante quis dizer ao colocar essa inscrição.
  - Faça outra inscrição de modo que expresse a ideia desejada, porém sem erros de natureza química.

**Enunciado comum às questões 37, 38 e 39.**

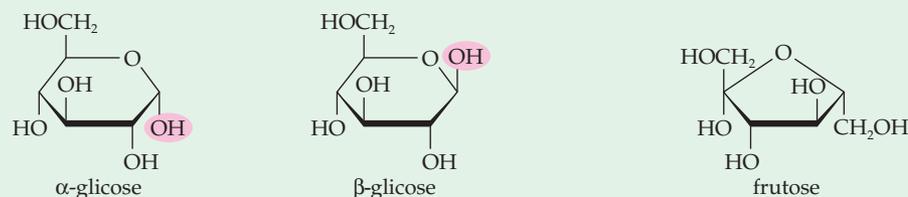
Ao fazer pão caseiro, deixa-se a massa “descansar” a fim de que o fermento atue. Alguns cozinheiros e cozinheiras costumam colocar uma pequena bola dessa massa dentro de um copo com água. Após algum tempo a bolinha, que inicialmente está no fundo do copo, sobe e passa a flutuar na água. Isso indica que a massa está pronta para ir ao forno.



- Que se pode afirmar sobre a densidade inicial da bolinha se comparada à da água?
- Por que a atuação do fermento faz a bolinha flutuar?
- Em dias frios a bolinha leva mais tempo para subir. Por quê?

**ESTRUTURA CÍCLICA DA GLICOSE E DA FRUTOSE**

Os monossacarídeos geralmente são encontrados na natureza não sob as formas mostradas anteriormente, em que a cadeia carbônica da molécula é aberta, mas sim como moléculas de cadeia carbônica fechada (cíclica). Tais moléculas se formam por meio de uma reação entre grupos funcionais hidroxila e carbonila de uma mesma molécula de monossacarídeo. As estruturas cíclicas da glicose ( $\alpha$ -glicose e  $\beta$ -glicose) e da frutose são as seguintes:



Note que a sutil diferença entre  $\alpha$ -glicose e  $\beta$ -glicose, destacada em rosa, está na posição de um grupo OH em relação ao anel.

As propriedades diferentes do amido e da celulose se devem às diferentes estruturas tridimensionais de ambos os polímeros, que decorrem do fato de o amido ser um polissacarídeo da  $\alpha$ -glicose e a celulose ser um polissacarídeo da  $\beta$ -glicose.

## 5 Ácidos nucleicos

Engenharia genética, clonagem e exames de DNA para elucidar crimes e dar laudos sobre paternidade se tornaram temas frequentes nos noticiários.

A existência dos ácidos nucleicos foi estabelecida em 1869 por Friedrich Miescher, que analisou células encontradas no pus. Dessas células ele obteve uma substância (ou mistura delas) com um conteúdo inesperadamente alto (3%) de fósforo, algo relativamente incomum nas moléculas orgânicas conhecidas na época. Miescher denominou essa nova substância “nucléina” e, em alguns anos, conseguiu provar que ela pertencia a uma nova classe de substâncias encontradas nos seres vivos. Como se tratava de uma substância de caráter ácido e que estava presente no núcleo das células, ele passou a chamá-la de “ácido nucleico”.

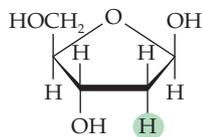
Algumas décadas se passaram até que, em 25 de abril de 1953, dois cientistas que trabalhavam juntos no Laboratório Cavendish, na Universidade de Cambridge (Inglaterra) — o biólogo estadunidense James Dewey Watson e o físico inglês Francis Harry Compton Crick —, publicaram na revista *Nature* um trabalho sobre a estrutura das moléculas de DNA. Eles desvendavam um mistério de décadas e, ao mesmo tempo, abriam caminho para inúmeras novas e fascinantes descobertas científicas.

As moléculas dos ácidos nucleicos são as maiores e mais complexas encontradas nos organismos vivos. Perto delas, lipídios, polissacarídeos e proteínas parecem tímidas miniaturas moleculares. Há dois tipos de ácidos nucleicos:

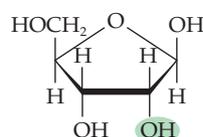
- **DNA** (ácido desoxirribonucleico), responsável pelo armazenamento codificado das informações genéticas de um indivíduo, que o diferenciam de todos os outros seres vivos, inclusive os da mesma espécie (exceto se ele tiver um gêmeo idêntico ou um clone). Em outras palavras, o DNA constitui uma biblioteca de dados contendo as informações ligadas à hereditariedade.
- **RNA** (ácido ribonucleico), responsável pela execução das informações genéticas contidas no DNA, estando ligado diretamente à síntese de proteínas pelo organismo. Moléculas de ácido ribonucleico levam as informações contidas nos genes até os locais na célula em que serão transformadas em ação.

Podemos encarar as moléculas dos ácidos nucleicos como sendo formadas a partir de três tipos de compostos químicos:

- **Pentoses** — monossacarídeos contendo cinco carbonos na molécula. (Monossacarídeos de seis carbonos, como glicose e frutose, são chamados *hexoses*.) No DNA encontramos a desoxirribose, e no RNA, a ribose, cujas estruturas são mostradas abaixo. Observe que a desoxirribose apresenta um átomo de oxigênio a menos que a ribose (daí o nome *desoxirribose*).



desoxirribose  
Presente no DNA



ribose  
Presente no RNA

### Note bem!

A diferença entre a desoxirribose e a ribose está no fato de a desoxirribose **não** ter um oxigênio no local destacado em verde.

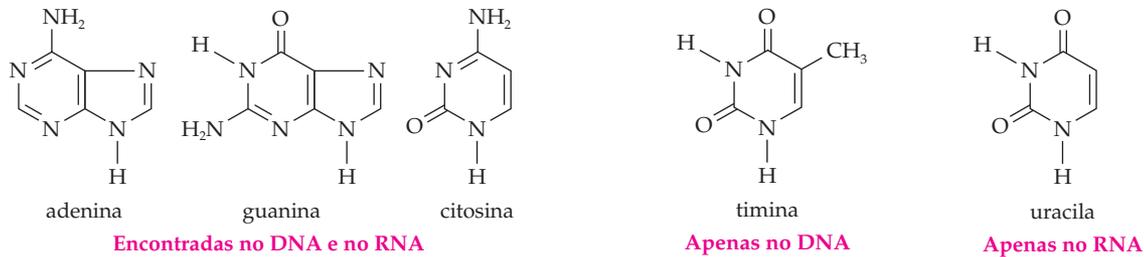


▲ James Watson em 2006, Nova York, EUA.

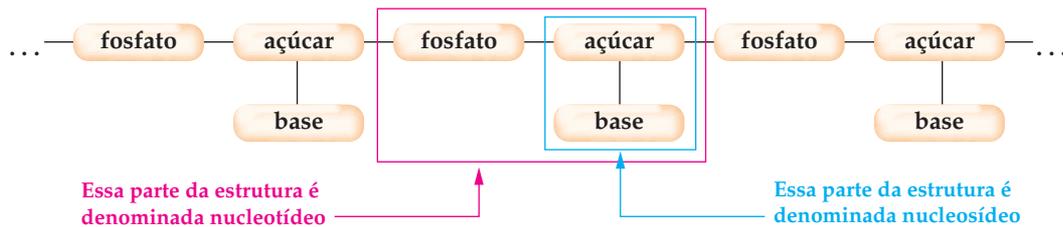


▲ Francis Crick (1916-2004) em 1993, Paris, França.

- **Grupos fosfato** — originários do ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) pela perda de íons  $H^+$  e/ou substituição dos átomos de hidrogênio por grupos orgânicos.
- **Bases nitrogenadas** — moléculas orgânicas cíclicas contendo nitrogênio. Estudos revelaram que no DNA estão presentes quatro bases diferentes, chamadas de adenina, guanina, citosina e timina. No RNA, também há quatro bases diferentes: adenina, guanina, citosina e uracila. As estruturas dessas moléculas são mostradas abaixo:



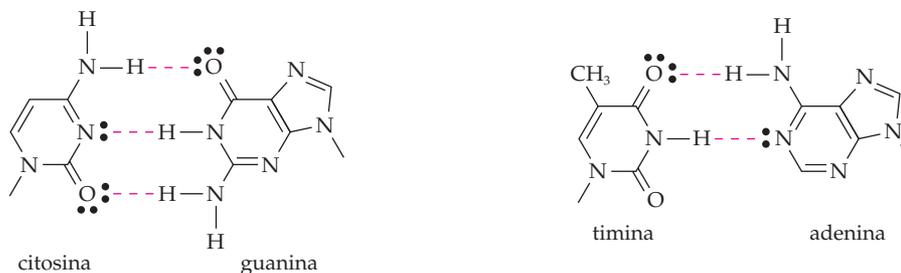
Na estrutura do DNA existe uma longa sequência formada por fosfato e açúcar (desoxirribose), em que as moléculas das bases nitrogenadas estão ligadas às moléculas de açúcar:



Essa molécula é frequentemente denominada **fitas de DNA** (veja estrutura ④, na página seguinte). Duas dessas fitas se unem por meio de ligações de hidrogênio que se estabelecem entre as bases nitrogenadas (veja modelos ⑤ e ⑥, na página seguinte), adquirindo o aspecto de uma **dupla-hélice**.

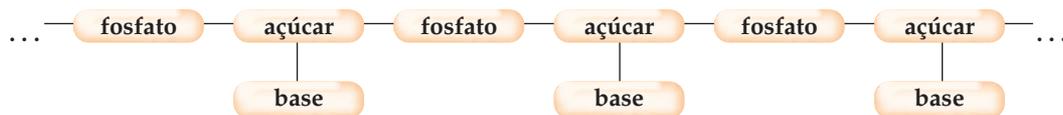
Na união das duas fitas de DNA, ocorre o estabelecimento de:

- **três** ligações de hidrogênio entre citosina e guanina e
- **duas** ligações de hidrogênio entre timina e adenina.

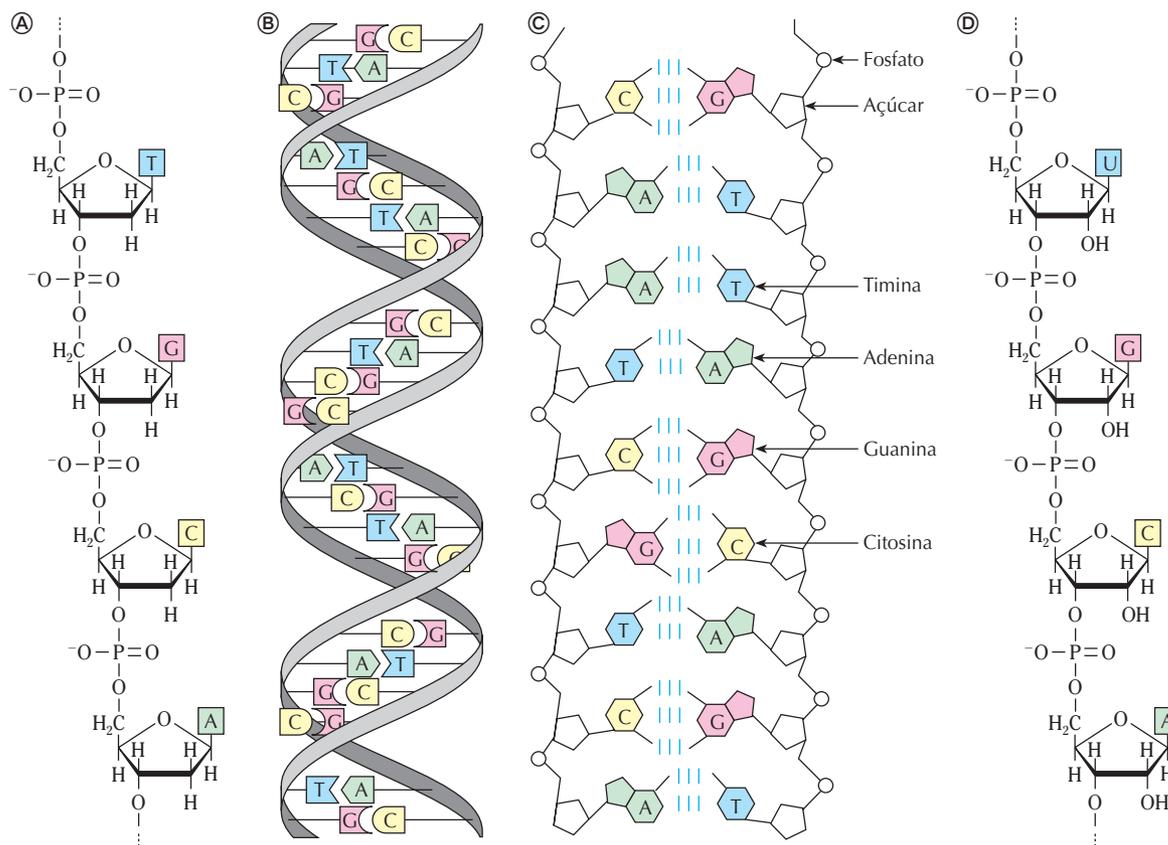


As bases nitrogenadas, dispostas na ordem correta, armazenam, de modo codificado, as informações no DNA.

Ao contrário da estrutura do DNA, na do RNA existe apenas uma fita. Nela também existe a sequência:



só que o açúcar presente é a ribose e, em lugar da base timina, encontra-se a uracila (veja estrutura ④, abaixo). As fitas simples de RNA são elaboradas no organismo a partir das fitas duplas de DNA e servem, como dissemos anteriormente, para transportar as informações codificadas no DNA até os locais na célula onde serão necessárias para elaborar tarefas como, por exemplo, a síntese de proteínas.



- ① Estrutura de uma fita de DNA.  
 ② Modelo para o DNA que dá ênfase à estrutura em forma de dupla-hélice e ao pareamento das bases: timina (T) com adenina (A) e citosina (C) com guanina (G). (Cores e formas fantasiosas.)  
 ③ Modelo para o DNA que dá ênfase ao pareamento das bases e à ocorrência de três ligações de hidrogênio entre C e G e duas entre T e A. (Cores e formas fantasiosas.)  
 ④ Estrutura de uma fita de RNA. Note que, comparada à fita de DNA, aparece a uracila (U) no lugar da timina e a ribose no lugar da desoxirribose.

Fonte: NELSON, D. L.; COX, M. L. *Lehninger Principles of Biochemistry*. 5. ed. Nova York: Freeman, 2008. p. 275, 277, 279; ALBERTS, B. et al. *Molecular Biology of the Cell*. 5. ed. Nova York: Garland Science, 2008. p. 198.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

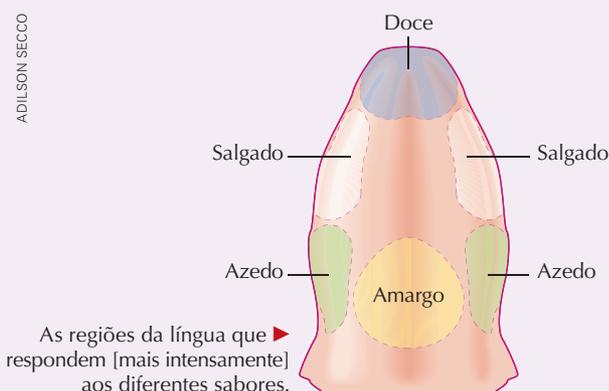
## Informe-se sobre a Química

### “Doçura

Sabor e aroma são exemplos de *quimiorrecepção*. O sabor em mamíferos é confinado à região úmida no interior da boca, mas alguns insetos provam o gosto de alimentos através dos seus pés, e os corpos de peixes estão cobertos de quimiorreceptores. Dentro das bocas dos humanos, quimiorreceptores localizam-se principalmente no órgão muscular chamado de língua. Línguas adultas têm aproximadamente dez centímetros de comprimento e contêm

aproximadamente *nove mil papilas gustativas*, que são grupos de cinquenta a cem células epiteliais inervadas por um pequeno número de terminais nervosos. Neste sentido, o sabor difere do olfato, no qual os sensores são os próprios terminais nervosos. No adulto, as papilas estão muito confinadas ao perímetro da língua e o seu número declina com a idade, particularmente depois dos 45 anos. Nas crianças a língua é recoberta de papilas.

Como mostra a ilustração, diferentes regiões da língua respondem ao que alguns identificam como os quatro sabores básicos: doce, salgado, ácido e amargo. A doçura, analisada nesta seção, é detectada na frente da língua. Os gatos têm muito poucos receptores desse tipo e estão entre os poucos animais que não dão preferência ao sabor doce. A preferência por doçura e a aversão pelo sabor amargo podem ser uma adaptação evolucionária, já que muitos frutos maduros são doces (quando os frutos amadurecem sua acidez declina e percebe-se melhor a doçura dos açúcares) enquanto muitos vegetais venenosos são amargos.



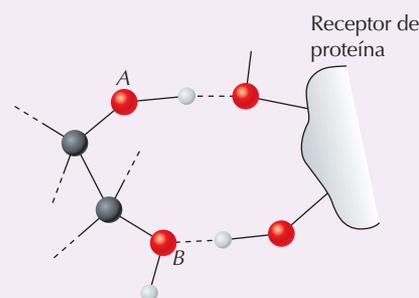
#### • ATENÇÃO

**NUNCA** caia na tentação de colocar na boca substâncias desconhecidas sem orientação do(a) professor(a). Essa é uma atitude arriscada, pois pode provocar danos à saúde.

Moléculas que evocam sabor são chamadas de *saporíferas* (da palavra latina *sapere*, que significa "provar"). Um critério de saporidade é a solubilidade, porque uma substância deve dissolver-se em água antes de poder penetrar nos sensores de sabor. Sabores particulares são evocados por moléculas com grupos de átomos em arranjos característicos chamados de unidades *saporíferas*. A unidade responsável pela doçura é chamada de *glucóforo*; a estrutura de um glucóforo presumivelmente é uma réplica da estrutura de uma proteína em um receptor de sabor — um botão ou cálice gustativo próximo da frente da língua. Quando a molécula se liga, talvez por formar pontes de hidrogênio com a proteína, um sinal é enviado ao cérebro.

Vários modelos foram propostos para os glucóforos. O problema é identificar um grupo de átomos num dado arranjo geométrico que, se presente em uma molécula e o restante desta não for volumoso demais a ponto de impedi-lo de se aproximar estreitamente do receptor da molécula de proteína, pode ligar-se à molécula de proteína e produzir a sensação de doçura. O glucóforo é, portanto, uma

espécie de chave molecular, e a molécula de proteína é a fechadura molecular. Um modelo está na ilustração a seguir. Os átomos [representados no modelo em vermelho] chamados de *A* e *B* devem ser elétron-atratores (usualmente oxigênio, mas às vezes nitrogênio) que podem participar de pontes de hidrogênio. A doçura pode também depender da presença de um grupo de hidrocarbonetos [cadeia hidrocarbônica] próximo aos átomos *A* e *B*.



▲ A presença de uma unidade desta forma, sendo a distância entre *B* e o átomo de hidrogênio ligado a *A* de  $3 \times 10^{-8}$  cm, têm sido postulada como responsável pela sensação de doçura. É a chave que entra na fechadura da proteína do sensor apropriado. [Representação esquemática em cores fantasiosas e fora de proporção.]

A frutose é o açúcar mais doce (quando está na forma de anel de seis membros). A sacarose tem sabor cerca de uma vez e meia mais doce que a glicose, talvez devido ao fato de conter dois glucóforos em um arranjo apropriado para que ocupem dois sítios em proteínas vizinhas. Entretanto, o amido não é doce, ainda que seja rico em glucóforos. Isso ocorre provavelmente porque as suas unidades individuais de glicose são firmemente impedidas de penetrar nos sítios do receptor pelo resto da cadeia.

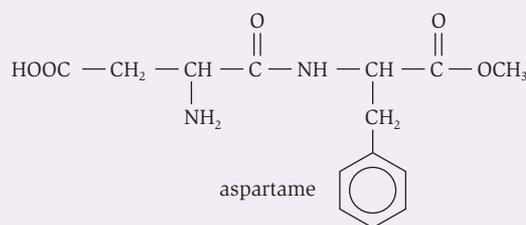
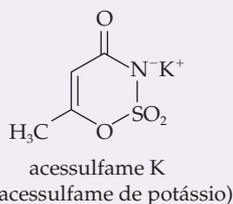
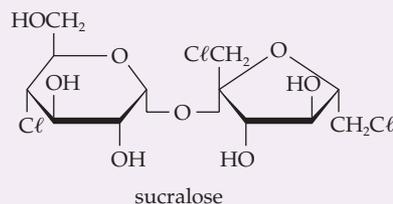
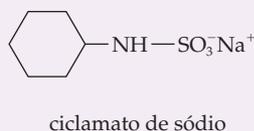
Algumas moléculas pequenas, incluindo glicóis como o etileno glicol [ $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ , extremamente tóxico] e o glicerol, são doces. Os alfa-aminoácidos como a glicina são doces, mas os que têm o grupo  $-\text{NH}_2$  mais afastado do grupo carboxila não o são. Por exemplo, o neurotransmissor GABA [ácido 4-amino-butanoico] é insípido. Os sabores dos alfa-aminoácidos, que são imagem especular um do outro, são diferentes: os D-aminoácidos (que não ocorrem naturalmente) são todos doces, mas os correspondentes L-aminoácidos [...] podem ser doces, amargos ou insípidos. Isso enfatiza a importância da forma da molécula para a sua capacidade de ligar-se à molécula da proteína receptora. A imagem especular de uma chave molecular pode ser incapaz de funcionar na fechadura molecular. [...]"

**Fonte do texto e das ilustrações:** ATKINS, P. W. *Moléculas*. trad. SANTOS, P. S.; GALEMBECK, F. São Paulo: Edusp, 2006. p. 106-107.

## Adoçantes artificiais

A presença de carboidratos na dieta alimentar, embora essencial, está ligada à formação de cáries, se não houver uma higiene bucal após a alimentação, e à formação de tecido gorduroso e aumento de peso, se houver consumo que exceda às exigências energéticas do organismo.

Tais problemas, principalmente o segundo, conduziram ao desenvolvimento dos adoçantes artificiais com pouco ou nenhum valor calórico. A fórmula estrutural de alguns deles aparece a seguir.



A tabela a seguir mostra uma comparação entre o **poder edulcorante**, ou **índice de doçura**, número que expressa o sabor doce das substâncias, para alguns açúcares e adoçantes artificiais. Nela, a sacarose (açúcar da cana) teve seu sabor tomado como referência e, portanto, seu valor é 1,0. A informação de que a frutose é 1,7 vezes mais doce que a sacarose deve ser interpretada da seguinte maneira: é necessário 1,7 g de sacarose para obter o mesmo sabor doce (por exemplo, em um copo de água) que seria obtido com 1,0 g de frutose.

Poder edulcorante (ou índice de doçura) de algumas substâncias, em relação à sacarose.	
Substância	Doçura relativa à sacarose
Lactose	0,16
Galactose	0,32
Maltose	0,33
Glicose	0,74
Sacarose	1,0
Frutose	1,7
Ciclamato	30
Aspartame	180
Acessulfame K	200
Sacarina	300
Sucralose	600

Fonte da tabela: BLEI, I.; ODIAN, G. *General, Organic, and Biochemistry: Connecting Chemistry to your life*. 2. ed. Nova York: Freeman, 2006. p. 542.

O ciclamato de sódio é, há muito tempo, objeto de controvérsias. Em experiências com animais de laboratório, no final da década de 1960, foram obtidas evidências de que pode estar associado ao aumento da incidência de câncer. Não houve, no entanto, comprovação definitiva dessas suspeitas e muita polêmica ainda paira sobre sua comercialização e uso, permitidos em nosso país.

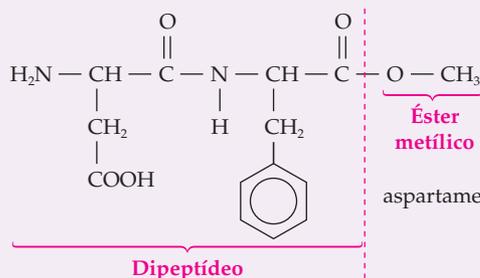
O aspartame é um dos adoçantes mais utilizados. É usado em bebidas, gelatinas, gomas de mascar e diretamente como adoçante para café, chá, suco etc. Trata-se de um dipeptídeo (derivado da união de dois aminoácidos) e seu uso é tido como relativamente seguro, exceto para as pessoas portadoras de uma deficiência denominada fenilcetonúria (representada pela sigla inglesa PKU). Os seus portadores não podem ingerir grandes quantidades do aminoácido fenilalanina, sob sério risco de saúde. Acontece que a fenilalanina é justamente um dos aminoácidos empregados na elaboração do aspartame, que não deve, portanto, ser ingerido por fenilcetonúricos. Provavelmente você já viu em embalagens de refrigerantes *diet* ou *light* adoçados com aspartame inscrições do tipo: “Atenção fenilcetonúricos: contém fenilalanina”.

