



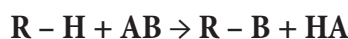
Fórmula da
Química

MÓDULO 23

REAÇÕES DE SUBSTITUIÇÃO

REAÇÕES DE SUBSTITUIÇÃO

São reações químicas orgânicas que consistem na substituição de um átomo ou grupo de átomos por outro átomo (ou grupo de átomos).



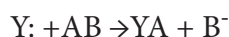
Veremos que é possível produzir importantes substâncias orgânicas, como fármacos, insumos para a indústria química, alimentos, solventes, sabões, detergentes, dentre outros.

As reações de substituição envolvem compostos de diferentes funções orgânicas como:

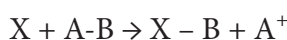
- Hidrocarbonetos como alcanos e aromáticos.
- Haletos de alquila.
- Álcoois.
- Ácidos carboxílicos.

Os tipos mais comuns de mecanismos das reações de substituição são:

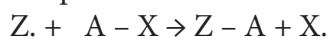
- **nucleofílico:** o reagente é um nucleófilo (Y:), uma espécie química que possui um par de elétrons de valência disponível, através do qual se liga ao grupo orgânico, deficiente em elétrons, proveniente da molécula orgânica. O nucleófilo é uma base de Lewis.



- **eletrofílico:** o reagente é um eletrófilo (Y), uma espécie deficiente em elétrons, que ataca a molécula orgânica, substituindo um átomo ou grupo de átomos. O eletrófilo é um ácido de Lewis.



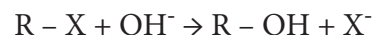
- **via radical livre:** as ligações dos reagentes sofrem cisão homolítica e são formadas espécies químicas denominadas radicais livres que possuem elétrons desemparelhados e elevada reatividade.



SÍNTESE DE ÁLCOOIS

Os álcoois podem ser sintetizados a partir das reações de substituição nucleofílica entre haletos de alquila e íons hidróxido (OH⁻), provenientes de uma base forte como hidróxido de sódio (NaOH) ou hidróxido de potássio (KOH).

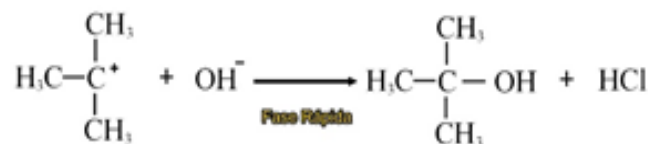
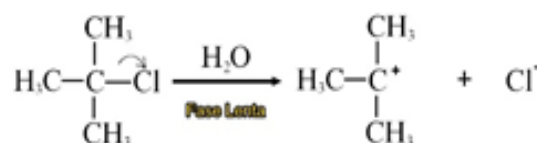
Observe a equação genérica:



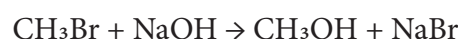
Haletos de alquila + íon hidróxido → álcool + ânion do halogênio

Como acontece a reação?

Observe a reação entre o cloreto de t-butila e solução aquosa de hidróxido de sódio, representada abaixo. Inicialmente, na primeira etapa, o haletos de alquila, na presença de água, forma o carbocátion e libera íons cloreto. A seguir, o carbocátion reage com o íon hidróxido produzindo o álcool t-butílico.

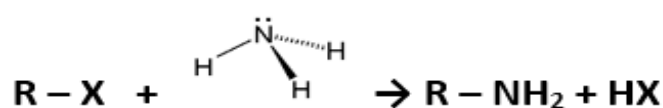


Considere agora outro exemplo: a reação de substituição entre brometo de metila e hidróxido de sódio. Observe que ocorre substituição do halogênio do brometo de metila por um grupo hidróxido com formação do metanol e brometo de sódio:



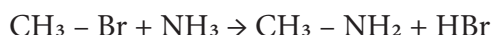
SÍNTESE DE AMINAS

As aminas podem ser produzidas em reações de substituição nucleofílica que envolvem haletos de alquila com amônia ou com aminas. O haletos de alquila libera o ânion do halogênio, formando um carbocátion que se liga ao par de elétrons não ligantes dos átomos de nitrogênio das moléculas de amônia ou de amina.



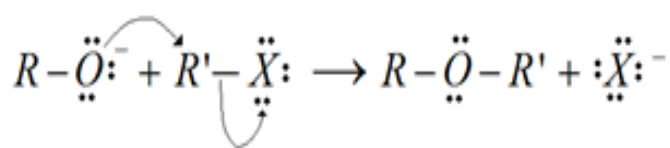
Haletos de alquila + amônia → amina + haletos de hidrogênio

Por exemplo, quando brometo de metila reage com amônia, ocorre a produção de metilamina e brometo de hidrogênio, como mostra a equação a seguir:



SÍNTESE DE ÉTERES

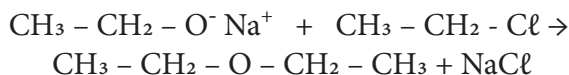
A reação de substituição que ocorre entre um haleto de alquila e um alcóxido ($\text{R} - \text{O}^-$), proveniente da reação de um álcool com metal alcalino, produz um éter, como mostra a equação da reação genérica:



Haleto de alquila reage com o íon alcóxido → Éter + ânion do halogênio

A reação descrita é conhecida como Síntese de Williamson.

