

Universidade Federal de Minas Gerais
Educação a Distância
2013

Química Orgânica Experimental I

Ângelo de Fátima
Gaspar Diaz Muñoz
Júlio César Dias Lopes
Rosemeire Brondi Alves

QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL I



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Reitor: Ronaldo Tadêu Pena

Vice-Reitora: Heloisa Maria Murgel Starling

Pró-Reitoria de Graduação

Pró-Reitor: Mauro Braga

Pró-Reitora Adjunta: Carmela Maria Polito Braga

Coordenadora do Centro de Apoio à Educação a Distância:

Maria do Carmo Vila

EDITORA UFMG

Diretor: Wander Melo Miranda

Vice-Diretora: Silvana Cóser

Conselho Editorial

Wander Melo Miranda (presidente)

Carlos Antônio Leite Brandão

Juarez Rocha Guimarães

Márcio Gomes Soares

Maria das Graças Santa Bárbara

Maria Helena Damasceno e Silva Megale

Paulo Sérgio Lacerda Beirão

Silvana Cóser

ÂNGELO DE FÁTIMA
GASPAR DIAZ MUÑOZ
JÚLIO CÉSAR DIAS LOPES
ROSEMEIRE BRONDI ALVES

QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL I

Belo Horizonte
Editora UFMG
2009

©2009, Os autores
© 2009, Editora UFMG

Este livro ou parte dele não pode ser reproduzido por qualquer meio sem autorização escrita do Editor.

Q6 Química orgânica experimental I / Ângelo de Fátima ... [et al.]. -- Belo Horizonte :
Editora UFMG, 2009.
72 p. : il. -- (Educação a Distância)

Outros autores: Gaspar Díaz Muñoz, Júlio César Dias Lopes, Rosemeire Brondi Alves.
Inclui bibliografia.
ISBN: 978-85-7041-782-4

1. Química orgânica. 2. Química experimental. I. Fátima, Ângelo de. II. Muñoz,
Gaspar Díaz. III. Lopes, Júlio César Dias. IV. Alves, Rosemeire Brondi. V. Série.

CDD: 547

CDU: 547

Elaborada pela DITTI – Setor de Tratamento da Informação da Biblioteca Universitária da UFMG

Este livro recebeu apoio financeiro da Secretaria de Educação a Distância do MEC.

COORDENAÇÃO DE PRODUÇÃO DE TEXTOS DE QUÍMICA: Amary César

ASSISTÊNCIA EDITORIAL: Eliane Sousa e Euclídia Macedo

EDITORAÇÃO DE TEXTOS: Maria do Carmo Leite Ribeiro

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO: Lira Córdova

REVISÃO DE PROVAS: Arquiolinda Machado e Cláudia Campos

FORMATAÇÃO, PROJETO GRÁFICO E CAPA: Eduardo Ferreira

PRODUÇÃO GRÁFICA: Warren Marilac

EDITORA UFMG

Av. Antônio Carlos, 6.627 - Ala direita da Biblioteca Central - Térreo

Campus Pampulha - 31270-901 - Belo Horizonte - MG

Tel.: +55 31 3409-4650 - Fax: +55 31 3409-4768

www.editora.ufmg.br - editora@ufmg.br

PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO

Av. Antônio Carlos, 6.627 - Reitoria - 6º andar

Campus Pampulha - 31270-901 - Belo Horizonte - MG

Tel.: +55 31 3409-4054 - Fax: +55 31 3409-4060

www.ufmg.br - info@prograd.ufmg.br - educacaoadistancia@ufmg.br

Os Cursos de Graduação da UFMG, modalidade a distância, foram concebidos tendo em vista dois princípios fundamentais. O primeiro deles se refere à democratização do acesso à educação superior; o segundo consiste na formação de profissionais de alto nível, comprometidos com o desenvolvimento do país.

