

# *Química*

Organizadores

Maria Eunice Ribeiro Marcondes  
Marcelo Giordan

Elaboradores

Isaura Maria Gonçalves Vidotti  
Luciane Hiromi Akahoshi  
Maria Eunice Ribeiro Marcondes  
Yvone Mussa Esperidião  
Silvia Maria Leite Agostinho

5  
módulo

*Nome do Aluno* \_\_\_\_\_

**GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO**

Governador: *Geraldo Alckmin*

**Secretaria de Estado da Educação de São Paulo**

Secretário: *Gabriel Benedito Issac Chalita*

**Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas – CENP**

Coordenadora: *Sônia Maria Silva*

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

Reitor: *Adolpho José Melfi*

**Pró-Reitora de Graduação**

*Sônia Teresinha de Sousa Penin*

**Pró-Reitor de Cultura e Extensão Universitária**

*Adilson Avansi Abreu*

**FUNDAÇÃO DE APOIO À FACULDADE DE EDUCAÇÃO – FAFE**

Presidente do Conselho Curador: *Selma Garrido Pimenta*

Diretoria Administrativa: *Anna Maria Pessoa de Carvalho*

Diretoria Financeira: *Sílvia Luzia Frateschi Trivelato*

**PROGRAMA PRÓ-UNIVERSITÁRIO**

Coordenadora Geral: *Eleny Mitrulis*

Vice-coordenadora Geral: *Sônia Maria Vanzella Castellar*

Coordenadora Pedagógica: *Helena Coharik Chamlian*

**Coordenadores de Área**

**Biologia:**

*Paulo Takeo Sano – Lyria Mori*

**Física:**

*Maurício Pietrocola – Nobuko Ueta*

**Geografia:**

*Sônia Maria Vanzella Castellar – Elvio Rodrigues Martins*

**História:**

*Kátia Maria Abud – Raquel Glezer*

**Língua Inglesa:**

*Anna Maria Carmagnani – Walkyria Monte Mór*

**Língua Portuguesa:**

*Maria Lúcia Victório de Oliveira Andrade – Neide Luzia de Rezende – Valdir Heitor Barzotto*

**Matemática:**

*Antônio Carlos Brolezzi – Elvia Mureb Sallum – Martha S. Monteiro*

**Química:**

*Maria Eunice Ribeiro Marcondes – Marcelo Giordan*

**Produção Editorial**

*Dreampix Comunicação*

Revisão, diagramação, capa e projeto gráfico: *André Jun Nishizawa, Eduardo Higa Sokei, Mariana Pimenta Coan, Mario Guimarães Mucida e Wagner Shimabukuro*

The background features a detailed, monochromatic illustration in shades of blue and grey. It depicts a laboratory or workshop setting. On the left, a scientist with a beard and a cap is shown in profile, looking towards the right. In the center, a large beaker sits on a stand, with a smaller flask or container placed inside it. To the right, another figure is partially visible, holding a large, curved object, possibly a piece of equipment or a large vessel. The entire scene is rendered with fine lines and cross-hatching, giving it a technical or scientific feel.

# *Cartas ao Aluno*

Carta da

---

## *Pró-Reitoria de Graduação*

Caro aluno,

Com muita alegria, a Universidade de São Paulo, por meio de seus estudantes e de seus professores, participa dessa parceria com a Secretaria de Estado da Educação, oferecendo a você o que temos de melhor: conhecimento.

Conhecimento é a chave para o desenvolvimento das pessoas e das nações e freqüentar o ensino superior é a maneira mais efetiva de ampliar conhecimentos de forma sistemática e de se preparar para uma profissão.

Ingressar numa universidade de reconhecida qualidade e gratuita é o desejo de tantos jovens como você. Por isso, a USP, assim como outras universidades públicas, possui um vestibular tão concorrido. Para enfrentar tal concorrência, muitos alunos do ensino médio, inclusive os que estudam em escolas particulares de reconhecida qualidade, fazem cursinhos preparatórios, em geral de alto custo e inacessíveis à maioria dos alunos da escola pública.

O presente programa oferece a você a possibilidade de se preparar para enfrentar com melhores condições um vestibular, retomando aspectos fundamentais da programação do ensino médio. Espera-se, também, que essa revisão, orientada por objetivos educacionais, o auxilie a perceber com clareza o desenvolvimento pessoal que adquiriu ao longo da educação básica. Tomar posse da própria formação certamente lhe dará a segurança necessária para enfrentar qualquer situação de vida e de trabalho.

Enfrente com garra esse programa. Os próximos meses, até os exames em novembro, exigirão de sua parte muita disciplina e estudo diário. Os monitores e os professores da USP, em parceria com os professores de sua escola, estão se dedicando muito para ajudá-lo nessa travessia.

Em nome da comunidade USP, desejo-lhe, meu caro aluno, disposição e vigor para o presente desafio.

Sonia Teresinha de Sousa Penin.

Pró-Reitora de Graduação.

Carta da

---

## *Secretaria de Estado da Educação*

Caro aluno,

Com a efetiva expansão e a crescente melhoria do ensino médio estadual, os desafios vivenciados por todos os jovens matriculados nas escolas da rede estadual de ensino, no momento de ingressar nas universidades públicas, vêm se inserindo, ao longo dos anos, num contexto aparentemente contraditório.

Se de um lado nota-se um gradual aumento no percentual dos jovens aprovados nos exames vestibulares da Fuvest — o que, indubitavelmente, comprova a qualidade dos estudos públicos oferecidos —, de outro mostra quão desiguais têm sido as condições apresentadas pelos alunos ao concluírem a última etapa da educação básica.

Diante dessa realidade, e com o objetivo de assegurar a esses alunos o patamar de formação básica necessário ao restabelecimento da igualdade de direitos demandados pela continuidade de estudos em nível superior, a Secretaria de Estado da Educação assumiu, em 2004, o compromisso de abrir, no programa denominado Pró-Universitário, 5.000 vagas para alunos matriculados na terceira série do curso regular do ensino médio. É uma proposta de trabalho que busca ampliar e diversificar as oportunidades de aprendizagem de novos conhecimentos e conteúdos de modo a instrumentalizar o aluno para uma efetiva inserção no mundo acadêmico. Tal proposta pedagógica buscará contemplar as diferentes disciplinas do currículo do ensino médio mediante material didático especialmente construído para esse fim.

O Programa não só quer encorajar você, aluno da escola pública, a participar do exame seletivo de ingresso no ensino público superior, como espera se constituir em um efetivo canal interativo entre a escola de ensino médio e a universidade. Num processo de contribuições mútuas, rico e diversificado em subsídios, essa parceria poderá, no caso da estadual paulista, contribuir para o aperfeiçoamento de seu currículo, organização e formação de docentes.

Prof. Sonia Maria Silva

Coordenadora da Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas

# *Apresentação da área*

A Química tem sido vista como vilã por muitos dos segmentos sociais que a desconhecem. Enquanto ciência, ela contribui para compreendermos as propriedades dos materiais, suas transformações e suas estruturas em um nível de organização inacessível aos nossos sentidos. Já os químicos, desempenham um papel importante na construção do conhecimento sobre processos e produtos que servem ao bem estar das pessoas. Alimentos, roupas, medicamentos, habitações são alguns exemplos de segmentos da indústria e da agropecuária, nos quais o conhecimento químico é fundamental.

É fato também que os impactos causados pelas atividades humanas no meio ambiente têm sido cada vez mais graves. O aumento do efeito estufa e a redução da camada de ozônio são exemplos de atividades que dependem da transformação dos materiais. Ainda assim, a Química não é a responsável por esses fenômenos indesejáveis. O conhecimento produzido pelos químicos é um dos instrumentos determinantes para aprofundar ou diminuir os impactos causados pelas atividades humanas no meio ambiente. Saber aplicar esses conhecimentos a partir de critérios e valores definidos pela sociedade é um dos principais instrumentos para tomar decisões sobre o controle dessas atividades e também para equacionar a complexa relação bem-estar social e meio ambiente.

Os conhecimentos abordados nesse Programa fornecem uma visão geral da fenomenologia das transformações químicas, suas interpretações em termos de modelos microscópicos e suas representações simbólicas. Conhecer as transformações significa também saber utilizá-las para nosso próprio bem-estar. Assim, é importante conhecer aspectos quantitativos das transformações para evitar desperdícios, utilizar racionalmente a energia envolvida no processo, controlar a rapidez da transformação e seu rendimento. Estudar as propriedades das substâncias e interpretá-las em termos dos modelos de ligação química também contribui para evitar riscos à saúde e à contaminação ambiental e para compreender os processos de produção de novos materiais e medicamentos.

Defendemos o estudo da Química que não seja memorístico. Como alternativa, convidamos você a compreender processos químicos e estabelecer relações entre o conhecimento científico, suas aplicações e implicações sociais, econômicas, ambientais e políticas.

# *Apresentação do módulo*

Sabemos que as transformações químicas envolvem energia. Assim como podemos prever as quantidades de reagentes e produtos que participam de uma reação, podemos prever também a quantidade de energia liberada ou absorvida numa transformação química.

Além de energia térmica – que você já conhece das reações de combustão – as transformações podem fornecer energia elétrica, como nas pilhas elétricas. Podem também ser provocadas pela energia elétrica, como é o caso da obtenção de alguns metais pelo processo da eletrólise. Pode-se, ainda, obter energia a partir de processos que ocorrem no núcleo de alguns átomos.

Neste módulo, você vai aprofundar seus conhecimentos sobre essas fontes de energia, além de aprender a fazer previsões e propor explicações sobre a origem e as diferentes manifestações da energia em processos químicos.

Com esse conhecimento, você será capaz de entender muitos dos fatos presentes em nosso dia-a-dia, como o funcionamento de usinas termoelétricas e nucleares, das pilhas elétricas, comparar o poder calorífico de combustíveis, e terá conhecimento para se posicionar frente a questões energéticas.

São propostos questões e exercícios ao longo do texto para que você vá interagindo com o conhecimento já adquirido e ampliando-o com novos conhecimentos. São apresentados também exercícios complementares para que você possa aplicar seu conhecimento em situações novas.

Este módulo é composto por 5 unidades:

Unidade 1 – Transformações Químicas e Energia

Unidade 2 – Transformações Químicas e Energia Térmica

Unidade 3 – Transformações Químicas e Energia Elétrica

Unidade 4 – A Energia Nuclear

Unidade 5 – Exercícios Complementares



## Unidade 1

# Transformações químicas e energia<sup>1</sup>

Para os homens das cavernas, que dispunham, inicialmente, apenas de sua força muscular, o controle e o uso do fogo, produzido a princípio pela combustão da madeira, significou uma ruptura definitiva com a vida animal. As transformações químicas, como a cocção de alimentos, a produção de utensílios cerâmicos, metais (como o ferro) e ligas metálicas (como o bronze), só se tornaram possíveis com a energia calorífica do fogo.

A utilização do fogo e da tração animal na agricultura desencadeou um processo de sedentarização, que culminou com a instalação de grandes impérios, aprofundando a divisão do trabalho e da sociedade em classes. A energia da mão-de-obra escrava passou a ser responsável pela manutenção da economia, mesmo entre povos como os gregos, que dispunham de tecnologia capaz de explorar outras fontes – eólica e hidráulica, por exemplo.

Durante a Idade Média, generalizou-se o uso de rodas d'água, de moinhos de vento e da tração animal na agricultura.

O alto-forno a carvão vegetal, já no século XIV, permitiu a fabricação de instrumentos agrícolas, que proporcionavam maior produtividade, aumentando o consumo energético. Para alimentar o alto-forno, as florestas foram sendo dizimadas, e o carvão mineral, um recurso esgotável, substituiu o vegetal.

Com o advento da máquina a vapor, no século XVII, a chamada Revolução Industrial ganhou impulso. A máquina passa a ser o principal instrumento de trabalho nas fábricas, embora ainda coexistindo com formas de produção artesanal. As diferenças sociais e o consumo energético aumentam. A grande transformação ocorre na indústria têxtil, com o tear a vapor, e nos transportes, com a locomotiva.

O petróleo, embora conhecido desde a Antiguidade, foi obtido pela primeira vez através de perfuração de poços em 1859. Utilizado na solução do problema de iluminação urbana, é hoje um dos responsáveis pela movimentação de motores de explosão, devido às características de seus derivados.

Os fenômenos elétricos já eram conhecidos desde o século VI a.C., mas a produção de corrente elétrica de forma controlada só foi obtida a partir dos trabalhos de Luigi Galvani (1737-1798), físico e médico, e Alessandro Volta (1745-

### Organizadores

Maria Eunice  
Ribeiro Marcondes

Marcelo Giordan

### Elaboradores

Isaura Maria  
Gonçalves Vidotti

Yvone Mussa  
Esperidião

<sup>1</sup> Texto adaptado de GEPEQ. *Interações e Transformações I Química para o Ensino Médio*. São Paulo: EDUSP, 2003.

1827), físico, ambos italianos. Volta descobriu que a corrente elétrica poderia se manifestar na interação de metais e soluções, construindo, em 1800, uma pilha.

Michael Faraday (1791-1867), mais tarde, verifica relações de proporcionalidade entre quantidade de matéria e corrente elétrica. Dos estudos de Faraday e de outros cientistas, pôde-se concluir que as transformações poderiam gerar corrente elétrica e esta poderia gerar transformações.

Atualmente, o grande uso das transformações químicas que geram energia elétrica é na fabricação de diversos tipos de pilhas e baterias. Muitos produtos, como os metais, são obtidos a partir de transformações que consomem energia elétrica.

A energia nuclear passa a ser difundida após o final da Segunda Grande Guerra, pretensamente como substituta às fontes não renováveis. É possível obter energia elétrica a partir de transformações nucleares. No entanto, problemas decorrentes dessa fonte de “energia do futuro”, como proliferação de armas, problemas ambientais, a questão do lixo atômico e os riscos de acidentes, ainda não foram equacionados.

Algumas fontes de energia no Brasil podem ser observadas na tabela 1.

Tabela 1

Fontes de Energia				
Não renovável				
Petróleo	Carvão	Gás Natural	Urânio	
Refinaria	Siderurgia	Gasômetro	enriquecido	
GLP	carvão metalúrgico	gás		
Querosene	carvão-vapor			
Gasolina				
Diesel				
Óleo combustível				
				Termoelétrica
				ELETRICIDADE
Renovável				
Lenha	Cana	Biomassa	Sol, Vento, Mar	Quedas d'água
Carvoaria	Destilaria	Biodigestor		Hidrelétrica
Carvão vegetal	Álcool	Biogás		
Lenha	Bagaço			

## Unidade 2

# Transformações químicas e energia térmica

Ao aquecer o sistema sua temperatura aumenta; portanto, o sistema recebe “algo”. Ao se resfriar, o sistema entrega “algo”. Este “algo” foi chamado calor.

Galileu (1613) admitia o calor como matéria. Esta matéria é extraordinária, é capaz de penetrar em todo corpo e sair dele. A substância (corpo ou fluido) termógena não é gerada nem destruída e sim redistribuída entre os corpos. Ao aumentar a quantidade de fluido termógeno ou calorígeno no corpo, a temperatura aumenta; diminuindo-a a temperatura também diminui. Quando não existe praticamente substância termógena, a temperatura atinge o valor mínimo possível, ou seja, o zero absoluto.

F. Bacon (1620), baseando-se na observação de que um pedaço de ferro se aquece quando submetido a fortes golpes de um martelo (fato conhecido por qualquer ferreiro) e também no fato de ser possível gerar fogo por atrito, concluiu: o calor é o resultado do movimento das partículas que constituem um corpo e a temperatura é determinada pela velocidade com que estas partículas se movimentam. (KRICHEYSKI, I. R., PETRIANOV, I. V. *Termodinâmica para muchos*. Moscou: Editorial MIR, 1980) (tradução nossa)

Desde que o homem primitivo aprendeu a utilizar o fogo para o seu benefício (aquecer-se, defender-se, cozinhar alimentos), a obtenção de energia a partir de transformações químicas, em especial as combustões, tem exercido papel fundamental nas sociedades.

Durante muitos séculos, a combustão da madeira e de outros materiais como óleos e gorduras foi utilizada como fonte de energia. Álcool, gasolina, óleo diesel, lenha, carvão mineral, gás liquefeito de petróleo e querosene são exemplos de combustíveis atualmente utilizados em diferentes setores de atividades do homem. Nossa própria vida depende da energia proveniente da combustão da glicose em nossas células. Foguetes são colocados em órbita terrestre graças à combustão de materiais apropriados, como o gás hidrogênio. Também nas usinas termelétricas, o calor produzido em combustões é transformado em energia elétrica.

Muitas interpretações têm sido propostas para as manifestações de energia, como luz e calor, observadas nas transformações químicas e em especial nas combustões, como a teoria do *flogístico* e a idéia sobre o *calórico* admitida por Lavoisier e Dalton. Nenhuma dessas teorias, no entanto, esclareceu a origem do calor, de onde ele vem, porque se manifesta.