Veja um exemplo: a reação do etóxido de sódio com cloroetano que forma etoxietano (ou éter dietílico) e cloreto de sódio:

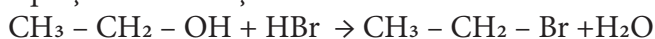


SÍNTESE DE HALETOS DE ALQUILA

Haletos de alquila podem ser produzidos a partir de reações de substituição nucleofílica de álcoois com haletos de hidrogênio. Na reação, água também é produzida, como representa a equação química abaixo:



Considere um exemplo: o etanol reage com brometo de hidrogênio, em uma reação de substituição, com formação de bromoetano e água. Veja a equação dessa reação:



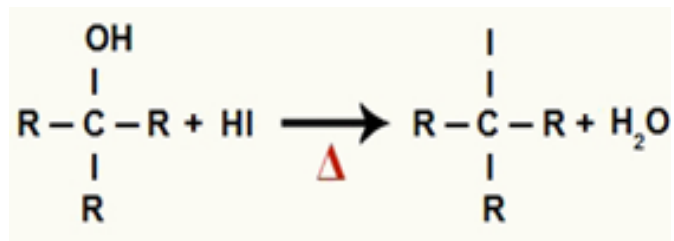
A ordem de reatividade dos álcoois obedece à seguinte ordem crescente:

Álcoois primários < álcoois secundários < álcoois terciários

Já a ordem crescente de reatividade dos haletos de hidrogênio é:



Observe uma reação muito espontânea entre um álcool terciário e iodeto de hidrogênio como mostra a equação química a seguir:



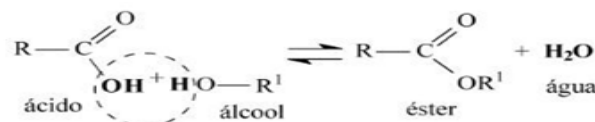
SUBSTITUIÇÃO EM ÁCIDOS CARBOXÍLICOS E SEUS DERIVADOS

REAÇÃO DE ESTERIFICAÇÃO DE FISCHER

Ácidos carboxílicos podem reagir com álcoois na presença de um ácido como catalisador para formarem ésteres e água em reações de substituição nucleofílica. O grupo carbonila, $\text{C} = \text{O}$, presente nas moléculas dos ácidos carboxílicos, possibilita o ataque do nucleófilo porque seu carbono possui uma carga parcial positiva.

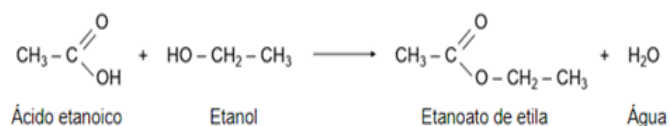


Para maior rendimento da reação, os reagentes devem ser anidros, isto é, isentos de água. Observe a equação genérica abaixo que representa a reação de esterificação entre um ácido carboxílico e um álcool:

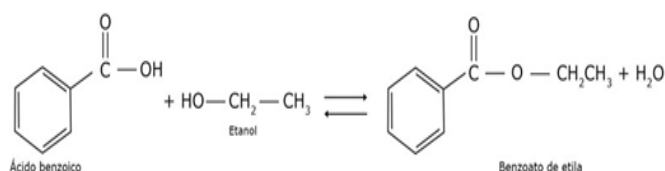


As reações de esterificação são pouco espontâneas e tendem ao estado de equilíbrio químico como mostra a equação acima.

Uma reação de esterificação importante é aquela que ocorre entre ácido etanoico e etanol com formação de um éster muito usado como solvente, o etanoato de etila.

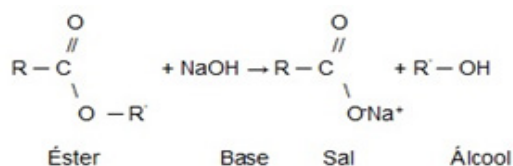


Veja outro exemplo: a reação de esterificação envolvendo ácido benzoico e etanol com formação do éster benzoato de etila e água, como mostra a equação abaixo:

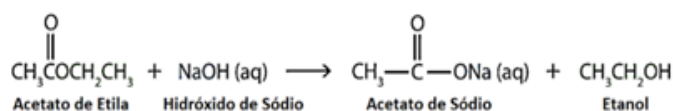


REAÇÕES DE HIDRÓLISE BÁSICA DE ÉSTERES

Os ésteres podem sofrer reações de substituição nucleofílica ao reagirem com bases fortes como hidróxido de sódio ou hidróxido de potássio, formando um sal de ácido carboxílico e um álcool, como mostra a equação química a seguir:



Quando o éster acetato de etila (etanoato de etila) reage com solução de hidróxido de sódio, é formado o sal acetato de sódio e etanol.

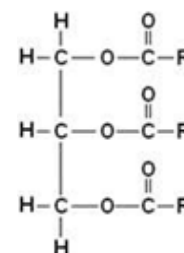


REAÇÃO DE SAPONIFICAÇÃO

A reação de saponificação é uma hidrólise básica de um triglicerídeo com formação do glicerol e de uma mistura de sais de ácidos graxos que é o sabão.