A coletânea da qual este volume faz parte visa dar suporte aos estudantes desses cursos. Cada volume está relacionado com um tema, eleito como estruturante na matriz curricular. Ele apresenta os conhecimentos mínimos que são considerados essenciais no estudo do tema. Isso não significa que o estudante deva se limitar somente ao estudo do volume. Ao contrário, ele é o ponto de partida na busca de um conhecimento mais amplo e aprofundado sobre o assunto. Nessa direção, cada volume apresenta uma bibliografia, com indicação de obras impressas e obras virtuais que deverão ser consultadas à medida que se fizer necessário.

Cada volume da coletânea está dividido em aulas, que consistem em unidades de estudo do tema tratado. Os objetivos, apresentados em cada início de aula, indicam as competências e habilidades que o estudante deve adquirir ao término de seu estudo. As aulas podem se constituir em apresentação, reflexões e indagações teóricas, em experimentos ou em orientações para atividades a serem realizadas pelos estudantes.

Para cada aula ou conjunto de aulas, foi elaborada uma autoavaliação com o objetivo de levar o estudante a avaliar o seu progresso e a desenvolver estratégias de metacognição ao se conscientizar dos diversos aspectos envolvidos em seus processos cognitivos. A autoavaliação auxiliará o estudante a tornar-se mais autônomo, responsável, crítico, capaz de desenvolver sua independência intelectual. Caso ela mostre que as competências e habilidades indicadas nos objetivos não foram alcançadas, ele deverá estudar com mais afinco e atenção o tema proposto, reorientar seus estudos ou buscar ajuda dos tutores, professores especialistas e colegas.

Agradecemos a todas as instituições que colaboraram na produção desta coletânea. Em particular, agradecemos às pessoas (autores, coordenador da produção gráfica, coordenadores de redação, desenhistas, diagramadores, revisores) que dedicaram seu tempo e esforço na preparação desta obra que, temos certeza, em muito contribuirá para a educação brasileira.

Maria do Carmo Vila
Coordenadora do Centro de Apoio à Educação a Distância
UFMG

APRESENTAÇÃO	9
UNIDADE I: CONSIDERAÇÕES GERAIS	
A rotina das aulas práticas de Química Orgânica Experimental I	13
UNIDADE II: PROPRIEDADES QUÍMICAS DE COMPOSTOS ORGÂNICOS	
AULA 1 Reconhecimento de funções orgânicas	23
AULA 2 Reações ácido-base: separação da mistura de acetanilida, caféina e aspirina	31
UNIDADE III: TÉCNICAS DE SEPARAÇÃO E RECRISTALIZAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS	
AULA 3 Separação de pigmentos vegetais por cromatografia em coluna	41
AULA 4 Extração e recristalização da caféina	49
UNIDADE IV: PREPARAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS	
AULA 5 Preparação do ciclo-hexeno	57
AULA 6 Preparação do ácido adípico	63
ANEXO: FORÇA RELATIVA DE ALGUNS ÁCIDOS E SUAS BASES CONJUGADAS	
SOBRE OS AUTORES	72

Apresentação

Este livro foi adaptado a partir das apostilas utilizadas nas aulas da disciplina Química Orgânica Experimental oferecida aos alunos dos cursos de Química (Bacharelado e Licenciatura), Engenharia Química, Farmácia (modalidade presencial) da Universidade Federal de Minas Gerais. De fato, ao longo dos anos, foram realizadas modificações e revisões das apostilas originais empregadas na disciplina de Química Orgânica I (curso presencial), nas quais a participação dos professores Luiz G. Fonseca e Silva, Nelson S. Pereira (*in memoriam*), Maria do Carmo M. Maltez, Cláudio L. Donnici, Jacqueline A. Takahashi, Lúcia P. S. Pimenta, Rossimiriam P. de Freitas, Henriete S. Vieira, Maria Amélia D. Boaventura, Lucienir P. Duarte e Grácia D. F. Silva foi de extrema importância. Os autores também agradecem o professor Amary César Ferreira pelas discussões e sugestões que muito contribuíram para a melhoria da versão final desta publicação. Em reconhecimento às valiosas contribuições de todos os professores que dedicaram parte do seu tempo na preparação de todo o material que serviu de base para a elaboração deste livro, nós gostaríamos de externar os nossos sinceros agradecimentos.