### Organizadores

Maria Eunice  
Ribeiro Marcondes

Marcelo Giordan

### Elaboradores

Isaura Maria  
Gonçalves Vidotti

Yvone Mussa  
Esperidião

## TRANSFORMAÇÕES EXOTÉRMICAS E ENDOTÉRMICAS

Considere as informações sobre algumas transformações químicas, contidas na tabela a seguir.

Transformação	Condições para ocorrer a reação	Envolve energia?
$2 \text{Mg} (s) + \text{O}_2 (g) \rightarrow 2 \text{MgO} (s)$	Os reagentes recebem energia inicial de uma chama ou de uma faísca elétrica.	A reação se desenvolve com produção de luz e 1204 kJ de energia, na forma de calor, por 2 mols de Mg.
$\text{C}_2\text{H}_6\text{O} (l) + 3 \text{O}_2 (g) \rightarrow 2 \text{CO}_2 (g) + 3 \text{H}_2\text{O} (l)$	Os reagentes recebem energia inicial de uma chama ou de uma faísca elétrica.	Apesar da energia inicial, a reação se desenvolve com produção de 2800 kJ/mol de glicose, na forma de calor.
$\text{Fe}_2\text{O}_3 (s) + 3 \text{CO} (g) \rightarrow 2 \text{Fe} (s) + 3 \text{CO}_2 (g)$	Fornecimento contínuo de calor.	A reação absorve 128,4 kJ de energia na forma de calor por mol de $\text{Fe}_2\text{O}_3$ consumido.
$6 \text{H}_2\text{O} (l) + 6 \text{CO}_2 (g) \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 (s) + 6 \text{O}_2 (g)$	A reação ocorre através da absorção de luz solar – energia radiante.	São formados no interior das células vegetais, hidratos de carbono e gás oxigênio, com absorção de 2800 kJ de calor.
$\text{N}_2 (g) + 3 \text{H}_2 (g) \rightarrow 2 \text{NH}_3 (g)$	A reação ocorre a cerca de 500°C e sob pressão de 200 a 300 atm.	A reação ocorre com absorção de 46 kJ de energia por 2 mol de amônia.

Os dados tabelados mostram que as transformações químicas são sempre acompanhadas de efeitos energéticos, podendo ocorrer com produção ou absorção de energia.

Reações que produzem energia são chamadas *exotérmicas* e as que absorvem são chamadas *endotérmicas*. A combustão do etanol ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ) e a oxidação do metal magnésio são exemplos de transformações exotérmicas, pois se realizam com liberação de energia, na forma de luz e calor. Por outro lado, a obtenção de metais como o ferro e a fotossíntese são exemplos de transformações endotérmicas, pois se realizam com fornecimento contínuo de energia. O calor associado a uma transformação química é chamado *calor de reação* e recebe o nome da transformação ao qual corresponde. Se a transformação envolve a formação de uma substância, ele é chamado calor de formação. Se envolver a combustão, é chamado calor de combustão etc.

A quantidade de calor mobilizada numa transformação química pode ser incluída na equação que a representa, como um reagente, no caso de absorção de calor, ou como produto, no caso de liberação de calor. Essa quantidade de calor relaciona-se proporcionalmente às massas dos reagentes e produtos envolvidos nessa transformação.

### Atividade

Levando em conta essas idéias, represente as transformações citadas na tabela incluindo a energia – ou como reagente ou como produto –, considerando também que a energia relaciona-se proporcionalmente às massas dos reagentes e produtos envolvidos.

O que representam os valores de energia incluídos nas equações escritas?

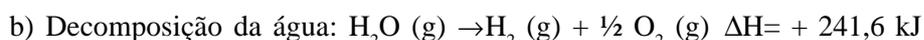
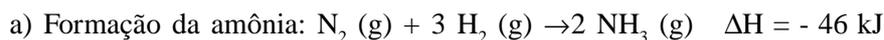
## ENTALPIA DE REAÇÃO

A energia associada a uma transformação, quando reagentes e produtos estão à mesma pressão, é denominada *entalpia de reação* ou *calor de reação*, sendo representada pelo símbolo  $\Delta H$  (variação de entalpia). Sendo assim, uma outra forma de expressar a energia mobilizada numa transformação é usar a notação  $\Delta H$  (lembrando que também se pode expressá-la incluindo-a na equação que a representa, como já visto).

Convencionou-se que o *sinal positivo* que precede o valor do  $\Delta H$  significa *calor fornecido* e o *sinal negativo*, *calor produzido*.

Considerando que nas transformações exotérmicas o conteúdo de energia decresce quando os reagentes se transformam em produtos, o sinal negativo do  $\Delta H$  significa também decréscimo do conteúdo de energia, ocorrendo o oposto no caso das transformações endotérmicas.

Ex.:



### Atividade

Considere novamente a equação que representa a obtenção de ferro



Reescreva essa equação:

- para um mol de ferro; para um mol de CO; para um mol de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ;
- usando a notação  $\Delta H$ .

### Faça agora você

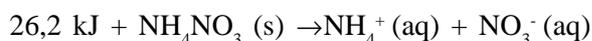
1. (Fuvest) Considere as reações de fotossíntese e de combustão da glicose, representadas abaixo.



Sabendo-se que a energia envolvida na combustão de um mol de glicose é  $2,8 \cdot 10^6 \text{ J}$ , ao sintetizar meio mol de glicose, a planta

- libera  $1,4 \cdot 10^6 \text{ J}$
- libera  $2,8 \cdot 10^6 \text{ J}$
- absorve  $1,4 \cdot 10^6 \text{ J}$
- absorve  $2,8 \cdot 10^6 \text{ J}$
- absorve  $5,6 \cdot 10^6 \text{ J}$

2. Muitos atletas, ao sofrerem contusões, na falta de gelo ou água quente, podem fazer compressas com bolsas plásticas contendo água e um sólido, que pode ser cloreto de cálcio anidro ou nitrato de amônio. Estas substâncias ficam separadas no interior do recipiente.

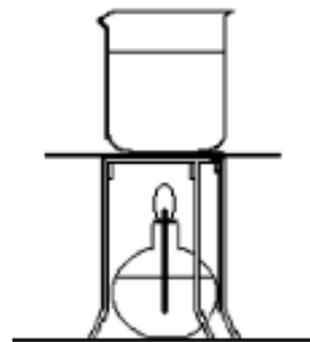


Qual dos sólidos seria o mais indicado, no caso de ser usado numa contusão que requer compressas frias?

## COMO MEDIR, EXPERIMENTALMENTE, A ENERGIA ENVOLVIDA NAS TRANSFORMAÇÕES QUÍMICAS?

### Combustão do etanol

A figura mostra o equipamento usado para determinar a quantidade de energia térmica fornecida pela combustão do etanol (combustível usado no Brasil como substituto da gasolina e de outros derivados do petróleo). O calor produzido pela queima do etanol (contido na lamparina) aquece massa conhecida de água (contida no béquer usado como calorímetro). Conhecendo a massa de combustível queimado e conhecendo a variação de temperatura da água, é possível obter com aproximação o valor do “calor de combustão” do combustível. Para efetuar esse cálculo, siga o roteiro, utilizando os dados apresentados a seguir:



Volume de água no calorímetro = 400 cm<sup>3</sup>  
 Temperatura inicial da água = 18°C  
 Temperatura final da água = 28°C  
 Massa de etanol queimado = 0,92 g  
 Calor específico da água = 1 cal/g.°C ou 4,18 J.g<sup>-1</sup>.°C

1. A capacidade de um material absorver ou perder calor é uma propriedade característica desse material, conhecida como *calor específico*. Sabendo que o calor específico da água representa a quantidade de calor necessária para elevar em 1°C a temperatura de 1 g de água, quantas calorias são necessárias para elevar de 1°C a temperatura de 400 cm<sup>3</sup> de água? (considerando  $d_{\text{água}} = 1 \text{ g/cm}^3$ ; a massa de 400 cm<sup>3</sup> de água é igual a 400 g).

(Lembrete: Uma *caloria (cal)* é a quantidade de energia necessária para elevar em 1°C a temperatura de 1 g de água. Uma caloria é igual a 4,18 joules (J))

2. A energia liberada na queima do álcool fez com que 400 g de água sofressem um aumento de temperatura de 10°C. Qual a quantidade de energia absorvida pelos 400 g de água? Calcule essa energia em joules, lembrando que 1 cal = 4,18 J.

3. Considerando que a massa molar do etanol é 46 g/mol, qual a quantidade de matéria, em mols de álcool, contida em 0,92 g de etanol?

4. Levando em conta que o calor absorvido pela água foi fornecido pela queima dessa quantidade de mols de álcool, qual a quantidade de energia, em Joules, fornecida por mol de álcool queimado? Esse é o calor de combustão do etanol.

5. Expresse o calor desenvolvido na combustão do álcool etanol, em kJ/mol de etanol, sabendo que 1 kJ = 1000 J.

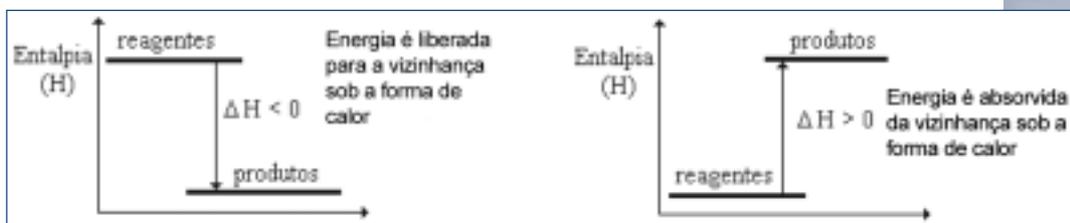
6. Represente a transformação por equação devidamente balanceada, incluindo a energia expressa em kJ/mol de etanol.

7. Considerando que o calor de combustão do etanol é  $1,38 \cdot 10^3 \text{ kJ/mol}$ , quais as possíveis causas dos valores serem diferentes?

A eficiência de um combustível é geralmente avaliada em relação à quantidade de calor que ele é capaz de produzir. A quantidade de calor produzida por unidade de massa (ou de volume) do material combustível é referida como seu *poder calorífico*, que pode ser expresso em kcal/kg, em kJ/kg ou em kJ/mol.

Pode-se considerar as combustões como transformações químicas que envolvem a queima de um material combustível em presença de oxigênio, sendo frequentemente utilizadas com o objetivo de obter energia na forma de calor. Nesse sentido, pode-se então dizer que os combustíveis são “geradores de calor”.

Considerando que os combustíveis são “potencialmente” capazes de liberar energia por combustão, deve-se pensar que eles têm armazenado um certo “conteúdo de energia”, que se manifesta na forma de calor e luz quando ocorre a combustão. Sendo assim, nas transformações exotérmicas, parte da energia que estava armazenada nos reagentes ficou armazenada nos produtos e parte foi liberada para o ambiente. Nesses casos, quando os reagentes se transformam nos produtos, o conteúdo de energia do sistema decresce, pois calor é remetido para o ambiente. Por raciocínio análogo, pode-se concluir também que nas transformações endotérmicas o conteúdo de energia do sistema cresce. Sendo assim, pode-se representar as transformações exotérmicas e as endotérmicas por diagramas, como os mostrados a seguir e tomados como exemplo.

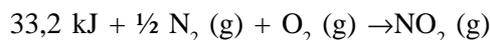


### Faça agora você

1. a) A queima de 2,8 g do gás etileno,  $C_2H_6$ , faz a temperatura de um calorímetro subir  $10,7^\circ C$ . Sabendo que para variar em  $1^\circ C$  a temperatura do calorímetro são necessárias 3,1 kcal, determine o calor de combustão desse gás, expressando-o em kJ/mol.

b) Considerando que os produtos da combustão são  $CO_2$  e  $H_2O$ , represente a combustão desse gás por meio de uma equação e por meio de um diagrama.

2. Represente por um diagrama a formação do  $NO_2$ , a partir dos gases nitrogênio e oxigênio.



Quem tem maior conteúdo de energia, reagentes ou produtos?

### DE ONDE VEM A ENERGIA QUE SE MANIFESTA NAS TRANSFORMAÇÕES QUÍMICAS?

Considere que a cera da vela é representada pela fórmula  $C_{20}H_{42}$ . Determinou-se experimentalmente o calor de solidificação da cera, encontrando-se o valor  $49,5 \text{ kJ/mol}$ . Determinou-se também por meios adequados o calor de combustão da cera, tendo-se encontrado o valor  $9562,0 \text{ kJ/mol}$ . Comparando os valores encontrados, verificamos que

$$Q_{\text{Solidificação}} \ll Q_{\text{Combustão}} - 49,5 \text{ kJ} \ll 9562 \text{ kJ.}$$

Por que o calor de solidificação é tão menor que o calor de combustão?

Uma possível explicação é considerar que na solidificação ocorrem atrações entre as moléculas, que resultam na formação de ligações intermoleculares. A energia liberada na solidificação estava armazenada nessas ligações.

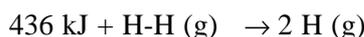
Sendo a combustão uma transformação química, ao se admitir que ela envolve um rearranjo de átomos, estamos supondo que ela resulta do rompimento de ligações entre os átomos (forças atrativas entre os átomos), que constituem as partículas de cera, e formação de novas ligações nos produtos. O saldo energético entre esses processos corresponde ao calor liberado na combustão. Portanto, o calor que se manifesta nas transformações químicas tem sua origem nas ligações que constituem as partículas das substâncias.

### Energia de ligação

A quantidade de energia necessária para romper um mol de ligações a 25°C e 1 atm é chamada *energia de ligação*. Essa mesma quantidade é liberada na formação de um mol de ligações.

A ruptura de ligações é um processo endotérmico (é preciso fornecer energia para que isso aconteça) e a formação de ligações é processo exotérmico.

Na partícula H<sub>2</sub>, existe uma “ligação” entre os dois átomos de hidrogênio. Quando suficientemente aquecido, o hidrogênio gasoso (H<sub>2</sub>) é transformado em 2 mols de átomos isolados. Assim:

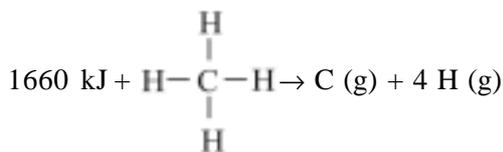


1 mol de moléculas de hidrogênio          dois mols de átomos de hidrogênio

Conclui-se, então, que a ligação entre dois átomos de hidrogênio, representada por H-H, está associada a um valor de energia equivalente a 436 kJ, que é o valor da energia de ligação H-H.

Os valores das energias de ligação podem ser determinados experimentalmente. Eles dependem da temperatura e da pressão em que a reação ocorre. Por essa razão, os dados de energia de ligação especificam a temperatura e a pressão em que foram determinados.

Considerando que 1 mol de metano (CH<sub>4</sub>) contém quatro mols de ligações C-H, calcule o valor da energia de ligação C-H no metano, em kJ/mol, sabendo que são necessários 1660 kJ de energia para atomizá-lo (romper as ligações entre os átomos), segundo a equação:

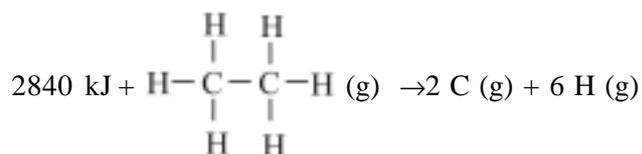


Alguns valores de energia de ligação, em kJ/mol, são dados a seguir:

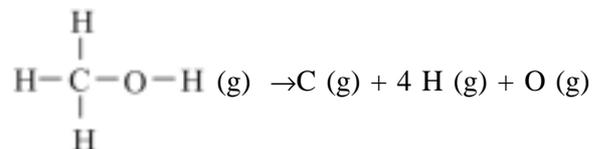
$$E_{(\text{O-H})} = 464; E_{(\text{O=O})} = 498; E_{(\text{C-C})} = 598; E_{(\text{C-O})} = 360; E_{(\text{C=O})} = 805.$$

### Faça agora você

1. Conhecendo o valor da energia de ligação C-H, calcule o valor da energia associada à ligação C-C no etano.

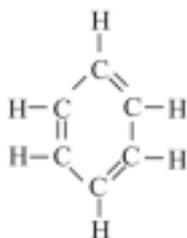


2. Determine a energia necessária para atomizar um mol de moléculas de metanol (romper as ligações entre os átomos), de acordo com a equação:



### **PARA QUE SERVE O CONHECIMENTO DAS ENERGIAS DE LIGAÇÃO?**

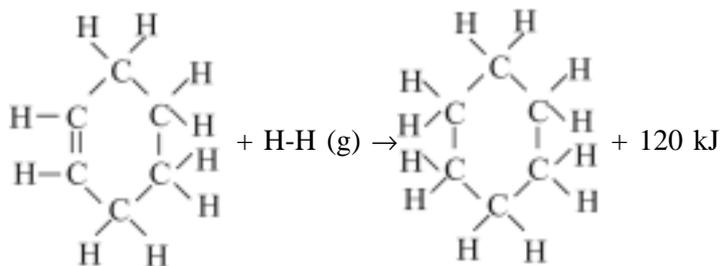
Uma das utilidades do conhecimento das energias de ligação é compreender a estrutura das substâncias. Assim, benzeno ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) é uma substância líquida, inflamável, pouco reativa e tóxica que, se inalada, pode causar a morte. Em 1865, a estrutura dessa substância foi proposta por August Kekulé. Segundo ele, o benzeno poderia ser representado pela seguinte fórmula estrutural.