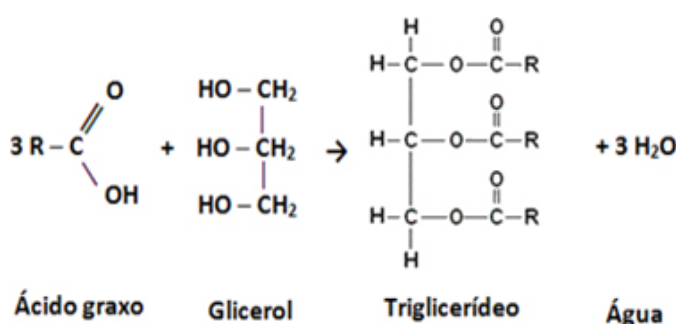
Triglicerídeo + hidróxido de sódio → glicerol + sais de ácidos carboxílicos (sabão).

O triglicerídeo é um lipídeo presente em óleos e gorduras, animais e vegetais, que possuem a seguinte estrutura molecular:

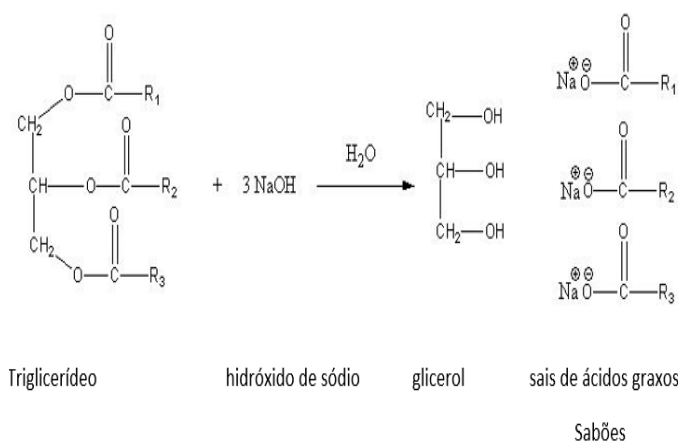


Os grupos R são cadeias carbônicas longas. Se saturados, o triglicerídeo pertence a uma gordura. Se insaturado, o triglicerídeo é proveniente de um óleo.

O triglicerídeo é formado a partir da reação do glicerol ou glicerina com ácidos graxos (ácidos carboxílicos de cadeias carbônicas longas), como mostra a equação abaixo:



Quando o triglicerídeo sofre hidrólise básica ao reagir com uma base forte, como hidróxido de sódio ou hidróxido de potássio, o glicerol é formado juntamente com uma mistura de sais de ácidos graxos (sabão). Veja a equação abaixo que representa a reação de saponificação:

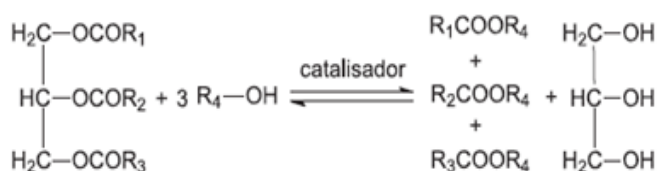


Os sabões formados a partir da reação com o hidróxido de sódio são sólidos. Caso utilize o hidróxido de potássio, o sabão formado é líquido.

REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO (PRODUÇÃO DO BIODIESEL)

O biodiesel é uma mistura de ésteres simples, de origem vegetal, adicionada ao óleo diesel, combustível de veículos para transporte de cargas pesadas. A matéria-prima mais utilizada é o óleo de soja vegetal, mas pode ser produzido a partir de diversas espécies oleaginosas.

Nas reações de transesterificação, o triglicerídeo reage com um álcool simples, como metanol e etanol, formando a glicerina, subproduto do processo que é retirado, e uma mistura de ésteres simples derivados do triglicerídeo utilizado, como mostra a equação abaixo:

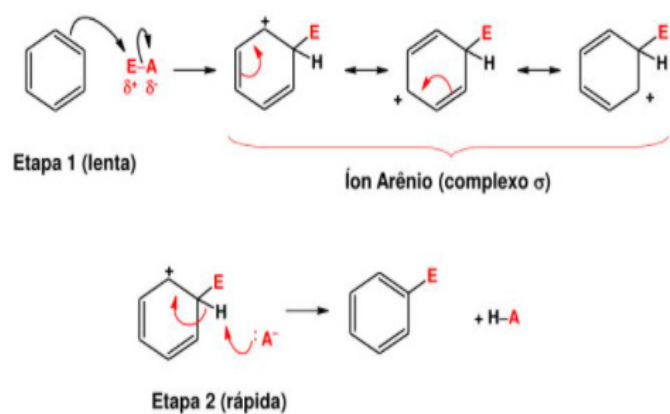


Óleo Vegetal
ou
Gordura Animal

Biodiesel Glicerina

REAÇÕES DE SUBSTITUIÇÃO NOS HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS

Os compostos aromáticos possuem alta densidade eletrônica e possuem afinidade por espécies químicas eletrofílicas. O mecanismo geral da substituição eletrofílica que ocorre em hidrocarbonetos aromáticos é apresentado na equação abaixo:



Os casos mais comuns de substituição eletrofílica em compostos aromáticos são:

- Halogenação.
- Nitração.

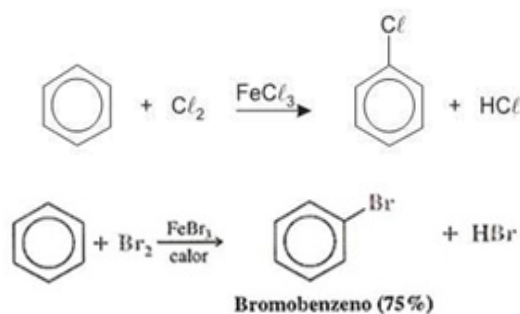
- Sulfonação.
- Alquilação de Friedel-Crafts.
- Acilação de Friedel-Crafts.