O aspartame apresenta valor calórico igual ao da sacarose, 4 kcal por grama. Então por que ele é considerado adoçante de baixas calorias? A resposta reside no fato de ele ser 180 vezes mais potente que a sacarose como adoçante. Assim, é necessária uma quantidade muito pequena (180 vezes menor) para obter o mesmo sabor doce.

### ● Você entendeu a leitura?

Responda em seu caderno

1. A fórmula estrutural do adoçante aspartame permite que se reconheça nela um dipeptídeo.



Observe atentamente a fórmula do aspartame e, consultando este capítulo, diga quais os aminoácidos utilizados em sua síntese.

2. Segundo o texto, o aspartame apresenta valor calórico igual ao da sacarose, 4 kcal por grama. Se o valor calórico de ambos é o mesmo, qual a vantagem em usar-se o aspartame em regimes alimentares?
3. (Unicamp-SP)\* Os nossos heróis estranharam a presença dos dois copos sobre a mesa, indicando que teria passado mais alguém por ali. Além dis-

so, havia leite e, pela ficha cadastral, eles sabiam que o guarda não podia tomá-lo, pois sofria de deficiência de lactase, uma enzima presente no intestino delgado. Portanto, se o guarda tomasse leite, teria diarreia.

Na presença da lactase, a lactose, um dissacarídeo, reage com água dando glicose e galactose, monossacarídeos.

- a) Copie no caderno a equação a seguir, que representa a transformação do dissacarídeo em glicose e galactose, substituindo os quadradinhos pelas fórmulas adequadas.



- b) Se, com a finalidade de atender as pessoas deficientes em lactase, principalmente crianças, um leite for tratado com a enzima lactase, ele terá o seu “índice de doçura” aumentado ou diminuído? Justifique. Lembre-se de que o “poder edulcorante” é uma propriedade aditiva e que traduz quantas vezes uma substância é mais doce do que o açúcar, considerando-se massas iguais. A lactose apresenta “poder edulcorante” 0,26, a glicose 0,70 e a galactose 0,65.

\* Questão extraída de uma prova que relata uma história fictícia envolvendo dois policiais técnicos.

## ○ Reavalie o que você pensa a respeito



Verifique em que mudaram suas concepções prévias

Reveja sua resposta à atividade da segunda página deste capítulo, reavalie o que escreveu, discuta com seus colegas e, se julgar necessário, elabore novas justificativas ou aprimore as que tinha escrito. Apresente-as ao professor.

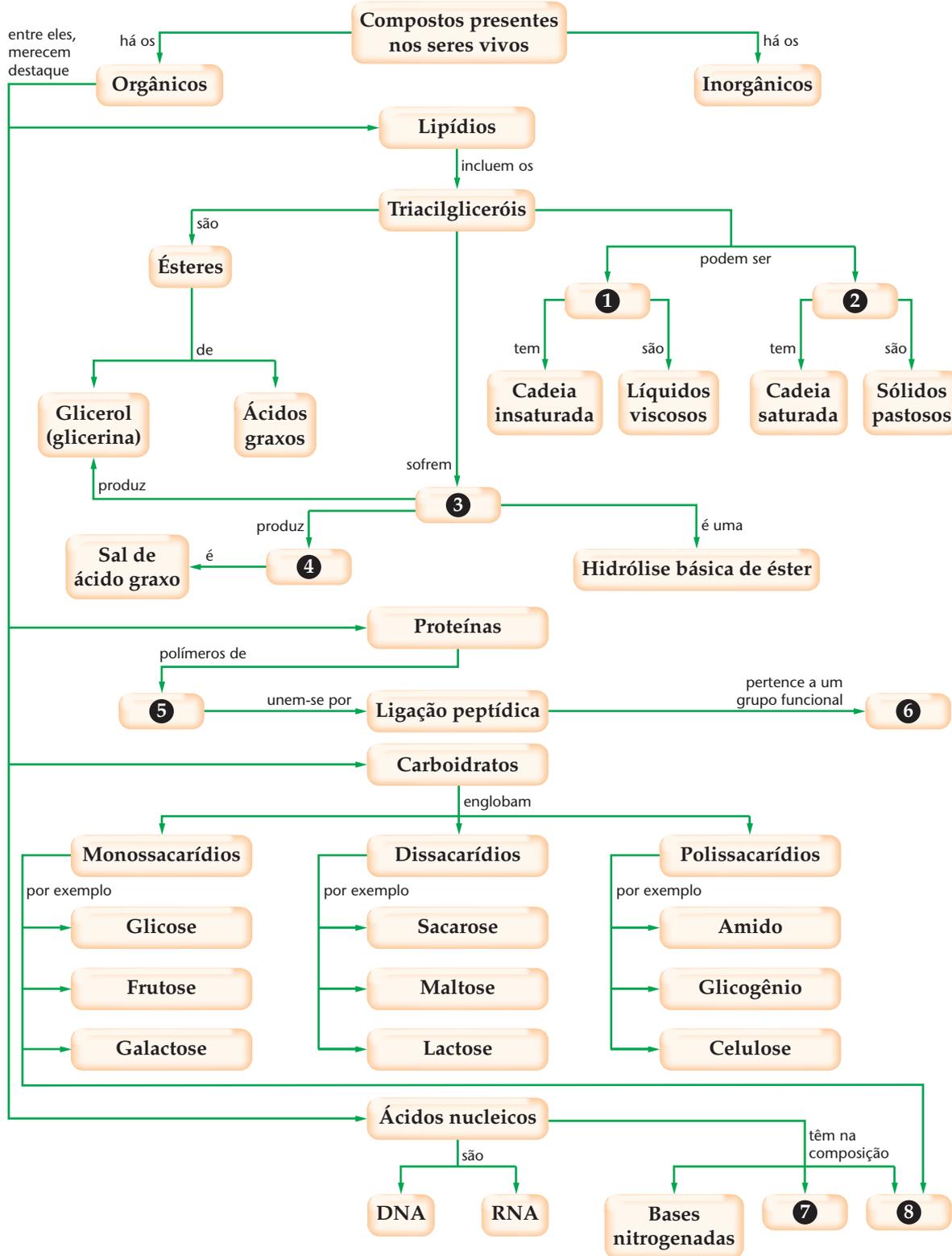


**Importante:**

Este mapa é apenas uma das muitas possibilidades de relacionar esses conteúdos conceituais.

## MAPA CONCEITUAL – COMPOSTOS ORGÂNICOS BIOLÓGICOS

Revise os conceitos estudados e decida como podem ser completados os locais em que aparecem os números.



Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

# A Química Orgânica e o ambiente

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

JACQUES DESCLOTRES. MODIS LAND RAPID RESPONSE TEAM. GSC/NASA



## Alguns conteúdos importantes:

▲ A intensificação do efeito estufa e o consequente aquecimento global estão diretamente ligados à queima de combustíveis fósseis. As alterações climáticas decorrentes já estarão se fazendo notar? Na foto, imagem obtida por satélite do ciclone Catarina, que atingiu o litoral de Santa Catarina em março de 2004.

- ✓ Principais tipos de hidrocarbonetos presentes no petróleo e seu aproveitamento na indústria petroquímica
- ✓ Noção sobre os produtos importantes da indústria petroquímica
- ✓ Carvão mineral e seu aproveitamento
- ✓ Efeito estufa e intensificação do efeito estufa devido à atividade humana
- ✓ Biogás e biomassa
- ✓ Métodos usados no descarte do lixo, suas vantagens e devantagens
- ✓ Compostagem e reciclagem do lixo

## O que você pensa a respeito?



Sondagem de concepções prévias

Na lista abaixo estão relacionados alguns termos e conceitos. Indique no seu caderno aqueles que você julga que estejam relacionados à imagem e justifique sua escolha. Discuta com seus colegas e apresente as conclusões ao professor.

- aquecimento global
- matéria-prima
- alcatrão da hulha
- carvão mineral
- águas amoniacais
- água destilada
- hidrocarbonetos



CELSO AVILA/FUTURA PRESS

▲ Plataforma de extração de Petróleo. Bacia de Campos, RJ, 2004.

## O Pare e situe-se!

Texto introdutório ao capítulo

Um **combustível fóssil** é aquele originado de complexas transformações sofridas por organismos que viveram há milhões de anos. Exemplos são o petróleo, o gás natural e o carvão mineral.

Os combustíveis fósseis são **fontes não renováveis de energia**.

Como uma importante decorrência da queima desses combustíveis, foi detectada nas últimas décadas uma elevação da concentração de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) na atmosfera de nosso planeta. Isso tem gerado considerável discussão sobre a intensificação do chamado efeito estufa, que poderia conduzir a um aquecimento do planeta e a consequências climáticas em escala global.

Mas petróleo e carvão mineral não são apenas combustíveis. São também importantes fontes de matérias-primas orgânicas, utilizadas em escala industrial para a obtenção dos mais variados produtos destinados a outras indústrias e, principalmente, ao consumidor final.

O aumento da produção de bens de consumo implica o aumento da produção de lixo, que, por sua vez, amplifica os problemas ligados ao seu descarte: mau cheiro, propagação de doenças e falta de espaço.

Este capítulo finaliza o curso de Química Orgânica, fornecendo informações relacionadas a esses temas. Ele aborda o aproveitamento de petróleo (complementando o que foi mostrado no capítulo 1) e carvão mineral, comenta o polêmico efeito estufa, apresentando dados e estimativas, trata da obtenção de biogás, fornece uma visão geral sobre questões ambientais ligadas ao descarte do lixo e abrange também o aproveitamento do lixo por meio das técnicas de compostagem e reciclagem.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

# 1 Petróleo

## 1.1. Composição do petróleo

No capítulo 1, foi comentado que o petróleo é encontrado em jazidas que se formaram, ao longo de milhões de anos, através de complexas transformações químicas que ocorreram com restos de organismos acumulados no fundo de antigos mares.

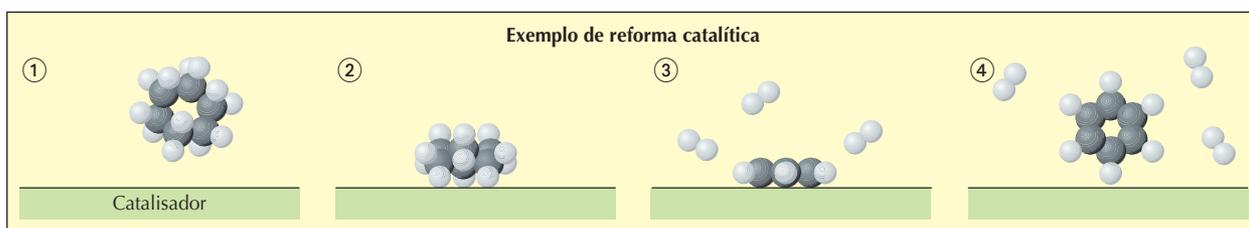
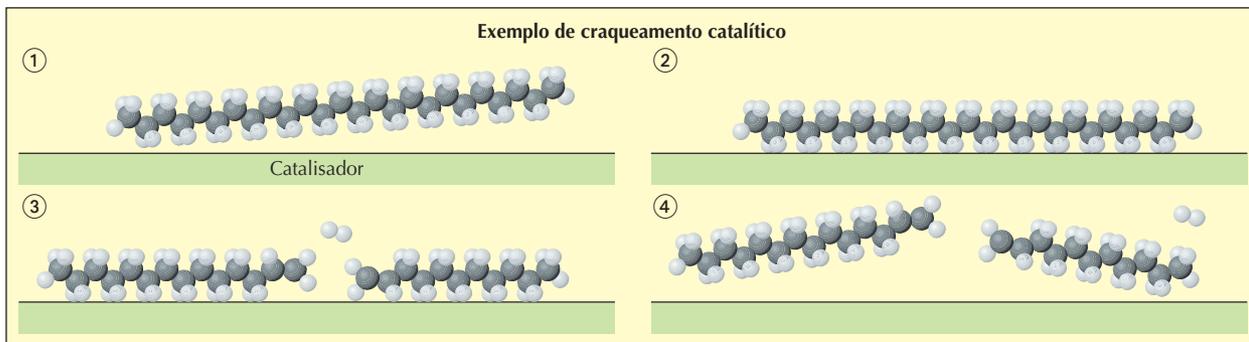
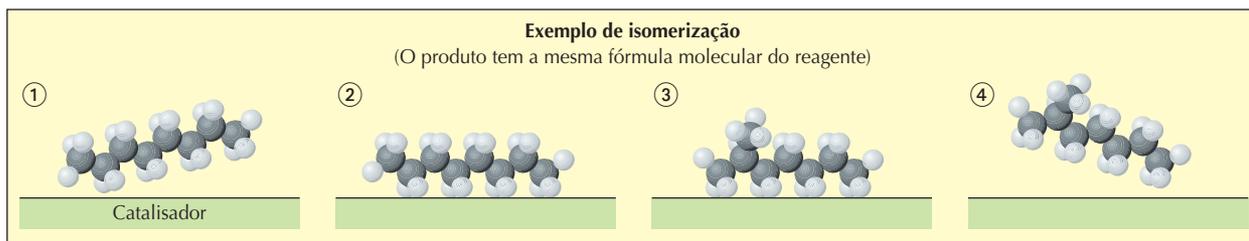
Trata-se de uma mistura líquida, viscosa e escura, constituída por muitos hidrocarbonetos diferentes. Alguns outros compostos orgânicos e inorgânicos também estão presentes em quantidades variáveis e geralmente pequenas.

A importância do petróleo se deve ao fato de ele ser grande fonte de combustíveis e de matérias-primas industriais. Os principais grupos de hidrocarbonetos relacionados ao petróleo são:

- *Série dos alcanos de cadeia normal* ou *n-parafinas* ( $C_nH_{2n+2}$ ) — Trata-se da série de hidrocarbonetos saturados de cadeia aberta e não ramificada, que corresponde aos compostos geralmente encontrados em maior quantidade no petróleo. Muitas gasolinas são constituídas pelas *n-parafinas*, que possuem boa octanagem.
- *Série dos alcanos ramificados* ( $C_nH_{2n+2}$ ) — Os hidrocarbonetos saturados de cadeia aberta e ramificada possuem octanagem maior que os de cadeia normal, por isso sua presença na gasolina é desejável. Há processos industriais denominados **reforma catalítica** e **isomerização**, que permitem a transformação, sob aquecimento e catálise, de alcanos de cadeia normal em ramificados.
- *Série dos alcenos* ou *olefinas* ( $C_nH_{2n}$ ) — Normalmente estão ausentes do petróleo cru ou presentes em quantidades muito pequenas, porém se formam durante o **craqueamento catalítico** das frações mais pesadas visando à obtenção de frações mais leves, como é o caso típico da produção de gasolina (moléculas com cerca de oito carbonos) a partir do óleo (cerca de dezesseis carbonos). Alguns alcenos, como eteno, propeno, but-1-eno e but-2-eno, possuem larga aplicação na indústria química.
- *Série naftênica* ou *dos ciclanos* ( $C_nH_{2n}$ ) — Corresponde aos hidrocarbonetos saturados de cadeia cíclica. Seus membros possuem a mesma fórmula geral dos alcenos, porém não apresentam a mesma reatividade, uma vez que não têm a ligação dupla  $C=C$ , altamente reativa em processos de adição (capítulo 6). Alguns de seus representantes mais expressivos para a indústria química são ciclo-pentano, ciclo-hexano, metil-ciclo-hexano e os dimetil-ciclo-pentanos.
- *Série aromática* ou *benzenoide* — Embora geralmente estejam presentes em pequenas quantidades, a ocorrência de compostos aromáticos no petróleo é desejável graças à sua importância como matérias-primas industriais. Alguns são formados na reforma catalítica. Na gasolina, atuam como antidetonantes, ou seja, aumentam a octanagem. Muitos deles são, contudo, prejudiciais à saúde.



▲ O petróleo é um dos recursos naturais dos quais a nossa sociedade é mais dependente. Golfo do México, 2001.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Nesses esquemas, temos: A molécula do reagente se aproxima da superfície do catalisador sólido, ①, e é adsorvida (ligação com a superfície), ②. A reação ocorre, ③, e o(s) produto(s) é (são) desorvido(s) (desligamento da superfície), ④. (Representações esquemáticas em cores fantasiosas e fora de proporção.)

**Fonte do esquema:** Elaborado a partir de BLOOMFIELD, L. *How Everything Works: making Physics out of ordinary*. Hoboken: John Wiley, 2007. p. 614-615.

## OCTANAGEM DA GASOLINA



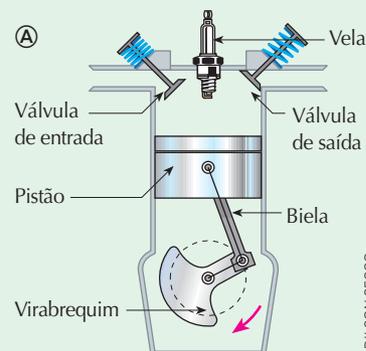
◀ Num motor de quatro cilindros, como o que aparece nesta foto, cada um deles realiza um trabalho cíclico, de quatro tempos: admissão-compressão-explosão-exaustão.



◀ A octanagem de um combustível é uma grandeza relacionada à sua qualidade no que diz respeito ao desempenho do motor.

Um motor de automóvel é projetado para aproveitar a energia liberada na explosão (combustão rápida e, portanto, violenta) de um combustível como, por exemplo, a gasolina. A ilustração **A** mostra esquematicamente um dos cilindros de um motor de quatro tempos. O virabrequim gira e faz com que o pistão suba e desça. Há uma válvula de entrada, por onde entra a mistura de ar e vapor de gasolina, e uma válvula de saída, pela qual saem os gases produzidos na queima.

Inicialmente, o pistão desce e ocorre a entrada da mistura de ar e vapor de gasolina através da válvula de entrada, que se encontra aberta. (A mistura de ar e vapor de gasolina vem da injeção eletrônica.) Esse é o chamado *primeiro tempo* de funcionamento do motor ou *tempo de admissão*, **B** (veja essa ilustração na próxima página).



▲ Ilustração esquemática de um dos cilindros de um motor de automóvel de quatro tempos. (Cores fantasiosas.)

ADILSON SECCO

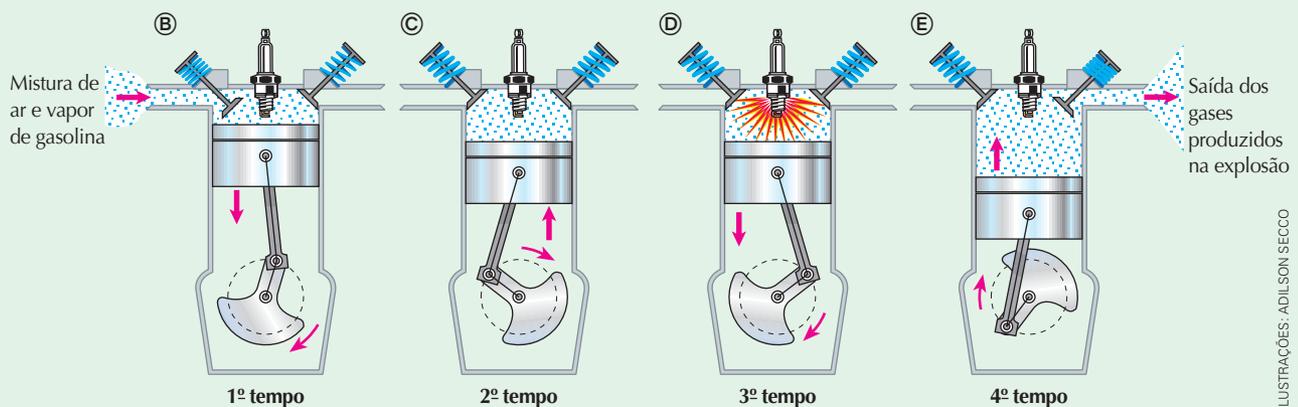
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A seguir, a válvula de entrada se fecha e o pistão sobe, comprimindo a mistura de ar e vapor de gasolina. É o *segundo tempo* de funcionamento do motor ou *tempo de compressão*, (C). A mistura é comprimida até um volume muito pequeno a fim de que a combustão seja realizada com alta eficiência.

Quando a mistura está bem comprimida, a vela produz uma faísca elétrica dentro do cilindro. Essa faísca detona a mistura, produzindo uma rápida combustão, ou seja, uma explosão. Essa explosão empurra o pistão para baixo. Trata-se do *terceiro tempo* de funcionamento do motor ou *tempo de explosão* ou *expansão*, (D). É nessa etapa que a energia química do combustível é aproveitada, por meio de um mecanismo apropriado, para movimentar o automóvel.

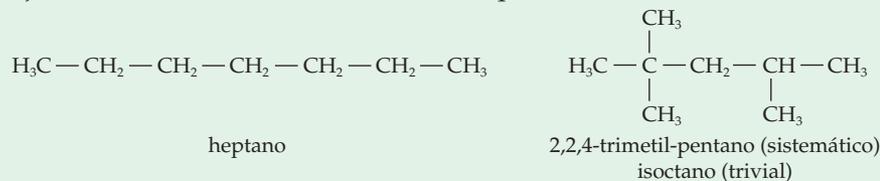
Finalmente, no *quarto tempo*, o pistão sobe novamente, empurrando para fora os gases produzidos na queima através da válvula de saída, que agora se encontra aberta. É o *tempo de escape* ou *exaustão*, (E). Os gases que saem do motor são expelidos na atmosfera pelo escapamento do automóvel.

Uma gasolina é de baixa qualidade quando, dentro do motor, explode antes da faísca produzida pela vela. Explodindo antes do momento adequado, há uma redução do rendimento do motor, que não funciona como deveria.

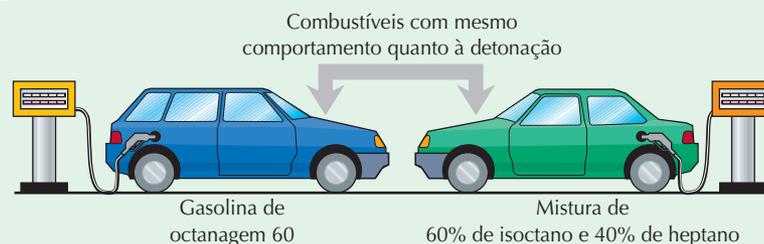


▲ Esquema do funcionamento de um motor de automóvel de quatro tempos. (Cores fantasiosas.)

A gasolina é uma mistura de hidrocarbonetos com um número de carbonos na molécula em torno de oito. Sabe-se que, no quesito de detonação, a presença de **heptano** faz com que a gasolina seja ruim. Já o **isooctano** torna-a de ótima qualidade.



A qualidade de uma gasolina é expressa por meio de um número chamado de **octanagem** ou **índice de octanos**. Ao heptano foi atribuído o valor 0 (zero) e ao isooctano o valor 100. Dizer que uma gasolina apresenta octanagem 60 significa dizer que, ao utilizá-la, o seu comportamento no que diz respeito à detonação é o mesmo que o de uma mistura de 60% de isooctano e 40% de heptano.



Há vários aditivos que aumentam a octanagem de uma gasolina. São chamados de **antidetonantes**, pois evitam a explosão antes da faísca da vela. Um exemplo desses aditivos é o etanol, usado no Brasil como aditivo da gasolina desde a década de 1980.

## 1.2 Petróleo como fonte de matéria-prima

Embora a maior parte do petróleo consumido pela humanidade seja destinada à produção de energia, ele representa também a mais expressiva fonte industrial de matérias-primas orgânicas destinadas à indústria química.

A partir dos hidrocarbonetos presentes no petróleo é possível, por meio de reações químicas apropriadas, obter outras substâncias de interesse para o consumidor. Esse é o papel da indústria petroquímica.

Agora que estamos finalizando o curso de Química Orgânica, já foram apresentadas várias das reações orgânicas que permitem transformar os hidrocarbonetos em outros compostos pertencentes a outras classes funcionais.

Alguns exemplos dessas reações e os capítulos em que foram estudadas são:

- substituição (capítulo 5);
- adição (capítulo 6);
- oxidação (capítulo 8).