Nota-se que nesta estrutura os átomos de carbono se ligam alternadamente por ligações simples e duplas. Como verificar se esta estrutura é realmente a do benzeno?

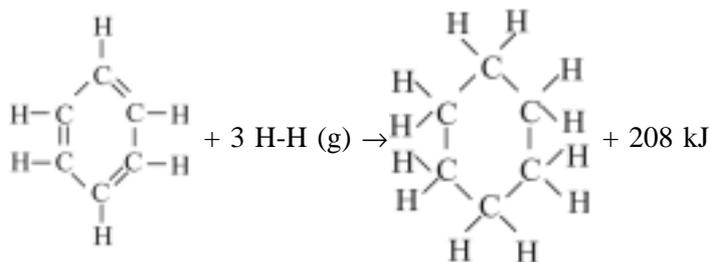
O seguinte procedimento permite encontrar a resposta para essa questão:

Ciclohexeno, um hidrocarboneto que contém uma ligação  $\text{C}=\text{C}$ , pode se transformar em ciclohexano quando reage com hidrogênio gasoso.

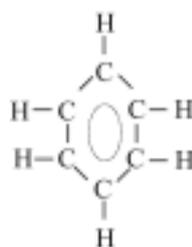


Essa transformação sugere que, se o benzeno for hidrogenado, tendo ele três ligações duplas, deveriam ser produzidos: 3 mol de ligações  $\times$  120 kJ/mol de ligações = 360 kJ.

No entanto, quando benzeno se transforma em ciclohexano, são produzidos apenas 208 kJ de energia.

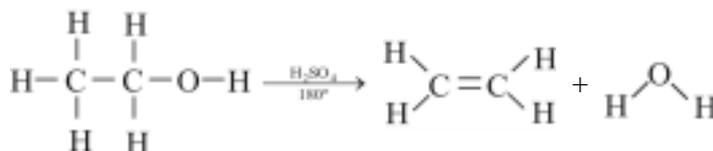


Tal fato levou a novas investigações sobre a estrutura do benzeno, e hoje a estrutura aceita é:



### USANDO ENERGIAS DE LIGAÇÃO PARA DETERMINAR O CALOR ENVOLVIDO NUMA TRANSFORMAÇÃO QUÍMICA

Uma outra utilidade do conhecimento das energias de ligação é a possibilidade de avaliar, com bastante aproximação, o calor associado a uma transformação química, utilizando-se os valores de energia associados às ligações e as fórmulas estruturais das substâncias que participam dessa transformação química. Para isso, considera-se que, de acordo com as idéias de Dalton, a transformação química envolva um rearranjo de átomos e que esse rearranjo ocorra através da ruptura das ligações nas espécies reagentes e formação de novas ligações nos produtos da transformação. Seja, por exemplo, a desidratação intramolecular do etanol:

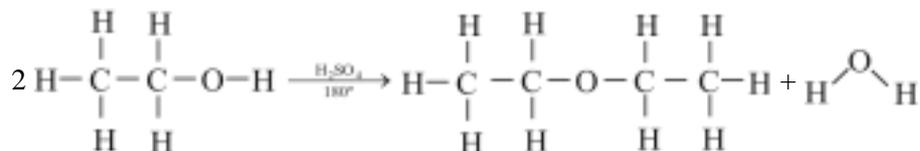


Ligações rompidas nos reagentes	Ligações formadas nos produtos
5 mols de ligações C-H 5 mol x 415 kJ/mol = 2075 kJ	2 mols de ligações H-O 2 mol x 464kJ/mol = 928 kJ
1 mol de ligações C-C 1 mol x 350 kJ/mol = 350 kJ	4 mol de ligações C-H 4 mol x 415 kJ/mol = 1660 kJ
1 mol de ligações C-O 1 mol x 360 kJ/mol = 360 kJ	1 mol de ligações C=C 1 mol x 598 kJ/mol = 598 kJ
1 mol de ligações O-H 1 mol x 464 kJ/mol = 464 kJ	
total absorvido = + 3249 kJ	total liberado = - 3186 kJ
<b>saldo energético = + 3249 - 3186 = + 63 kJ</b>	

O balanço energético entre a ruptura e a formação de ligações resultou num saldo positivo. É necessário fornecer 63 kJ de energia para transformar um mol de etanol em um mol de eteno. A reação em estudo é endotérmica.

### Faça agora você

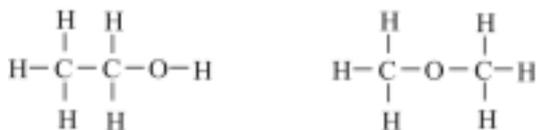
1. O etanol pode sofrer também uma desidratação intermolecular, desde que as condições experimentais sejam modificadas.



éter etílico

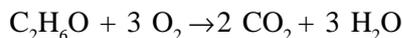
Calcule a energia associada a essa transformação. Ela é endo ou exotérmica? Justifique.

2. (Fuvest – adaptado) Duas possibilidades de arranjos dos átomos C, H e O, para o agregado que corresponde à partícula  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$  são apresentadas a seguir:



A e B são compostos de mesma fórmula molecular,  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ , sendo um deles o álcool etílico e o outro o éter dimetílico.

Considere que a combustão de ambos os compostos pode ser representada pela mesma equação



Considere também que o calor de combustão de A = 1410 kJ/mol e o de B = 1454 kJ/mol

Utilizando os valores médios de energias de ligação, em kJ/mol, identifique A e B, explicando o raciocínio usado.

$$E_{(\text{O}-\text{H})} = 464; E_{(\text{C}-\text{C})} = 350; E_{(\text{C}-\text{H})} = 415; E_{(\text{C}-\text{O})} = 360$$

### USANDO OS CALORES DE FORMAÇÃO DOS PARTICIPANTES DE UMA TRANSFORMAÇÃO QUÍMICA PARA DETERMINAR A ENERGIA NELA ENVOLVIDA

A variação de entalpia que acompanha a formação de um mol de substância no estado padrão (sua forma mais estável dentre as formas em que ela pode se apresentar), a 25°C e 1 atm de pressão, é chamada calor de formação ou entalpia de formação. Entre as substâncias  $\text{O}_2$  (oxigênio) e  $\text{O}_3$  (ozônio), por exemplo, o estado padrão do elemento oxigênio é  $\text{O}_2$  e não  $\text{O}_3$ . Do carbono é a grafite e não o diamante. Considerando que não se pode determinar a entalpia absoluta de uma substância, os químicos resolveram, então, estabelecer uma escala arbitrária de entalpias atribuindo entalpia zero aos elementos químicos no estado padrão.

Na transformação de formação da água  $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g})$  o valor da entalpia da transformação é  $\Delta H_f = H_{\text{Produtos}} - H_{\text{reagentes}} = H_{\text{água}} - (H_{\text{hidrogênio}} + H_{\text{oxigênio}}) = -242 \text{ kJ}$  (a  $25^\circ\text{C}$  e  $1 \text{ atm.}$ ). (obs.:  $H$  = entalpia de formação)

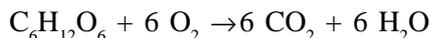
### Faça agora você

1. (Fuvest) A entalpia de combustão da grafite a gás carbônico é  $-94 \text{ kcal/mol}$ . A do monóxido de carbono gasoso a gás carbônico é  $-68 \text{ kcal/mol}$ . Desses dados, pode-se concluir que a entalpia de combustão da grafite a monóxido de carbono gasoso, expressa em  $\text{kcal/mol}$ , vale:

- a) + 13
- b) + 26
- c) - 13
- d) - 26
- e) - 162

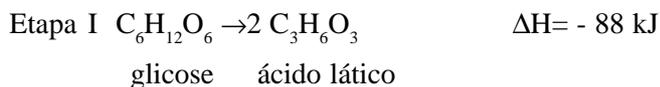
### O CALOR MOBILIZADO NUMA TRANSFORMAÇÃO QUÍMICA REALIZADA NUMA ÚNICA ETAPA É DIFERENTE DO CALOR TOTAL MOBILIZADO QUANDO A TRANSFORMAÇÃO SE PROCESSA EM VÁRIAS ETAPAS?

O homem gasta continuamente energia para manter a temperatura do seu corpo e executar as funções vitais, como respirar, fazer circular o sangue ou mover-se de um lado para outro. Essa energia tem como fonte a glicose proveniente dos alimentos e o oxigênio do ar inspirado. Na queima de um mol de glicose, são produzidos  $2814 \text{ kJ}$  de energia. Essa queima pode se dar numa única etapa como mostra a equação



No entanto, a combustão da glicose no organismo ocorre numa sucessão de mais de 20 etapas.

Considere que ela envolva apenas as etapas relacionadas a seguir:



Pode-se perceber que a energia liberada na formação de 2 mols de ácido láctico (etapa I) é consumida na etapa II (combustão de 2 mols de ácido láctico). Isso equivale a somar as equações escritas, e também os valores dos  $\Delta H$ .

$$\Delta H = -2814 \text{ kJ/mol de glicose}$$

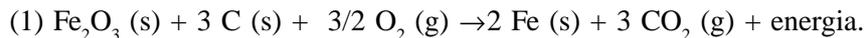
Encontra-se, dessa forma, o valor da energia associada à combustão de 1 mol de glicose, como se essa transformação tivesse ocorrido numa única etapa.

“Quando uma transformação química pode ser expressa como a soma de uma série de transformações intermediárias, seu  $\Delta H$  corresponde à soma dos  $\Delta H$  das transformações que constituem as etapas intermediárias”. Ou então:

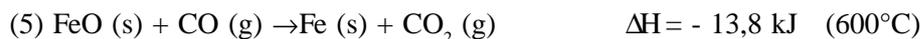
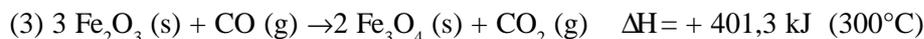
“O efeito energético que acompanha uma transformação independe dos estados intermediários, só depende dos estados inicial e final”. Esta afirmação é conhecida como lei de Hess, e é de fato um dos princípios mais importantes e úteis da Química. Esta lei possibilita a determinação teórica do  $\Delta H$  de uma transformação, sem mesmo processá-la experimentalmente, desde que seja possível

considerá-la como a soma de transformações intermediárias sucessivas, cujos  $\Delta H$  sejam conhecidos. Foi assim que os biólogos puderam esclarecer a dinâmica da digestão nos seres vivos, processando por etapas, fora do ser vivo, reações complexas, cujos  $\Delta H$  são impossíveis de serem determinados diretamente. Considere a energia envolvida na metalurgia do ferro como ilustração dessa lei, também chamada lei da aditividade dos calores de reação.

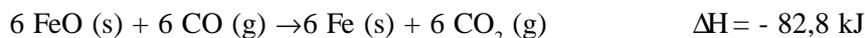
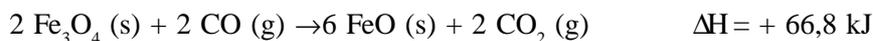
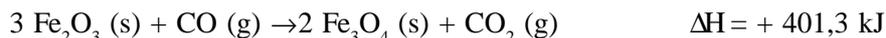
O processamento do minério pode ser representado pela seguinte equação global:



Minério de ferro, carvão e calcário transformam-se em ferro-gusa e escória, sendo este processo um exemplo de transformação que envolve transformações intermediárias sucessivas, em que os produtos de uma são os reagentes de outra, umas endo outras exotérmicas. Conhecendo-se os calores das etapas intermediárias, é possível avaliar quanta energia é mobilizada no processo global. Algumas etapas são:



O  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  produzido em (3) é consumido em (4) e o  $\text{FeO}$  produzido em (4) é consumido em (5); representa-se o consumo desses produtos somando-se as equações como se fossem equações algébricas, de modo a eliminar os tais produtos intermediários e obter a equação global (1). Para isso, os coeficientes dos produtos intermediários devem ser igualados. Sendo assim, deve-se multiplicar a equação (4) por 2; a equação (5) por 6 e a equação (2) por 9, pois esse é o total de mols de  $\text{CO}$  consumido na transformação. Como existe relação de proporcionalidade entre o calor envolvido e a quantidade de matéria de reagentes e produtos, também se deve multiplicar os valores dos  $rH$  pelos respectivos fatores. Assim:



Equação global encontrada:



1. Qual o valor do  $\Delta H$  por mol de ferro produzido?

A grandeza desse valor de energia explica o calor sentido nas proximidades do alto-forno.

## Unidade 3

# Transformações químicas e energia elétrica

### Organizadores

Maria Eunice  
Ribeiro Marcondes

Marcelo Giordan

### Elaboradores

Maria Eunice  
Ribeiro Marcondes

Silvia Maria Leite  
Agostinho

Considere os seguintes fatos:

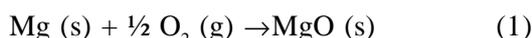
- *Um rádio pode funcionar perfeitamente com 4 pilhas de 1,5 V, do tipo A*
- *Um automóvel deixa de funcionar se a bateria elétrica “arrear”*

Você já pensou como funcionam e de que modo são formadas as pilhas e baterias elétricas que fornecem energia para tantas finalidades? Você sabe que são transformações químicas que geram a energia elétrica nas pilhas e baterias?

Já estudamos as transformações que geram energia térmica e que dela necessitam para se processar – as transformações exotérmicas e as endotérmicas. Da mesma forma, há transformações químicas que geram energia elétrica e outras que ocorrem a partir desta. Essas transformações químicas recebem o nome de reações de óxido-redução.

Para entender o processo de óxido-redução vamos considerar a reação de queima do magnésio:

Uma fita de magnésio apresenta brilho metálico e cor prateada. Ao ser queimada em uma chama, na presença de oxigênio do ar, se forma um sólido branco, o óxido de magnésio, MgO.



Dizemos que houve oxidação do magnésio e redução do oxigênio.

## **O QUE É OXIDAÇÃO E O QUE É REDUÇÃO?**

As reações de oxidação-redução têm esse nome porque, historicamente, este foi o nome dado às reações que envolviam a combinação entre o oxigênio e outro elemento.

As reações de oxidação-redução, hoje em dia, são as que envolvem troca de elétrons entre diferentes espécies químicas. O magnésio, por exemplo, é um metal que, ao se combinar formando o composto iônico MgO, perde dois elétrons. Este processo é chamado de oxidação (lembre-se do modelo de ligação iônica!). O oxigênio, elemento mais eletronegativo, ganha os dois elétrons doados pelo magnésio, processo esse chamado de redução.

Com este conceito, você é capaz de entender outras reações de oxidação-redução que ocorrem ao seu redor.

## PROPOSTA DE EXPERIMENTO:

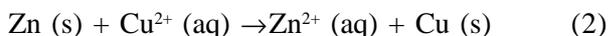
Coloque em um béquer uma chapa de zinco metálico imersa em uma solução de sulfato de cobre (II) e observe.



Figura 1 - Reação de óxido-redução entre zinco metálico e sulfato de cobre II.

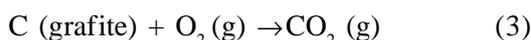
A chapa de zinco tem cor prateada e a solução de sulfato de cobre é azul. Em pouco tempo, após a imersão, a chapa de zinco se torna escura, com um pó marrom sendo depositado, enquanto a solução de cobre (II) se torna mais clara (cuidado com a concentração da solução, somente em solução diluída você conseguirá ver a mudança de cor!).

A transformação química que ocorre pode ser representada pela equação:



Embora possa não ser perceptível, o zinco da lâmina metálica está se transformando em íons  $\text{Zn}^{2+}$ , solúveis em água. O zinco perde elétrons se transformando em íons zinco (incolors em solução de sulfato). Os íons cobre (II) ganham elétrons e se transformam em cobre metálico (o pó marrom depositado sobre a chapa de zinco). Tem-se assim, uma reação de óxido-redução.

A combustão do carvão é outro exemplo de reação de oxidação-redução:



Quando a reação ocorre entre íons é mais fácil evidenciar o ganho e a perda de elétrons entre as espécies reagentes. Em outros casos, entretanto, a transferência de elétrons não é evidente. Como você pode reconhecer que esta é uma transformação de óxido-redução?

Para responder a essa questão, vamos recorrer ao conceito de número de oxidação, que facilita o entendimento do processo e o estabelecimento da proporção das espécies reagentes representadas na equação química. Atribui-se um número de oxidação a cada elemento constituinte de uma substância.