Veremos, inicialmente as reações de substituição eletrofílica que ocorre com o benzeno.

REAÇÕES DE SUBSTITUIÇÃO ELETROFÍLICA NO BENZENO

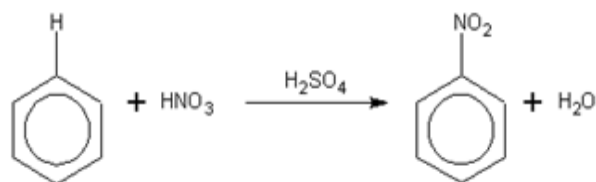
HALOGENAÇÃO DO BENZENO

Na halogenação do benzeno, um átomo do hidrogênio do hidrocarboneto aromático é substituído por um átomo de um halogênio, proveniente de Cl_2 , Br_2 e I_2 , na presença de um catalisador específico como cloreto férrico (FeCl_3), brometo férrico (FeBr_3) e iodeto férrico (FeI_3). As equações abaixo representam a cloração e a bromação do benzeno. Observe:



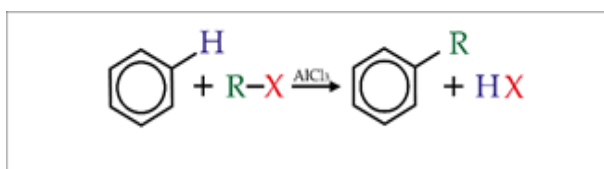
NITRAÇÃO DO BENZENO

O benzeno pode reagir com ácido nítrico na presença de ácido sulfúrico como catalisador. O produto formado é um nitrocomposto, matéria-prima para a indústria de explosivos. Observe a formação do nitrobenzeno a partir da nitração do benzeno. Na reação, um átomo de hidrogênio do benzeno é substituído por um grupo nitro ($-\text{NO}_2$), proveniente do ácido nítrico.

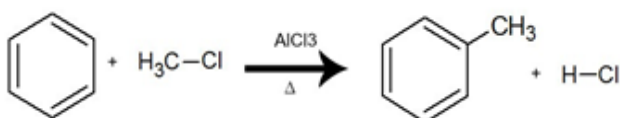


ALQUILAÇÃO DE FRIEDEL-CRAFTS DO BENZENO

A reação de substituição eletrofílica do benzeno com um haleto de alquila, na presença do cloreto de alumínio como catalisador, promove a formação de um composto derivado do benzeno em que um átomo de hidrogênio é substituído por um grupo alquila:

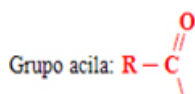


A equação abaixo representa a reação do benzeno com cloreto de metila com formação do tolueno:



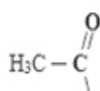
ACILAÇÃO DE FRIEDEL-CRAFTS DO BENZENO

A reação do benzeno com um haleto de acila, na presença de cloreto de alumínio ($AlCl_3$) como catalisador, possibilita a formação de um alquilbenzeno e o haleto de hidrogênio. Na reação, um átomo de hidrogênio ligado ao benzeno é substituído por um grupo acila:

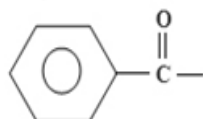


Exemplos:

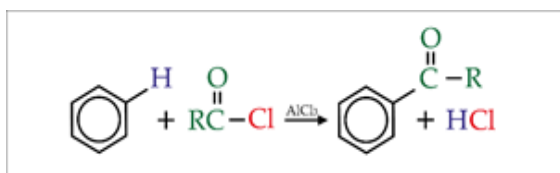
Grupo acetila ou etanoila



Grupo benzoila



Observe a representação genérica da reação de acilação do benzeno:



Veja o exemplo abaixo de uma reação de acilação em que o benzeno reage com cloreto de etanoila. Note que o átomo de hidrogênio do benzeno é substituído pelo grupo etanoila:



REAÇÕES DE SUBSTITUIÇÃO EM DERIVADOS DO BENZENO

No caso de compostos aromáticos em que um átomo ou grupo de átomos está ligado ao carbono, ocorrerá influência desse substituinte na orientação de qual átomo de hidrogênio é substituído. Para tal, considere a seguinte regra:

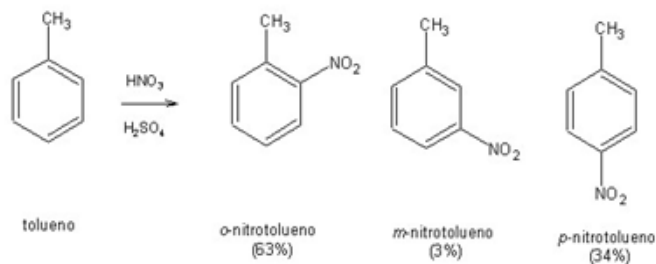
- se o grupo ligado ao benzeno for saturado, a substituição ocorrerá nas posições orto e para do anel aromático, preferencialmente. Podemos dizer que o grupo é orto-para dirigente, como:

- CH_3 ; - CH_2CH_3 ; - $CH_2CH_2CH_3$; - OH ; - NH_2 ;
- NHR ; - OCH_3 .

- se o grupo ligado ao benzeno for insaturado, a substituição ocorrerá, preferencialmente, na posição meta do anel aromático. O grupo é meta-dirigente. Veja alguns exemplos:

- NO_2 ; - CN ; - HSO_3 ; - CHO ; - $COOH$.