Os produtos dessas reações (haletos, álcoois, ácidos, aldeídos, cetonas) podem ser empregados na produção de outras substâncias, mediante outras reações, tais como:

- esterificação (capítulo 8);
- desidratação (capítulo 8);
- redução (capítulo 8);
- polimerização (capítulo 9).



RICARDO AZOURY/PULSAR IMAGENS

▲ Nas indústrias petroquímicas, reações orgânicas são empregadas visando à transformação de matérias-primas provenientes do petróleo em produtos finais de interesse do consumidor. Salvador, BA, 2001.

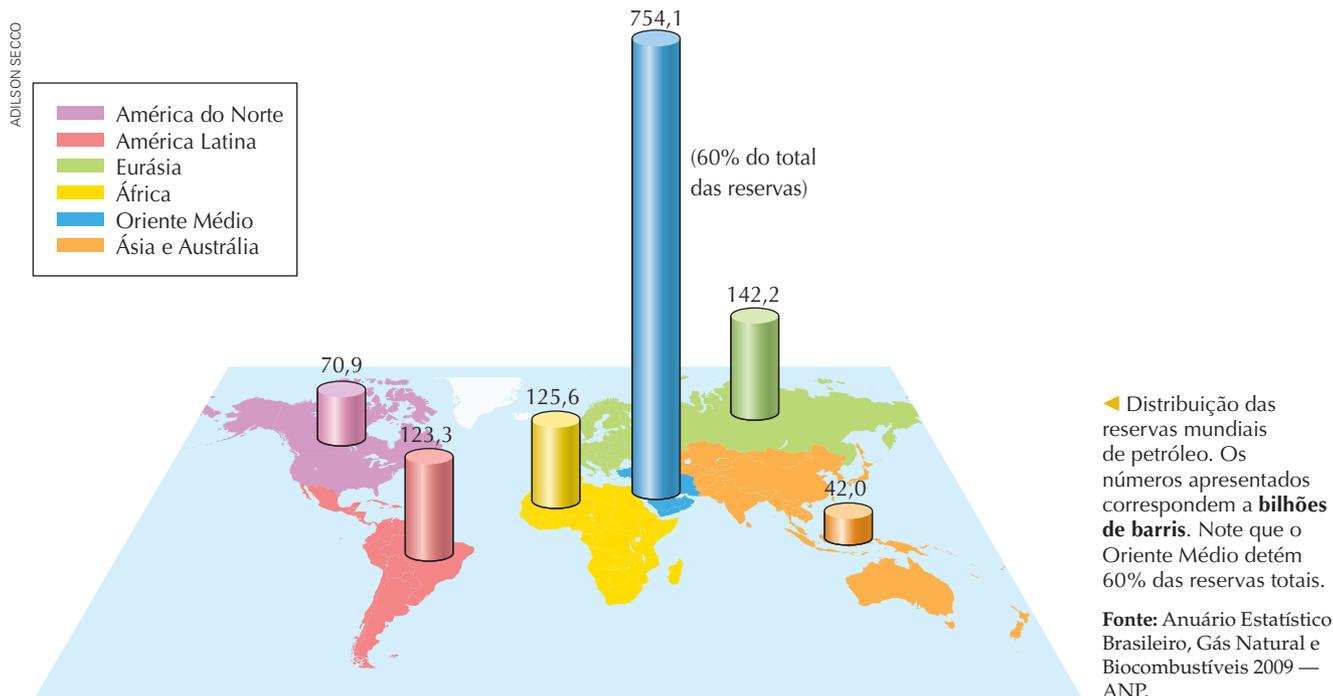
### PRODUTOS DA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA

Alguns exemplos de métodos de produção de importantes substâncias, muitas delas presentes em nosso cotidiano, que foram mostrados ao longo deste volume, aparecem na relação a seguir:

- TNT, p. 173;
- detergentes, p. 174;
- cloro-etano a partir de eteno, p. 183;
- etanol a partir de eteno, p. 183;
- produtos variados a partir do acetileno, p. 189;
- anilina a partir do benzeno, p. 231;
- polímeros de adição, p. 248;
- borrachas sintéticas, p. 248;
- polímeros de condensação, p. 253.

## 1.3 O petróleo no mundo

Embora jazidas de petróleo sejam encontradas em todos os continentes, a distribuição é desigual. Das reservas conhecidas atualmente, estimadas em mais de mil bilhões de barris, as mais expressivas estão localizadas no Oriente Médio, onde se concentra mais da metade do total de barris (veja o esquema a seguir).



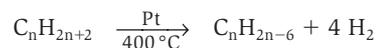
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

## Exercícios essenciais

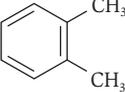
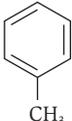
Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

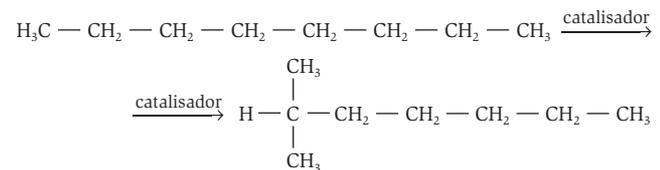
- (Uece) A gasolina não é um composto e sim uma mistura de compostos predominantemente da família dos:
  - álcoois.
  - alcenos.
  - alcinos.
  - alcanos.
- (Unimontes-MG) A maior parte dos hidrocarbonetos aromáticos, como, por exemplo, benzeno, tolueno e xilenos, é obtida a partir de alcanos, num processo chamado de reforma catalítica. Esse processo pode ser representado pela equação genérica abaixo.



Das alternativas a seguir, determine aquela que representa **corretamente** o alcano e o produto aromático formado.

- |  |  |
|--|--|
| a) $\text{C}_6\text{H}_{10}$ e  | c) $\text{C}_6\text{H}_{14}$ e  |
| b) $\text{C}_6\text{H}_{12}$ e  | d) $\text{C}_6\text{H}_{14}$ e  |

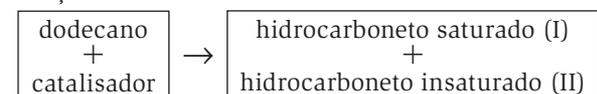
- (PUC-Campinas-SP) Nos motores a explosão, hidrocarbonetos de cadeia ramificada resistem melhor à compressão do que os de cadeia normal. Com essa finalidade, compostos de cadeia reta são submetidos a reações de *reforma catalítica* como a exemplificada a seguir:



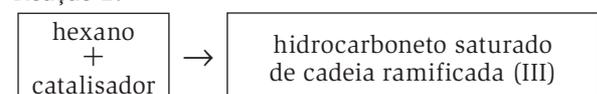
Os nomes oficiais do reagente e do produto são, respectivamente:

- i-octano e dimetil-hexano.
  - octano e 6-metil-heptano.
  - octano normal e 2,2-dimetil-heptano.
  - octano e 2-metil-heptano.
  - n-octano e i-hexano.
- (UFPI) Craqueamento e reformação catalítica são processos químicos utilizados na indústria de refinamento de petróleo para obtenção de gasolina com um melhor índice de octanagem. Dadas as equações das reações de craqueamento (reação 1) e de reformação (reação 2) a seguir, determine a alternativa que apresenta os nomes dos produtos de I a III.

Reação 1:



Reação 2:





## 2 Carvão mineral



VINCE STREANON/GETTY IMAGES



TAX-GETTY IMAGES

▲ O carvão mineral se formou ao longo de milhões de anos. Na foto da esquerda, mina no Colorado, EUA, 2004.

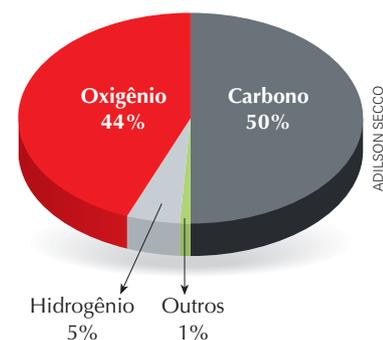
### 2.1 Composição do carvão mineral

O **carvão mineral** ou **carvão de pedra** é um sólido escuro, encontrado em várias regiões do mundo. Foi formado como resultado de complexas transformações químicas sofridas por organismos vegetais “soterrados” há milhares de anos.

A madeira é constituída por muitas substâncias, entre as quais a celulose [(C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>n</sub>] é uma das mais importantes. Entre os vários elementos químicos presentes na madeira, os principais são o carbono (C), o oxigênio (O) e o hidrogênio (H), conforme mostra o esquema ao lado.

Nas alterações sofridas, ao longo de milhões de anos, pela madeira submetida a altas pressões e temperaturas, ocorreu a produção de substâncias formadas por moléculas pequenas (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O etc.). Essas substâncias foram sendo eliminadas na forma gasosa por orifícios existentes nas camadas de terra e areia, resultando um depósito cada vez mais rico em carbono (carvão) e cada vez mais pobre em outros elementos. Esse processo é denominado **carbonização**.

Os depósitos de carvão mineral podem apresentar diferentes teores de carbono, dependendo do tempo transcorrido (e também de outros fatores, como a pressão e a temperatura a que se achava submetido). De acordo com esse teor, o carvão mineral recebe diferentes nomes — **turfa**, **linhito**, **hulha** (ou **carvão betuminoso**), **antracito** e **grafite**.



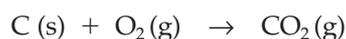
ADILSON SECCO

▲ Contribuição aproximada (em massa) dos elementos na composição das substâncias presentes na madeira.

Fonte: Gráfico elaborado a partir de dados de LEINZ, V.; AMARAL, S. E. *Geologia Geral*. 9. ed. São Paulo: Nacional, 1985. p. 215.

### 2.2 Carvão mineral como fonte de combustíveis

Uma vez que o carvão mineral possui alto teor de carbono, ele é um material bastante combustível. A combustão completa do carvão pode, de forma simplificada, ser equacionada quimicamente como:



A tabela a seguir mostra que os diferentes tipos de carvão liberam diferentes quantidades de calor na combustão, o que é uma consequência direta de seus diferentes teores de carbono. Todos eles liberam maior quantidade de energia que a madeira, o que reflete o fato de terem maior teor de carbono que ela.

**TABELA 1** Dados sobre a madeira e variedades de carvão mineral

Variedade de carvão mineral	Porcentagem aproximada de carbono (em massa)	Energia liberada na queima (em 10 <sup>3</sup> kcal/kg do material seco)
Madeira	50	4,5
Turfa	55	5 a 6
Linhito	70	6,5
Hulha	80	7 a 8
Antracito	96	8,5



Fonte: LEINZ, V.; AMARAL, S. E. *Geologia Geral*. 9. ed. São Paulo: Nacional, 1985. p. 215.

O carvão mineral teve seu uso como combustível muito difundido no século XVIII em substituição à lenha. Ele teve um papel significativo na história da humanidade como o principal combustível utilizado nas máquinas a vapor durante a Revolução Industrial no século XIX.

Com o advento do petróleo e seus derivados, que passaram a ser largamente empregados no século XX, o uso do carvão mineral como combustível declinou. Ele é mais difícil de manipular que o petróleo e sua queima polui significativamente o ar com dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), resultado da combustão do enxofre nele presente.

Além disso, a exploração das jazidas envolve consideráveis riscos aos operários (desabamentos e doenças pulmonares são os principais) e também um certo impacto sobre o meio ambiente. Em **minas de carvão também é comum ocorrer desprendimento de metano (combustível), que, juntamente com o O<sub>2</sub> do ar, forma uma mistura altamente explosiva chamada de grisú**. Basta uma faísca para provocar a explosão (combustão violenta).



CH<sub>4</sub> + O<sub>2</sub>  
GRISU  
MISTURA EXPLOSIVA

ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

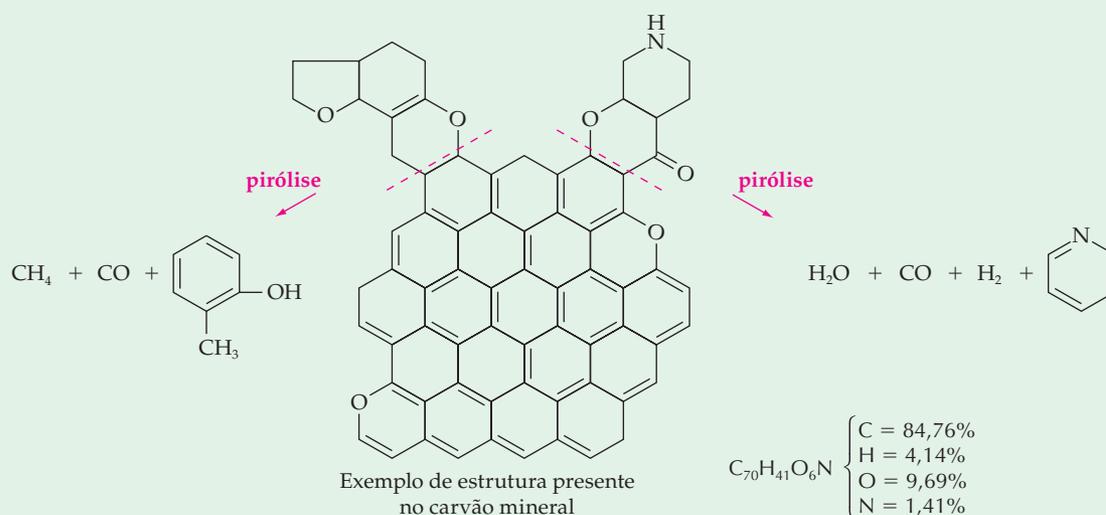
### 2.3 Carvão mineral como fonte de matéria-prima

Assim como no caso do petróleo, o carvão mineral não é importante apenas como combustível. Ele representa uma **fonte de matéria-prima** orgânica.

Seu aproveitamento industrial é feito por meio da **destilação seca**, **destilação destrutiva** ou **pirólise**, que consiste em aquecimento (de 600 °C a 1.000 °C) na ausência de oxigênio. Formam-se substâncias líquidas e gasosas, que são desprendidas, e resta um resíduo sólido rico em carbono:

- **Gases** — A mistura gasosa obtida é aproveitada como combustível. Constitui-se essencialmente de H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, NH<sub>3</sub> e H<sub>2</sub>S.
- **Líquidos** — Os compostos líquidos obtidos podem ser divididos em dois grupos: as **águas amoniacais** e o **alcatrão**. O nome “águas amoniacais” é dado a uma mistura de substâncias contendo nitrogênio usada, por exemplo, na fabricação de fertilizantes. E o **alcatrão é uma mistura de substâncias aromáticas**, de grande utilidade como matéria-prima nas indústrias químicas. Trata-se de um líquido oleoso e escuro formado por inúmeros compostos aromáticos.
- **Sólido** — O resíduo sólido contém altíssimo teor de carbono. É chamado de **coque** e é aplicado principalmente no processo de obtenção de ferro nas indústrias siderúrgicas. Por razões técnicas, entre os tipos de carvão mineral citados, apenas a hulha se presta à obtenção de coque.

## EXEMPLO DO QUE OCORRE NA PIRÓLISE DA HULHA EM NÍVEL MICROSCÓPICO

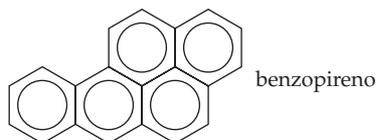


Fonte: Elaborado a partir de AUSTIN, G. T. *Shreve's Chemical Process Industries*. 5. ed. Nova York: McGraw-Hill, 1984. p. 74.

### 2.4 Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e câncer

Na segunda metade do século XVIII, Percival Pott, um médico que vivia em Londres, constatou que os meninos que limpavam chaminés tinham uma propensão maior que o normal para adquirir câncer nos testículos.

Em 1922, foi verificado que extratos orgânicos encontrados na fuligem são cancerígenos em animais de laboratório. No início da década de 1930 foi isolada e caracterizada uma substância presente no carvão — e, sabe-se atualmente, também na fuligem das chaminés — denominada benzopireno. Estudos revelaram que esse hidrocarboneto é um forte **agente cancerígeno** em animais. Esfregado na pele de ratos de laboratório, desencadeava neles câncer de pele.



O benzopireno faz parte do grupo de compostos conhecidos como **hidrocarbonetos policíclicos aromáticos de anéis condensados**. Trata-se de um tipo de substância reconhecido pelos cientistas como perigoso à saúde, graças a seu potencial cancerígeno.

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos de anéis condensados são produzidos, por exemplo, nas queimadas em florestas, nas erupções vulcânicas e na queima de combustíveis fósseis. Estão também presentes no carvão mineral e sobretudo no alcatrão dele proveniente.

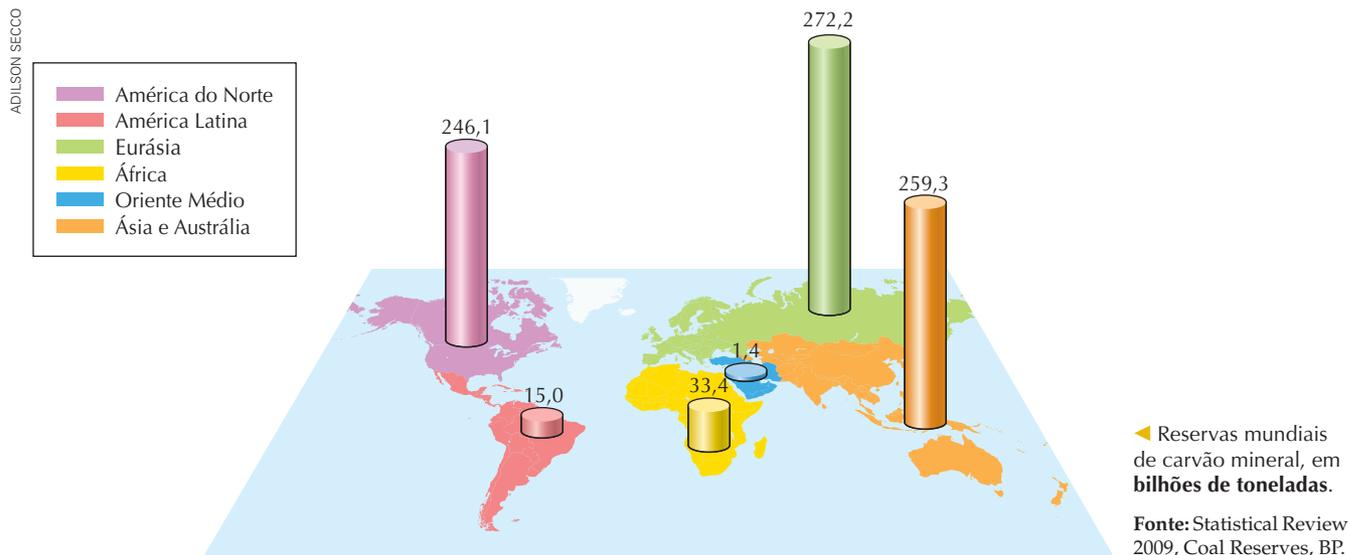
A alta incidência de câncer entre os trabalhadores das minas de carvão e das indústrias que processam o alcatrão se deve à sua exposição prolongada a esses agentes cancerígenos.

A fumaça dos cigarros contém várias substâncias aromáticas, que compõem o chamado **alcatrão do cigarro**. Muitas são formadas durante a queima do fumo. Entre elas, encontram-se o benzopireno e outros hidrocarbonetos policíclicos aromáticos de anéis condensados. Essa é uma razão pela qual **os fumantes estão muito mais sujeitos ao câncer de pulmão do que os não fumantes**.

## 2.5 O carvão mineral no mundo

O carvão mineral é o combustível fóssil mais abundante na Terra, sendo encontrado fundamentalmente no Hemisfério Norte, conforme mostra o esquema a seguir. As maiores jazidas estão presentes nos Estados Unidos, na Rússia e na China. Esses três países são responsáveis, em conjunto, por cerca de 60% da extração mundial desse recurso natural.

As jazidas de carvão no planeta são tão abundantes que há estimativas de que, se o consumo anual se mantivesse constante, elas poderiam durar várias centenas de anos.



### Exercícios essenciais



Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

16. Como se formou o carvão mineral?
17. Você classificaria o processo que produziu o carvão mineral (a carbonização) como uma transformação física ou química? Por quê?
18. Imagine que, no dia de hoje, sejam encontrados três depósitos carboníferos: um de turfa, outro de hulha e um terceiro de antracito.
  - a) Qual deles apresenta maior teor de carbono?
  - b) Qual deve ser o mais antigo?
19. O que vem a ser pirólise do carvão mineral?
20. Entre os gases obtidos na destilação seca da hulha, os principais são  $H_2$ ,  $CH_4$  e  $CO$ , usados como combustíveis.
  - a) Equacione a combustão completa de  $CH_4$ .
  - b) Equacione a combustão de  $H_2$ , sabendo que forma apenas água.
  - c) Equacione a combustão de  $CO$ , sabendo que forma apenas gás carbônico.
21. O que é alcatrão? Qual sua importância?
22. Leia o texto e, a seguir, responda às perguntas.

“O enxofre aparece no carvão mineral, constituindo-se em uma indesejável impureza. Para que, durante o uso do carvão como combustível, não se formem gases derivados do enxofre, um dos artifícios utilizados é a transformação do carvão, através da reação com água, a  $1.000\text{ }^\circ\text{C}$ , em gás d’água, que é uma mistura de hidrogênio e monóxido de carbono, ambos no estado gasoso.”

  - a) Qual o inconveniente da formação dos “gases derivados do enxofre”?
  - b) Qual a equação da reação que produz o gás d’água?
23. Na indústria siderúrgica, o minério de ferro hematita ( $Fe_2O_3$ ) é usado para a obtenção de ferro metálico (Fe). Podemos resumir o processo em duas etapas:
  - I. Combustão incompleta do carvão (coque) formando monóxido de carbono.
  - II. Reação entre a hematita e o monóxido de carbono produzindo ferro metálico e dióxido de carbono.Formule, com essas informações, as equações químicas que representam as reações I e II.



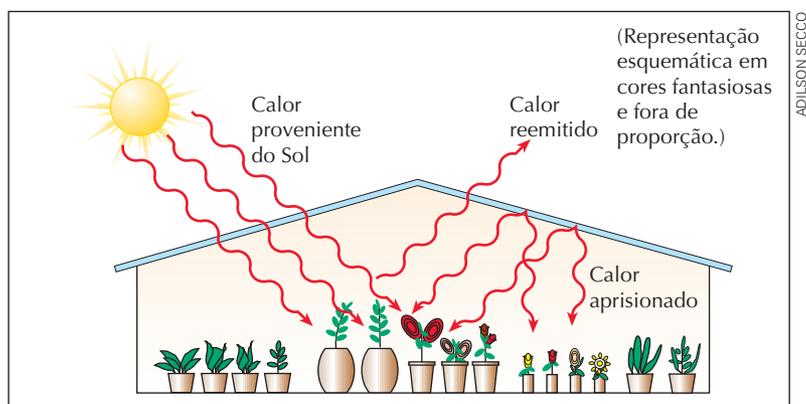
## 3 Efeitos tufa

### 3.1 Como funciona a estufa para cultivo de vegetais?

Considere a seguinte situação familiar: um automóvel estacionado, com os vidros fechados, sob o calor do meio-dia no verão. Depois de algum tempo, a temperatura interna fica bem maior que a externa.

A energia proveniente do Sol, na forma de luz visível e radiação ultravioleta, atravessa os vidros, aquecendo o interior. Dizemos que o vidro é transparente à luz visível e à radiação ultravioleta. O interior aquecido também começa a emitir calor, que é irradiado principalmente na forma de radiação infravermelha, à qual o vidro é pouco transparente. Dessa forma, entra no automóvel maior quantidade de energia do que sai e, em consequência, seu interior fica aquecido.

As estufas para o cultivo de vegetais se baseiam no mesmo processo. O telhado — feito de vidro ou plástico transparente — deixa entrar mais energia do que sai e, conseqüentemente, a temperatura interna fica maior que a externa.



▲ Esquema de uma estufa com paredes e telhados de vidro ou plástico.

Fonte: Elaborado a partir de TREFIL, J.; HAZEN, R. M. *Física viva*. Rio de Janeiro: LTC, 2006. v. 1. p. 256.

### 3.2 O que é efeito estufa

A presença de alguns gases na atmosfera terrestre — dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), vapor de água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), monóxido de dinitrogênio ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e clorofluorocarbonos — faz com que ela atue, em escala global, como se fosse o telhado de uma estufa. Parte da energia proveniente do Sol fica “aprisionada” na Terra, fazendo com que a temperatura do planeta seja superior àquela esperada se não fosse a atmosfera.