Dá-se o nome de número de oxidação (Nox), à carga positiva, negativa ou zero atribuída ao elemento, quando livre ou combinado, em uma substância qualquer. O número de oxidação de um elemento pode variar, dependendo da substância.

Para se atribuir o número de oxidação, há algumas regras a seguir, como mostramos a seguir:

→o número de oxidação de qualquer elemento quando livre, isto é, não combinado ou formando uma substância simples, é zero. Exemplo: o magnésio metálico na equação 1, o oxigênio na equação 1, o zinco na equação 2, o carbono e o oxigênio na equação 3;

→o número de oxidação do hidrogênio é +1 na maioria dos compostos, excetuando-se os hidretos metálicos, em que é -1 (lembrar que, neste caso, os metais ligados ao hidrogênio são menos eletronegativos do que este);

→o número de oxidação do oxigênio quando combinado é  $-2$ , excetuando-se nos peróxidos (em que é  $-1$ );

→o número de oxidação dos metais alcalinos nos compostos é  $+1$  (verifique a posição dos mesmos na tabela periódica);

→o número de oxidação dos halogênios nos haletos (compostos entre halogênios e metais, sem participação do oxigênio) é  $-1$ .

Pode-se reconhecer uma reação de óxido-redução pela variação do número de oxidação de um dado elemento na espécie reagente e no produto formado.

Por exemplo, para a reação de combustão do carvão; vamos atribuir os números de oxidação:



Nox oxigênio	0	-2
Nox carbono	0	+4

Para atribuir o valor  $+4$  para o C na molécula de  $\text{CO}_2$ , deve-se considerar: 2 átomos de O (nox  $-2$ )  $\Rightarrow 2 \times -2 = -4$ , como a molécula é neutra, nox C deve ser  $+4$ .

A variação do número de oxidação de cada espécie reagente é:

oxigênio:  $0 \rightarrow -2$

carbono:  $0 \rightarrow +4$

Sabemos que, nesse processo, o carbono sofre oxidação e o oxigênio sofre redução. Comparando com a variação de número de oxidação, vemos que para o carbono o nox aumenta e para o oxigênio diminui.

Este tipo de variação é verificado em outros processos de óxido-redução, pois o número de oxidação foi definido de tal forma que a oxidação corresponde sempre a um aumento desse número e a redução uma diminuição.

Podemos considerar que a oxidação do carbono foi provocada pelo oxigênio (oxidante) e que a redução do oxigênio foi provocada pelo carbono (redutor).

A reação de corrosão do ferro pode ser representada pela equação:

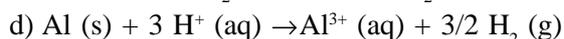
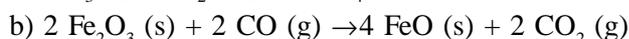
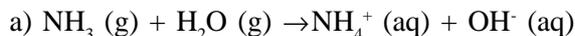


1. Atribua os números de oxidação do ferro e do oxigênio nos reagentes e nos produtos. Identifique qual deles foi oxidado e qual foi reduzido.

2. Nessa reação, o  $\text{O}_2$  é o oxidante (que causa a oxidação de outra espécie) e o Fe (s) o redutor (que causa a redução). Você concorda com essa afirmação?

### ***Faça agora você***

1. Verifique se as equações abaixo representam reações de óxido-redução:



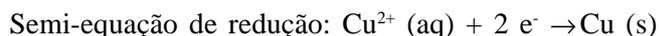
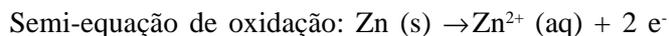
2. Identifique qual o oxidante e qual o redutor nas seguintes transformações:

a) Obtenção de sal de cozinha (cloreto de sódio) a partir de sódio metálico e de gás cloro.

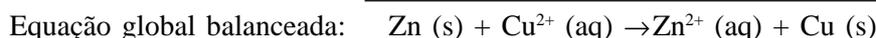
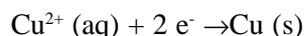
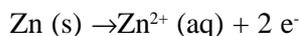
b) Obtenção de água a partir dos gases hidrogênio e oxigênio.

## VERIFICANDO A PROPORÇÃO ENTRE REAGENTES E PRODUTOS

Muitas equações de oxido-redução envolvem espécies iônicas em solução (cátions e/ou ânions). É possível, neste caso, para melhor entendimento do processo, representá-lo na forma de duas semi-equações, uma de oxidação e a outra de redução. Tomemos o exemplo da reação entre zinco metálico e os íons de cobre. Esta transferência pode ser representada da seguinte forma:

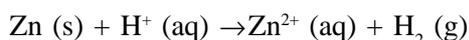


Pode-se escrever a equação da transformação somando-se as semi-equações:

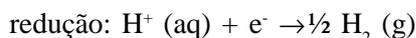
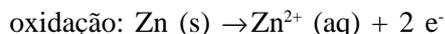


Como você pode verificar, na representação da equação balanceada há conservação da quantidade de átomos e também de cargas e do número de elétrons.

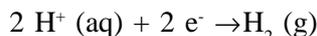
Considere a reação que ocorre entre o metal zinco e uma solução de ácido:



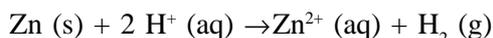
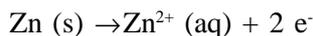
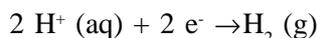
Esta é uma reação de oxido-redução; façamos o balanceamento por meio das semi-equações:



Para que se tenha o mesmo número de elétrons envolvidos, reescrevemos a reação de redução da seguinte forma:



Somando as duas semi-equações, esse processo pode ser representado por:



A linguagem das semi-equações iônicas é importante por várias razões:

→ fica evidente a troca de elétrons entre as espécies;

→ o balanceamento da equação global fica mais fácil;

→ percebe-se que as semi-reações, sendo tratadas separadamente, podem facilitar o entendimento de outros processos; isto é, são gerais.

### Faça agora você

1. Faça o balanceamento das equações que representam os seguintes processos:

a) reação do metal chumbo com solução de íons prata (por exemplo, solução de  $\text{AgNO}_3$ );

b) reação entre metal sódio e água (cuidado, altamente exotérmica).

## TRANSFORMAÇÕES QUÍMICAS QUE GERAM ENERGIA ELÉTRICA

### Reações espontâneas de óxido-redução

Você verificou que existem inúmeras reações de óxido-redução que ocorrem espontaneamente na natureza. A reação entre o zinco e os íons de cobre (equação 1) é um exemplo. Quando o contato entre o oxidante e o redutor é direto, a troca de elétrons resulta na corrosão do zinco. O que acontece se os elétrons cedidos pelo zinco forem levados a percorrer um fio condutor elétrico e, em outro local do sistema, forem transportados aos íons de cobre? Este é o princípio do funcionamento de uma pilha. A passagem dos elétrons através de um circuito externo pode ser aproveitada, por exemplo, para acender uma lâmpada, fazer funcionar um cartão musical e assim por diante.

A figura 2 ilustra o sistema assim construído.

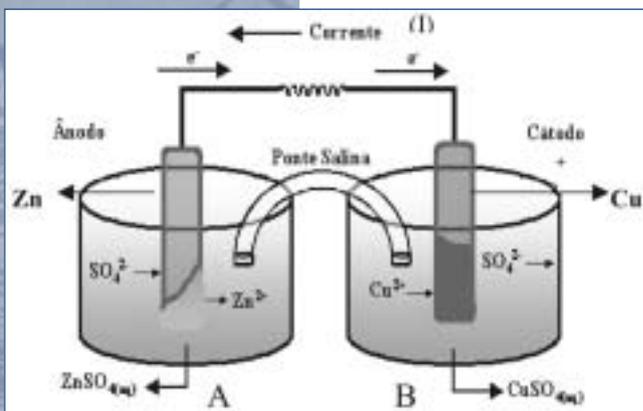


Figura 2 – Pilha de Daniel.

Em dois recipientes distintos foram colocadas soluções de sulfato de zinco e sulfato de cobre. Entre os dois compartimentos é colocado um tubo de vidro contendo uma solução de cloreto de potássio e algodão nas duas extremidades, que é chamado de “ponte salina”. Os terminais imersos deste tubo fazem uma conexão elétrica (através de íons) entre os dois recipientes.

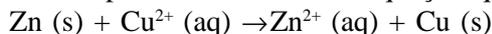
No compartimento A é imersa uma placa de zinco, enquanto no compartimento B é imersa uma placa de cobre. As placas de zinco e de cobre são interligadas com emprego de jacarés e de fios de cobre, colocando-se no caminho uma resistência

elétrica. Se esta resistência elétrica corresponder a uma lâmpada de baixa potência, você vai observar que ela se acende e vai constatar a geração de energia elétrica. Assim funciona a pilha conhecida como “Pilha de Daniel”.

Como funciona essa pilha?

Embora os dois reagentes estejam em compartimentos separados, a reação que ocorre é a mesma que foi estudada anteriormente: o zinco é oxidado a íons  $Zn^{2+}$ , perdendo elétrons que são levados pelo fio, passando pela lâmpada, e chegam ao compartimento B, onde são transferidos aos íons de cobre, que são reduzidos a cobre metálico.

Assim, podemos escrever a equação que representa essa transformação:



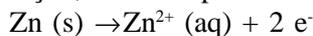
Os íons  $Zn^{2+}$  são solúveis, passando para a solução. Porém, isto causaria um excesso de cargas positivas na solução, acarretando na não continuidade da reação. A ponte salina, assim, fornece íons de carga negativa (no exemplo acima, íons cloreto,  $Cl^-$ ), que garantirão a eletroneutralidade da solução.

No compartimento B, íons  $Cu^{2+} (aq)$  reagem formando  $Cu (s)$  que se deposita na lâmina. O que acontece com o balanço de cargas na solução? Qual é o papel da ponte salina neste caso?

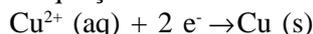
Por que o sistema químico gerou energia elétrica? Se a lâmpada do circuito externo for substituída por um voltímetro, vamos verificar que existe uma diferença de potencial. No caso da pilha de Daniel, ela é igual a 1,1 V quando as concentrações de  $Zn^{2+}$  e  $Cu^{2+}$  são iguais a  $1,0 \text{ mol.L}^{-1}$ .

Você viu que quando se constrói a pilha, os processos de oxidação e de redução passam a ocorrer em locais distintos. Chama-se de ânodo o local em que ocorre a oxidação e de cátodo o local em que ocorre a redução. Na lin-

guagem eletroquímica, a palavra local pode ser substituída por eletrodo. Eletrodo é uma associação de um condutor eletrônico (o metal zinco, por exemplo) e um condutor iônico (o íon de zinco, por exemplo). Entre estes condutores existe uma interface em que podem ocorrer transformações de oxidação ou de redução. Na interface zinco-íons de zinco se observa a semi-reação de oxidação, descrita pela semi-equação:



Na outra interface, se observa a semi-reação de redução, descrita pela semi-equação:



O ânodo, na pilha (nos sistemas que geram energia elétrica), é o pólo negativo (aquele que libera elétrons para o circuito externo). O cátodo, onde ocorre a redução, é o pólo positivo, aquele que recebe os elétrons que provêm do fio externo.

A existência de uma interface metal-íon metálico é responsável por uma diferença de potencial a que se dá o nome de Potencial de Eletrodo. Este potencial tem um valor que depende do caráter mais espontâneo ou menos espontâneo da semi-reação, ocorrendo no sentido da oxidação ou da redução. Existem metais mais ativos, que são oxidados mais facilmente (zinco é um exemplo) e existem metais menos ativos, mais nobres, cujos íons são reduzidos mais facilmente (íons de cobre II é um exemplo). Uma tabela de potenciais com a semi-reação descrita pela semi-equação

$\text{H}^{+} \text{ (aq)} + 1 \text{ e}^{-} \rightarrow \frac{1}{2} \text{ H}_2 \text{ (g)}$  foi construída e atribuiu-se a esta semi-reação o valor zero de potencial numa escala relativa de valores.

Tabela 2 – Potenciais de redução padrão de diversas semi-reações

Potenciais – Padrões de Redução (T = 298,16 K)		E° (volts)
Reações de redução		
$\text{F}_2 \text{ (g)} + 2 \text{ e}^{-}$	$\rightarrow 2 \text{ F}^{-} \text{ (aq)}$	+ 2,65
$\text{H}_2\text{O}_2 \text{ (l)} + 2 \text{ H}^{+} \text{ (aq)} + 2 \text{ e}^{-}$	$\rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O (l)}$	+ 1,77
$\text{MnO}_4^{-} \text{ (aq)} + 4 \text{ H}^{+} \text{ (aq)} + 3 \text{ e}^{-}$	$\rightarrow \text{MnO}_2 \text{ (s)} + 2 \text{ H}_2\text{O (l)}$	+ 1,695
$\text{PbO}_2 \text{ (s)} + \text{HSO}_4^{-} \text{ (aq)} + \text{H}^{+} \text{ (aq)} + 2 \text{ e}^{-}$	$\rightarrow \text{PbSO}_4 \text{ (s)} + \text{H}_2\text{O (l)}$	+ 1,685
$2 \text{ HOCl (aq)} + 2 \text{ H}^{+} \text{ (aq)} + 2 \text{ e}^{-}$	$\rightarrow \text{Cl}_2 \text{ (g)} + 2 \text{ H}_2\text{O (l)}$	+ 1,63
$\text{MnO}_4^{-} \text{ (aq)} + 8 \text{ H}^{+} \text{ (aq)} + 5 \text{ e}^{-}$	$\rightarrow \text{Mn}^{2+} \text{ (aq)} + 4 \text{ H}_2\text{O (l)}$	+ 1,51
$\text{Cl}_2 \text{ (g)} + 2 \text{ e}^{-}$	$\rightarrow 2 \text{ Cl}^{-} \text{ (aq)}$	+ 1,3595
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} \text{ (aq)} + 14 \text{ H}^{+} \text{ (aq)} + 6 \text{ e}^{-}$	$\rightarrow 2 \text{ Cr}^{3+} \text{ (aq)} + 7 \text{ H}_2\text{O (l)}$	+ 1,33
$\text{MnO}_2 \text{ (s)} + 4 \text{ H}^{+} \text{ (aq)} + 2 \text{ e}^{-}$	$\rightarrow \text{Mn}^{2+} \text{ (aq)} + 2 \text{ H}_2\text{O (l)}$	+ 1,23
$\text{O}_2 \text{ (g)} + 4 \text{ H}^{+} \text{ (aq)} + 4 \text{ e}^{-}$	$\rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O (l)}$	+ 1,229
$\text{Br}_2 \text{ (l)} + 2 \text{ e}^{-}$	$\rightarrow 2 \text{ Br}^{-} \text{ (aq)}$	+1,0652
$\text{HONO (aq)} + \text{H}^{+} \text{ (aq)} + \text{e}^{-}$	$\rightarrow \text{NO (g)} + \text{H}_2\text{O (l)}$	+ 1,00
$\text{HNO}_3 \text{ (aq)} + 3 \text{ H}^{+} \text{ (aq)} + 3 \text{ e}^{-}$	$\rightarrow \text{NO (g)} + 2 \text{ H}_2\text{O (l)}$	+0,96
$\text{Ag}^{+} \text{ (aq)} + \text{e}^{-}$	$\rightarrow \text{Ag (s)}$	+0,7991
$\text{Fe}^{3+} \text{ (aq)} + \text{e}^{-}$	$\rightarrow \text{Fe}^{2+} \text{ (aq)}$	+0,771
$\text{Fe(OH)}_3 \text{ (s)} + \text{e}^{-}$	$\rightarrow \text{Fe(OH)}_2 \text{ (s)} + \text{OH}^{-} \text{ (aq)}$	+0,56
$\text{I}_3^{-} \text{ (aq)} + 2 \text{ e}^{-}$	$\rightarrow 3 \text{ I}^{-} \text{ (aq)}$	+0,536
$\text{Cu}^{+} \text{ (aq)} + \text{e}^{-}$	$\rightarrow \text{Cu (s)}$	+0,521

Potenciais – Padrões de Redução (T = 298,16 K)		
Reações de redução		E° (volts)
$\text{NiO}_2 (\text{s}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Ni}(\text{OH})_2 (\text{s}) + 2 \text{OH}^- (\text{aq})$	+0,49
$\text{O}_2 (\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O} (\text{l}) + 4 \text{e}^-$	$\rightarrow 4 \text{OH}^- (\text{aq})$	+0,41
$\text{Ag}_2\text{O} (\text{s}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow 2 \text{Ag} (\text{s}) + 2 \text{OH}^- (\text{aq})$	+ 0,345
$\text{Cu}^{2+} (\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Cu} (\text{s})$	+0,34
$\text{HSO}_4^- (\text{aq}) + 3 \text{H}^+ (\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3 (\text{aq}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l})$	+0,20
$\text{HgO} (\text{s}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Hg} (\text{l}) + 2 \text{OH}^- (\text{aq})$	+0,0984
$2 \text{H}^+ (\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{H}_2 (\text{g})$	0,00
$\text{MnO}_2 (\text{s}) + 2 \text{H}_2\text{O} (\text{l}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Mn}(\text{OH})_2 (\text{s}) + 2 \text{OH}^- (\text{aq})$	-0,05
$\text{Pb}^{2+} (\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Pb} (\text{s})$	-0,126
$\text{Sn}^{2+} (\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Sn} (\text{s})$	-0,136
$\text{PbSO}_4 (\text{s}) + \text{H}^+ (\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Pb} (\text{s}) + \text{HSO}_4^- (\text{aq})$	-0,356
$\text{Fe}^{2+} (\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Fe} (\text{s})$	-0,440
$\text{Cd}(\text{OH})_2 (\text{s}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Cd} (\text{s}) + 2 \text{OH}^- (\text{aq})$	-0,761
$\text{Zn}^{2+} (\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Zn} (\text{s})$	-0,763
$\text{H}_2\text{O} (\text{l}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{H}_2 (\text{g}) + 2 \text{OH}^- (\text{aq})$	-0,83
$\text{Zn}(\text{OH})_2 (\text{s}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Zn} (\text{s}) + 2 \text{OH}^- (\text{aq})$	-1,245
$\text{Al}^{3+} (\text{aq}) + 3 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Al} (\text{s})$	-1,66
$\text{Ca}^{2+} (\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Ca} (\text{s})$	-2,87
$\text{Mg}^{2+} (\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Mg} (\text{s})$	-2,37
$\text{Na}^+ (\text{aq}) + \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Na} (\text{s})$	-2,714

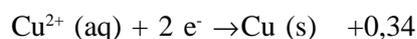
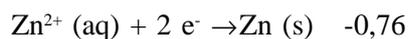
A tabela 2 mostra os potenciais padrões de eletrodo: são valores a 25°C e para íons em concentrações unitárias, isto é, 1 mol.L<sup>-1</sup>.