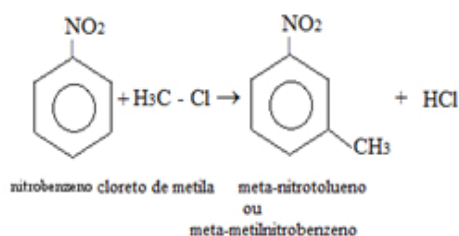
Veja o exemplo abaixo em que o tolueno sofre reação de nitração na presença de ácido sulfúrico. Como o grupo metil ligado ao benzeno é saturado, a substituição ocorrerá, preferencialmente nas posições orto e para:



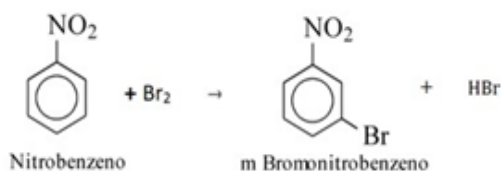
Observe agora a reação do fenol com bromo na presença de brometo de alumínio, como catalisador. Como a hidroxila é um grupo saturado, orienta a substituição do átomo de hidrogênio nas posições orto e para, predominantemente, como mostra a equação abaixo:



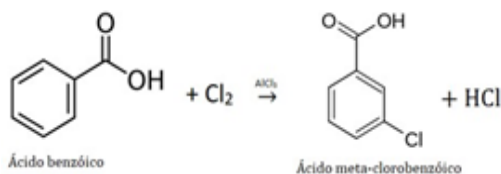
Agora observe a reação do nitrobenzeno com o cloreto de metila. Como o grupo nitro é insaturado, orientará a substituição, preferencialmente, na posição meta:



Observe na equação abaixo que o nitrobenzeno reage com bromo e o grupo nitro orienta a substituição do átomo de hidrogênio da posição meta pelo átomo de bromo, formando os produtos 3-bromo-1-nitrobenzeno e brometo de hidrogênio:



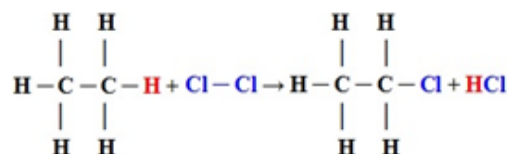
Veja a reação de ácido acético com cloro na presença de cloreto de alumínio como catalisador. A carboxila é um grupo insaturado que atua como meta dirigente, orientando a substituição do átomo de hidrogênio da posição meta pelo átomo de cloro. Formam-se os produtos ácido m-clorobenzoico e cloreto de hidrogênio.



HALOGENAÇÃO DOS ALCANOS

Os alcanos são substâncias orgânicas muito estáveis e reagem com poucas substâncias. No entanto, podem sofrer reação de halogenação na presença de luz ultravioleta ou de aquecimento. A substituição de um átomo de hidrogênio da molécula orgânica por um átomo de halogênio ocorre mediante a formação de radicais livres.

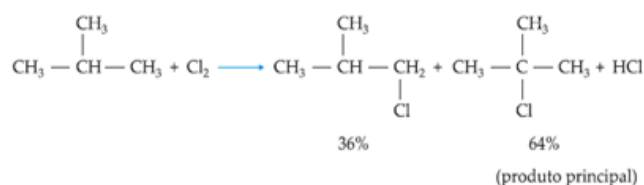
Por exemplo, o etano reage com cloro, na presença de luz ultravioleta, ocorrendo substituição de um átomo de hidrogênio por um átomo de cloro.



A ordem de preferência para a substituição de átomos de hidrogênio é a seguinte:

Hidrogênio ligado ao carbono terciário é mais facilmente substituído que hidrogênio ligado a carbono secundário que é, por sua vez, mais facilmente substituído que o átomo de hidrogênio ligado ao carbono primário.

Veja o exemplo da cloração do isobutano na presença de luz ultravioleta. A molécula do alcano possui átomos de hidrogênio ligados aos carbonos primários e ao carbono terciário. Observe na equação a seguir que o produto formado pela substituição do átomo de hidrogênio ligado ao carbono terciário é mais favorecida:



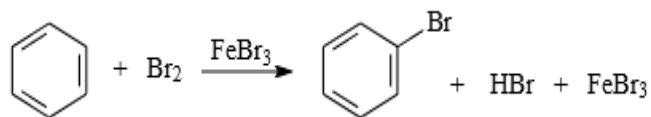


QUESTÕES DE REVISÃO



1. (UPF - 2018)

Observe a representação da reação de halogenação do benzeno e marque a opção que indica o tipo de reação que o benzeno sofreu.



- A) Adição.
- B) Substituição.
- C) Eliminação.
- D) Rearranjo.
- E) Isomeria.

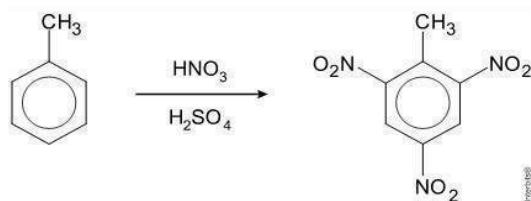
2. (PUC-RJ - 2015)

As reações de cloração (halogenação) dos alcanos ocorrem na presença de gás cloro (Cl_2), sob condições ideais, e geralmente dão origem a diversos produtos contendo átomos de cloro. Por exemplo, no caso da cloração do metilbutano (C_5H_{12}), é possível obter quatro produtos diferentes. Esse tipo de reação é classificada como

- A) substituição.
- B) adição.
- C) acilação.
- D) combustão.
- E) saponificação.