Esse processo, que contribui para o aquecimento da Terra, é denominado **efeito estufa**.

**Se não fosse pelo efeito estufa**, na escala em que atualmente ocorre, **poderia não haver vida na Terra**. Sem ele, as temperaturas médias nos diversos locais do nosso planeta seriam significativamente mais baixas. Praticamente toda a água estaria congelada e não haveria possibilidade de existir vida, tal como a conhecemos.

O clima nas diversas regiões da Terra é diretamente influenciado, portanto, pelo efeito estufa. Um aumento na concentração dos gases relacionados a ele implicaria elevação da temperatura média do planeta e mudanças climáticas mundiais.

### 3.3 Atividade humana e intensificação do efeito estufa

Em 1896, o químico sueco Svante August Arrhenius percebeu que a temperatura atmosférica da Terra está relacionada com seu conteúdo de  $\text{CO}_2$  e previu que um aumento na concentração desse gás provocaria aumento da temperatura atmosférica.

Em 1958, a equipe do laboratório de Mauna Loa, no Havaí, passou a realizar uma série de medidas periódicas dos níveis atmosféricos de  $\text{CO}_2$ . Tais medidas, obtidas desde então, revelam que a concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera aumentou de 315 ppm (partes por milhão) em volume, no ano de 1958, para cerca de 370 ppm, no final do século XX.

Esse aumento é atribuído fundamentalmente a dois fatores:

- à queima de combustíveis fósseis, lançando na atmosfera mais de vinte bilhões de toneladas de  $\text{CO}_2$  anualmente;
- às queimadas em florestas, para dar lugar à agricultura, contribuindo, de acordo com estimativas, com mais de um bilhão de toneladas anuais de  $\text{CO}_2$ .

Embora os oceanos desempenhem um importante papel ambiental ao absorver parte desse  $\text{CO}_2$ , mantendo-o dissolvido na forma de carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), a maior parte do  $\text{CO}_2$  se acumula na atmosfera.

Nos últimos cem anos, a temperatura média do planeta sofreu um incremento de aproximadamente  $0,7^\circ\text{C}$  (há controvérsias sobre o valor exato, mas o que importa é que houve um aumento). Muitos cientistas atribuem esse aumento à elevação dos níveis atmosféricos de  $\text{CO}_2$ . Em outras palavras, a atividade humana estaria provocando um **aquecimento global** do planeta, ou seja, uma **intensificação do efeito estufa**.

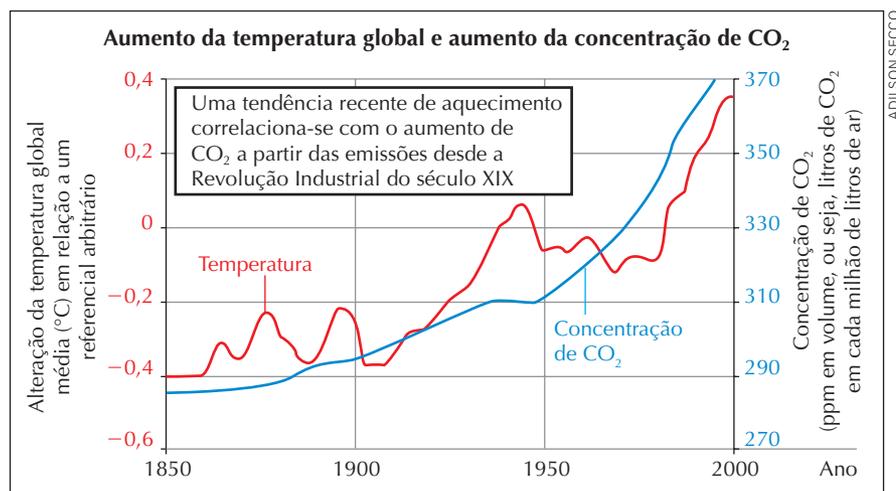


JUCA MARTINS/OLHAR IMAGEM



RICARDO AZOURY/PULSAR IMAGENS

▲ A queima de combustíveis fósseis e os incêndios florestais são importantes fontes de gás carbônico, que é lançado na atmosfera. Em (A), congestionamento em São Paulo, SP, em 2007. Em (B), queimada de pasto em Campinas, SP, em 2007.



Fonte: PRESS, F. et al. *Para entender a Terra*. 4. ed. São Paulo: Bookman, 2006. p. 595.

### Use a internet

A página do **Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo** do Ministério das Minas e Energia traz uma série de informações sobre o Aquecimento Global e o **Protocolo de Quioto**, acordo mundial para a redução das emissões de  $\text{CO}_2$ :

<http://www.conpet.gov.br/quioto/noticia.php?segmento=corporativo>  
(Acesso em: 18 mar. 2010).

O portal Recicle Carbono tem uma calculadora que permite que você avalie quanto  $\text{CO}_2$  você gera com suas atividades do dia a dia. Acesse: <http://www.reciclecarbono.com.br> e clique em "calcule emissões".

(Acesso em: 18 mar. 2010).

## AQUECIMENTO GLOBAL: PREVISÕES E CONTROVÉRSIAS

Certamente você já percebeu, por meio da leitura de jornais ou assistindo a noticiários na tevê, que o tema efeito estufa é bastante polêmico. **As controvérsias não se relacionam, contudo, com a existência do efeito em si, mas sim às previsões sobre o que poderá acontecer nas próximas décadas.**

Entre os prováveis efeitos de um aquecimento de nosso planeta, dois merecem destaque: *as mudanças climáticas regionais e o aumento do nível dos oceanos.*

Os padrões climáticos atuais das várias regiões da Terra dependem da circulação das massas de ar — quentes ou frias, secas ou úmidas —, que, por sua vez, depende das diferenças de temperatura entre as diversas regiões. Mudanças de temperatura provocadas pela intensificação do efeito estufa alterariam os padrões atuais de circulação das massas de ar e, como consequência, mudariam o clima de muitas regiões. A redução das chuvas ou seu excesso colocaria em risco a agricultura. Tempestades e furacões se tornariam mais frequentes, principalmente nas regiões costeiras.

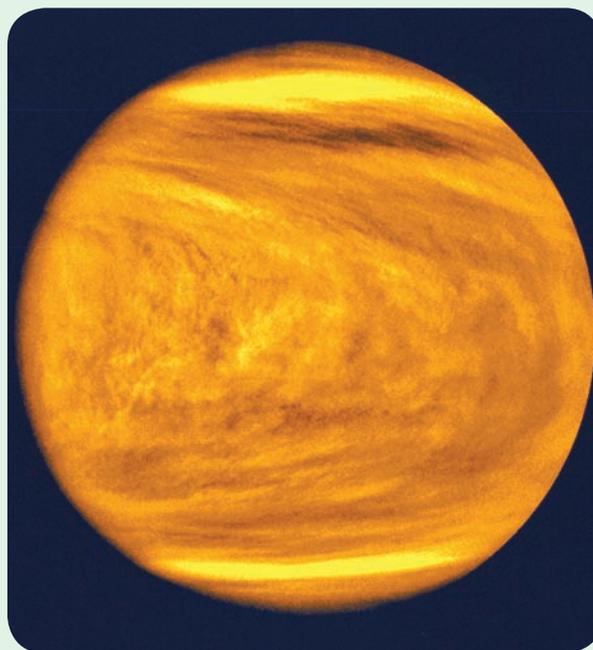
Parece haver consenso em que, se a concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> duplicar, a temperatura média do planeta poderá aumentar entre 1,5 °C e 4,5 °C, com boa parte das estimativas girando em torno de 2,5 °C. Pode parecer pouco; porém, na última era glacial, há 18 mil anos, a temperatura média era apenas 5 °C menor que a atual. Um aumento pequeno como 1,5 °C poderia produzir as temperaturas mais altas dos últimos 6 mil anos e um aumento de 4,5 °C produziria as maiores temperaturas desde a Era Mesozoica (na qual viveram os dinossauros), que remonta há 200 milhões de anos, aproximadamente.

O aquecimento provocaria o derretimento de uma parte do gelo que está sobre o continente, nas regiões mais frias da Terra. As águas provenientes desse degelo terminariam nos oceanos, aumentando seu nível. Além disso, o aumento da temperatura provocaria a dilatação da água, outro fator que contribuiria para a elevação dos oceanos. Atualmente essa elevação é da ordem de 1 a 1,5 milímetro anual. Há inúmeras **controvérsias** sobre qual poderá ser esse aumento ao longo do próximo século. Algumas projeções indicam algo entre 15 e 95 centímetros. Pode parecer pouco, mas isso provocaria inundação de grandes áreas

à beira-mar. Levando-se em conta que cerca de metade da população do planeta habita regiões costeiras, isso determinaria o deslocamento de grande parte da população mundial.

Há, por outro lado, fatores que contribuem em sentido oposto ao do efeito estufa. Um deles é o das cinzas lançadas pelos vulcões em erupção. Elas permanecem muito tempo na atmosfera, até que transformações químicas as eliminem ou o peso as traga, muito lentamente, para o solo. Durante sua permanência na atmosfera, essas cinzas reduzem a passagem dos raios solares, diminuindo o aquecimento da superfície. Outro fator, descoberto recentemente, é o de que os gases de enxofre, poluentes das regiões metropolitanas, atuam como as cinzas vulcânicas, atenuando a passagem da energia solar.

Os cientistas têm feito várias previsões e, às vezes, eles discordam entre si. Não se sabe ao certo como os vários fatores envolvidos irão comportar-se com o passar do tempo. Todos os fatos aqui expostos (de maneira sucinta) têm merecido cada vez mais a atenção dos cientistas e ainda são uma questão em aberto.



▲ Planeta Vênus, com sua atmosfera composta de 96% de CO<sub>2</sub> e com uma pressão equivalente a 90 vezes a da Terra. Lá ocorre um "superefeito estufa", conduzindo a temperaturas por volta de 480 °C. Na Terra, não fosse por um efeito estufa moderado, não haveria condições para a manutenção da vida. Foto obtida pela sonda Pioneer da NASA, em 1988.

## 4 Biogás

Num brejo, quando animais e vegetais morrem, acabam indo parar dentro da lama, onde vão sofrer decomposição ou, como se diz popularmente, vão apodrecer. A decomposição desses restos, feita por microrganismos nesse ambiente sem oxigênio, é chamada de **decomposição anaeróbica**. Ela envolve muitas reações químicas nas quais se formam alguns gases: CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S etc. Uma dessas reações é a fermentação da celulose, substância presente em grande quantidade nos vegetais:



**Fórmula da celulose**  
(n = número muito grande)

O fato de o metano ser liberado em grande quantidade nesse processo fermentativo que ocorre em brejos lhe valeu o conhecido nome de **gás dos pântanos**.

Em minas de carvão, como já foi dito, também é comum ocorrer desprendimento de metano (combustível), que, juntamente com o O<sub>2</sub> do ar, forma uma mistura altamente explosiva chamada de **grisu**. Basta uma faísca para provocar a explosão (combustão violenta).

Já que o gás dos pântanos é combustível, não seria possível aproveitá-lo como fonte de energia?

A resposta é sim. Isso pode ser feito colocando restos de animais e vegetais em um grande recipiente fechado, chamado de **biodigestor**, dentro do qual microrganismos se encarregarão de provocar a decomposição anaeróbica, liberando uma mistura gasosa (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S etc.) conhecida como **biogás**. É o mesmo processo que ocorre nos pântanos.

Os gases CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> não têm cheiro; H<sub>2</sub>S tem o desagradável odor de ovo podre. Quanto à inflamabilidade, CH<sub>4</sub> e H<sub>2</sub>S são combustíveis; CO<sub>2</sub> não é.

Na produção de biogás podem ser usados bagaço de cana, sobras de comida, casca de frutas, fezes etc. Esses restos são chamados de **biomassa**. O termo biomassa também é empregado para a lenha, o carvão vegetal e qualquer outro combustível não fóssil proveniente da natureza viva.

Dessa forma, boa parte do lixo urbano e até mesmo do esgoto residencial pode ser aproveitada na produção de biogás. Algumas fazendas e cidades brasileiras já exploram esse recurso. Após a liberação do biogás, vão sobrar, dentro do biodigestor, os resíduos da decomposição, que serão usados como adubo (fertilizante).

### Sugestão

Antes de estudar o item 4, releia o quadro **Gás natural**, no item 8 do capítulo 1.

## Exercícios essenciais



Resolva em seu caderno

A critério do(a) professor(a) esta lista de exercícios poderá ser realizada em classe ou em casa.

33. Cite três exemplos de combustíveis fósseis. Eles constituem uma fonte de energia renovável ou não?
34. Quais as razões para o constante aumento da concentração de CO<sub>2</sub> no ar atmosférico?
35. O que se entende por efeito estufa? Qual a sua causa?
36. Cite duas importantes consequências, caso nas próximas décadas a temperatura global continue a sofrer um aumento.
37. “Os cientistas, sempre que estudam um fenômeno, conseguem explicá-lo e entendê-lo perfeitamente. Previsões científicas são úteis porque são invariavelmente corretas.”  
Comente essa frase, dizendo se concorda ou não com ela, usando argumentos pessoais e do texto.
38. Que substância é conhecida como gás dos pântanos?
39. Do Hemisfério Norte, onde existem muitas minas de carvão, vem, às vezes, a notícia de que em uma delas aconteceu uma explosão devida ao grisu.
  - a) O que é grisu?
  - b) Formule a equação química da combustão completa envolvida na explosão.

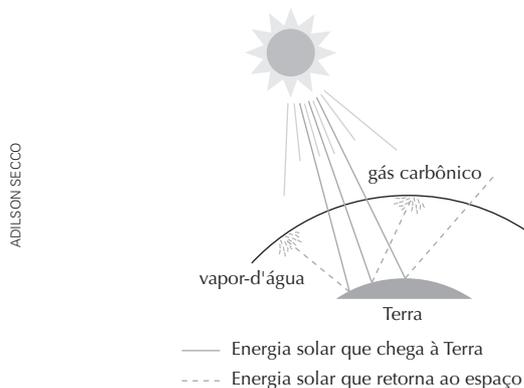
40. A respeito do biogás, responda:
- Como é obtido?
  - Cite três gases que tomam parte na sua composição.
  - Dos três gases citados, quais têm cheiro?
  - Desses três, quais são combustíveis?
41. Você vê alguma vantagem em utilizar biogás como combustível, em vez de petróleo e carvão mineral?
42. O  $H_2S$  não é um composto orgânico. Na sua combustão não se formam  $CO_2$  e  $H_2O$ , e sim  $SO_2$  e  $H_2O$ .
- Formule a equação balanceada da combustão do  $H_2S$ .
  - Você vê algum inconveniente nessa liberação de  $SO_2$ ?

## Exercícios adicionais

Resolva em seu caderno

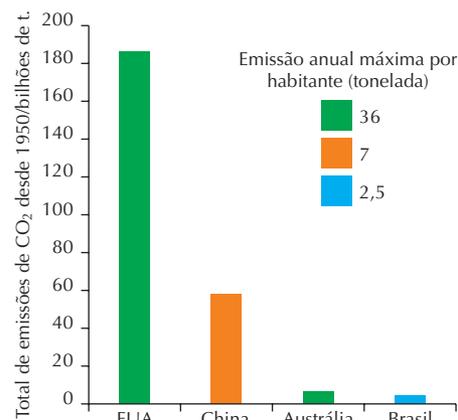
Seu (sua) professor(a) indicará o melhor momento para realizar os exercícios deste bloco.

43. (Unopar-PR) O dióxido de carbono,  $CO_2(g)$ , absorve parte da radiação infravermelha que é benéfica para que a Terra seja habitável.



O fato decorrente dessa absorção é o aquecimento da atmosfera, com consequências significativas sobre o clima das diversas regiões do planeta. O efeito descrito é conhecido como:

- tampão.
  - El Niño.
  - reciclagem.
  - estufa.
  - Tyndall.
44. (Enem-MEC) Qual das seguintes fontes de produção de energia é a mais recomendável para a diminuição dos gases causadores do aquecimento global?
- Óleo *diesel*.
  - Gasolina.
  - Carvão mineral.
  - Gás natural.
  - Vento.
45. (Enem-MEC) Em março de 2001, o presidente dos Estados Unidos da América, George W. Bush, causou polêmica ao contestar o pacto de Kyoto, dizendo que o acordo é prejudicial à economia norte-americana em um momento em que o país passa por uma crise de energia [...] O protocolo de Kyoto prevê que os países industrializados reduzam suas emissões de  $CO_2$  até 2012 em 5,2%, em relação aos níveis de 1990. (Adaptado da *Folha de S.Paulo*, 11/4/2001.)



Adaptado da revista *Veja*, edição 1696, 18/4/2001.

O gráfico mostra o total de  $CO_2$  emitido nos últimos 50 anos por alguns países, juntamente com os valores de emissão máxima de  $CO_2$  por habitante no ano de 1999.

Dados populacionais aproximados ( $n^\circ$  de habitantes):

- EUA: 240 milhões
- BRASIL: 160 milhões

Se o Brasil mantivesse constante a sua população e o seu índice anual máximo de emissão de  $CO_2$ , o tempo necessário para o Brasil atingir o acumulado atual dos EUA seria, aproximadamente, igual a:

- 60 anos.
  - 230 anos.
  - 460 anos.
  - 850 anos.
  - 1.340 anos.
46. (UFPA) Uma termoeletrica alimentada a carvão mineral contribuirá para o efeito estufa porque:
- essa termoeletrica usa somente matéria-prima renovável.
  - essa termoeletrica libera grandes quantidades de dióxido de carbono.
  - o carvão contém diversas impurezas, como a umidade, que não podem sofrer combustão, e assim serão liberadas para a atmosfera.
  - o carvão libera, com a combustão, muito material particulado, que catalisa a formação de  $H_2SO_4$  a partir de  $SO_2$  (g) presente na atmosfera.

e) essa termoelétrica necessita de madeira para obter o carvão mineral, contribuindo para a derrubada de árvores, diminuindo a fotossíntese e, conseqüentemente, reduzindo a absorção de dióxido de carbono.

47. (Enem-MEC) As florestas tropicais úmidas contribuem muito para a manutenção da vida no planeta, por meio do chamado sequestro de carbono atmosférico. Resultados de observações sucessivas, nas últimas décadas, indicam que a floresta amazônica é capaz de absorver até 300 milhões de toneladas de carbono por ano. Conclui-se, portanto, que as florestas exercem importante papel no controle:

- das chuvas ácidas, que decorrem da liberação, na atmosfera, do dióxido de carbono resultante dos desmatamentos por queimadas.
- das inversões térmicas, causadas pelo acúmulo de dióxido de carbono resultante da não dispersão dos poluentes para as regiões mais altas da atmosfera.
- da destruição da camada de ozônio, causada pela liberação, na atmosfera, do dióxido de carbono contido nos gases do grupo dos clorofluorcarbonos.
- do efeito estufa provocado pelo acúmulo de carbono na atmosfera, resultante da queima de combustíveis fósseis, como carvão mineral e petróleo.
- da eutrofização das águas, decorrente da dissolução, nos rios, do excesso de dióxido de carbono presente na atmosfera.

48. (UEG-GO) Os dois componentes atmosféricos de maior importância na manutenção da temperatura na superfície da Terra são o dióxido de carbono e a água. O dióxido de carbono e a água absorvem determinados comprimentos de onda de radiação na região do infravermelho, impedindo que essa energia escape do nosso planeta. O problema é que a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico tem crescido mais de 15% desde o final da década de 50. Medições realizadas durante várias décadas mostram que a quantidade de CO<sub>2</sub> atmosférico tem aumentado uniformemente. A partir dessas informações, determine a alternativa CORRETA:

- O aquecimento global tem uma relação direta com a quantidade de energia que entra no nosso planeta. Assim, uma solução para amenizar a temperatura seria criar enormes espelhos refratores na superfície terrestre.
- O dióxido de carbono é um gás incolor e inodoro, sendo um gás majoritário da atmosfera terrestre, o qual é responsável pelo chamado efeito estufa; o CO<sub>2</sub> é uma molécula polar com ligações apolares.
- O dióxido de carbono é moderadamente solúvel em água na pressão atmosférica. As soluções resultantes são moderadamente ácidas devido à formação do ácido carbônico.
- A radiação infravermelha é muito perigosa porque ela viaja com a mesma velocidade da luz, aproximadamente 300.000 km/s.

## 5 O lixo e seu destino

### 5.1 O descarte do lixo

Se uma casa colocar na rua um saco de lixo por dia, de segunda a sábado, serão seis sacos por semana. Em um mês serão 26 ou 27 sacos. Em seis meses, 156 sacos. Em um ano, serão 313. Imagine a quantidade de lixo produzida pela cidade toda. Para onde vai tanto lixo?

#### Lixão

Um método barato para se livrar do lixo é jogá-lo em um grande terreno. Tal local é denominado **lixão**, **lixreira** ou **vazadouro**. Os restos de comida presentes no lixo permitem que seres vivos se desenvolvam nos lixões. Alguns deles merecem nossa atenção: microrganismos, ratos, baratas e moscas.

Os ratos, as baratas e as moscas podem transportar nos seus corpos os **microrganismos patogênicos** (causadores de doenças). Assim, esses animais atuam como transmissores de doenças para as pessoas que moram nas proximidades do lixão. Alguns exemplos dessas doenças são a leptospirose, a hepatite, a febre tifoide e a amebíase.

Os restos de comida presentes no lixo sofrem decomposição sob a ação de enzimas liberadas pelos microrganismos. Isso produz mau cheiro nas vizinhanças do lixão. Além disso, quando chove, a água se mistura com os resíduos produzidos pela decomposição desses restos de comida. O líquido resultante dessa mistura é chamado de **chorume**. Ele se infiltra na terra, podendo contaminar o lençol de água. Pessoas nas vizinhanças que utilizem água de poço obterão água contaminada.

## Aterro sanitário

Para tentar evitar os riscos relacionados aos lixões, foram criados os **aterros sanitários**. Neles, o lixo que é despejado diariamente é compactado e depois coberto com uma camada de terra, que evita o mau cheiro e reduz a presença de ratos, baratas e moscas.

Para impedir que o chorume chegue ao lençol de água, a parte de baixo dos aterros mais modernos é revestida com plástico. Há tubos que retiram o chorume que se acumula na parte de baixo do aterro e o encaminham a tanques de tratamento.

A decomposição microbiana dos restos de comida produz gás metano, podendo causar explosões graças à sua inflamabilidade. Por isso, existe uma tubulação no meio do lixo que permite que o gás escape e seja queimado, deixando de oferecer perigo.

Embora os aterros sanitários sejam melhores que os lixões, muitas cidades brasileiras ainda não os possuem. Por causa de suas características especiais, são mais caros que os lixões.

Há localidades em que o lixo é descartado em **aterros controlados**, que são uma forma intermediária entre os lixões e os aterros sanitários. Neles, o lixo é coberto com material inerte, como terra ou argila. Mas normalmente não há impermeabilização do solo, tratamento de chorume ou captação dos gases gerados.

## Incineração do lixo

A **incineração** (queima até reduzir-se a cinzas) do lixo é feita num gigantesco forno. Ao final, restam cinzas que são levadas ao aterro sanitário. Um dos problemas sérios do lixo é que ele ocupa muito espaço, e como o volume dessas cinzas é cerca de dez vezes menor que o volume do lixo que foi queimado, a incineração ajuda a resolver a questão de espaço.

No entanto, a incineração também apresenta seus problemas. Queimar o lixo é mais caro que enterrá-lo. Além disso, quando o lixo é queimado, produz gases tóxicos. Nas grandes cidades, onde o ar já é bastante poluído, a incineração agrava ainda mais a poluição. Entre as substâncias prejudiciais à saúde liberadas nesse processo estão os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos de anéis conjugados, altamente cancerígenos.

## 5.2 O reaproveitamento do lixo

### Compostagem

Os restos alimentares presentes no lixo podem ser transformados em **adubo** e **biogás**. Isso é feito nas usinas de compostagem do lixo.

Nelas, os caminhões de coleta despejam o lixo coletado. Um grupo de funcionários se encarrega de retirar os pedaços de plástico, papel, papelão, vidro e metal. Após essa separação, o que sobra é colocado dentro de grandes tubos giratórios onde fica por cerca de cinco dias. Durante esse tempo, microrganismos atuam na decomposição dos restos de comida, folhas, gravetos de madeira e outros materiais biodegradáveis, transformando-os em um material escuro (com aparência de farelos de bolo de chocolate). Tal material é denominado **composto** e serve para ser colocado no solo, como adubo. É útil em solos que foram muito usados pela agricultura e perderam os nutrientes de que as plantas precisam para seu desenvolvimento.