Procure na tabela os potenciais de redução dos íons Cu<sup>2+</sup> e dos íons Zn<sup>2+</sup> e compare-os. Como você relaciona esses valores com maior ou menor tendência de ocorrer a reação de redução?

### COMO CALCULAR A FORÇA ELETROMOTRIZ DE UMA PILHA?

Considere novamente a pilha de Daniel. Como mencionado anteriormente, existe nessa pilha uma diferença de potencial igual a 1,1 V. Para se conhecer a diferença de potencial de uma pilha (também chamada de célula galvânica), basta calcular a diferença entre o potencial de redução do cátodo (eletrodo em que ocorre o processo de redução) e o potencial de redução do ânodo (eletrodo em que ocorre o processo de oxidação). Assim, na pilha de Daniel as semi-equações de redução e os potenciais padrões são os seguintes:

$$E^\circ/\text{V}$$



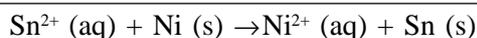
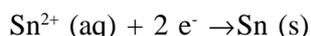
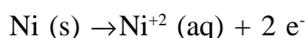
A diferença de potencial padrão da pilha será:

$$+ 0,34 - (-0,76) = 1,10 \text{ V}$$

Esta diferença de potencial se chama de força eletromotriz (fem): é a tensão máxima que uma célula galvânica pode fornecer. Na prática, a medida da fem é feita com um voltímetro de elevada resistência interna e o valor experimental, com precisão de 0,01 V, se iguala ao valor calculado, desde que a pilha se encontre na condição padrão.

Através da pilha ilustrada e das duas semi-equações, é possível calcular o potencial dessa pilha. Experimentalmente, utilizando-se um voltímetro, o valor encontrado foi de 0,11 V.

Comparando-se os potenciais de redução, pode-se verificar que o  $\text{Sn}^{2+}$  tem maior tendência a se reduzir (potencial de redução maior). O Ni, portanto, se oxidará. Pode-se escrever as semi-equações e a equação global:



A diferença de potencial será dada pela diferença dos potenciais de redução:

$$DE^{\circ} = E^{\circ}_{\text{cátodo}} - E^{\circ}_{\text{ânodo}}$$

Assim:

$$DE^{\circ} = -0,14 - (-0,25)$$

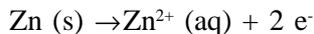
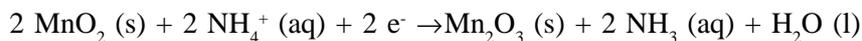
$$DE^{\circ} = 0,11 \text{ V}$$

Verifica-se que o valor encontrado é o mesmo que o lido no voltímetro.

E a pilha comum, chamada de pilha seca, como funciona? Quais são as espécies reagentes?

Se desmontássemos uma dessas pilhas, poderíamos observar:

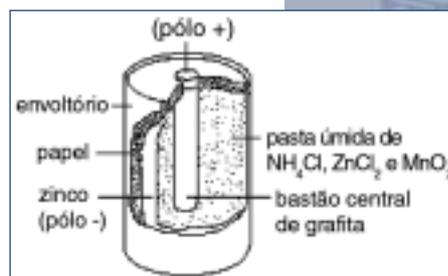
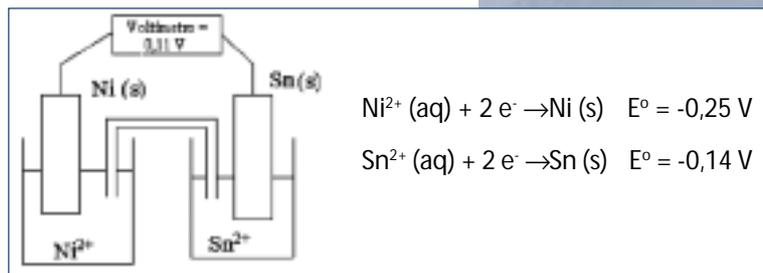
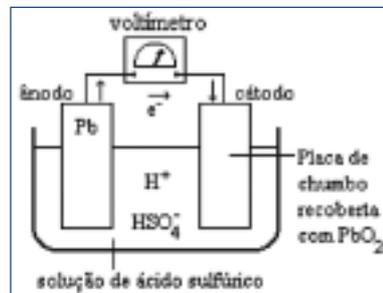
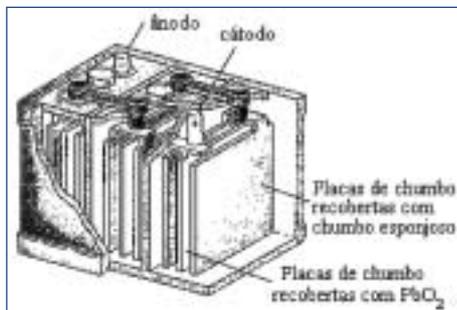
A pilha seca é formada por uma pasta de óxido de manganês ( $\text{MnO}_2$ ) embebida em solução de cloreto de amônio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), uma barra de grafite e um invólucro de zinco. As reações que ocorrem durante o funcionamento da pilha são:

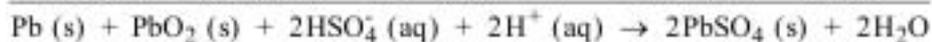
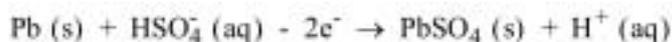


Essa reação gera um potencial de 1,5 V.

1. Por que utilizamos pilhas de diferentes tamanhos (como as utilizadas em controles remotos e rádios), sabendo que a composição delas é a mesma e que fornecem a mesma força eletromotriz?

### Bateria de automóvel





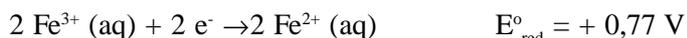
As baterias de automóveis também são pilhas eletroquímicas.

### Faça agora você

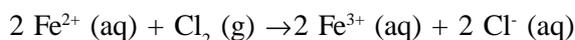
1. Considere uma pilha constituída pelas semi-pilhas: Mg/MgSO<sub>4</sub> e Cu/CuSO<sub>4</sub>. Sabe-se que o metal magnésio tem maior tendência de se oxidar que o cobre, podendo-se representar essa célula eletrolítica como Mg, Mg<sup>2+</sup>/Cu<sup>2+</sup>, Cu. Nesse processo:

- que metal perde elétrons?
- que espécie recebe elétrons?
- que espécie sofre oxidação?
- que espécie sofre redução?
- escreva a semi-equação de oxidação
- escreva a semi-equação de redução
- qual o sentido de movimento dos elétrons na parte externa do circuito?
- qual o sentido de movimento dos íons positivos na ponte salina?
- qual o cátodo (pólo positivo)?
- qual o ânodo (pólo negativo)?

2. (UFSC) Dadas as semi-reações:



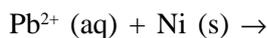
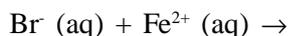
Calcule o potencial para a reação:



e diga se ela é espontânea ou não, assinalando a opção correta.

- a) -0,59 V e a reação não é espontânea.
- b) 0,59 V e a reação não é espontânea.
- c) 0,59 V e a reação é espontânea.
- d) -2,13 V e a reação não é espontânea.
- e) 2,13 V e a reação é espontânea.

3. (PUC-MG) Considere as equações incompletas e os dados da tabela a seguir:



Potenciais-padrão de redução

Elemento	Pb	Mg	Br	Fe	Ni	Zn	Ag
Valor E° (V)	-0,13	-2,36	1,07	-0,44	-0,25	-0,76	0,80

As reações que podem ocorrer espontaneamente são:

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

## TRANSFORMAÇÕES QUE OCORREM COM CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA – ELETRÓLISE

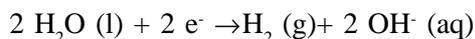
As reações de óxido-redução espontâneas podem gerar energia elétrica, como acontece nas pilhas. Será que é possível provocar transformações químicas de óxido-redução que não ocorreriam espontaneamente?

Na Figura 3 tem-se a pilha de Daniel ligada a um tubo em U contendo solução aquosa de iodeto de potássio e bastões de grafite imersos. As duas células são ligadas por fios e jacarés.

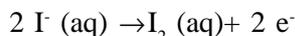
Após alguns minutos, pode ser notada a ocorrência de várias transformações na célula B. Na interface I, a adição de gotas de fenolftaleína mostra uma cor vermelha (ou rósea) no contorno do grafite. Na interface II, a solução antes incolor adquire cor amarela.

Sabendo-se que a pilha de Daniel gera energia e conhecendo-se qual o ânodo (eletrodo da oxidação) e qual o cátodo (eletrodo de redução) da mesma, podemos interpretar o que acontece na célula B.

A cor rósea indica a formação de uma solução de caráter alcalino na vizinhança da interface I. Esse fato pode ser explicado considerando-se a reação de redução da água, a partir dos elétrons provenientes do eletrodo de zinco, de acordo com a seguinte equação:



A cor amarela na interface II é uma evidência da formação de  $\text{I}_2$ , que em solução aquosa apresenta essa cor. Ocorre, portanto, a oxidação do iodeto a iodo, que pode ser representada pela semi-equação:



Os elétrons produzidos são utilizados na redução dos íons  $\text{Cu}^{2+}$  da pilha de Daniel.

Verifique você mesmo, comparando os potenciais de redução padrão, se as reações que ocorrem no compartimento B são espontâneas ou não espontâneas.

Processos de óxido-redução que ocorrem às custas de uma energia elétrica fornecida por um sistema externo recebem o nome de eletrólise, que significa “decomposição pela passagem da corrente elétrica”.

A eletrólise encontra muitas aplicações industriais, como na fabricação de produtos provenientes da água do mar. O esquema ao lado mostra os produtos obtidos a partir do cloreto de sódio.

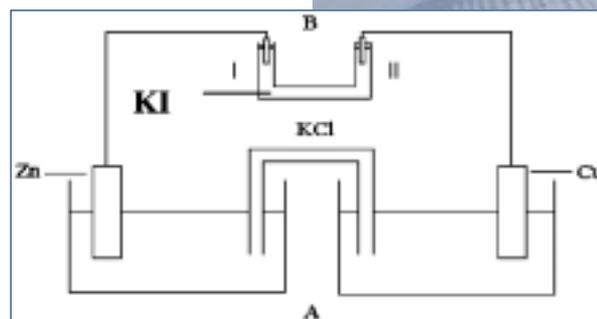
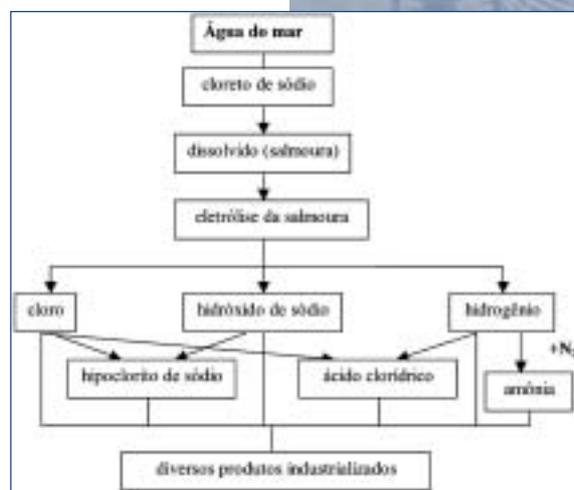


Figura 3 - Pilha de Daniel conectada a um tubo em U.



**Cloro**

Substância que à temperatura ambiente (25°C) encontra-se na forma de um gás, mais denso que o ar, e apresenta cor esverdeada.

Usos:

- desinfecção de água (tratamento de água),
- produção de plásticos, tipo PVC,
- branqueador em indústria têxtil e papel e celulose etc.

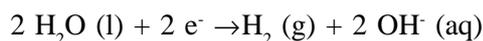
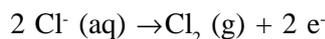
**Hidrogênio**

O hidrogênio, à temperatura ambiente, é gás inodoro, insípido, pouco solúvel em água e pouco denso.

Usos:

- em soldas especiais,
- em balões e dirigíveis, até mesmo em transporte de pessoas, mas foi abandonado depois de um grave acidente com o dirigível Hindenburg (1937),
- combustível de foguetes espaciais e provável uso em outros veículos etc.

A partir da salmoura obtêm-se, por eletrólise, o gás cloro, o gás hidrogênio e uma solução de hidróxido de sódio:



O cloreto de sódio quando aquecido se funde, sendo possível sofrer eletrólise quando se passa uma corrente elétrica no líquido. Obtém-se, além de cloro, o metal sódio.

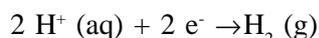
Escreva as equações que representam a oxidação e a redução que acontecem nesse processo, bem como a equação global.

A água também pode sofrer eletrólise. Entretanto, ela não é boa condutora de corrente elétrica.

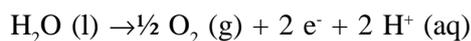
Como se pode fazer para que o processo de eletrólise da água seja eficiente? Considere, por exemplo, a adição à água de uma substância que conduza facilmente a corrente (um eletrólito), mas que não apresente reação, isto é, que não sofra eletrólise nas mesmas condições da água. O que você acha: o processo seria mais eficiente?

Na prática, é comum, para se fazer a eletrólise da água, a adição de ácido sulfúrico, de forma a obter uma solução aquosa diluída. São utilizados eletrodos de platina, que permanecem inalterados durante o processo. Dessa forma, são obtidos os gases hidrogênio e oxigênio:

Redução dos íons  $\text{H}^+$  da solução ácida, de acordo com a semi-equação:



Oxidação da água gerando oxigênio, de acordo com a semi-equação:



Escreva a equação que representa o processo global de eletrólise da água.

## Unidade 4

# A energia nuclear

### Organizadores

Maria Eunice  
Ribeiro Marcondes

Marcelo Giordan

### Elaboradores

Luciane Hiromi  
Akahoshi

Maria Eunice  
Ribeiro Marcondes

Como estamos estudando neste módulo, as transformações químicas ocorrem com envolvimento de energia. O homem utiliza de muitas maneiras a energia produzida pelas transformações químicas, como é o caso da energia térmica proveniente da queima de combustíveis fósseis ou de biomassa, e da energia elétrica gerada por pilhas e baterias.

Considere os dados apresentados a seguir, em que são comparadas diferentes fontes de energia.

fonte de energia	tempo aproximado que a energia produzida poderia manter uma lâmpada de 1000 watt acesa
"queima" no organismo de 1 g de açúcar	um pouco menos que 3 minutos
queima completa de 1 g de gasolina	8 minutos
fissão de 1 g de Urânio-235	$1,21 \times 10^7$ minutos (23 anos)

(adaptado de Snyder, C H, "The Extraordinary Chemistry of Ordinary Things", Wiley, 2<sup>nd</sup> ed., 1995)

A quantidade de energia produzida por processos nucleares é muito maior que a produzida pelas transformações químicas. O homem aprendeu há pouco tempo a utilizar a energia que é proveniente de transformações de núcleos atômicos. A fissão é um processo que ocorre no núcleo de alguns átomos. Certamente você já ouviu falar de usinas nucleares, em que a energia elétrica é produzida por transformações nucleares, e no poder de destruição das bombas atômicas, cuja explosão também é resultado de reações nucleares.