3. (ENEM - LIBRAS - 2017)

O trinitrotolueno (TNT) é um poderoso explosivo obtido a partir da reação de nitração do tolueno, como esquematizado.

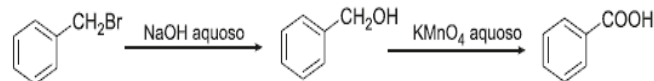


A síntese do TNT é um exemplo de reação de:

- A) Neutralização.
- B) Desidratação.
- C) Substituição.
- D) Eliminação.
- E) Oxidação.

4. (UFRGS - 2012)

Assinale a alternativa que completa corretamente as lacunas do enunciado abaixo, na ordem em que aparecem. O brometo de benzila pode ser transformado em álcool benzílico, que, por sua vez, pode conduzir ao ácido benzoico, conforme a sequência de reações mostrada abaixo.

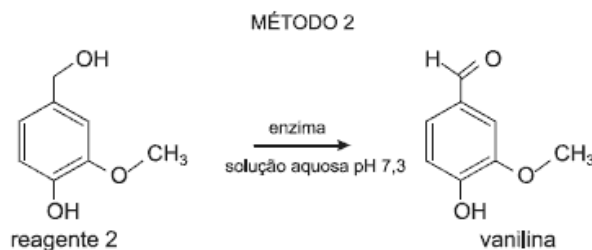
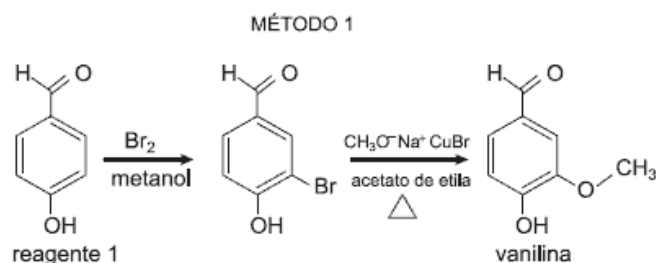


Corn base nesses dados, é correto afirmar que a primeira etapa é uma reação de e, a segunda, uma reação de

- A) substituição - oxidação
- B) substituição - adição
- C) eliminação - oxidação
- D) eliminação - substituição
- E) eliminação - adição

5. (UNESP - 2013)

Considere as informações para responder à questão a seguir. Um estudante precisa de uma pequena quantidade de vanilina e decidiu pesquisar métodos sintéticos de produção da substância em laboratório, e obteve informações sobre dois métodos:



As duas reações indicadas no método 1 e a reação indicada no método 2 são classificadas, respectivamente, como reações de

- A) substituição, substituição e oxidação.
- B) redução, redução e oxidação.
- C) adição, adição e eliminação.
- D) adição, adição e redução.
- E) substituição, substituição e substituição.



QUESTÕES DE REVISÃO



6. (FUVEST - 2018)

Uma determinada quantidade de metano (CH_4) é colocada para reagir com cloro (Cl_2) em excesso, a 400°C , gerando HCl (g) e os compostos organoclorados H_3CCl , H_2CCl_2 , HCCl_3 , CCl_4 , cujas propriedades são mostradas na tabela. A mistura obtida ao final das reações químicas é então resfriada a 25°C , e o líquido, formado por uma única fase e sem HCl , é coletado.

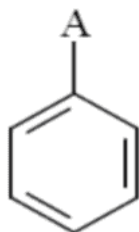
Composto	Ponto de fusão ($^\circ\text{C}$)	Ponto de ebulição ($^\circ\text{C}$)	Solubilidade em água a 25°C (g/L)	Densidade do líquido a 25°C (g/mL)
H_3CCl	-97,4	-23,8	5,3	-
H_2CCl_2	-96,7	39,6	17,5	1,327
HCCl_3	-63,5	61,2	8,1	1,489
CCl_4	-22,9	76,7	0,8	1,587

A melhor técnica de separação dos organoclorados presentes na fase líquida e o primeiro composto a ser separado por essa técnica são:

- A) decantação; H_3CCl
- B) destilação fracionada; CCl_4
- C) cristalização; HCCl_3
- D) destilação fracionada; H_2CCl_2
- E) decantação; CCl_4

7. (MACKENZIE-SP)

Na reação de substituição eletrofílica da substância de fórmula genérica esquematizada a seguir,



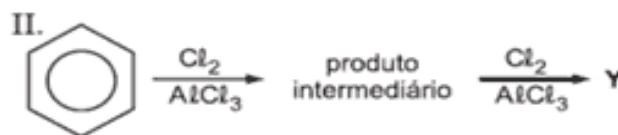
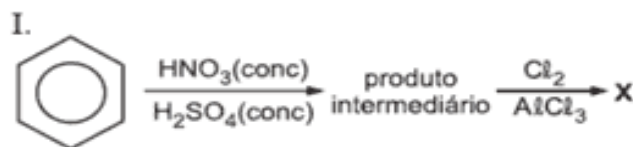
se A for radical $-\text{SO}_3\text{H}$, $-\text{NO}_2$, ou $-\text{OH}$, a reação ocorrerá respectivamente nas posições:

- A) orto e para; meta; meta
- B) meta; orto e para; meta.
- C) orto e para; orto e para; meta.
- D) meta; meta; orto e para.
- E) meta; orto e para; orto e para

8. (PUC-SP)

Grupos ligados ao anel benzênico interferem na sua reatividade. Alguns grupos tornam as posições orto e para mais reativas para reações de substituição e são chamados orto e para dirigentes, enquanto outros grupos tornam a posição meta mais reativa, sendo chamados de meta dirigentes.