Durante a **compostagem**, quando os microrganismos estão atuando na decomposição do lixo, é produzida uma quantidade apreciável de biogás, constituído principalmente por metano. Ele pode ser aproveitado por indústrias ou para a geração de termoeletricidade. Caso não seja aproveitado, o biogás é queimado na própria usina de compostagem para evitar o risco de explosões.



▲ Lixões favorecem a propagação de doenças e são focos de contaminação do solo, da água e do ar. Campinas, SP, 1998.



▲ Aterros sanitários, como esse localizado em São Paulo, SP, são projetados para minimizar os problemas trazidos pelos lixões. Foto de 2004.

## Reciclagem

A **reciclagem** é o processo que permite reaproveitar papel, vidro, plástico e metal que tenham sido descartados como lixo, transformando-os em novos objetos. Ao reciclar:

- diminuímos a quantidade de lixo e, portanto, reduzimos o problema trazido por ele (necessidade de espaço nos aterros sanitários etc.);
- poupamos dinheiro, pois obter plástico, papel, vidro ou metal a partir de matéria-prima natural custa mais do que se reaproveitarmos o que já existe;
- conservamos os recursos naturais, como as árvores (usadas para fabricar papel), o petróleo (matéria-prima para os plásticos) e os minérios (que permitem obter metais).

Os materiais destinados à reciclagem devem estar separados do resto do lixo. Se vidro, metal, plástico, papel e restos de comida estiverem juntos num mesmo saco de lixo, haverá a necessidade de que funcionários separem esses componentes para que sejam enviados às indústrias que os reciclam. Isso custa tempo e dinheiro.

Para facilitar, algumas cidades brasileiras já implantaram a **coleta seletiva de lixo**. Ela consiste em incentivar a população a separar, em suas casas, os componentes do lixo em pelo menos duas categorias: lixo reciclável (vidro, metal, plástico, papéis) e lixo não reciclável (resíduos alimentares etc.). Diferentes caminhões de coleta apanham esses materiais. O processo é trabalhoso e caro, mas a reciclagem permite fazer uma economia que pode compensar esses gastos. Além disso, a reciclagem deve ser incentivada, porque é uma importante forma de preservar o ambiente e a qualidade de vida.



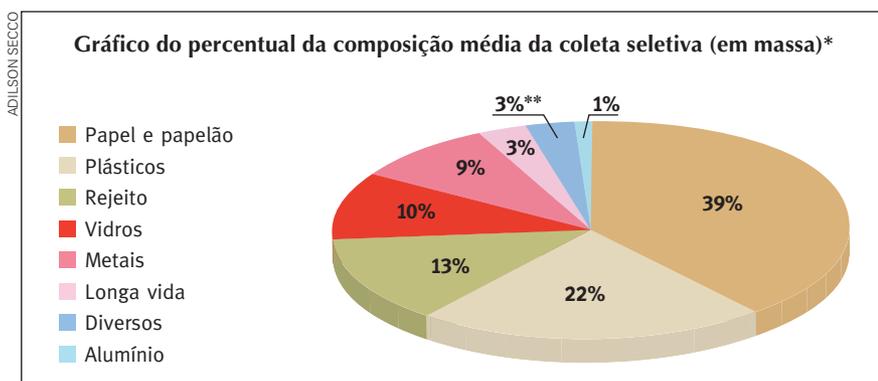
DELFIN MARTINS/PULSAR IMAGENS



JAMES HOLMES/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

▲ Na coleta seletiva do lixo domiciliar, materiais de diversas categorias (papel, plástico, metal e vidro) são coletados conjuntamente. Em seguida, são adequadamente separados por funcionários, como os que aparecem nessa foto, para que sejam enviados às empresas de reciclagem. São Paulo, SP, 1998.

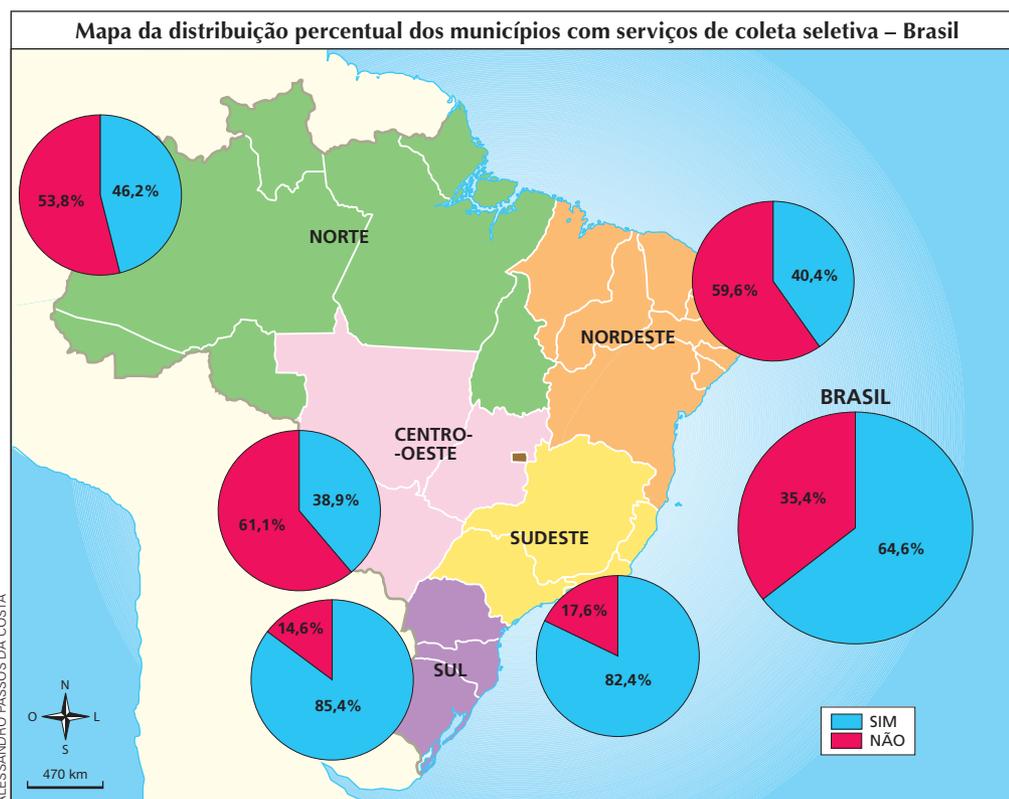
▲ A reciclagem representa um imenso ganho ambiental. Na foto, polietileno proveniente de coleta seletiva, destinado à reciclagem, em Zedcor, Inglaterra.



Fonte do gráfico: Compromisso Empresarial para Reciclagem (Cempre)/Ciclossoft. Disponível em: <[http://www.cempre.org.br/ciclossoft\\_2008.php](http://www.cempre.org.br/ciclossoft_2008.php)>. Acesso em: 18 abr. 2010.

\* Dados referentes à média de Belo Horizonte (MG), Brasília (DF), Campinas (SP), Curitiba (PR), Florianópolis (SC), Itabira (MG), Londrina (PR), Manaus (AM), Porto Alegre (RS), Recife (PE), Ribeirão Preto (SP), Rio de Janeiro (RJ), Salvador (BA), Santo André (SP), Santos (SP), São Bernardo do Campo (SP), São José dos Campos (SP) e São Paulo (SP).

\*\* Inclui outros tipos de material reciclável (baterias, pilhas, borracha etc.) ou reaproveitável (madeira, livros etc.).



## MEDIDAS QUE PODEM SER IMPLANTADAS EM NOSSO DIA A DIA PARA REDUZIR A PRODUÇÃO DE LIXO E ESTIMULAR O CONSUMO CONSCIENTE

- Participe de programas de coleta seletiva [...].
- Evite comprar legumes, frios e carnes em bandejas de [poliestireno expandido] [...].
- Procure produtos que tenham menos embalagens ou utilize aqueles que tenham embalagem reciclável.
- Quando for comprar presentes, evite a utilização de embalagens em excesso.
- Quando for fazer compras no supermercado e feiras, leve a própria sacola [...].
- Evite comprar produtos embalados em PETs (garrafas de plástico), preferindo, sempre que possível, garrafas de vidro [retornáveis].
- Compre o suficiente para o consumo, evitando desperdício de produtos e alimentos.
- Ponha no prato só o que você realmente for comer. [...]
- Utilize a frente e o verso do papel para escrever.
- Reproveite vidros de geleia, maionese, massa de tomate etc.
- Participe de bazares e feiras de troca [...].
- Doe móveis, roupas, utensílios domésticos e brinquedos para instituições beneficentes ou famílias carentes.



▲ Quando for fazer compras, leve sua própria sacola. Assim, você evitará o desperdício de plástico em sacos e sacolinhas.

- Quando possível, utilize o lixo orgânico para compostagem de jardins e hortas caseiras.
- Controle o uso da água: não deixe a torneira aberta à toa, abri-lá e fechá-la várias vezes é melhor do que deixar a água correr sem necessidade.
- Desligue a TV se não estiver realmente assistindo e a luz do lugar onde não houver alguém.

**LEMBRETE:** A maior parte do que jogamos fora não é sujo, **fica** sujo depois de misturado. Se você separar **antes** os materiais que podem ser reciclados, a quantidade de lixo a ser coletado é muito menor.”

Fonte: Secretaria do Meio Ambiente e Prefeitura do Município de São Paulo, 2003.

### Refleta sobre isto

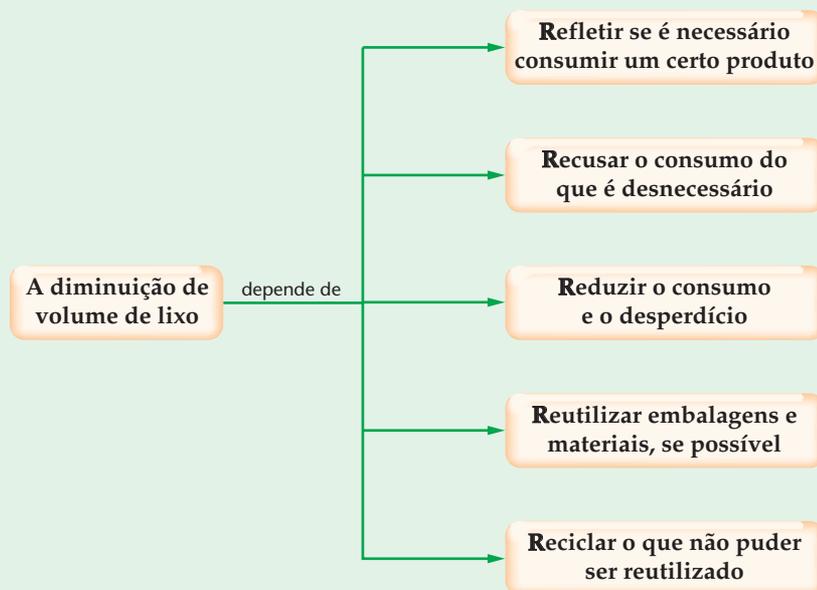
Além dessas, que outras atitudes **você** pode ter para que a sociedade agrida menos o ambiente?

## CIDADANIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O ser humano tem meios para reduzir o problema ambiental criado pelo lixo que ele mesmo produz. No entanto, para que os métodos da compostagem e da reciclagem sejam utilizados de forma generalizada, há necessidade de investimentos por parte do governo e também das indústrias.

O desenvolvimento de nossa sociedade deve ser sustentável, ou seja, deve acontecer de tal forma que não cause prejuízos ao ambiente e à qualidade de vida, presente e futura, da humanidade.

Por esse motivo é importante que você, cidadão, se interesse desde cedo pelas questões ligadas à nossa qualidade de vida. Conhecer os problemas é o primeiro passo para poder posicionar-se com relação a eles. **Os cidadãos têm o direito e o dever de participar das decisões que afetem seu país.**



Saneamento básico, alimentação adequada, saúde, emprego e instrução escolar para todos são alguns pontos importantes para assegurar qualidade de vida para a população. O desenvolvimento de um país deve ser acompanhado por todos esses aspectos, pois, caso contrário, não estará havendo verdadeiro progresso do povo e da nação.

**49.** (Enem-MEC) Os plásticos, por sua versatilidade e menor custo relativo, têm seu uso cada vez mais crescente. Da produção anual brasileira de cerca de 2,5 milhões de toneladas, 40% destinam-se à indústria de embalagens. Entretanto, esse crescente aumento de produção e consumo resulta em lixo que só se reintegra ao ciclo natural ao longo de décadas ou mesmo de séculos.

Para minimizar esse problema uma ação possível e adequada é:

- a) proibir a produção de plásticos e substituí-los por materiais renováveis como os metais.
- b) incinerar o lixo de modo que o gás carbônico e outros produtos resultantes da combustão voltem aos ciclos naturais.
- c) queimar o lixo para que os aditivos contidos na composição dos plásticos, tóxicos e não degradáveis, sejam diluídos no ar.
- d) estimular a produção de plásticos recicláveis para reduzir a demanda de matéria-prima não renovável e o acúmulo de lixo.
- e) reciclar o material para aumentar a qualidade do produto e facilitar a sua comercialização em larga escala.

**50.** (Enem-MEC) Em 2006, foi realizada uma conferência das Nações Unidas em que se discutiu o problema do lixo eletrônico, também denominado *e-waste*. Nessa ocasião, destacou-se a necessidade de os países em desenvolvimento serem protegidos das doações nem sempre bem-intencionadas dos países mais ricos. Uma vez descartados ou doados, equipamentos eletrônicos chegam a países em desenvolvimento com o rótulo de “mercadorias reconduzidas”, mas acabam deteriorando-se em lixões, liberando chumbo, cádmio, mercúrio e outros materiais tóxicos.

Fonte: <g1.globo.com> (com adaptações).

A discussão dos problemas associados ao *e-waste* leva à conclusão de que:

- a) os países que se encontram em processo de industrialização necessitam de matérias-primas recicladas oriundas dos países mais ricos.
- b) o objetivo dos países ricos, ao enviarem mercadorias reconduzidas para os países em desenvolvimento, é o de conquistar mercados consumidores para seus produtos.
- c) o avanço rápido do desenvolvimento tecnológico, que torna os produtos obsoletos em pouco tempo, é um fator que deve ser considerado em políticas ambientais.

- d) o excesso de mercadorias reconduzidas enviadas para os países em desenvolvimento é armazenado em lixões apropriados.
- e) as mercadorias reconduzidas oriundas de países ricos melhoram muito o padrão de vida da população dos países em desenvolvimento.

**51.** (Enem-MEC) Um dos grandes problemas das regiões urbanas é o acúmulo de lixo sólido e sua disposição. Há vários processos para a disposição do lixo, dentre eles o aterro sanitário, o depósito a céu aberto e a incineração. Cada um deles apresenta vantagens e desvantagens.

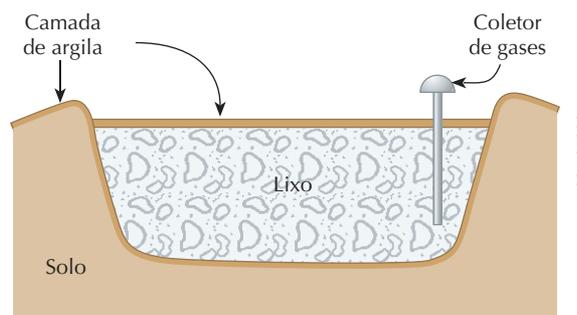
Considere as seguintes vantagens de métodos de disposição do lixo:

- I. diminuição do contato humano direto com o lixo;
- II. produção de adubo para a agricultura;
- III. baixo custo operacional do processo;
- IV. redução do volume de lixo.

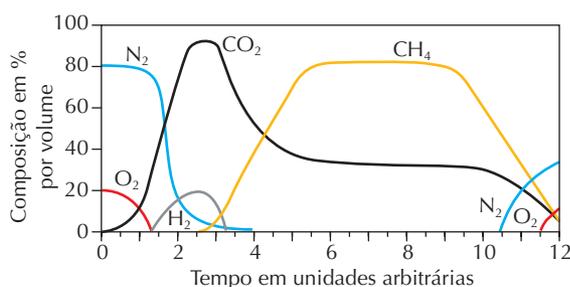
A relação correta entre cada um dos processos para a disposição do lixo e as vantagens apontadas é:

	Aterro sanitário	Depósito a céu aberto	Incineração
a)	I	II	I
b)	I	III	IV
c)	II	IV	I
d)	II	I	IV
e)	III	II	I

**52.** (Unicamp-SP) Em um aterro sanitário, o lixo urbano é enterrado e isolado da atmosfera por uma camada de argila, conforme vem esquematizado na figura abaixo. Nessas condições, microrganismos decompõem o lixo proporcionando, dentre outras coisas, o aparecimento de produtos gasosos. O gráfico a seguir ilustra a composição dos gases emanados em função do tempo.



ADILSON SECCO



- Em que instante do processo a composição do gás coletado corresponde à do ar atmosférico?
- Em que intervalo de tempo prevalece a atividade microbiológica anaeróbica? Justifique.
- Se você quisesse aproveitar, como combustível, o gás emanado, qual seria o melhor intervalo de tempo para fazer isso? Justifique a sua resposta e formule a equação química da reação utilizada na obtenção de energia térmica.

**53.** (Unopar-PR) O uso contínuo de fertilizantes artificiais pode diminuir a produtividade após 5 anos de plantio. Nesse sentido, recomenda-se empregar o processo que transforma, em presença do oxigênio do ar, o lixo orgânico triturado e espalhado sobre o solo — restos de alimentos, esgoto sanitário, folhas e flores que caem das árvores, e toda matéria que pode ser fonte de alimento para microrganismos — em adubo. Esse processo é chamado de:

- biomassa.
- incineração.
- neutralização.
- reciclagem.
- compostagem.

**54.** (Enem-MEC) Com o uso intensivo do computador como ferramenta de escritório, previu-se o declínio acentuado do uso de papel para escrita. No entanto, essa previsão não se confirmou, e o consumo de papel ainda é muito grande. O papel é produzido a partir de material vegetal e, por conta disso, enormes extensões de florestas já foram extintas, uma parte sendo substituída por reflorestamentos homogêneos de uma só espécie (no Brasil, principalmente eucalipto).

Para evitar que novas áreas de florestas nativas, principalmente as tropicais, sejam destruídas para suprir a produção crescente de papel, foram propostas as seguintes ações:

- Aumentar a reciclagem de papel, através da coleta seletiva e processamento em usinas.
- Reduzir as tarifas de importação de papel.
- Diminuir os impostos para produtos que usem papel reciclado.

Para um meio ambiente global mais saudável, apenas:

- a proposta I é adequada.

- a proposta II é adequada.
- a proposta III é adequada.
- as propostas I e II são adequadas.
- as propostas I e III são adequadas.

**55.** (Unep-BA) Com o aumento constante do preço do petróleo, a reciclagem de plásticos tornou-se uma atividade economicamente rentável. Os maiores benefícios vão para o meio ambiente, que deixa de ser poluído por material de tão difícil biodegradação. Em relação ao texto e aos conhecimentos sobre reações de polímeros, pode-se afirmar:

- Os plásticos são obtidos diretamente do petróleo.
- Os plásticos são materiais formados por polímeros naturais, como o amido, a celulose e as proteínas.
- Embalagens de polietileno, de polipropileno e de policloreto de vinila são facilmente recicláveis.
- Baquelite, poliuretano e náilons são polímeros classificados como de adição.
- Os polímeros naturais ao serem biodegradados entram em combustão e liberam CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O.

**56.** (Enem-MEC) Em usinas hidrelétricas, a queda-d'água move turbinas que acionam geradores. Em usinas eólicas, os geradores são acionados por hélices movidas pelo vento. Na conversão direta solar-elétrica são células fotovoltaicas que produzem tensão elétrica. Além de todos produzirem eletricidade, esses processos têm em comum o fato de:

- não provocarem impacto ambiental.
- independerem de condições climáticas.
- a energia gerada poder ser armazenada.
- utilizarem fontes de energia renováveis.
- dependerem das reservas de combustíveis fósseis.

**57.** (Enem-MEC) Segundo matéria publicada em um jornal brasileiro, "Todo o lixo (orgânico) produzido pelo Brasil hoje — cerca de 20 milhões de toneladas por ano — seria capaz de aumentar em 15% a oferta de energia elétrica. Isso representa a metade da energia produzida pela hidrelétrica de Itaipu. O segredo está na celulignina, combustível sólido gerado a partir de um processo químico a que são submetidos os resíduos orgânicos". (*O Estado de S. Paulo*, 01/01/2001.)

Independentemente da viabilidade econômica desse processo, ainda em fase de pesquisa, na produção de energia pela técnica citada nessa matéria, a celulignina faria o mesmo papel:

- do gás natural em uma usina termoeletrica.
- do vapor-d'água em uma usina termoeletrica.
- da queda-d'água em uma usina hidrelétrica.
- das pás das turbinas em uma usina eólica.
- do reator nuclear em uma usina termonuclear.

## Informe-se sobre a Química

### “Resíduos viram lucrativa biomassa

#### **Sobretudo o bagaço de cana, além das palhas de arroz e de amendoim e da casca de coco, são combustíveis ambientais**

Antes vistos como sobras inconvenientes das lavouras e causadores de problemas ambientais, os resíduos de culturas como a cana-de-açúcar e arroz têm ganhado importância e mercado. À medida que mais empresas investem na mudança de matriz energética, deixando de lado a queima de combustível fóssil para aquecer caldeiras, a procura por biomassa, como o bagaço da cana e as cascas de arroz e de amendoim, só tem crescido.

No setor sucroalcooleiro, o aproveitamento do bagaço de cana é feito há pelo menos duas décadas. Até os anos 1990, o resíduo da moagem da cana era um problema. Até que as usinas passaram a substituir as caldeiras que usavam diesel como combustível por caldeiras movidas a biomassa. Hoje, o bagaço da cana é o principal insumo para garantir a autossuficiência energética das usinas, que vendem, inclusive, o excedente de energia produzido por meio da cogeração.

#### **Outras indústrias**

Mas o uso [do] bagaço de cana não fica restrito às usinas sucroalcooleiras. Ele também é consumido por indústrias como a de suco de laranja. [...]

O preço por tonelada da biomassa varia, segundo o assessor de Bioeletricidade [...] Zilmar de Souza, porque o frete influencia muito. Descontando o fator logístico, ele estima valores entre R\$ 5 e R\$ 30 por tonelada para o bagaço de cana.

Na Região Sul, outro resíduo que tem dado lucro é a casca de arroz. ‘Nas décadas de 1980 e 1990 era um resíduo problemático. Como os engenhos ficavam próximos das cidades, a casca do arroz, pela sua baixa densidade, era levada pelo vento e, quando chovia, entupia os bueiros. Além disso, se jogada em aterros, gerava o gás metano quando se decompunha e passou a ser malvista do ponto de vista ambiental’, diz o consultor técnico do Instituto Rio-Grandense do Arroz (Irga), Gilberto Amato.

#### **Aproveitamento total**

Hoje, esse cenário mudou. Segundo Amato, a casca de arroz é quase totalmente aproveitada. Segundo estimativas do Irga, são quase 2 milhões de toneladas da biomassa produzidas por safra. ‘Boa parte das indústrias cerâmicas ao longo da BR-101 compra a casca de arroz para abastecer caldeiras.’

Amato diz ainda que um grupo europeu pretende montar uma indústria de geração de energia abastecida só com casca de arroz, ‘Eles querem firmar contratos longos com os produtores da região para adquirir a casca do arroz.’

[Uma indústria] [...] de Viamão (RS) usa, desde 2006, a casca de arroz como combustível. Segundo o diretor de Sustentabilidade, Sandro Bassili, foram investidos R\$ 4,7 milhões para mudar a matriz energética. ‘Contando com as outras unidades que já estão operando com biomassa, já investimos R\$ 18 milhões. Também usamos casca de coco, no Nordeste’, diz. Hoje, 32% do calor gerado pelas caldeiras da empresa em todo o país vem da biomassa. Por isso, desde 2007 a empresa já obteve autorização para negociar os créditos de carbono gerados pela mudança na matriz energética.

## Fábrica faz briquetes a partir do bagaço de cana e mandioca

Em 1992, visando a aproveitar as sobras de sua fábrica de portas e janelas de madeira, o empresário Carlos Frazza montou uma fábrica de briquetes (sobras de madeira prensada, usadas como combustível alternativo à lenha). Em pouco tempo Frazza estava comprando os resíduos das empresas vizinhas para produzir os briquetes. Sete anos depois, dedicava-se exclusivamente ao novo negócio, deixando para trás a fábrica de portas.