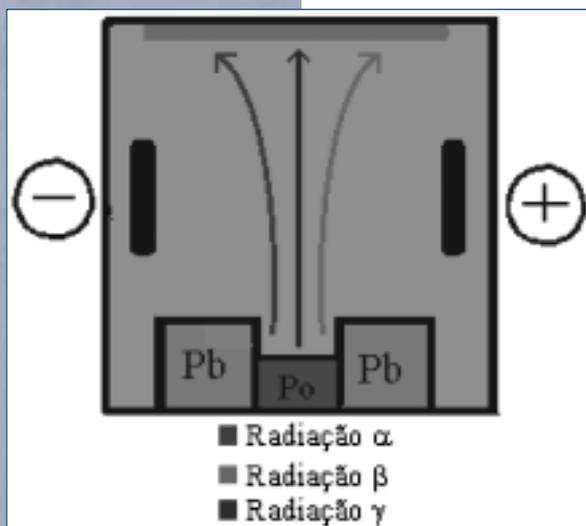
1. Como você explica a energia térmica envolvida numa transformação química?

2. Como você explica a energia elétrica gerada numa transformação química?

Os modelos explicativos que utilizamos para interpretar a energia nas transformações químicas não envolvem qualquer modificação do núcleo dos átomos participantes.

Para podermos entender a energia envolvida numa transformação nuclear, precisamos conhecer alguns dos processos que acontecem no núcleo atômico.

## RADIAÇÕES NUCLEARES



Sabemos, hoje, que certos átomos emitem radiações provenientes de transformações que envolvem as partículas constituintes do núcleo. Essa propriedade foi percebida no final do século XIX, com os estudos que Antoine Becquerel (1852–1908) realizou com compostos de urânio (U). Marie (1867–1934) e Pierre Curie (1859–1906) descobriram e isolaram outros elementos com as mesmas propriedades radioativas, o rádio (Ra) e o polônio (Po). Embora o fenômeno fosse conhecido, os cientistas não conseguiam elaborar modelos que explicassem esses fatos. Como você já estudou no módulo 1, os estudos de Rutherford, já no início do século XX, levaram à proposição do modelo de átomo nuclear,

com os prótons concentrados no núcleo. Em seus estudos, Rutherford percebeu três diferentes tipos de radiações emitidas por compostos de urânio, que apresentavam diferentes poderes de penetração na matéria e podiam ser separadas pela aplicação de um campo elétrico. Em 1932, os estudos de J. Chadwick trouxeram mais informações sobre o núcleo atômico, com a descoberta dos nêutrons. Assim, foi sendo possível conhecer a natureza das radiações emitidas.

Considere os seguintes fatos que ocorrem na natureza:

- Átomos de carbono-14 sofrem decaimento radioativo, transformando-se em átomos de nitrogênio-14;
- Átomos de urânio-238 decaem formando átomos de tório-234.

Como você pode lembrar, do módulo 1, um elemento pode apresentar átomos com diferentes quantidades de nêutrons em seu núcleos, o que representa número de massa diferente (prótons + nêutrons). Assim, o C-14 é um dos isótopos do elemento carbono.

Para entender o decaimento do carbono-14 formando nitrogênio-14, vamos considerar as quantidades de prótons e nêutrons constituintes dos núcleos. Devemos saber, também, que nesse processo há emissão de radiação de carga negativa, identificada como elétrons.

1. Quantos nêutrons o nuclídeo C-14 apresenta?

(Nuclídeo é o nome que se dá ao núcleo do átomo com um dado número atômico e número de massa)

2. Quantos nêutrons o nitrogênio-14 apresenta?

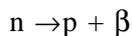
Comparando o número de prótons e nêutrons de cada um dos nuclídeos, temos:

Elemento	Quantidade de	
	Prótons	Nêutrons
carbono	6	8
nitrogênio	7	7

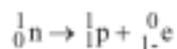
Assim, podemos perceber que nesse processo ocorre a diminuição de um nêutron pelo nuclídeo carbono-14, e o aumento de um próton. Como o que

caracteriza um elemento é seu número atômico, ou seja, a quantidade de prótons, não se tem mais carbono, e sim nitrogênio ( $Z = 7$ ). Ocorreu uma transmutação nuclear, isto é, o carbono se converteu em nitrogênio.

Como já mencionado, nesse processo de decaimento radioativo são detectadas radiações de carga negativa, identificadas como sendo elétrons. Esse tipo de processo, em que elétrons são ejetados do núcleo, é chamado de decaimento  $\beta$  (letra do alfabeto grego, beta), que pode ser representado por:



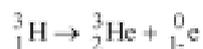
ou, mais detalhadamente:



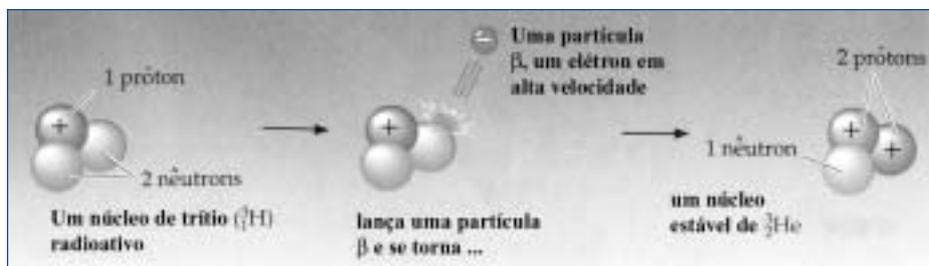
Podemos escrever a equação química que representa o decaimento do carbono-14:



Considere agora um dos isótopos de elemento hidrogênio, o hidrogênio-3, chamado de trítio. Sabe-se que o trítio decai por emissão de radiação  $\beta$ , convertendo-se em hélio-3, que é um isótopo estável do elemento hélio. A equação que representa esse processo de decaimento é:



A emissão de um elétron a partir do núcleo de trítio tem como consequência o aumento de um próton e a conservação do número de massa.



Vamos considerar o decaimento do urânio-238, com formação de tório-234. Nesse processo, são detectadas partículas carregadas positivamente. Essas partículas foram chamadas por Rutherford de partículas  $\alpha$  (letra alfa, do alfabeto grego).

Sabendo que as partículas  $\alpha$  são constituídas por dois prótons e dois nêutrons, calcule o número de massa da partícula  $\alpha$ .

Fazendo uma comparação da quantidade de prótons e nêutrons de cada um dos núclídeos tem-se:

	Prótons	Nêutrons
${}_{92}^{238}\text{U}$	92	146
${}_{90}^{234}\text{Th}$	90	144

A equação que representa esse processo de decaimento pode ser escrita da seguinte forma:



Compare a partícula  $\alpha$  com o núcleo do elemento hélio.

Um outro exemplo de decaimento por emissão de partículas  $\alpha$  é o que acontece com o elemento rádio-226. O rádio (Ra) tem número atômico 88, se transmutando no elemento radônio (Rn), cujo número atômico é 86.

Escreva a equação que representa o decaimento do rádio-226 por emissão de partículas  $\alpha$ .

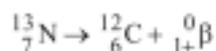
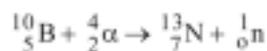
O terceiro tipo de radiação detectada nas experiências de Rutherford foi chamada de radiação  $\gamma$  (letra gama do alfabeto grego). Esse tipo de radiação não sofre efeito de um campo elétrico externo, indicando que não possui carga. A radiação  $\gamma$  é uma forma de radiação eletromagnética de alta energia, que é emitida nos decaimentos nucleares, não tendo massa e não apresentando carga elétrica.

### Faça agora você

1. O elemento  ${}_{82}^{214}\text{Pb}$  sofre decaimento radioativo por emissão de partícula  $\beta$ . Que elemento é formado nesse processo?
2. Escreva a equação que representa a transmutação do netúnio-237 (Np,  $Z = 93$ ) em protactínio (Pa,  $Z = 91$ ) por emissão de partícula  $\alpha$ .

Com os estudos sobre a radioatividade, o conhecimento do homem sobre a estrutura da matéria se ampliou. As transformações químicas podiam ser explicadas em termos de rearranjo de átomos, de quebra e formação de ligações, ligações estas formadas por atrações eletrostáticas entre os elétrons dos elementos que constituem a substância. Um outro tipo de transformação, a transmutação natural, passou a ser conhecida e entendida através do conhecimento do núcleo atômico. O núcleo, formado por prótons e nêutrons, pode emitir partículas, transformando-se em outro elemento.

Mas será que as transmutações poderiam ser provocadas artificialmente? Em 1933, um ano após o descobrimento do nêutron, os cientistas Frederic Joliot e Irene Curie Joliot produziram o primeiro elemento radioativo artificialmente, bombardeando boro-10 com partículas  $\alpha$ :



Nesse processo, foi detectada a emissão de uma partícula com massa semelhante à do elétron, mas com desvio contrário quando submetida a um campo elétrico. Essa partícula,  ${}_{1+}^{0}\beta$  tem carga positiva e foi chamada de pósitron.

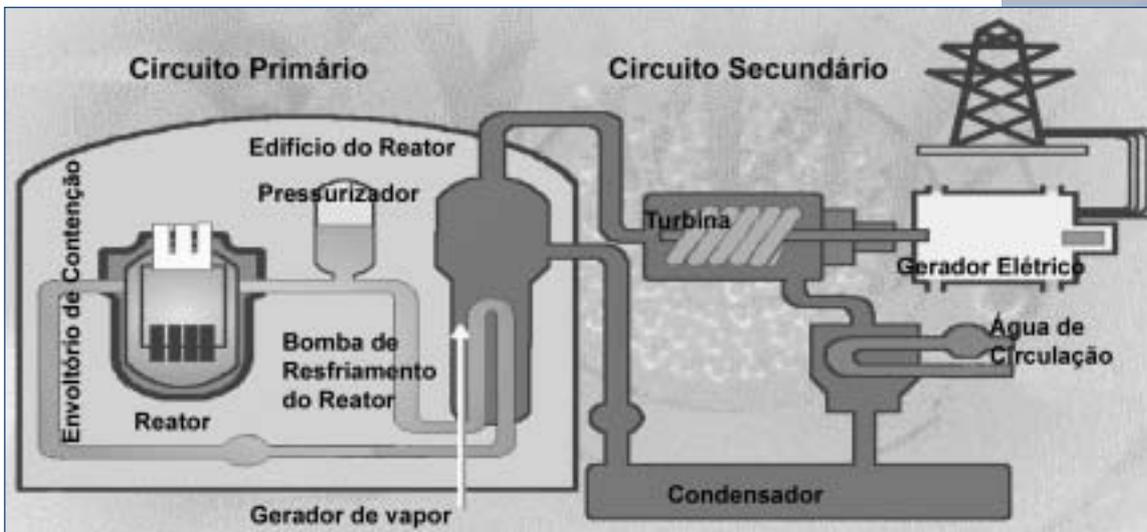
### GERANDO ENERGIA ATRAVÉS DE REAÇÕES NUCLEARES

O aproveitamento da energia nuclear na geração de energia elétrica, como é feito hoje em dia, foi resultado de muitos estudos que procuravam entender e controlar o comportamento dos núcleos e suas interações com as radiações.

Considere como a energia é gerada numa usina nuclear:

### Elementos transurânicos

Dos 111 elementos conhecidos atualmente, somente os elementos até o amerício ( $Z = 95$ ) existem na natureza (exceto o Tc, Pm, At e Fr). Os elementos transurânicos são todos sintéticos.



Fonte: <[www.energiatomica.hpg.ig.com.br/sun.gif](http://www.energiatomica.hpg.ig.com.br/sun.gif)>

Numa usina nuclear, a reação nuclear gera energia, que é utilizada para vaporizar água. O vapor d'água movimentava uma turbina, gerando energia elétrica.

## Atividades

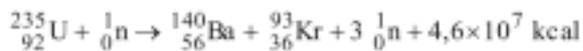
Compare a usina nuclear com uma termelétrica.

Qual a reação nuclear envolvida nesse processo? O combustível nuclear é o urânio-238 “enriquecido”, cujo núcleo, quando bombardeado com nêutrons, sofre uma clivagem em núcleos de menor número atômico, gerando também nêutrons e energia. Esse tipo de reação foi conhecida em 1938, com os estudos de Otto Hahn e Fritz Strassmann, cientistas alemães que trabalhavam em pesquisas sobre a radioatividade.

Nesse ano, Hahn e Strassmann isolaram um isótopo de bário ( $Z = 56$ ) ao bombardearem um átomo de urânio com nêutrons. Esta descoberta era inédita, e os pesquisadores não sabiam como explicá-la. O entendimento de tal transformação foi possível com os estudos de Lise Meitner, uma pesquisadora alemã, que concluiu que o átomo de urânio se clivava em dois outros átomos de menor número de prótons. Reações desse tipo são chamadas de *fissão nuclear*.

Os estudos mostraram que o isótopo U-235 sofre fissão mais eficientemente. Porém, mais de 99% do urânio encontrado na natureza é do isótopo U-238. Assim, foram desenvolvidas técnicas para separar o isótopo U-235 do U-238, processo esse chamado de *enriquecimento do urânio*.

O processo de fissão nuclear pode ser descrito pela equação:



Compare a energia liberada nessa transformação com a liberada na queima do álcool combustível ou da gasolina.

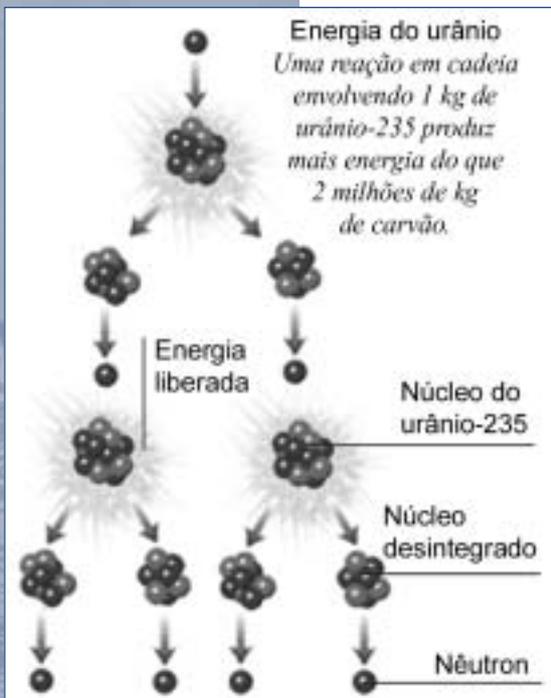
Urânio - ocorrência na natureza  
 $\text{UO}_2$  - pechblenda;  $\text{U}_3\text{O}_8$  - uranita;  $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  - mica de urânio;  
 $\text{K}_2(\text{UO}_2)(\text{VO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  - carnalita  
 O Brasil possui a sexta maior reserva de urânio do mundo, com cerca de 309000 t de  $\text{U}_3\text{O}_8$  nos Estados do Ceará (142000 t), da Bahia (93200 t), Paraná e Minas Gerais, entre outras ocorrências.

(Fonte: [www.ambientebrasil.com.br/.../energia/nuclear](http://www.ambientebrasil.com.br/.../energia/nuclear))



Os nêutrons gerados nessa reação de fissão podem interagir com outro núcleo de U-235, causando a fissão de outros núcleos e assim sucessivamente, liberando, dessa forma, quantidades de energia ainda maiores. É isto o que acontece em um reator atômico.

O processo de reação em cadeia que acontece na fissão pode ser representado conforme figura ao lado:



(Fonte: [www.profcupido.hpg.ig.com.br/atomo.htm](http://www.profcupido.hpg.ig.com.br/atomo.htm))

Esquema Snyder (Snyder, C H, *The Extraordinary Chemistry of Ordinary Things*, Wiley, 2ª ed., 1995, p.84).

Em um reator nuclear são utilizados materiais para controlar a reação em cadeia e a quantidade de energia liberada. Estes materiais são constituídos de boro, háfnio ou cádmio, substâncias que absorvem nêutrons.

No processo de fissão nuclear, são formados produtos residuais também radioativos, como céσιο-137, estrôncio-90, iodo-131, e plutônio-239. O plutônio, quando separado dos outros produtos formados, pode ser usado na fabricação de armas nucleares. Os resíduos radioativos são retirados do reator e armazenados em piscinas de resfriamento no interior da própria usina.