- Grupos orto e para dirigentes: $-\text{Cl}$, $-\text{Br}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{OH}$, $-\text{CH}_3$
 - Grupos meta dirigentes: $-\text{NO}_2$, $-\text{COOH}$, $-\text{SO}_3\text{H}$
- As rotas sintéticas I, II e III foram realizadas com o objetivo de sintetizar as substâncias X, Y e Z, respectivamente.



Após o isolamento adequado do meio reacional e de produtos secundários, os benzenos dissubstituídos X, Y e Z obtidos são, respectivamente,

- A) orto-cloronitrobenzeno, meta-diclorobenzeno e para-nitrotolueno.
- B) meta-cloronitrobenzeno, orto-diclorobenzeno e para-nitrotolueno.
- C) meta-cloronitrobenzeno, meta-diclorobenzeno e meta-nitrotolueno.
- D) para-cloronitrobenzeno, para-diclorobenzeno e orto-nitrotolueno.
- E) orto-cloronitrobenzeno, orto-diclorobenzeno e para-cloronitrobenzeno.

9. (UERN - 2015)

A reação de substituição entre o gás cloro e o propano, em presença de luz ultravioleta, resulta como produto principal, o composto:

- A) 1-cloropropeno.
- B) 2-cloropropano.
- C) 1-cloropropano.
- D) 2-cloropropeno.

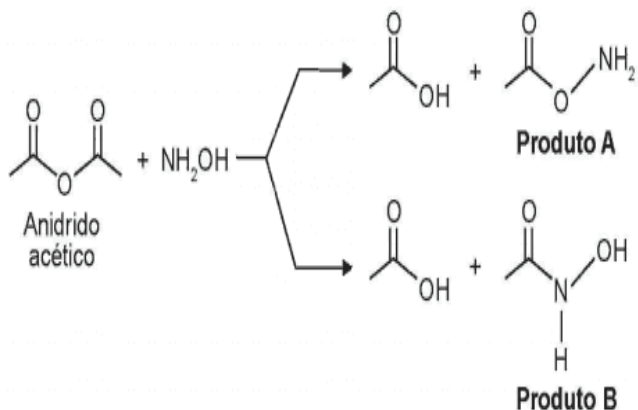


QUESTÕES DE REVISÃO

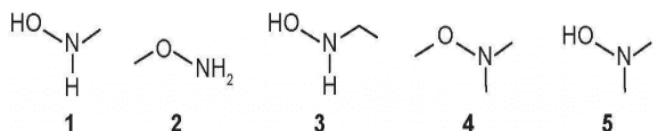


10. (ENEM - 2018)

A hidroxilamina (NH_2OH) é extremamente reativa em reações de substituição nucleofílica, justificando sua utilização em diversos processos. A reação de substituição nucleofílica entre o anidrido acético e a hidroxilamina está representada.



O produto A é favorecido em relação ao B, por um fator de 10^5 . Em um estudo de possível substituição do uso de hidroxilamina, foram testadas as moléculas numeradas de 1 a 5.



Dentre as moléculas testadas, qual delas apresentou menor reatividade?

- A) 1
- B) 2
- C) 3
- D) 4
- E) 5

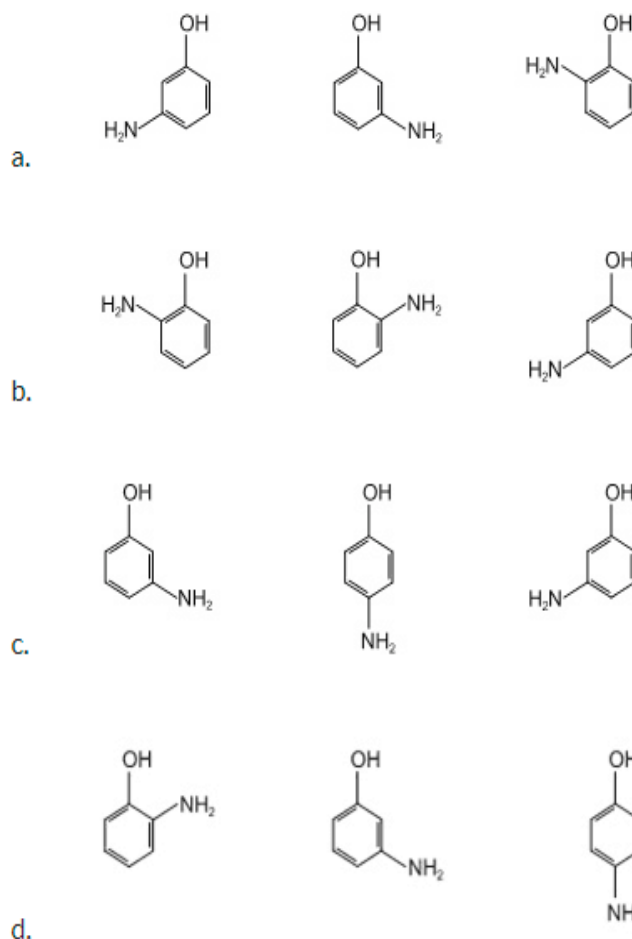
11. (CEFET-MG - 2015)

Reações de substituição radicalar são muito importantes na prática e podem ser usadas para sintetizar haloalcanos a partir de alcanos, por meio da substituição de hidrogênios por halogênios. O alcano que, por monocloração, forma apenas um haloalcano é o alcano.