Além de o briquete ser mais vantajoso como combustível em relação ao óleo diesel, o seu custo é 40% mais baixo. Mesmo assim, porém, o mercado para o pó de serra compactado não decolava.

A razão? 'O sistema de produção datava da época da Segunda Guerra e não há sobras de madeira suficientes para tornar viáveis projetos de escala industrial, capazes de fornecer o produto para fábricas com muitas caldeiras', diz.

### Melhoria dos processos

A solução, segundo o empresário, foi investir na melhoria dos processos e buscar matéria-prima barata e abundante. Foi a partir daí que Frazza começou a fabricar briquetes com bagaço de cana e outras biomassas renováveis, como bagaço de mandioca e casca de amendoim. A esse produto Frazza deu o nome de Bripell. 'Criamos um processo que permite secar o bagaço da cana e compactá-lo a um custo baixo. Com isso, aumentamos o poder de fogo com a queima, pois, como o Bripell é mais denso, é possível calibrar melhor a quantidade de oxigênio da caldeira. Obtendo mais calor, criamos uma solução que aumenta o tempo de vida útil da biomassa, facilitando o transporte e o armazenamento.'

[...]

A logística é a principal barreira para que algumas empresas deixem de usar diesel e passem a queimar biomassa. Geralmente as empresas que fazem essa substituição compram os resíduos de indústrias próximas de sua região, isso no caso das que não produzem a própria biomassa.

Assim, as que não têm quem forneça o insumo ficam sem ter como investir nessa alteração, pois trazer o insumo de longe é caro. Segundo o Irga, no caso da casca de arroz, a distância máxima a que se pode transportar a biomassa sem prejuízo é de 200 quilômetros.

Outra barreira é o armazenamento da biomassa. Tanto o bagaço da cana quanto a casca de arroz, em processo de decomposição, geram metano, extremamente nocivo para a atmosfera. No bagaço da cana o envelhecimento ainda gera umidade, o que reduz o seu poder calorífico. Com isso, é inviável para uma empresa fazer um estoque desse material, ficando sujeita à sazonalidade e ao conseqüente aumento do preço cobrado pelo combustível alternativo.

## Venda de crédito de carbono ajuda a fechar o balanço energético

O mercado de créditos de carbono também tem servido para valorizar a biomassa advinda da agricultura. 'A possibilidade de venda de créditos de carbono ajuda as indústrias a fecharem a conta na hora de investir em projetos de substituição do diesel pela biomassa como combustível para movimentar suas fábricas', explica o presidente da [...] empresa especializada em projetos de geração de energia por meio da queima de biomassas renováveis, Stéfano Merlin. No próximo mês será realizado, na BM&FBovespa, o primeiro leilão de créditos de carbono para o mercado voluntário do Brasil. São créditos advindos de 16 projetos de substituição de matriz energética [...]. Neste contexto, Merlin crê que as biomassas tendem a ganhar cada vez mais mercado, à medida que, seja para reduzir emissões, ou para ser mais eficiente do ponto de vista energético, mais empresas passem a deixar de usar combustíveis fósseis para alimentar suas máquinas."

Fonte: COSTA, L. *O Estado de S.Paulo*. Suplemento Agrícola. 10 mar. 2010. p. 6-7.

### ● Você entendeu a leitura?

Responda em seu caderno

1. O que você entende por biomassa?
2. Cite algumas vantagens da biomassa como fonte energética.
3. O segundo parágrafo do texto fala em “caldeiras movidas a biomassa”. Consultando um dicionário ou outra fonte de informação, se necessário, explique o que são “caldeiras movidas a biomassa”.
4. Considere o seguinte trecho do texto: “a empresa já obteve autorização para negociar os créditos de carbono gerados pela mudança na matriz energética”.
  - a) Pesquise e explique o que são *créditos de carbono*.
  - b) O que é uma “mudança na matriz energética”?
5. O que é o briquete mencionado no texto?
6. Qual é a vantagem ecológica e ambiental da utilização dos briquetes na produção de energia?
7. O jornalista afirma que a “logística é a principal barreira para que algumas empresas deixem de usar diesel e passem a queimar biomassa”. Explique o que quer dizer essa frase, esclarecendo o que significa a palavra *logística*, no contexto em que é usada. Se necessário, consulte o dicionário ou outra fonte de informação.
8. Um trecho do texto diz que “no caso da casca de arroz, a distância máxima a que se pode transportar a biomassa sem prejuízo é de 200 quilômetros”.
  - a) A que se destina essa casca de arroz?
  - b) A que tipo de prejuízo se refere essa passagem do texto? O que causa tal prejuízo?
9. O jornalista comenta que tanto “o bagaço da cana quanto a casca de arroz, em processo de decomposição, geram metano, extremamente nocivo para a atmosfera”. Além do fato de ser inflamável, o metano é considerado nocivo por uma importante razão. Qual é ela?
10. Ao falar da vantagem dos briquetes sobre o bagaço de cana, no que diz respeito ao armazenamento, o texto afirma que não é viável a uma empresa fazer estoque de bagaço de cana. Depois de pesquisar o significado da palavra *sazonalidade*, explique o que o jornalista quis dizer ao mencionar que a empresa fica “sujeita à sazonalidade e ao consequente aumento do preço cobrado pelo combustível alternativo”.

### ○ Reavalie o que você pensa a respeito



Verifique em que mudaram suas concepções prévias

Reveja sua resposta à atividade da segunda página deste capítulo, reavalie o que escreveu, discuta com seus colegas e, se julgar necessário, elabore novas justificativas ou aprimore as que tinha escrito. Apresente-as ao professor.

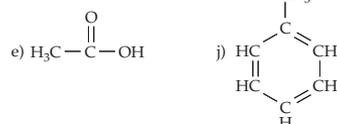
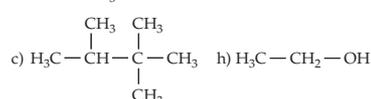
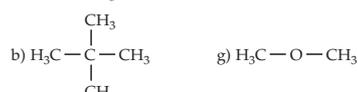
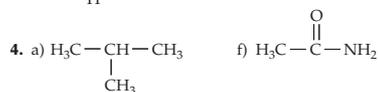
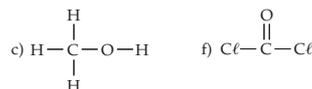
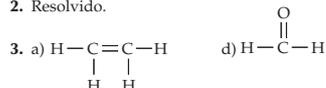


# Respostas

## Capítulo 1. Introdução à Química dos compostos de carbono

1. Composto orgânico é um composto que contém carbono.

2. Resolvido.



5. Resolvido. 6. 10 7.  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$

8. B 9.  $\text{C}_8\text{H}_8$  10. D 11. B

12. a)  $\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{S}_4\text{N}_2$

b) Na molécula existem 10 pares de elétrons não compartilhados.

c) Não, pois o oxigênio pode fazer apenas duas ligações covalentes comuns e não três como o nitrogênio.

13. D 14. C 15. C 16. D

17.  $\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}_2$  18. C 19. Resolvido.

20. Resolvido. 21. C 22. D 23. B

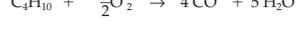
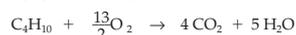
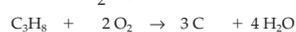
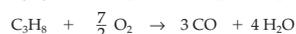
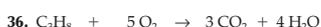
24. A 25. C 26. C 27. B 28. B

29. a)  $\text{C}_{17}\text{H}_{18}\text{N}_5\text{O}_3\text{F}$  b) 61,6%

30.  $\text{C}_{11}\text{H}_{22}\text{N}_2\text{O}_3$ ; 280 u; 47,1% de C; 2,9% de H; 22,9% de S; 10,0% de N e 17,1% de O.

31. B 32. certa

33. E 34. C 35. B



37. Um automóvel ligado em ambiente fechado faz com que aumente a concentração de CO no ar, oferecendo riscos à saúde.

38. a) carbono grafite  
b) Forma-se por meio da combustão incompleta.

39. B, C e D. 40. errada

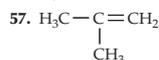
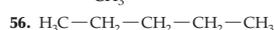
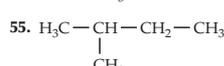
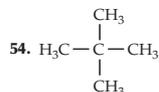
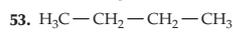
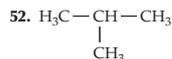
41. B 42. D

43. C

44.  $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ ; gás carbônico (dióxido de carbono) e água.

45. D 46. D 47. D

48. B 49. B 50. E 51. D



58. a) etano f) pent-2-eno  
b) eteno g) pent-1-ino  
c) etino h) hept-2-ino  
d) butano i) buta-1,3-dieno  
e) propeno

59. a)  $\text{CH}_4$   
b)  $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$   
c)  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_3$   
d)  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$   
e)  $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3$   
f)  $\text{H}_3\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$



60. Sim, pois não existe o prop-2-eno.

61. Não, pois existe o but-2-eno.

62. a) ciclo-propano d) ciclo-buteno  
b) ciclo-butano e) ciclo-hexa-1,4-dieno  
c) ciclo-pentano f) ciclo-hexa-1,3-dieno

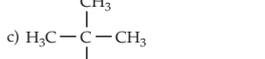
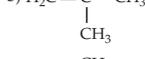
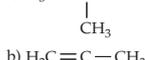
63. B 64. Resolvido.

65. a) but-2-eno c) hex-1-eno  
b) pent-2-eno d) hexa-1,3-dieno

66. a) metil e) butil  
b) etil f) isobutil  
c) propil g) s-butil ou sec-butil  
d) isopropil h) t-butil ou terc-butil

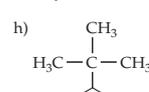
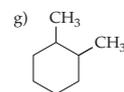
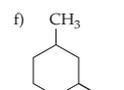
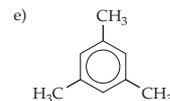
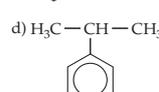
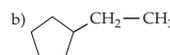
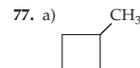
67. a) 2-metil-pentano  
b) 2,3-dimetil-butano  
c) 2,2,4-trimetil-pentano  
d) 3-etil-2-metil-pentano  
e) 3-metil-but-1-eno  
f) 4-metil-pent-2-ino

68. a)  $\text{H}_3\text{C}-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$



69. C 70. D 71. A 72. E  
73. C 74. A 75. D

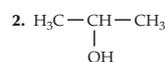
76. a) etil-ciclo-hexano  
b) propil-benzeno  
c) 1,2-dimetil-benzeno ou *orto*-dimetil-benzeno  
d) 1,3-dimetil-benzeno ou *meta*-dimetil-benzeno  
e) 1,4-dimetil-benzeno ou *para*-dimetil-benzeno  
f) etil-benzeno



78. B 79. D 80. D 81. D 82. D  
83. B 84. E

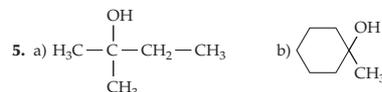
## Capítulo 2. As principais classes funcionais de compostos orgânicos

1. a) butan-2-ol d) etanol  
b) pentan-1-ol e) ciclo-pentanol  
c) pentan-3-ol



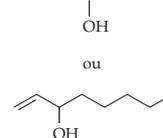
3. Causa ambiguidade, pois há possibilidades diferentes para posicionar a hidroxila: butan-1-ol e butan-2-ol.

4. Não causa ambiguidade, pois não há possibilidades diferentes para a posição da hidroxila.



6. C 7. A

8.  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}_3$



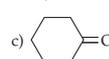
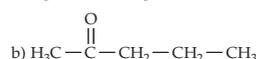
9. B

10. 1 - errado; 2 - errado; 3 - certo; 4 - certo.

11. a) propanal d) butanal  
b) etanal e) benzaldeído  
c) metanal

12. Só A é cetona.

13. a) butanona c) ciclo-pentanona  
b) hexan-3-ona d) propanal



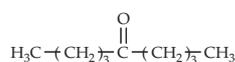
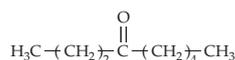
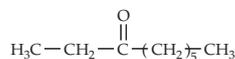
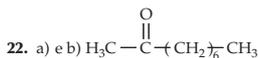
15. a) Não, pois se a carbonila está no primeiro carbono não é cetona e sim um aldeído, no caso, o pentanal.  
b) Não, porque a numeração deve começar pela extremidade mais próxima da carbonila.

16. Existem duas: hexan-2-ona e hexan-3-ona.

17. Existem três: heptan-2-ona, heptan-3-ona e heptan-4-ona.

18. a) 2-metil-butanal  
b) 2,3,4-trimetil-pentanal  
c) 4-metil-pentanal  
d) 3-metil-butano-2-ona (ou 3-metil-butanona)  
e) 2,4-dimetil-pentano-3-ona  
f) 2,4-dimetil-ciclo-hexanona

19. A      20. A      21. A



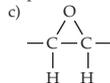
(essa pode ser considerada um palíndromo)

c) nonan-5-ona

23. a)  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}_2-\text{OH}$  álcool



b) pentan-1-ol



24. ácido etanoico,  $\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$

25. caproico:  $\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$

caprílico:  $\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_6-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$

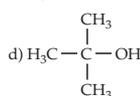
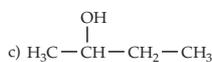
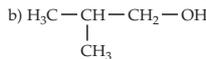
cáprico:  $\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_8-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$

26. a) ácido etanoico  
b) ácido butanoico  
c) ácido propanoico  
d) ácido hexanoico  
e) ácido 2,3-dimetil-butanoico  
f) ácido 4-metil-benzoico (ou ácido *para*-metil-benzoico)

27. a) ácido metanoico  
b) ácido etanoico  
c) ácido propanoico  
d) ácido butanoico

28. a) metanal      c) propanal  
b) etanal      d) butanal

29. a)  $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$



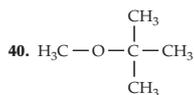
31. a) propanona      b) cetona dimetilica

32. C    33. C    34. C    35. E    36. A

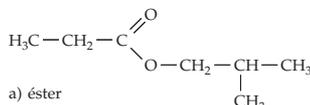
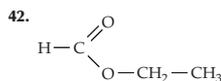
37. 1 - certo; 2 - errado; 3 - errado; 4 - certo.

38.  $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$  etóxi-etano

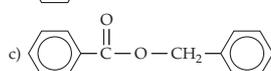
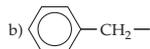
39. a) metóxi-metano ou éter dimetilico  
b) metóxi-etano ou éter etílico e metílico  
c) etóxi-benzeno ou éter etílico e fenílico



41. a) etanoato (ou acetato) de etila  
b) etanoato (ou acetato) de pentila



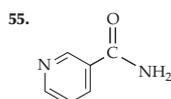
43. a) éster



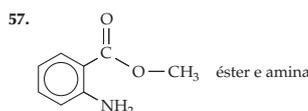
44. D    45. B    46. C    47. E    48. E

49. C    50. A    51. C    52. B

53. a) etanamida (ou acetamida); amida.  
b) metanoato de metila (ou formiato de metila); éster.



56. E



58. E    59. B    60. triclouro-metano

61. tetraclo-ro-metano    62. tetrafluoro-eteno

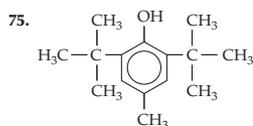
63. a) 2-cloro-propano (ou cloreto de isopropila)  
b) bromo-ciclo-pentano (ou brometo de ciclo-pentila)  
c) iodo-benzeno (ou iodeto de fenila)  
d) cloro-metano (ou cloreto de metila)  
e) 1-bromo-propano (ou brometo de propila)  
f) 2-iodo-propano (ou iodeto de isopropila)

64. a) *para*-dicloro-benzeno  
b) *meta*-dicloro-benzeno  
c) *orto*-dicloro-benzeno

65. D    66. D    67. C    68. Resolvido.

69. D    70. E    71. C    72. D

73. D    74. A

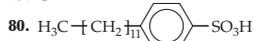


76. 1 - errado; 2 - certo; 3 - errado.

77.  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{C}\equiv\text{N}$

78. a) butanonitrila  
b) butanamida  
c) ácido butanosulfônico

79. C



### Capítulo 3. Ligações intermoleculares na Química Orgânica

1. Resolvido

2. linear: A, B, F, N, O, P, R; trigonal plana: G; tetraédrica: C, I, J, Q; piramidal: D, L; angular: E, H, K, M.

3. Resolvido.

4. a) tetraédricos  
b) trigonal plano (o da carbonila) e tetraédricos  
c) tetraédrico e trigonal plano (o da carbonila)  
d) trigonais planos  
e) tetraédrico  
f) tetraédrico e linear (o do grupo -CN)

5. a) tetraédricos  
b) trigonais planos  
c) lineares  
d) A, C: tetraédricos; B: trigonal plano  
e) A: tetraédrico; B: trigonal plano  
f) trigonais planos  
g) A, C: trigonais planos; B: linear  
h) trigonais planos

6. Resolvido.

7. A

8. a) III, IX      c) V, VI, VII      e) I, IV  
b) II, VIII      d) X

9. E    10. D    11. C

12. A    13. D    14. A

15. B

16. a) Os grupos  $\text{CH}_3$  estão localizados à frente do plano do papel.

b) Os átomos de hidrogênio estão localizados atrás do plano do papel.

17. D

18. a) angular      b) angular      c) angular

19. a) piramidal      b) piramidal      c) piramidal

20. polar: A, D, E, G, H, J, K, L; apolar: B, C, F, I.

21. Porque a molécula de  $\text{CF}_4$  é tetraédrica. Em decorrência disso, os momentos de dipolo das ligações se cancelam.

22. D    23. A    24. D

25. Resolvido.    26. Resolvido.    27. Resolvido.

28. Espera-se que o álcool (polar) se dissolva melhor em acetona (polar) do que em gasolina (apolar).

29. O iodo é apolar. Para sua remoção é recomendado um solvente apolar que, no caso, é o  $\text{CCl}_4$ .

30. B    31. C    32. Resolvido

33. B    34. B    35. B

36. C

37. a) Após cobrir a vela, assim que o  $\text{O}_2$  do interior do copo for consumido, a combustão cessará por falta desse reagente.

b) As gorduras são apolares e se dissolvem bem em solventes apolares (benzina) e mal em solventes polares (água).

38. C

39. a) F      b) F      c) F      d) F

40. 1) certo    2) errado    3) certo    4) errado

41. C

42. Resolvido.

43. Resolvido.

44. D    45. D

46. O aumento da cadeia carbônica (que é hidrófoba) faz com que a característica polar da molécula diminua, diminuindo também a solubilidade em água.

47. A = butanoico; B = pentanoico; C = hexanoico

48. A    49. D

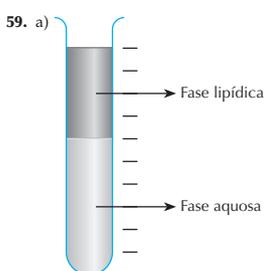
50. I - b; II - d; III - c; IV - a

51. A    52. B

53. a) fase superior:  $39 \text{ cm}^3$ ; fase inferior:  $61 \text{ cm}^3$   
b) Se o volume da fase inferior for maior que  $61 \text{ cm}^3$  (ou, equivalentemente, se o da fase superior for menor que  $39 \text{ cm}^3$ ), a gasolina contém mais de 22% de álcool.

54. E    55. A    56. E

57. C    58. E



b) A gordura custa mais na margarina "light", duas vezes mais.

60. Clorofórmio, porque é um solvente menos polar do que a água. (A bixina tem uma longa cadeia hidrófoba.)

61. a) Na ordem em que aparecem: água, metanol, etanol, propan-1-ol, butan-1-ol, pentan-1-ol.

b) Na sequência de metanol a pentan-1-ol, o aumento da cadeia carbônica faz com que a polaridade do solvente diminua cada vez mais e, conseqüentemente, torne-se mais difícil haver a dissociação iônica do NaCl.

62. C 63. E

64. Hidrossolúvel, como conseqüência da presença de vários grupos hidrófilos.

65. a) Acrescentaria água e mexeria. Apenas a vitamina C se dissolveria; a vitamina D permaneceria sólida. Filtraria para separar a vitamina D (retida no filtro) da solução aquosa da vitamina C (filtrado). Permitiria a evaporação da água do filtrado, o que acarretaria a cristalização da vitamina C.

b) vitamina A: álcool; vitamina E: fenol e éter.

66. Resolvido

67. Resolvido 68. D

69. A 70. C 71. E

72. A 73. C 74. E

75. A 76. C 77. D

78. 1) As interações das moléculas de água entre si são mais intensas do que as interações entre as moléculas de água e a superfície do polietileno.

2) As interações entre as moléculas de dodecano e a superfície são mais intensas do que as interações das moléculas de dodecano entre si.

3) Características polares, pois o espalhamento da água indica que a interação das moléculas de água com a superfície é mais intensa do que a das moléculas de água entre si.

79. Resolvido

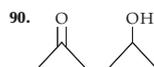
80. E 81. C

82. D 83. D 84. Resolvido

85. B

86. Entre as moléculas de ácido propiônico há ligações de hidrogênio. Já entre as moléculas de acetato de metila há interações dipolo-dipolo, menos intensas.

87. B 88. A 89. D



O álcool tem maior temperatura de ebulição devido às ligações de hidrogênio entre suas moléculas.

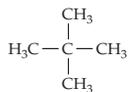
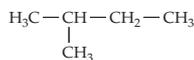
91. B 92. C 93. C

94. C 95. B

## Capítulo 4. Isomeria

1. A 2. A 3. D 4. B 5. E

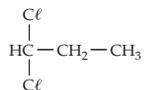
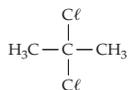
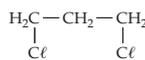
6.  $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$



7.  $\text{H}_2\text{C}=\text{C}-\text{CH}_3$



8.  $\text{H}_2\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_3$



9.  $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2$   $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_3$



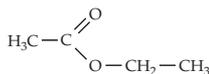
10.  $\text{H}_3\text{C}-\text{C}=\text{O}$   $\text{H}_2\text{C}-\text{O}-\text{CH}_2$   $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{OH}$

11. C 12. C

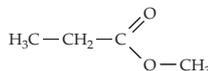
13.  $\text{H}-\text{C}=\text{O}$



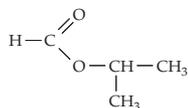
metanoato de propila



etanoato de etila



propanoato de metila



metanoato de isopropila

14. *orto*-metil-fenol ou *orto*-metil-benzenol ou 2-metil-fenol ou 2-metil-benzenol

*meta*-metil-fenol ou *meta*-metil-benzenol ou 3-metil-fenol ou 3-metil-benzenol

*para*-metil-fenol ou *para*-metil-benzenol ou 4-metil-fenol ou 4-metil-benzenol

metóxi-benzeno ou éter fenílico e metílico

álcool benzílico ou fenil-metanol

15. 1 - errado; 2 - errado; 3 - errado.

16. Há possibilidade de isômeros geométricos nos casos C, D, G.

17. c) *cis*

*trans*

d) *cis*

*trans*

g) *cis*

*trans*

18. D 19. A

20.  $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}=\text{CH}-\text{C}(=\text{O})-\text{CH}_3$

*cis*

*trans*

21. D

22. O geraniol (em uma das duplas) e o neral (também em uma das duplas).

23. D 24. A

25. a)

b)

$\vec{\mu}_R \neq \vec{0}$

polar, pois o  $\vec{\mu}_R$  não é nulo

$\vec{\mu}_R \neq \vec{0}$

polar, pois o  $\vec{\mu}_R$  não é nulo

$\vec{\mu}_R = \vec{0}$

apolar, pois o  $\vec{\mu}_R$  é nulo

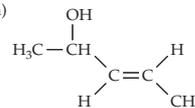
26. B, D, F 27. E 28. E 29. E

30. E 31. B 32. B 33. D

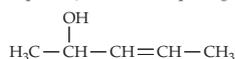
34. B 35. E 36. C 37. D

38. B

39. a)

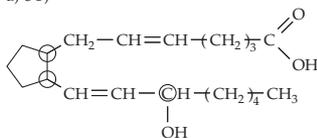


b) Isomeria óptica, pois a presença de carbono quiral garante a assimetria molecular:



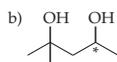
40. E

41. a) e b)



c) 322 g/mol

42. a) Fase 1 – parafina líquida e corante azul.  
Fase 2 – hexileno glicol e corante vermelho.  
Fase 3 – solução aquosa de NaCl.