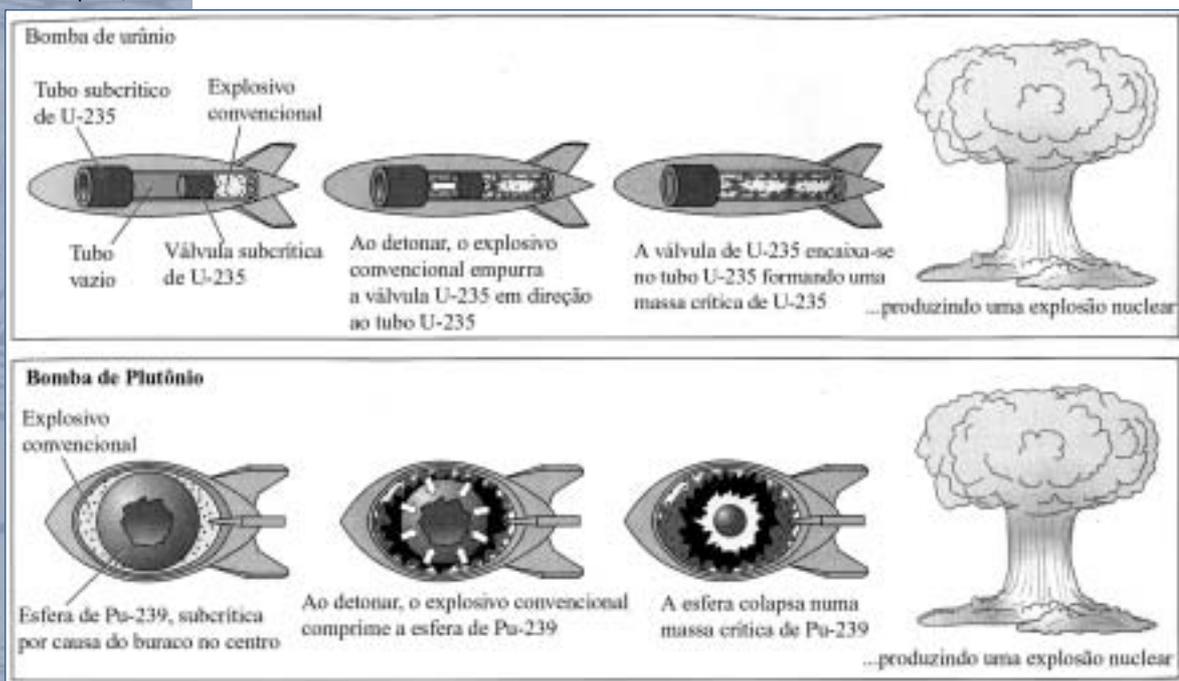
(Para saber mais sobre o lixo radioativo, consulte: [www.energiatomica.hpg.ig.com.br/cnen.html](http://www.energiatomica.hpg.ig.com.br/cnen.html))

Como nós bem sabemos, o conhecimento da fissão nuclear levou à construção da bomba atômica. São usados na construção de uma bomba o isótopo U-235 ou o Po-239.

Para que ocorra a reação em cadeia, é necessária uma certa quantidade de urânio-235 (aproximadamente 3,5 kg), pois caso contrário a reação não se sustenta. Em uma bomba atômica, utilizam-se dois tubos isolados contendo

massas de urânio que não são capazes de sustentar, separadamente, a reação em cadeia. Provoca-se a união dos tubos por uma reação de explosão de TNT, formando-se um bloco maior capaz de efetivar a reação em cadeia (conforme ilustração anterior). Com isso, ocorre a liberação de grande quantidade energia e de elementos radioativos, provocando uma tragédia sem precedentes.

O esquema a seguir ilustra o funcionamento da bomba de urânio:



Muitos cientistas estiveram envolvidos na produção de conhecimento que permitiu a construção da bomba atômica. Alguns deles foram responsáveis pelo Projeto Manhattan, como J. R. Oppenheimer, que levou à construção das bombas que os Estados Unidos fizeram explodir nas cidades de Hiroshima e Nagasaki, no Japão, já no final da Segunda Guerra Mundial, causando enorme destruição, doenças e mortes.

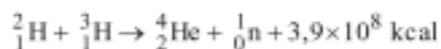
Para saber mais sobre a bomba atômica e o Projeto Manhattan, consulte, por exemplo, as seguintes páginas:

[www.energiatomica.hpg.ig.com.br/ad31.htm](http://www.energiatomica.hpg.ig.com.br/ad31.htm)

[www.if.ufrj.br/teaching/radioatividade/fnebomba.html](http://www.if.ufrj.br/teaching/radioatividade/fnebomba.html)

Outro processo nuclear que gera grande quantidade de energia é a fusão nuclear. Nas reações de fusão, dois núcleos interagem, formando um único núcleo, com maior número de prótons e emitindo energia. Essas reações, entretanto, necessitam de altas temperaturas para ocorrerem, da ordem de 10 a 100 milhões de graus Celsius.

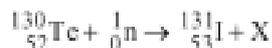
A energia produzida no sol é proveniente de reações de fusão nuclear. Podemos representar o processo pela equação:



Essa reação de fusão pode ser usada na construção de bombas atômicas, a chamada bomba de hidrogênio. A energia necessária para dar início à fusão é proveniente de uma reação de fissão nuclear. Nenhuma bomba de hidrogênio foi usada em conflitos, mas algumas foram detonadas para testes de pesquisa.

### Faça agora você

1. (PUCCAMP) O isótopo 131 do iodo ( $Z = 53$ ), utilizado no diagnóstico de moléstias da tireóide, pode ser obtido pelo bombardeamento do isótopo 130 do telúrio ( $Z = 52$ ), representado a seguir:



Nessa equação radioquímica, X corresponde a(o):

- a) próton –  ${}^1_1\text{p}$
- b) nêutron –  ${}^1_0\text{n}$
- c) pósitron –  ${}^0_{+1}\beta$
- d) partícula  $\alpha$  –  ${}^4_2\alpha$
- e) partícula  $\beta$  –  ${}^0_{-1}\beta$

2. (Vunesp) Quando um átomo do isótopo 228 do tório libera uma partícula alfa (núcleo do hélio com 2 prótons e número de massa 4), transforma-se em um átomo de rádio, de acordo com a equação:  ${}^{228}_x\text{Th} \rightarrow {}^y_{88}\text{Ra} + {}^4_2\alpha$

Os valores de x e y são, respectivamente:

- a) 88 e 228
- b) 89 e 226
- c) 90 e 224
- d) 91 e 227
- e) 92 e 250

## A Rosa de Hiroshima

VINÍCIUS DE MORAES

Pensem nas crianças  
Mudas telepáticas  
Pensem nas meninas  
Cegas inexatas  
Pensem nas mulheres  
Rotas alteradas  
Pensem nas feridas  
Como rosas cálidas  
Mas oh não se esqueçam  
Da rosa da rosa  
Da rosa de Hiroshima  
A rosa hereditária  
A rosa radioativa  
Estúpida e inválida  
A rosa com cirrose  
A anti-rosa atômica  
Sem cor sem perfume  
Sem rosa sem nada.

3. (Fuvest) Quando nêutrons atingem núcleos de átomos de nitrogênio com número de massa 14, há formação de átomos de carbono com o mesmo número de massa que o dos núcleos bombardeados. Qual é a equação nuclear completa dessa reação? (Z - C: 6, N: 7)

## RISCOS NO USO DA ENERGIA NUCLEAR

Atualmente, os processos mais usados para se obter energia elétrica no mundo são: usinas hidrelétricas (uso da força da água represada para mover turbinas); usinas termoeletricas (uso de combustíveis fósseis para produzir vapor que move turbinas) e usinas nucleares (uso semelhante ao das termoeletricas, mas que utilizam como combustível materiais radioativos liberando energia por fissão nuclear). Todos esses processos apresentam vantagens e desvantagens ao gerar energia elétrica. Geralmente, as desvantagens se relacionam a problemas ambientais como inundação de enormes áreas (hidrelétricas), produção de gases poluentes (termoeletricas) e armazenamento de “lixo atômico” (nucleares).

Ao utilizarmos energia nuclear, também há riscos de contaminação do ambiente por material radioativo, tanto devido a problemas no transporte e manipulação do combustível nuclear, quanto a acidentes em usinas nucleares. Ainda há os resíduos radioativos que se formam na fissão, cujo destino não está resolvido até hoje.

Um dos mais graves acidentes recentes de que se tem notícia foi o ocorrido na usina de Chernobyl (Ucrânia), onde o reator contendo o combustível nuclear (urânio enriquecido U-235) explodiu, liberando na atmosfera uma nuvem radioativa que afetou uma grande área e, devido aos ventos, pode ser detectada em vários pontos do nosso planeta. O que mais se teme nesse tipo de acidente não são apenas os efeitos imediatos que essa radiação pode provocar nos seres vivos, mas também o fato de que ela atua de forma invisível e durante muitos anos.

Por que a duração dos efeitos da radiação pode ser de muitos anos?

Os efeitos do lançamento de produtos radioativos da fissão nuclear na atmosfera duram muitos anos porque a transformação em material não radioativo pode ser muito demorada, e assim eles continuam a emitir radiação. Para se conhecer o tempo em que um material radioativo se desintegra, é comum se utilizar o tempo de “meia-vida” – tempo em que sua radiação cai à metade. Portanto, dependendo da quantidade de material lançado, a radiação emitida pode levar dezenas e até centenas de anos para se apresentar numa faixa que não provoque tantos danos. Esse tempo de meia-vida pode ser entendido também como o tempo necessário para desintegrar a metade dos átomos radioativos existentes em uma dada amostra. A tabela ao lado mostra o tempo de meia-vida de alguns isótopos radioativos.

Após o acidente de Chernobyl, foram detectados, por toda a Europa, muitos nuclídeos radioativos. Por exemplo, o estrôncio-90, que emite radiação  $\beta$ , foi detectado em baixa concentração. Esse nuclídeo tem características semelhantes às do cálcio, e por isso poderia se instalar nos ossos, causando muitos danos. Além deste, foram detectados iodo-131, cézio-134, cézio-137, telúrio-132, entre outros.

Isótopo	Meia-vida
${}_{92}^{238}\text{U}$	$4,5 \times 10^9$ anos
${}_{92}^{235}\text{U}$	$7,1 \times 10^8$ anos
${}_{55}^{137}\text{Cs}$	30 anos
${}_{55}^{134}\text{Cs}$	2,06 anos
${}_{27}^{60}\text{Co}$	5,26 anos
${}_{53}^{131}\text{I}$	8 anos
${}_{38}^{90}\text{Sr}$	28,1 anos
${}_{39}^{96}\text{Y}$	2,3 meses
${}_{36}^{92}\text{Kr}$	3,0 segundos
${}_{56}^{141}\text{Ba}$	18 meses
${}_{52}^{132}\text{Te}$	10,6 dias

O iodo-131, que emite radiação  $\gamma$  na sua desintegração, foi o elemento que causou a curto prazo maior preocupação aos europeus, não só por sua meia-vida, mas também pela quantidade depositada. Este elemento, ao ser ingerido ou inalado, afeta a tireóide, podendo provocar uma radioatividade nesse órgão 100 vezes maior do que em qualquer outro órgão. O problema foi minimizado com a distribuição e o consumo de tabletes contendo iodo não radioativo, para saturar a tireóide, evitando sua absorção.

Outros elementos preocupantes foram o cézio-137 e o cézio-134, que emitem radiação  $\gamma$  e, devido a sua vida mais longa e propriedades químicas semelhantes ao do potássio, poderiam se distribuir pelos músculos de todo o corpo.

O Brasil também teve um sério acidente nuclear envolvendo o cézio-137. Aconteceu em setembro de 1987, na cidade de Goiânia. Esse acidente se iniciou quando dois sucateiros encontraram uma cápsula de cézio (utilizada no tratamento de câncer) abandonada no antigo prédio do Instituto Goiano de Radioterapia e a levaram para ser vendida a um ferro-velho. No ferro-velho, as pessoas por curiosidade violaram a blindagem dessa cápsula e liberaram cerca de 19 g de cloreto de cézio em pó, iniciando então a contaminação. Essa contaminação afetou 249 pessoas, das quais 49 foram internadas. Destas, 21 tiveram tratamento médico intensivo, 10 ficaram em estado grave, uma teve o antebraço amputado e quatro morreram. Além disso, gerou-se no acidente cerca de 13 toneladas de lixo radioativo, que deverá ficar armazenado por pelo menos 300 anos, tempo necessário para o cézio-137 decair dez meias-vidas e sua atividade radioativa atingir um valor próximo ao da radiação de fundo.

## USOS DE RADIOISÓTOPOS

O ser humano vem usando os radioisótopos não só na produção de energia, mas também para outros fins, tanto em pesquisa básica como em aplicações tecnológicas. A seguir, temos alguns exemplos desse uso.

### Irradiação de alimentos

A irradiação é uma técnica utilizada para conservar alimentos, reduzindo as perdas devido a processos fisiológicos (brotamento, maturação e envelhecimento) e eliminando ou reduzindo microorganismos, parasitas e pragas, sem prejudicar o alimento. Essa irradiação é feita, atualmente, com equipamentos de cobalto-60 que emitem radiação  $\gamma$ ; ou seja, os alimentos são submetidos a essa radiação ionizante de forma controlada e por tempo limitado.

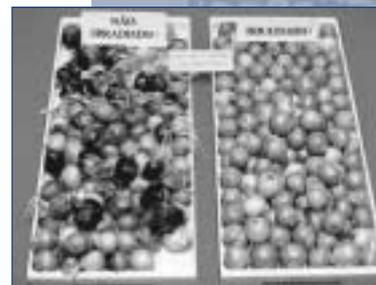
Esse processo pode ser aplicado no alimento já embalado ou a granel. Essa radiação pode impedir a multiplicação de microorganismos que podem causar a deterioração dos alimentos, como bactérias e fungos, por meio da alteração de sua estrutura molecular. Também pode inibir a maturação de frutas e legumes, através de alterações nos processos fisiológicos dos tecidos da planta. Geralmente, nesse processo há mínimas alterações químicas nos alimentos e nenhuma dessas alterações conhecidas são nocivas ou perigosas, tendo então a aprovação da Organização Mundial da Saúde (OMS). De acordo com o CENA (Centro de Energia Nuclear na Agricultura/USP – Campus Piracicaba) há inúmeras vantagens em irradiar alimentos sobre os métodos tradicionais de conservação de alimentos como apresentado a seguir.

“É um processo a frio que pode descontaminar alimentos congelados sem causar efeitos indesejáveis em suas propriedades organolépticas e físico-químicas.

Atividade é o número de desintegrações nucleares de seus átomos por unidade de tempo. Uma das unidades que medem a atividade denomina-se curie (Ci), homenagem a Madame Curie, descobridora do elemento rádio. Mas a unidade mais recente é o becquerel (Bq) que significa uma desintegração por segundo.

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

Radiação de fundo é a radiação proveniente de substâncias que contém elementos como urânio, tório, rádio, polônio, radônio que podem ser encontradas naturalmente em diferentes quantidades em rochas, nas praias, nas águas do mar e rios e até mesmo na atmosfera.



Cebolas irradiadas há seis meses (direita) e cebolas não irradiadas (esquerda)  
Fonte: <<http://www.cena.usp.br/irradiacao/irradiacaosalimentos.htm>>

- Como a radiação tem elevado poder de penetração, o processo pode ser usado para tratar uma grande variedade de alimentos, numa considerável faixa de tamanhos e formas, com pouca ou nenhuma manipulação ou processamento.
- Pode facilitar a distribuição e venda de frutas frescas, vegetais e carnes pelo aumento da vida útil desses produtos, sem alterar a sua qualidade.
- Pode substituir os tratamentos químicos que deixam resíduos nos alimentos.
- No caso de produtos avícolas, a irradiação oferece um método de custo efetivo para garantir ao consumidor proteção contra doenças transmitidas por alimentos, principalmente salmonelose e campilobacteriose.
- Não aumenta a temperatura do alimento (pasteurização a frio).
- Possibilidade de tratamento do alimento em embalagens que temem calor e água.
- Diminui o tempo de cozimento de certos alimentos, principalmente desidratados.
- Permite atingir organismos (ovos e larvas de insetos, vermes etc.) dentro dos alimentos.”

Fonte: <<http://www.cena.usp.br/irradiacao/efeitos.htm>>

## Datação

Para estimar a idade do nosso planeta, utiliza-se um método de comparação das quantidades de urânio e chumbo presentes em minérios de urânio, que se presume existirem desde a formação da Terra. Esse processo se baseia no fato de o chumbo (Pb-206) presente nesses minérios ser formado pelo decaimento do isótopo urânio-238 através de várias emissões radioativas. Portanto, por essa análise, a idade da Terra parece ser de aproximadamente  $2,8 \cdot 10^9$  anos.

Assim como a meia-vida do urânio é utilizada para determinar a idade da Terra, a idade de fósseis pode ser verificada pela determinação da quantidade de isótopo carbono-14.

Na natureza existem três isótopos do carbono, nas seguintes proporções:

${}^{12}_6\text{C}$  – cerca de 98,9% (não radioativo)

${}^{13}_6\text{C}$  – cerca de 1,1% (não radioativo)

${}^{14}_6\text{C}$  – cerca de 0,000001% ou 10 partes por bilhão (radioativo)

O carbono-14 é formado na alta atmosfera devido a choques de nêutrons provenientes dos raios cósmicos com o nitrogênio do ar. Ele se desintegra emitindo radiação  $\beta$ , devolvendo o nitrogênio-14. A formação e a desintegração do carbono ocorrem na atmosfera quase com a mesma velocidade, mantendo então uma porcentagem constante desse elemento na atmosfera.