- A) ciclobutano.
- B) 2-metilpropano.
- C) 2,3-dimetilbutano.
- D) 1-metilciclopropano.

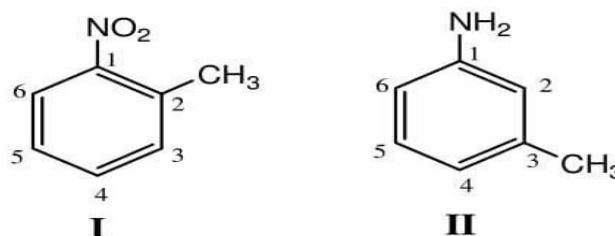
12. (UERJ - 2013)

Aminofenóis são compostos formados pela substituição de um ou mais átomos de hidrogênio ligados aos carbonos do fenol por grupos NH_2 . Com a substituição de apenas um átomo de hidrogênio, são formados três aminofenóis distintos. As fórmulas estruturais desses compostos estão representadas em:



13. (IME - 2018)

Considere as duas moléculas abaixo:



Ambas sofrerão nitração nos anéis aromáticos via substituição eletrofílica. Dentre as opções a seguir, a única que indica posições passíveis de substituição nas moléculas I e II, respectivamente, é:

- A) 4 e 4
- B) 6 e 6
- C) 5 e 2
- D) 3 e 5
- E) 4 e 6



14. (UFT-TO)

Os alcanos são inertes a muitos reagentes devido à forte ligação C-H e à pequena diferença de eletro-negatividade existente entre carbono e hidrogênio. No entanto, eles reagem rapidamente com Cl₂ ou Br₂ (halogenação) na presença de luz para produzir um haleto de alquila. Sobre a reação do 2- metilpropano com bromo (Br₂) é INCORRETO afirmar.

- A) A reação ocorre em três etapas: iniciação, propagação e terminação.
- B) A halogenação de alcanos é um método ruim de preparação de haletos de alquila porque resulta em uma mistura de produtos.
- C) A reação ocorre através da formação de radicais livres, que são espécies químicas com um elétron desemparelhado.
- D) O produto principal da reação é o 2-bromo-2-metilpropano.
- E) A reação do 2-metilpropano com cloro é mais seletiva que a reação com bromo.

15. (UFAM)

O 2-metil-propano, ao reagir com gás cloro, na presença de luz, e a 25o C, dará dois compostos isômeros de proporções diferentes. São eles:

- A) Cloreto de butila e cloreto de terc-butila
- B) Cloreto de isobutila e cloreto de terc-butila
- C) Cloro-butano e 2-cloro-butano
- D) Cloreto de isopropila e cloreto de metil-propila
- E) 1-cloro-1-metil-propano e 2-cloro-2metil-propa-no

16. (UNIFOR-CE)

Analise as sentenças a seguir.

I. Um álcool não pode sofrer uma reação de substituição nucleofílica.

PORQUE

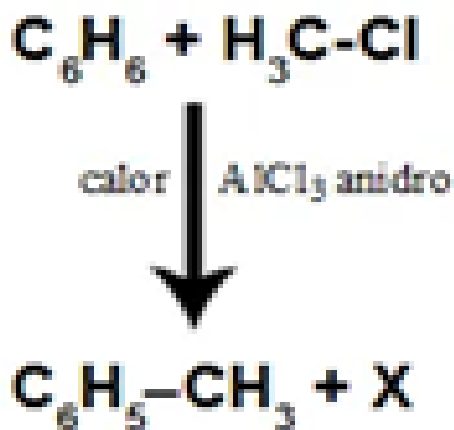
II. Um álcool tem um grupo fortemente básico (OH⁻) que não pode ser substituído por um nucleófilo.

É correto afirmar que

- A) apenas a primeira está correta.
- B) apenas a segunda está correta.
- C) ambas as sentenças estão corretas, porém, a segunda não justifica a primeira.
- D) ambas as sentenças estão corretas e a segunda justifica a primeira.
- E) ambas estão incorretas.

17. (UEMA)

Tolueno ou metil-benzeno é a matéria-prima a partir da qual se obtêm, entre outros, sacarina, medicamentos, corantes, perfumes, TNT e detergentes. É largamente utilizado como solvente para pinturas, revestimentos, borrachas e resinas, mas sua fabricação é proibida no Brasil porque sua inalação causa sérios danos ao organismo, levando à dependência química, como no caso do uso inadequado da popular “cola de sapateiro”. O tolueno pode ser obtido por meio da equação representada a seguir:



Analizando a reação apresentada, julgue as afirmações.

- I. Representa uma reação de adição em aromáticos.
- II. Representa uma reação de halogenação do benzeno.
- III. O composto X que se forma na reação é o cloreto de hidrogênio.
- IV. Representa uma reação de alquilação de Friedel-Crafts.
- V. O composto X que se forma é o cloreto de etila pela reação de Diels-Alder.

Está correto o que se afirma apenas em:

- A) I, III e V.
- B) III e IV.
- C) IV.
- D) II e III.
- E) I e IV.