## Capítulo 5. Reações de substituição

1. A

2. Resolvido.

3. a) 2

b) 2

c) 3

d) 2

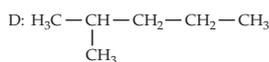
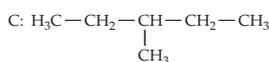
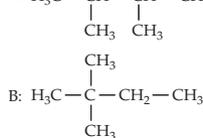
e) 4

f) 1

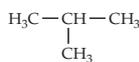
4. B

5. E

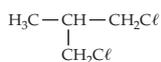
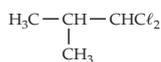
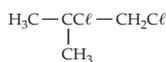
6. A:  $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_3$



7. Hidrocarboneto:



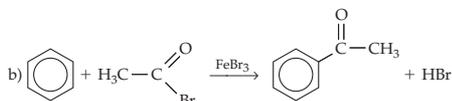
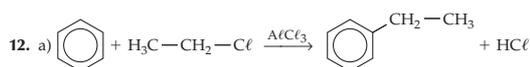
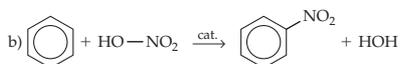
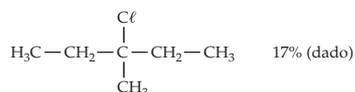
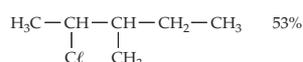
Derivados diclorados



8. E

9. C

10. a) e b)  $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}(\text{Cl})-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}_3$  20%



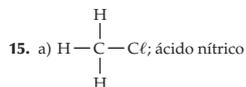
13. a) 3

b)  $\text{C}_9\text{H}_{12}$

c) saturada e homogênea

d) metil-benzeno (ou tolueno)

14. B

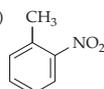


b) isomeria de posição

16. C

17. E

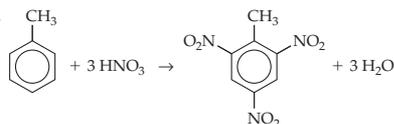
18. a)



isomeria de posição

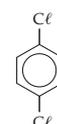
b) reagente:  $\text{H}_3\text{C}-\text{Cl}$ ; com catalisador  $\text{AlCl}_3$  ou reagente:  $\text{H}_3\text{C}-\text{Br}$ ; com catalisador  $\text{FeBr}_3$

19.



20. C

21. a)

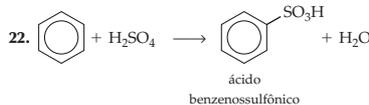


b) polar

polar

apolar

c) Os produtos principais são os isômeros *orto* e *para*, pois o  $-\text{Cl}$  é *orto-para* dirigente.



## Capítulo 6. Reações de adição

1. Resolvido.

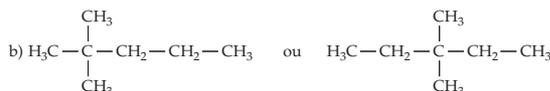
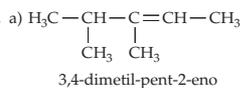
2. A

3. E

4.



5. a)

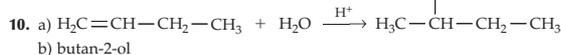
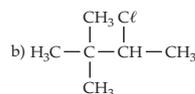


6. D

7. D

8. D

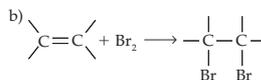
9. a) adição



11. C

12. B

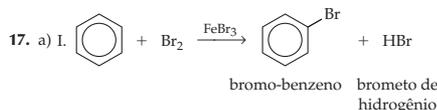
13. a) No trecho das moléculas que é diferente em ambos os hormônios existe a classe funcional cetona (na progesterona) e álcool (na testosterona).

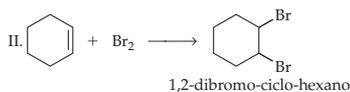


14. E

15. D

16. B





- b) I – substituição; II – adição.  
c) O  $\text{FeBr}_3$  atua como catalisador, aumentando a velocidade da reação.

18. 04, 32      19. C

20. São verdadeiros: 02 e 08.

21. a)  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_3$       b)  $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$



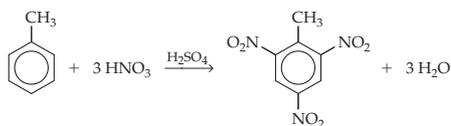
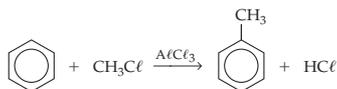
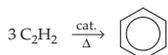
24. A      25. D      26. E      27. D      28. E      29. E

30. C      31. C



33. a) Na lanterna II, pois a maior superfície de contato entre carbureto e água fará a reação ser mais veloz.

b) A lanterna II, pois o carbureto terminará mais rapidamente devido à reação mais veloz.



35. B

36. a)  $\text{C}_{10}\text{H}_8$       b)  $\text{C}_{10}\text{H}_{18}$       c) 5

37. E      38. B

39. Alta tensão angular e tendência para sofrer reação de adição.

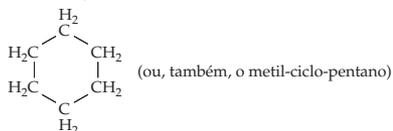
40. Baixa tensão angular e tendência para sofrer reação de substituição.

41. a)  $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$   
b)  $\text{Br}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{Br}$   
c)  $\text{Br}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$



43. a) A que reage é um alceno, pois sofre reações de adição, e a que não reage é um cicloro que não tenha tendência a sofrer reação de adição.

b)  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$  (ou, também, qualquer alceno  $\text{C}_6\text{H}_{12}$  de cadeia ramificada)

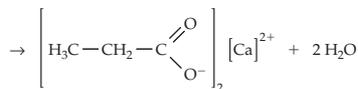
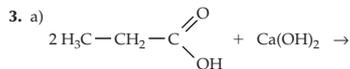


44. B

45. O aumento do número de carbonos reduz a tensão angular, tornando o ciclo mais estável e mais difícil de ser rompido. Por isso, a temperatura necessária para esse rompimento aumenta.

## Capítulo 7. Noções de acidez e de basicidade em compostos orgânicos

1. A      2. C



b) propanoato de cálcio (ou propionato de cálcio)

4. a) +3, pois, assim, o composto é eletricamente neutro, já que 1 íon  $\text{Bi}^{3+}$  contrabalança a carga de 3 íons acetato.

b)  $(\text{CH}_3\text{COO})_3\text{Bi}$  ou  $\text{Bi}(\text{CH}_3\text{COO})_3$

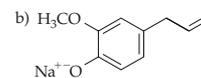
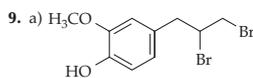
c)  $\text{BiC}_6\text{H}_5\text{O}_7$ , ou seja,  $[\text{Bi}^{3+}][\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7^{3-}]$

5. 1 – V; 2 – F; 3 – F.      6. A

7. a)  $\text{C}_8\text{H}_{11}\text{COOH} + \text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{C}_8\text{H}_{11}\text{COO}^- \text{Na}^+ + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

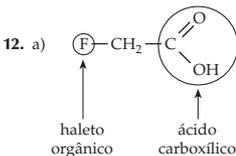
b) Dióxido de carbono ou gás carbônico

8. A = cloreto de cálcio; B = hexacloroetano; C = liga de ferro-titânio; D = benzoato de sódio.



10. B

11. D



b) acético < monocloroacético < monofluoroacético

13. C

14. D

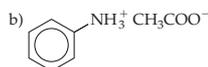
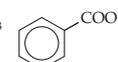
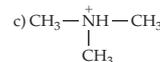
15. E

16. C

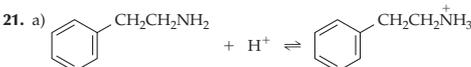
17. B

18. C

19. a)  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_3^+ \text{HCOO}^-$



20. D



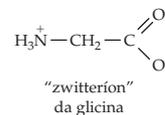
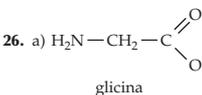
b) Em meio ácido, pois a protonação da amina (recebimento de  $\text{H}^+$ ) gera um cátion, muito solúvel em água.

22. A

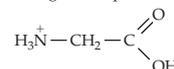
23. E

24. E

25. As classes funcionais são fenol, álcool e amina (secundária). O caráter mais ácido é da classe funcional fenol. Há um carbono assimétrico na molécula.



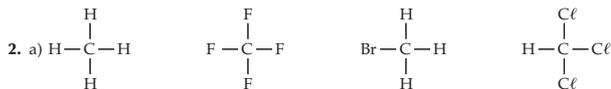
b) A diminuição do pH significa aumento da  $[\text{H}^+]$ . Esse aumento desloca o equilíbrio de ionização do grupo carboxila no sentido de restaurar esse grupo não ionizado. Portanto, passa a predominar a seguinte espécie:



27. 0 – F; 1 – V; 2 – F; 3 – V; 4 – V.

## Capítulo 8. Oxirredução, desidratação e esterificação

1. D



b) No  $\text{CF}_4$ , no qual o  $\text{N}_{\text{ox}}$  do carbono é +4, pois o carbono se liga a quatro átomos de um elemento mais eletronegativo que ele.

3. a) amida

b) 1: +4; 2: +3.

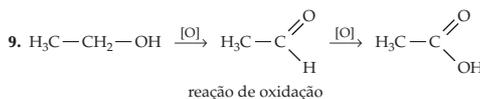
4. D

5. D

6. C

7. E

8. B



10. E

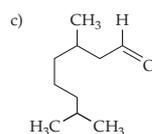
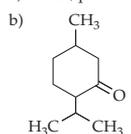
11. B

12. A

13. C

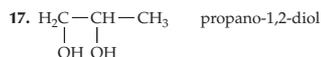
14. D

15. a) II e III, pois são compostos diferentes com a mesma fórmula molecular ( $\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$ ).



(A hidrogenação da dupla  $\text{C}=\text{C}$  é mais fácil que a da  $\text{C}=\text{O}$ .)

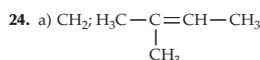
16.  $\text{KMnO}_4/\text{H}^+$  ou  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}^+$



18. E      19. B



21. D      22. E      23. E

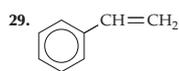
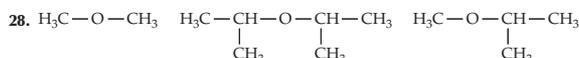


b) propanona; 25% dos átomos de T são de carbono (2 em 8, ou seja, 1 em 4 ou 25 em 100).

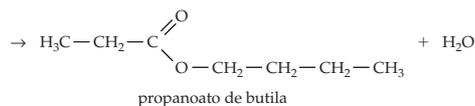
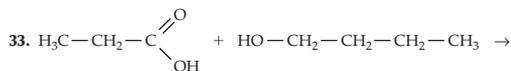
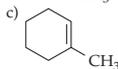
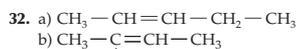
25. B

26. B (Note que a alternativa A menciona "estrutura", e não "cadeia carbônica".)

27. A

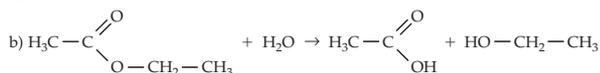


30. A      31. A

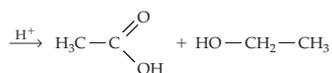
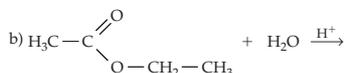
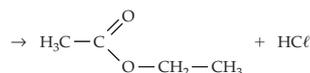
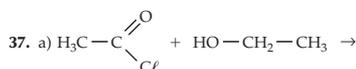


34. B

35. a) hidrocarboneto, éter, éster, aldeído, ácido carboxílico

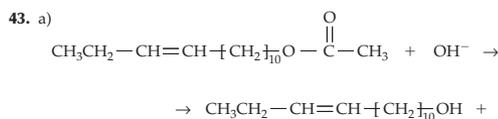


36. A



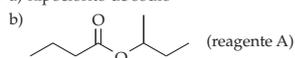
38. C      39. 1 - V; 2 - F; 3 - F; 4 - V.

40. E      41. B      42. C



b) O álcool apresenta isomeria geométrica, pois apresenta ligação dupla  $\text{C}=\text{C}$  em que cada carbono possui dois ligantes diferentes.

44. a) hipoclorito de sódio

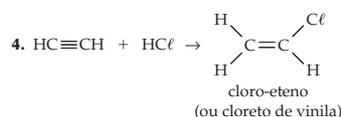


$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$  (um exemplo de isômero de função do butan-2-ol)

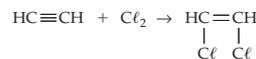
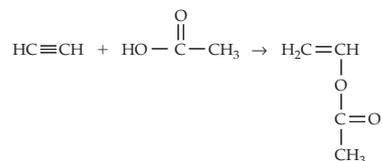
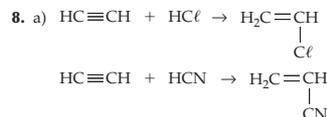
c) pentanoato de etila

## Capítulo 9. Polímeros sintéticos

1. F      2. V      3. D



5. 04      6. E      7. certa



b) todos

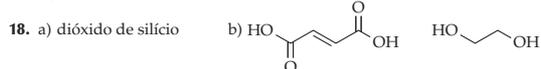
c) PVC ou poli(cloreto de vinila), poli(acrilonitrila) ou poli(cianeto de vinila), PVA ou poli(acetato de vinila), poli(1,2-dicloroeteno).

9. A      10. B

11. 0,5 mol de eteno e  $2,5 \cdot 10^{-4}$  mol de polietileno.

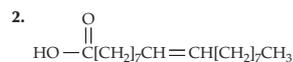
12. 1. certo; 2. errado.      13. D      14. D      15. E      16. B

17.  $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{NO}$



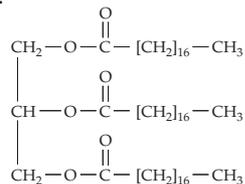
## Capítulo 10. Noções sobre alguns compostos presentes em seres vivos

1. saturado: behênico; (mono)insaturados: erúrico e gondoico.



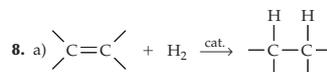
3. Na ordem em que aparecem na resposta anterior: monoinsaturado, saturado e poli-insaturado.

4.



5. 3      6. 3

7. D



b)  $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2 \Rightarrow$  ácido graxo saturado

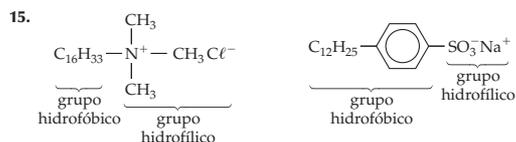
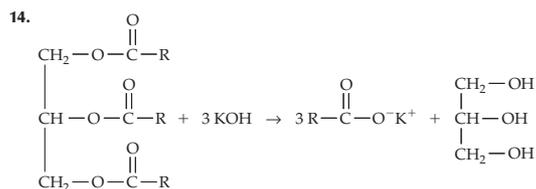
$\text{C}_n\text{H}_{2n-2}\text{O}_2 \Rightarrow$  ácido graxo insaturado com uma dupla  $\text{C}=\text{C}$

$\text{C}_n\text{H}_{2n-4}\text{O}_2 \Rightarrow$  ácido graxo insaturado com duas duplas  $\text{C}=\text{C}$

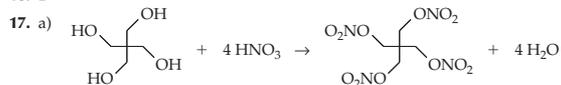
A fórmula  $\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_2$  é do tipo  $\text{C}_2\text{H}_{2n-4}\text{O}_2$  e o ácido linoleico contém, portanto, duas duplas  $\text{C}=\text{C}$ .

9. 1 - F; 2 - F; 3 - V; 4 - F; 5 - F; 6 - F.

10. E      11. E      12. S, enxofre.      13. B



16. B



b) etano-1,2-diol (ou etilenoglicol)

c) Trinitrato de glicerina (ou trinitrato de glicerila), pois é um éster derivado do ácido nítrico e não um nitrocomposto.

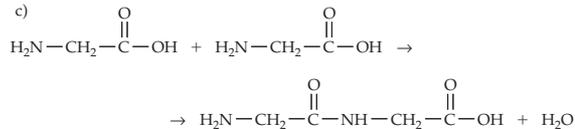
18. 1 - certo; 2 - errado; 3 - certo; 4 - errado; 5 - certo; 6 - certo; 7 - certo.

19. D      20. E      21. B

22. a) ácido 2-amino-acético (ou, simplesmente, ácido amino-acético)

b) ácido carboxílico e amina

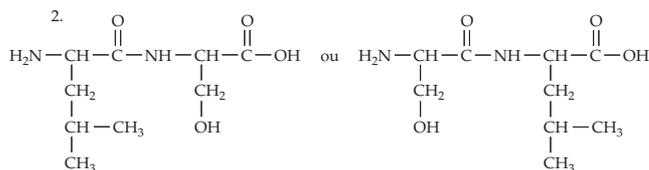
c)



23. C      24. 1 - certo; 2 - errado; 3 - certo.

25. F      26. V

27. 1. Menos polar de todas: II; com maior caráter ácido: I; com maior caráter básico: III.



28. C      29. C      30. B      31. D

32. D      33. A      34. E

35. 1. aldeído (na glicose), cetona (na frutose) e álcool (em ambas).

2.  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2 \text{C}_2\text{H}_6\text{O} + 2 \text{CO}_2$

36. a) Ele quis dizer que a torrada não tem sabor doce porque não contém sacarose. Porém, a torrada contém carboidrato, pois é feita com farinha de trigo.

b) Entre as possíveis respostas estão: "Não contém açúcar de cana" e "Não é doce".

37. É maior que a da água.

38. A fermentação consiste em um processo químico que ocorre na bolinha, produzindo gás que nela fica retido. A massa da bolinha praticamente não se altera, porém seu volume aumenta, o que reduz sua densidade. Quando a densidade da bolinha se torna menor que a da água, ela sobe e passa a flutuar no líquido.

39. A fermentação, como toda reação química, tem sua rapidez diminuída com a redução de temperatura.

## Capítulo 11. A Química Orgânica e o ambiente

1. D      2. D      3. D      4. C

5. É o número que expressa a qualidade de uma gasolina.

6. Ao isoctano 100; ao heptano 0 (zero).

7. Um motor que utilize essa gasolina terá, no quesito detonação, um desempenho equivalente ao que teria usando uma mistura de 90% de isoctano e 10% de heptano.

8. a)  $\text{C}_7\text{H}_{16}$ ;  $\text{H}_3\text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$   
b) 2,2,4-trimetil-pentano

9. D      10. E      11. E      12. B      13. D

14. falsa

15. verdadeira

16. Através da carbonização de antigos vegetais soterrados.

17. Química, porque alterou a composição da matéria.

18. a) O de antracito.

b) O de antracito.

19. É o aquecimento do carvão mineral a altas temperaturas, na ausência de oxigênio, que permite obter gases, líquidos e sólidos importantes.

20. a)  $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$

b)  $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$  ou  $\text{H}_2 + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

c)  $2 \text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2$  ou  $\text{CO} + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$

21. É uma mistura contendo várias substâncias aromáticas. Constitui importante matéria-prima para a indústria química.

22. a) Poluição atmosférica e chuva ácida.

b)  $\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$

23. I.  $\text{C} + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}$

II.  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{CO} \rightarrow 2 \text{Fe} + 3 \text{CO}_2$

24. D

25. D

26. E

27. E

28. B

29. D

30. A (Recorde o que é negro de fumo no capítulo 1.)

31. verdadeira

32. E

33. Petróleo, gás natural e carvão de pedra, que são fontes não renováveis de energia.

34. A queima de combustíveis fósseis e os incêndios nas florestas.

35. Um processo envolvendo alguns gases atmosféricos que "aprisiona" parte da energia solar que chega ao nosso planeta e contribui para o aumento global da temperatura.

Sua causa é a presença de determinados gases na atmosfera, com destaque para o  $\text{CO}_2$ .

36. Alterações climáticas e elevação do nível dos oceanos.

37. Resposta pessoal.

38. metano ( $\text{CH}_4$ )

39. a) Grisú é a mistura de  $\text{CH}_4$  e  $\text{O}_2$ .

b)  $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$

40. a) É obtido através da decomposição sofrida pela biomassa sob a ação de microrganismos.

b)  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{S}$

c) Apenas  $\text{H}_2\text{S}$

d)  $\text{CH}_4$  e  $\text{H}_2\text{S}$

41. Sim, pois representa economia de dinheiro e também de espaço ao reduzir a necessidade de aterros sanitários. Além disso, o biogás é uma fonte renovável de energia.

42. a)  $\text{H}_2\text{S} + 3/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

b) Sim, pois o  $\text{SO}_2$  é prejudicial à saúde humana e a várias formas de vida, além de acarretar a chuva ácida.