Esse carbono-14 é incorporado pelas plantas, através do  $\text{CO}_2$  atmosférico, para a realização da fotossíntese e, através das cadeias alimentares, vão sendo incorporados por outros seres vivos. Com isso, a proporção desse elemento permanece constante na atmosfera e em todos os seres vivos. Quando uma planta ou animal morre, pára de incorporar o elemento carbono e, portanto, a quantidade de carbono-14 começa a diminuir, caindo à metade a cada 5730 anos (tempo de meia-vida do carbono-14). Por isso, para se determinar a idade de um fóssil, encontra-se o teor de carbono-14 nele presente e, a partir da

curva de decaimento, pode-se estimar quanto tempo se passou da morte desse ser vivo. Esse método é conhecido como datação pelo carbono-14.

Pesquise outros usos de radioisótopos (em medicina, em vazamentos de tubulações, esterilização de equipamentos médicos e dentários etc).

### Faça agora você

1. (UFBA) No acidente nuclear de Chernobyl ocorreu um vazamento para a atmosfera de vários radioisótopos, sendo que um dos nocivos ao ser humano e ao ambiente é o estrôncio-90 ( $^{90}_{38}\text{Sr}$ ). Sabendo que a meia-vida desse radioisótopo é de aproximadamente 28 anos, determine a porcentagem do mesmo que ainda estará presente na atmosfera daqui a 112 anos.

- 50%
- 25%
- 12,5%
- 6,25%
- 3,125%

2. (Puc/Campinas) Protestos de várias entidades ecológicas têm alertado sobre os danos ambientais causados pelas experiências nucleares francesas no Atol de Mururoa.

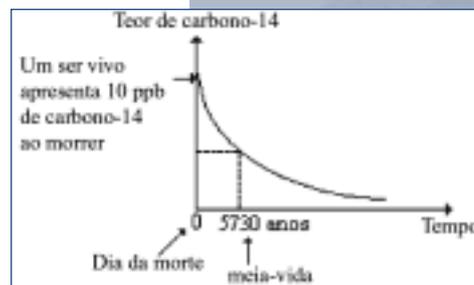
Isótopos radioativos prejudiciais aos seres vivos, como o  $^{90}\text{Sr}$ , formam o chamado “lixo nuclear” desses experimentos.

Quantos anos são necessários para que uma amostra de  $^{90}\text{Sr}$ , lançada ao ar, se reduza a 25% da massa inicial? (Dado: meia-vida do  $^{90}\text{Sr}$  = 28,5 anos)

- 28,5
- 57,0
- 85,5
- 99,7
- 114

## Lembre-se:

- Transformação química - aspectos quantitativos
- Transformação química - Energia Térmica
- Transformação química – reações endotérmicas e exotérmicas
- Transformação química – entalpia
- Transformação química – troca de elétrons
- Transformação química – pilhas
- Transformação química – eletrólise
- Energia nuclear – emissão de partículas  $\alpha$  e  $\beta$  e radiação  $\gamma$ .
- Energia nuclear – fissão e fusão nuclear
- Energia nuclear – tempo de decaimento de radioisótopos
- Energia nuclear – lixo radioativo
- Radioatividade – usos diversos de radioisótopos



## Se você quiser aprender mais:

- AMBROGI, Angélica et al. *Unidades Modulares de Química*. São Paulo: Hamburg/Cecisp, 1987.
- GEPEQ. *Interações e Transformações I: Química para o Ensino Médio*. São Paulo: EDUSP, 2003.
- GEPEQ. *Interações e Transformações III: A Química e a Sobrevivência: Atmosfera fonte de materiais*. São Paulo: EDUSP, 1998.
- MORTIMER, Eduardo Fleury et al. *Química para o ensino médio*. 1ª ed. São Paulo: Scipione, 2003.
- OKUNO, Emiko. *Radiação: Efeitos, Riscos e Benefícios*. São Paulo: Harbra, 1988.
- SALGADO, Tânia D. M. (coordenação). *Módulos para o Ensino de Radioatividade*. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (material didático acessível – em formato .pdf - pela internet no seguinte endereço <http://www.iq.ufrgs.br/aeq/> ).
- SILVA, Eduardo R.; NÓBREGA, Olímpio S. e SILVA, Ruth H. *Química: Transformações e energia*. São Paulo: Ática, 2001, v. 1, 2 e 3.

## Sobre as autoras

### **Isaura Maria Gonçalves Vidotti**

é licenciada em Química. É professora do ensino médio da rede estadual e membro do grupo de Pesquisa em Educação Química, do Instituto de Química da USP. É autora de livros didáticos de química para o ensino médio, trabalha com formação continuada de professores e é responsável por orientações técnicas na aplicação do Projeto de Ensino elaborado pelo grupo.

### **Luciane Hiromi Akahoshi**

é bacharel em Química. É pesquisadora colaboradora do Grupo de Pesquisa em Educação Química do IQ-USP. Desenvolve trabalhos de pesquisa e elaboração de atividades experimentais para o ensino de química, atua em cursos de extensão universitária na área de Química, na elaboração de material instrucional e no atendimento a professores e alunos no IQ-USP.

### **Maria Eunice Ribeiro Marcondes**

é bacharel e licenciada em Química e doutora em Ciências na área de Química. É professora e pesquisadora do IQ-USP, coordenando as atividades do Grupo de Pesquisa em Educação Química. Atua na formação inicial de professores de química e em projetos de formação continuada. É orientadora do Programa de Pós-Graduação Interunidades de Ensino de Ciências, oferecido pelo Instituto de Física, Instituto de Química e Faculdade de Educação da USP.

### **Yvone Mussa Esperidião**

é bacharel em Química Industrial e licenciada em Química; professora aposentada do Ensino Médio da rede estadual, professora do Ensino Superior, atual coordenadora da área de Ciências da UNIB e membra do grupo de Pesquisa em Educação Química, do IQ-USP. É autora de livros didáticos de química para o ensino médio e revisora de materiais instrucionais.

### **Silvia Maria Leite Agostinho**

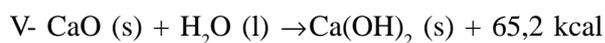
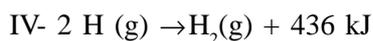
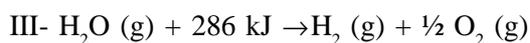
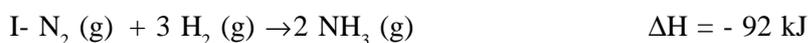
é engenheira química pela Escola Superior de Química da UFPE, mestra em Ciências dos Materiais pelo ITA e doutora em Ciências pelo IQ-USP, onde é professora e pesquisadora. Atua como professora na formação inicial de professores no curso de Licenciatura em Química e orientadora do Programa de Pós-graduação em Química.

## Unidade 5

# Exercícios

# complementares

1. Analise as equações escritas a seguir. Indique quais representam processos endotérmicos.



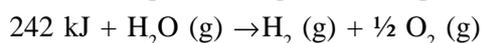
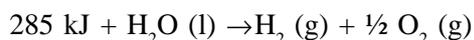
2. Considere as informações da tabela

Combustível	Poder calorífico (kJ/kg)	Densidade (kg/L)	Volatilidade	Disponibilidade	Preço (R\$)	Consumo
Álcool	27200	0,80	menos volátil	Obtido de cana de açúcar, recurso renovável	0,99/L	Menos econômico
Gasolina	40500	0,70	mais volátil	Obtido do petróleo, recurso não renovável	2,09/L	Mais econômico

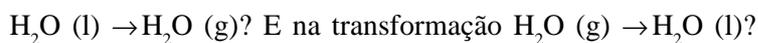
a) O tanque de um carro tem 60 L de capacidade. Quantos litros de álcool combustível devem ser queimados para produzir a mesma quantidade de energia que 60 L de gasolina?

b) Além do poder calorífico, outros aspectos devem ser levados em conta para avaliar a eficiência de um combustível: a disponibilidade, o preço por litro, a volatilidade e o consumo. Tendo isso em vista, qual dos combustíveis é o mais eficiente, álcool ou gasolina?

3. São dadas as equações:

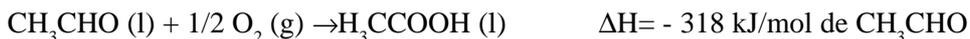
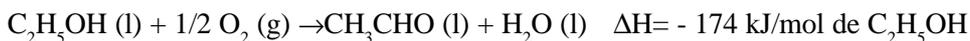


Qual a quantidade de energia envolvida na transformação



Classifique as transformações citadas em endo ou exotérmicas.

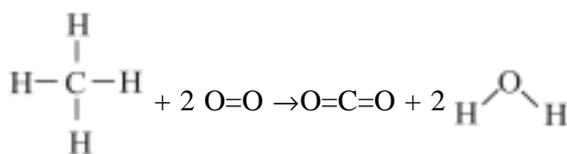
4. A bactéria *Acetobacter* obtém energia para seu crescimento transformando o etanol em acetaldeído e este em ácido acético.



Quanta energia é mobilizada na transformação



5. (UFMG) Metano, o principal componente do gás natural, é um importante combustível industrial. A equação balanceada de sua combustão é:



Considerem-se, ainda, as seguintes energias de ligação, em  $\text{kJ mol}^{-1}$ :

$$E_{(\text{C-H})} = 416; E_{(\text{C=O})} = 805; E_{(\text{O=O})} = 498; E_{(\text{O-H})} = 464$$

Utilizando-se os dados anteriores, pode-se estimar que a entalpia de combustão do metano, em  $\text{kJ mol}^{-1}$ , é:

- a) -2660      b) -806      c) -122      d) 122      e) 806

6. (Fuvest) Na corrosão do ferro ocorre a reação representada por:



Nessa reação, há redução do:

- a) Fe, somente.      b) O, somente.  
c) H, somente.      d) Fe e do O.      e) O e do H.

7. (Fuvest) A ação oxidante da atmosfera faz surgir  $\text{Fe}^{3+}$  em soluções onde se deseja ter apenas cátions  $\text{Fe}^{2+}$ . Um modo conveniente de manter soluções de  $\text{Fe}^{2+}$  livres dessa contaminação consiste em adicionar às mesmas:

- a)  $\text{Ag}^+$       b)  $\text{Zn}^{2+}$       c) Ag      d) Zn      e) Fe  
(dados: consultar tabela 2 deste módulo, páginas 27 e 28)

8. (Unicamp - SP) O desenho abaixo representa o corte de uma pilha de manganês.

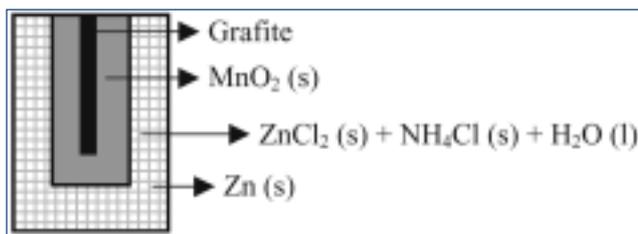
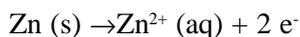
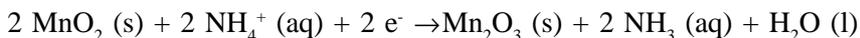


Figura 1: Pilha de manganês

As reações que ocorrem durante o funcionamento da pilha são:



a) Qual é o oxidante nessa reação?

b) Cite uma substância cuja quantidade diminui e uma cuja quantidade aumenta quando a pilha está funcionando.

9. (Vunesp) O íon magnésio está presente na água do mar em quantidade apreciável, o íon  $Mg^{2+}$  é precipitado da água do mar como hidróxido, que é convertido a cloreto por tratamento com ácido clorídrico. Após evaporação da água, o cloreto de magnésio é fundido e submetido à eletrólise.

a) Escreva as equações de todas as reações que ocorrem.

b) Quais os produtos da eletrólise e seus estados físicos?

10. Deseja-se distinguir, experimentalmente, o estanho do zinco. Para tal, foram feitos três experimentos:

I. Determinou-se a densidade de um dos metais, a  $20^{\circ}C$ , com margem de erro de 3%, e achou-se o valor  $7,2 \text{ g/cm}^3$

II. Colocou-se, separadamente, cada um dos metais em uma solução aquosa de ácido clorídrico, de concentração  $1 \text{ mol/L}$ .

III. Colocou-se, separadamente, cada um dos metais em uma solução aquosa de sulfato ferroso, de concentração  $1 \text{ mol/L}$ .

Para cada um dos experimentos, com base nos dados fornecidos, explique se foi possível ou não distinguir um metal do outro.

Dados:

Metal (Me)	Densidade a $20^{\circ}C$ ( $\text{g/cm}^3$ )	$E^{\circ}_{\text{red}}(\text{Me}^{2+}/\text{Me})$ (V)
Sn	7,29	-0,14
Zn	7,14	-0,76
Fe	-	-0,44

11. (Fuvest) O minério caliche, cujo principal componente é o salitre do Chile, contém cerca de 0,1%, em massa, de iodato de sódio ( $\text{NaIO}_3$ ). A substância simples  $I_2$  pode ser obtida em um processo que envolve a redução desse iodato com hidrogenossulfito de sódio ( $\text{NaHSO}_3$ ), em meio aquoso. Nessa redução também são produzidos íons sulfato, íons  $H^+$  e água.

a) Escreva a equação iônica balanceada que representa a formação de iodo nessa solução aquosa, indicando o oxidante e o redutor.

b) Calcule a massa de caliche necessária para preparar 10,0 kg de iodo, pelo método acima descrito, considerando que todo o iodato é transformado em iodo.

Dados: massas molares ( $\text{g/mol}$ )

$\text{NaIO}_3$  - 198

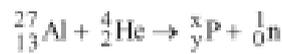
$I_2$  - 254

12. (Fuvest) Quais as semelhanças e diferenças entre os isótopos de céscio  $^{133}_{55}\text{Cs}$  (estável) e  $^{137}_{55}\text{Cs}$  (radioativo), com relação ao número de prótons, nêutrons e elétrons?

13. (UEPA) O ferro-59 é um isótopo radioativo, utilizado em diagnósticos de anemia. A equação nuclear para o decaimento do  $^{59}\text{Fe}$  como um emissor beta, é:

- a)  $^{59}_{26}\text{Fe} \rightarrow ^{55}_{24}\text{Cr} + ^0_{-1}\text{e}$   
 b)  $^{59}_{26}\text{Fe} \rightarrow ^{59}_{25}\text{Mn} + ^0_{-1}\text{e}$   
 c)  $^{59}_{26}\text{Fe} \rightarrow ^{60}_{25}\text{Mn} + ^0_{-1}\text{e}$   
 d)  $^{59}_{26}\text{Fe} \rightarrow ^{60}_{27}\text{Co} + ^0_{-1}\text{e}$   
 e)  $^{59}_{26}\text{Fe} \rightarrow ^{59}_{27}\text{Co} + ^0_{-1}\text{e}$

14. (Vunesp) O alumínio pode ser transformado em fósforo pelo bombardeamento com núcleos de hélio, de acordo com a equação:



- a) Determine os valores de x e y.  
 b) Explique o que representam x e y no átomo de fósforo.

15. (Mackenzie – adaptado) No dia 6 de agosto de 1995, o mundo relembrou o cinquentenário do trágico dia em que Hiroshima foi bombardeada, reverenciando seus mortos. Uma das possíveis reações em cadeia da fissão nuclear do urânio-235 usado na bomba é  $^{235}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{139}_{56}\text{Ba} + ^{94}_{36}\text{Kr} + \text{X} + \text{Energia}$ , em que X corresponde a:

- a)  $^4_2\alpha$     b)  $^3_1\text{H}$     c)  $3\ ^1_0\text{n}$     d)  $^2_1\text{D}$     e)  $2\ ^1_0\text{n}$

16. (Fuvest) Na reação de fusão nuclear representada por  $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow \text{E} + \text{n}$  ocorre a liberação de um nêutron (n). A espécie E deve ter:

- a) 2 prótons e 2 nêutrons  
 b) 2 prótons e 3 nêutrons  
 c) 2 prótons e 5 nêutrons  
 d) 2 prótons e 3 elétrons  
 e) 4 prótons e 3 elétrons

17. (Vunesp) O acidente do reator nuclear de Chernobyl, em 1986, lançou para a atmosfera grande quantidade de  $^{90}_{38}\text{Sr}$  radioativo, cuja meia-vida é de 28 anos. Supondo ser este isótopo a única contaminação radioativa e sabendo que o local poderá ser considerado seguro quando a quantidade de  $^{90}_{38}\text{Sr}$  se reduzir, por desintegração, a 1/16 da quantidade inicialmente presente, o local poderá ser habitado novamente a partir do ano de

- a) 2014  
 b) 2098  
 c) 2266  
 d) 2986  
 e) 3000