43. D

44. E

45. C

46. B

47. D

48. C

49. D

50. C

51. B

52. a) No instante inicial (tempo = zero).

b) A atividade anaeróbica é realizada na ausência de  $\text{O}_2$ , o que ocorre aproximadamente do instante 1,2 até o 11,5.

c) Aproximadamente do instante 6 até por volta do instante 9 (concentração de  $\text{CH}_4$  é máxima);  $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$

53. E

54. E

55. 03

56. D

57. A

## Siglas de vestibulares

Acafe-SC	Associação Catarinense das Fundações Educacionais	FGV-SP	Fundação Getúlio Vargas
Ceeteps-SP	Centro Estadual de Educação Tecnológica "Paula Souza"	FMTM-MG	Faculdade de Medicina do Triângulo Mineiro
Cefet-MG	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais	FMU/Fiam-Faam/Fisp-SP	Vestibular integrado FMU, Fiam-Faam e Fisp
Cefet-PA	Centro Federal de Educação Tecnológica do Pará	FUA-AM	Fundação Universidade Federal do Amazonas
Cefet-PR	Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná	FUERN	Fundação Universidade do Estado do Rio Grande do Norte
Cefet-RJ	Centro Federal de Educação Tecnológica "Celso Suckow da Fonseca"	Funrei-MG	Fundação de Ensino Superior de São João Del Rei
Cefet-SP	Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo	Furg-RS	Fundação Universidade Federal do Rio Grande
Cesgranrio-RJ	Fundação Cesgranrio	FURRN	Fundação Universidade Regional do Rio Grande do Norte
Ceub-DF	Centro de Ensino Unificado de Brasília	Fuvest-SP	Fundação Universitária para o Vestibular
EEM-SP	Escola de Engenharia Mauá	IME-RJ	Instituto Militar de Engenharia
Enem-MEC	Exame Nacional do Ensino Médio	ITA-SP	Instituto Tecnológico de Aeronáutica
EPM-SP	Escola Paulista de Medicina	Mackenzie-SP	Universidade Presbiteriana Mackenzie
Esal-MG	Escola Superior de Agronomia de Lavras	Osec-SP	Organização Santamareense de Ensino e Cultura
Esam-RN	Escola Superior de Agricultura de Mossoró	PUC-Campinas-SP	Pontifícia Universidade Católica de Campinas
ESPM-SP	Escola Superior de Propaganda e Marketing	PUC-MG	Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Estácio-RJ	Universidade Estácio de Sá	PUC-PR	Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Evangélica-GO	Faculdades Integradas da Associação Educativa Evangélica	PUC-RJ	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
F. Dom Bosco-DF	Faculdade Dom Bosco de Educação Física	PUC-RS	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
F. Ruy Barbosa-BA	Faculdade Ruy Barbosa	PUC-SP	Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Faap-SP	Fundação Armando Álvares Penteado	U. São Judas-SP	Universidade São Judas Tadeu
Fae-GO	Faculdades Integradas da Associação Educativa Evangélica	UCB-DF	Universidade Católica de Brasília
Fatec-SP	Faculdade de Tecnologia de São Paulo	UCDB-MS	Universidade Católica Dom Bosco
Fazu-MG	Faculdade de Agronomia e Zootecnia de Uberaba	UCG-GO	Universidade Católica de Goiás
FCAP-PA	Faculdade de Ciências Agrárias do Pará	UCPel-RS	Universidade Católica de Pelotas
FCC-BA	Fundação Carlos Chagas da Bahia	UCSal-BA	Universidade Católica de Salvador
Fecolinas-TO	Fundação Municipal de Ensino Superior de Colinas do Tocantins	UCS-RS	Universidade de Caxias do Sul
FEI-SP	Faculdade de Engenharia Industrial	Udesc	Universidade do Estado de Santa Catarina
Fepar-PR	Faculdade Evangélica do Paraná	Uece	Universidade Estadual do Ceará
Fesp-PE	Fundação do Ensino Superior de Pernambuco	UEFS-BA	Universidade Estadual de Feira de Santana
FFCL Belo Horizonte-MG	Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Belo Horizonte	UEG-GO	Universidade Estadual de Goiás
		UEL-PR	Universidade Estadual de Londrina
		Uema	Universidade Estadual do Maranhão

UEMG	Universidade do Estado de Minas Gerais	UFRRJ	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
UEM-PR	Universidade Estadual de Maringá	UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
Uenf-RJ	Universidade Estadual do Norte Fluminense	UFSCar-SP	Fundação Universidade Federal de São Carlos
Uepa	Universidade do Estado do Pará	UFSM-RS	Universidade Federal de Santa Maria
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba	UFS-SE	Fundação Universidade Federal de Sergipe
UEPG-PR	Universidade Estadual de Ponta Grossa	UFT-TO	Universidade Federal de Tocantins
Uerj	Universidade do Estado do Rio de Janeiro	UFU-MG	Fundação Universidade Federal de Uberlândia
Uesb-BA	Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia	UFV-MG	Fundação Universidade Federal de Viçosa
Uespi	Universidade Estadual do Piauí	UGF-RJ	Universidade Gama Filho
Ufac	Fundação Universidade Federal do Acre	Ulbra-RS	Universidade Luterana do Brasil
Ufal	Universidade Federal de Alagoas	UMC-SP	Universidade de Mogi das Cruzes
Ufam	Universidade Federal do Amazonas	Unama-PA	Universidade da Amazônia
UFBA	Universidade Federal da Bahia	UnB-DF	Fundação Universidade de Brasília
UFC-CE	Universidade Federal do Ceará	Uneb-BA	Universidade do Estado da Bahia
Ufes	Universidade Federal do Espírito Santo	Unesp	Universidade Estadual Paulista
UFF-RJ	Universidade Federal Fluminense	UNIBH-MG	Centro Universitário de Belo Horizonte
UFG-GO	Universidade Federal de Goiás	Unicamp-SP	Universidade Estadual de Campinas
UFJF-MG	Universidade Federal de Juiz de Fora	Unicap-PE	Universidade Católica de Pernambuco
Ufla-MG	Universidade Federal de Lavras	Unic-MT	Universidade de Cuiabá
UFMA	Fundação Universidade Federal do Maranhão	Unifenas-MG	Universidade de Alfenas
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais	Unifesp	Universidade Federal de São Paulo
UFMS	Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul	Unifor-CE	Universidade de Fortaleza
UFMT	Fundação Universidade Federal de Mato Grosso	Unirio-RJ	Fundação Universidade do Rio de Janeiro
UFPA	Universidade Federal do Pará	Unir-RO	Fundação Universidade Federal de Rondônia
UFPB	Universidade Federal da Paraíba	Unisinos-RS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco	Unitins-TO	Universidade do Tocantins
UFPeI-RS	Fundação Universidade Federal de Pelotas	Univali-SC	Universidade do Vale do Itajaí
UFPI	Fundação Universidade Federal do Piauí	Unopar-PR	Universidade Norte do Paraná
UFPR	Universidade Federal do Paraná	UPE	Universidade de Pernambuco
UFRGS-RS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul	UPF-RS	Universidade de Passo Fundo
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro	UVA-CE	Universidade Estadual Vale do Acaraú
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte	Vest-Rio	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
		Vunesp	Fundação para o Vestibular da Unesp

## Índice remissivo

Reprodução proibida. Art.184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

- Acetileno, 33, 38, 108, 188
- Acetona, 3, 67
- Acidez, 203, 209
- Ácido carboxílico, 57, 71, 79, 203, 207
  - acidez de, 203
  - conceito de, 70
- Ácido graxo, 277
  - conceito de, 272
- Ácido nucleico, 294
- Ácido sulfônico, 85
- Acilação de Friedel-Crafts, 171
- Adição. *Veja* Reação de adição
- Agente desidratante, 234
- Agente oxidante, 223, 225, 229
- Agente redutor, 223, 227
- Alcatrão, 47
- Alcenos, 32, 182, 229, 234
- Álcool, 59, 62, 63, 68, 71, 126, 183, 196, 225
  - acidez de, 203
  - desidratação de, 233
  - oxidação de, 225
  - solubilidade de, 112
- Aldeído, 57, 65, 71, 79, 196, 230
- Aldose, 289
- Alfa-aminoácido. *Veja* Aminoácido
- Alquilação de Friedel-Crafts, 171, 174
- Amida, 58, 78, 253, 282
- Amina, 58, 77
  - basicidade de, 209
- Aminoácido, 149, 214, 282, 283
- Analgésico, 12
- Anel aromático, 17, 83
- Anestésico, 11, 212
- Anilina, 77
  - produção industrial, 231
- Antraz, 88
- Aquecimento global, 316
- Aromáticos, 33
  - compostos, 17, 128
  - subdivisões dos, 46
  - substituição em, 170
- Baeyer, J. F. W. A. von, 194
- Baquelite, 246, 258
- Benzeno, 10, 16, 174, 189
  - cloração do, 192
  - hidrogenação do, 192
  - segurança, 16, 30, 46
- Berthelot, P. E. M., 49
- Berzelius, 49
- Biogás, 317
- Biodiesel, 274
- Biomassa, 317, 326
- Borracha sintética, 250
- Cadeia carbônica, 12, 15, 277
  - classificação de, 15
- Cadeia lateral, 282
- Cadeia principal, 41, 43, 63, 74, 127
- Caráter anfótero, 214
- Carboidrato, 282, 289, 291
  - dissacarídeo, 289
  - monossacarídeo, 289, 291
  - polissacarídeo, 289
- Carbonila, 58, 67, 79
- Carbono
  - geometria dos átomos de, 98
  - quiral ou assimétrico, 148, 151
- Carbonos, classificação dos, 15
- Carvão mineral, 309, 312
- Catalisador, 27, 162, 170, 192, 227, 285
- Centro quirial, 148
- Cetona, 35, 58, 67, 70, 72, 188, 226, 230, 289
- Cetose, 289
- Classe funcional, 57, 67, 74, 81, 85, 212, 253
- Composto halogenado. *Veja* Haleto orgânico
- Composto orgânico, 34, 58, 67, 72, 80, 208
  - conceito, 10
  - ponto de ebulição de, 122
- Compostos de Frankland, 86
- Compostos de Grignard, 86
- Copolímero, 250
- Craqueamento catalítico, 27, 189
- Cristais líquidos, 132
- Cromatografia, 174
- Derivado halogenado. *Veja* Haleto orgânico
- Desidratação de álcool, 233
- Desidrogenação, 227
- Detergente, 277
  - fabricação de, 174
- Detergente sintético, 279
- Diesel, 275
- Dipolo instantâneo-dipolo induzido, 121
- Dipolo permanente-dipolo permanente, 121
- DNA, 50, 294
- Efeito estufa, 314
- Efeito indutivo, 208
- Elastômero, 248
- Eletronegatividade
  - diferença de, 107, 222
  - fila de, 222
- Emulsificante, 278
- Enantiômero, 148
  - dextrorrotatório ou dextrogiro, 152
  - levorrotatório ou levogiro, 152
- Enzima, 152, 285

- Equilíbrio
  - aldo-enólico, 140
  - ceto-enólico, 140
- Esqueleto molecular. *Veja* Cadeia carbônica
- Estereoisomeria, 138
- Éster, 74, 79, 274
  - conceito de, 74
  - hidrólise ácida de, 235
  - hidrólise básica de, 236
- Estrutura em bastão. *Veja* Representação em bastão
- Etanol, 10, 59, 60, 65, 126, 183, 226, 233, 291
- Éter, 74, 234
- Éter dietílico, 12, 138, 233
- Etileno, 38
  
- Fenilcetonúria, 284
- Fenol
  - acidez de, 203, 208
  - conceito de, 82
- Fermentação alcoólica, 291
- Fibra têxtil, 261
- Força ácida. *Veja* Acidez
- Forças de van der Waals, 121
- Fórmula estrutural simplificada, 13
- Frankland, E., 86
- Função química. *Veja* Classe funcional
  
- Gás natural, 26
- Geometria molecular, 96
- Glicerina, 272, 277
- Goodyear, C., 250
- Gordura *trans*, 273
- Grignard, V., 86
- Grupo acila, 171
- Grupo alquila, 171
- Grupo funcional, 57, 215
  - ácido sulfônico, 85
  - amida, 78
  - carbonila, 67
  - carboxila, 70
  - formila ou aldóxila, 65
  - hidroxila ou oxidrila, 59
  - nitrila, 85
- Grupo lateral, 282
- Grupo hidrófilo, 112
- Grupo hidrófobo, 112
- Grupo orgânico, 39, 75, 77
  
- Haleto orgânico, 80
- Halogenação, 167
- Helmholtz, H. von, 51
- Heteroátomo, 12
- Hidratação. *Veja* Reação de adição de água
- Hidrato de carbono. *Veja* Carboidrato
- Hidrocarboneto, 26, 32, 105, 138, 171
  - conceito de, 26
  - nomenclatura de (cadeia mista), 45
  - nomenclatura de (cadeia não ramificada), 34, 35
  - nomenclatura de (cadeia ramificada), 43
  - subdivisões de, 32, 46
- Hidrogenação catalítica, 182, 187
- Hidrólise
  - ácida de éster, 235
  - básica de éster, 236
  - de dissacarídeo, 289
  - de polissacarídeo, 289
  - de proteína, 285
- Hipervitaminose, 113
  
- Imagem especular, 147
- Isomeria, 140
  - conceito de, 138
  - constitucional ou plana, 138
  - geométrica ou *cis-trans*, 141
  - geométrica em compostos cíclicos, 144
  - óptica, 147
- Isômeros, 140, 142, 167, 172, 229
  - conceito de, 138
  - constitucionais (classificação dos), 139
  - geométricos ou *cis-trans*, 143
  - ópticos, 148, 159
  
- Kekulé, F. A., 50
- Kevlar, 50
  
- Ligação covalente, 104
- Ligação de hidrogênio, 119
- Ligação iônica, 104
- Lipídio, 272, 282
- London, F. W., 120
- Luz polarizada, 152
  
- Melanina, 216, 231
- *Meta*-dirigente, grupo, 172
- Metanol, 10, 63, 108, 126, 233, 274
- Metátese, 198
- Micela, 278
- Microfibra. *Veja* Poliéster
- Mistura racêmica, 154, 159
- Molécula quiral, 148
- Monômero, 248, 258
  
- Naftaleno, 17, 191
- Náilon, 78, 253
- Neopreno. *Veja* Elastômero
- Nitração, 170, 231
- Nitrila, 85
- Nitrocomposto, 83, 231
- Nitroglicerina, 277

- Número de oxidação, 222, 225
- Octanagem, 304
- Orlom. *Veja* Poliacrilonitrila
- Organometálico, 56, 86
- *Orto-para-dirigente*, grupo, 172
- Oxidação, 222, 231
  - de alceno, 229
  - de álcool, 225
  - dos alimentos, 238
  - energética, 230
- Ozonólise, 230
- Penicilina, 243
- Peptídio, 282
- Petróleo, 26, 27, 29, 108, 303, 306
- Petroquímica, 27, 306
- Pirólise. *Veja* Craqueamento catalítico
- Plano de simetria, 142, 152
- Polaridade de moléculas orgânicas, 107, 109
- Poliacrilonitrila, 249
- Polibutadieno. *Veja* Elastômero
- Policarbonato, 257
- Poliéster, 256, 260
- Polietileno, 248, 255, 260
- Polímero, 248, 256
  - de adição, 249
  - de condensação, 253
  - normal, 250
  - termofixo, 260
  - termoplástico, 260
- Poli-isopreno. *Veja* Elastômero
- Poliuretana, 256
- Pró-fármaco, 241
- Proteína, 20, 78
  - conceito de, 282
  - desnaturação de, 284
  - hidrólise de, 285
- Protetor solar, 216
- PVA, 189, 249, 258
- PVC, 189, 249, 258
- Química Orgânica, 10, 37, 49, 86, 98, 138, 167, 203, 209, 214, 226, 227
- Química verde, 176
- Quimiorrecepção, 296
- Reação
  - de combustão, 21
  - de esterificação, 235
  - de polimerização, 248
  - de oxirredução, 222
  - de Sabatier-Senderens. *Veja* Hidrogenação catalítica
  - de saponificação, 277
- Reação de adição
  - a alceno, 182
  - a alcino, 187
  - a aromático, 191
  - cloração do benzeno, 192
  - de água, 183, 188
  - de haleto de hidrogênio, 183, 188
  - de halogênio, 183, 187
  - hidrogenação do benzeno, 192
- Reação de substituição, 167
  - acilação de Friedel-Crafts, 171
  - alquilação de Friedel-Crafts, 171
  - em aromáticos, 170
  - halogenação, 167, 170
  - nitração, 170, 171, 173
  - sulfonação, 170, 174
- Reciclagem, 265, 321
- Redução, 222, 225, 227, 231
- Regra de Markovnikov, 183, 188
- Representação em bastão, 13
- Ressonância, 83
  - conceito de, 16
  - estruturas de, 16
  - híbrido de, 16
- RNA, 294
- Sabão, 277, 278
  - de cinza, 277
  - potássico, 277
- Sabatier, P., 182
- Sal orgânico, 203, 211
- Saponificação. *Veja* Reação de saponificação
- Silicone, 257
- Substituição. *Veja* Reação de substituição
- Sulfonação, 170, 174
- Tautomeria, 140
- Teflon, 249
- Termofixo. *Veja* Polímero termofixo
- Termoplástico. *Veja* Polímero termoplástico
- Terpeno, 180, 196
- Teste de Baeyer, 229
- TNT. *Veja* Trinitrotolueno
- Transesterificação, 274
- Triacilglicerol, 272, 277
- Trinitrotolueno, 173
- Umectante, 277
- Ureia, 78
- Vitamina
  - hidrossolúvel, 113
  - lipossolúvel, 113
- VSEPR, 95
- Vulcanização, 250
- Wöhler, F., 49

## Bibliografia

- AHLUWALIA, V. K.; PARASHAR, R. K. *Organic Reaction Mechanisms*. 3. ed. Oxford: Alpha Science, 2007.
- ATKINS, P. W.; DE PAULA, J. *Physical Chemistry*. 8. ed. Oxford: Oxford University Press, 2006.
- ATKINS, P. W. et al. *Inorganic Chemistry*. 4. ed. Oxford: Oxford University Press, 2006.
- ATKINS, P. W.; JONES, L. L. *Chemical Principles: The Quest for Insight*. 4. ed. Nova York: Freeman, 2008.
- AUSTIN, G. T. *Shreve's Chemical Process Industries*. 5. ed. Nova York: McGraw-Hill, 1984.
- BARREIRO, E. J.; FRAGA, C. A. M. *Química Medicinal: As Bases Moleculares da Ação dos Fármacos*. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008.
- BEISER, A. *Concepts of Modern Physics*. 6. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2003.
- BETTELHEIM, F. A. et al. *Introduction to General, Organic & Biochemistry*. 7. ed. Belmont: Brooks/Cole, 2004.
- BLEI, I.; ODIAN, G. *General, Organic and Biochemistry: Connecting Chemistry to your Life*. 2. ed. Nova York: Freeman, 2006.
- BLOOMFIELD, M. M.; STEPHENS, L. J. *Chemistry and the living organism*. 6. ed. Nova York: John Wiley, 1996.
- BOTKIN, D. B.; KELLER, E. A. *Environmental Science: Earth as Living Planet*. 5. ed. Hoboken: John Wiley, 2005.
- BRADY, J. E.; SENESE, F. *Chemistry: Matter and its Changes*. 4. ed. Hoboken: John Wiley, 2004.
- BROWN, T. L. et al. *Chemistry: The Central Science*. 9. ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 2003.
- BROWN, W. H. et al. *Organic Chemistry*. 4. ed. Belmont: Brooks/Cole, 2005.
- BÜCHEL, K. H. et al. *Industrial Inorganic Chemistry*. 2. ed. Weinheim: VCH, 2000.
- CAREY, F. A. *Organic Chemistry*. 7. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2008.
- ; SUNDBERG, R. J. *Advanced Organic Chemistry*. 5. ed. Nova York: Springer, 2007. 2 v.
- CHANG, R. *Chemistry*. 8. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2005.
- CIPRIANI, J.; HASMONAY, H. *Cours de Chimie*. Paris: Vuibert, 1986.
- CONNELLY, N. G. et al. *Nomenclature of Inorganic Chemistry: IUPAC Recommendations 2005*. Cambridge: IUPAC/RSC Publishing, 2005.
- COTTON, F. A. et al. *Advanced Inorganic Chemistry*. 6. ed. Nova York: John Wiley, 1999.
- DAMODARAN, S. et al. (eds.) *Fennema's Food Chemistry*. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2008.
- DAVID, R. *Chimie Pratique*. Paris: Vuibert, 1973.
- EBBING, D. D.; GAMMON, S. D. *General Chemistry*. 8. ed. Boston: Houghton Mifflin, 2005.
- FREEMANTLE, M. *Chemistry in Action*. 2. ed. Londres: Macmillan, 1995.
- GARRITZ, A.; CHAMIZO, J. A. *Química*. Tradução de Giovanni S. Crisi. São Paulo: Pearson, 2002.
- GILLESPIE, R. J. et al. *Atoms, Molecules and Reactions: An Introduction to Chemistry*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1994.
- GILLESPIE, R. J.; HARGITTAI, I. *The VSEPR Model of Molecular Geometry*. Needham Heights: Allyn and Bacon, 1991.
- GREEN, M. M. et al. *Organic Chemistry Principles and Industrial Practice*. Weinheim: VCH, 2003.
- HALL, N. (Ed.) *The New Chemistry: A Showcase for Modern Chemistry and its Applications*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- HALLIDAY, D. et al. *Fundamentals of Physics*. 8. ed. Hoboken: John Wiley, 2008.
- HEIN, M. et al. *Introduction to General, Organic and Biochemistry*. 9. ed. Hoboken: John Wiley, 2009.
- HUHEEY, J. E. et al. *Inorganic Chemistry: Principles of Structure and Reactivity*. 4. ed. Harper: Nova York, 1993.
- JONES Jr., M. *Organic Chemistry*. 3. ed. Nova York: Norton, 2005.
- KOTZ, J. C. et al. *Chemistry & Chemical Reactivity*. 6. ed. Belmont: Brooks/Cole, 2006.
- LEICESTER, H. M. *The Historical Background of Chemistry*. Nova York: Dover, 1971.
- LEVINE, I. *Physical Chemistry*. 6. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2009.
- . *Quantum Chemistry*. 6. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2009.
- LIDE, D. R. (Ed.) *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 84. ed. Boca Raton: CRC Press, 2003.
- MAHAN, B. H.; MYERS, R. J. *University Chemistry*. 4. ed. Menlo Park: Benjamin-Cummings, 1987.
- MASTERTON, W. L.; HURLEY, C. N. *Chemistry: Principles & Reactions*. 4. ed. Belmont: Brooks/Cole, 2001.
- MATTHEWS, P. *Advanced Chemistry*. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 2 v.

- McMURRY, J. et al. *Fundamentals of General, Organic and Biological Chemistry*. 5. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2007.
- McNAUGHT, A. D.; WILKINSON, A. *Compendium of Chemical Terminology: IUPAC Recommendations*. 2. ed. Oxford: Blackwell Science, 1997.
- MILLER Jr., G. T. *Living in the Environment: Principles, Connections, and Solutions*. 14. ed. Pacific Grove: Brooks/Cole, 2005.
- MOELLER, T. et al. *Chemistry with Inorganic Qualitative Analysis*. 3. ed. New York: Harcourt Brace-Jovanovich, 1989.
- MOORE, J. W. et al. *Chemistry: The Molecular Science*. 2. ed. Belmont: Brooks/Cole, 2005.
- MORRISON, R. T.; BOYD, R. N. *Organic Chemistry*. 6. ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1992.
- MORTIMER, R. G. *Physical Chemistry*. 2. ed. Nova York: Harcourt Academic Press, 2000.
- MUNDY, B. P. et al. *Organic and Biological Chemistry*. Orlando: Saunders, 1993.
- NELSON, D. L.; COX, M. M. *Lehninger Principles of Biochemistry*. 5. ed. Nova York: Freeman, 2008.
- OLMSTED III, J.; WILLIAMS, G. M. *Chemistry*. 3. ed. Nova York: John Wiley, 2002.
- PANICO, R. et al. *A Guide to IUPAC Nomenclature of Organic Compounds*. Recommendations 1993. Cambridge: Blackwell Science, 1993. (Correções publicadas em *Pure and Applied Chemistry*, v. 71, n. 7, p. 1.327-1.330, 1999.)
- \_\_\_\_\_. *Guia IUPAC para a Nomenclatura de Compostos Orgânicos*. Tradução portuguesa, nas variantes europeia e brasileira. Tradução de José Augusto Rosário Rodrigues et al. Lisboa: Lidel, 2002.
- PARTINGTON, J. R. *A short history of Chemistry*. Nova York: Dover, 1989.
- PAULING, L. *General Chemistry*. Nova York: Dover, 1970.
- \_\_\_\_\_. *The Nature of Chemical Bonding*. 3. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1960.
- PINE, S. H. et al. *Organic Chemistry*. 5. ed. Singapore: McGraw-Hill, 1987.
- POTAPOV, V.; TATARINCHIK, S. *Chimie Organique*. Moscou: Éditions Mir, 1981.
- PURVES, W. K. et al. *Life: The Science of Biology*. 8. ed. Sunderland: Sinauer, 2008.
- RAVEN, P. H.; BERG, L. R. *Environment*. 4. ed. Hoboken: John Wiley, 2004.
- RAYNER-CANHAM, G.; OVERTON, T. *Descriptive Inorganic Chemistry*. 4. ed. Nova York: Freeman, 2006.
- RONAN, C. A. *História Ilustrada da Ciência*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1987. 4 v.
- ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY. *The Age of the Molecule*. London: Royal Society of Chemistry, 1999.
- SALZBERG, H. W. *From Caveman to Chemist: Circumstances and Achievements*. Washington: American Chemical Society, 1991.
- SANTOS FILHO, P. F. *Estrutura Atômica & Ligação Química*. 2. ed. Campinas: publicação do autor (Instituto de Química da Unicamp), 2007.
- SCHECHTER, H.; BERTULANI, C. A. *Introdução à Física Nuclear*. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, 2007.
- SELINGER, B. *Chemistry in the Marketplace: A Consumer Guide*. 5. ed. Sydney: Harcourt Brace, 1998.
- SILBERBERG, M. S. *Chemistry: the Molecular Nature of Matter and Change*. 5. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2009.
- SMITH, M. B.; MARCH, J. *March's Advanced Organic Chemistry*. 6. ed. Hoboken: John Wiley, 2007.
- SNYDER, C. H. *The Extraordinary Chemistry of Ordinary Things*. 4. ed. Nova York: John Wiley, 2003.
- SOLOMONS, T. W. G.; FRYHLE, C. *Organic Chemistry*. 9. ed. Hoboken: John Wiley, 2008.
- SYKES, P. *A Guidebook to Mechanism in Organic Chemistry*. 6. ed. Nova York: Longman, 1995.
- THOMAS, J. E. (Org.) *Fundamentos de Engenharia de Petróleo*. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.
- TIPLER, P. A.; MOSCA, G. *Physics for Scientists and Engineers*. 6. ed. Nova York: Freeman, 2008.
- TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. *Modern Physics*. 4. ed. Nova York: Freeman, 2003.
- VOET et al. *Fundamentals of Biochemistry*. 3. ed. Hoboken: John Wiley, 2008.
- VOLLHARDT, K. P. et al. *Organic Chemistry: Structure and Function*. 5. ed. Nova York: Freeman, 2007.
- WARREN, S. et al. *Organic Chemistry*. Oxford: Oxford University Press, 2001.
- WEEKS, M. E.; LEICESTER, H. M. *Discovery of the Elements*. 7. ed. Easton: Journal of Chemical Education, 1968.
- WHITTEN, K. W. et al. *General Chemistry with Qualitative Analysis*. 7. ed. Belmont: Brooks/Cole, 2004.
- ZUMDAHL, S. S. *Chemical Principles*. 5. ed. Boston: Houghton Mifflin, 2005.