Os autores

UNIDADE I

Considerações gerais

Nesta unidade faremos uma breve descrição da rotina que você vivenciará nesta etapa do curso de Química, nos trabalhos experimentais selecionados para a disciplina Química Orgânica Experimental I. Uma ênfase especial é dada para as normas de segurança em laboratório e recomendações para a confecção de um relatório de atividades.

A rotina das aulas práticas de Química Orgânica Experimental I

Prezado Aluno,

Estamos iniciando uma parte do curso em que você colocará em prática alguns conceitos que aprendeu na disciplina de Química Orgânica I. A disciplina de Química Orgânica Experimental I corresponde a 30 horas de aulas práticas ou aulas de laboratório. Durante esse período, você será orientado e terá acompanhamento do seu tutor local. Porém, é de extrema importância que você desenvolva a habilidade de manusear os reagentes, os solventes, as aparelhagens e as vidrarias usadas nas práticas. Pretendemos que o seu tutor, com a sua imprescindível colaboração, faça do laboratório o mais propício dos ambientes para excelentes discussões dos resultados das observações experimentais, fundamentando-se no conteúdo abordado na disciplina de Química Orgânica I.

As atividades previstas para a disciplina de Química Orgânica Experimental I estão organizadas de forma que você possa compreender como os compostos orgânicos presentes em algumas plantas (espinafre e guaraná em pó) podem ser isolados e purificados. Escolhemos experimentos em que serão avaliadas algumas relações qualitativas entre as estruturas dos compostos orgânicos e suas reatividades e suas características físico-químicas, como, por exemplo, a acidez e a basicidade. Por fim, as duas últimas atividades visam exemplificar como o conhecimento da Química Orgânica permite o planejamento e a síntese de várias outras moléculas orgânicas, o que virtualmente possibilita a obtenção de qualquer composto natural ou não natural com aplicabilidade em potencial nas instigantes áreas de novos fármacos, novos materiais de interesse tecnológico, ou mesmo importantes nos estudos básicos das propriedades químicas e físicas de moléculas isoladas ou em solução.

A dinâmica das aulas de Química Orgânica Experimental I requer a realização das seguintes etapas: i) a leitura antecipada, por vocês, do assunto a ser abordado na aula programada, incluindo-se aqui as informações básicas sobre a periculosidade e as características de reagentes e solventes que serão empregados na respectiva aula prática; ii) uma discussão inicial com um instrutor, sobre os aspectos teóricos e práticos relevantes para execução da aula prática; iii) a execução, por vocês, dos experimentos indicados, sempre utilizando

de forma fiel as instruções descritas neste livro. Nesta etapa do trabalho, é muito importante que você faça anotações de todas as mudanças físicas e/ou químicas (cor, temperatura, estado físico, textura, evolução de gases etc.) observadas para as substâncias em estudo durante a realização dos experimentos; iv) as interpretações e as discussões dos resultados obtidos coletivamente com a participação dos membros do seu grupo de trabalho e do seu tutor; v) a apresentação dos resultados de cada experimento na forma de relatório simples, porém completo. No cumprimento do primeiro item, recorra, sempre que for necessário, ao livro *Técnicas básicas e segurança de laboratório I*. Nele, você encontrará um conjunto de regras básicas de segurança de laboratório e algumas características físicas e químicas dos solventes utilizados mais comumente em um laboratório de química. Nesse livro há ainda indicações de fontes úteis de consultas para as normas de segurança gerais que você deseje conhecer, assim como as fichas de segurança de diversas substâncias, reagentes e solventes, que eventualmente você precise consultar.

Como recomendação geral para o bom andamento das atividades práticas, devem ser seguidas rigorosamente algumas regras básicas simples. São elas:

1. Usar intensivamente o material didático desta disciplina já a partir da primeira aula.
2. Familiarizar-se com as instalações do laboratório. Procure se inteirar, desde a primeira aula, de toda a infraestrutura e das normas de funcionamento e de segurança do laboratório.
3. Não se esquecer de que todo material usado deve ser lavado ao final de cada aula prática e organizado em local apropriado. Peça orientação ao seu tutor local para o acondicionamento correto desses materiais.
4. Limpar a bancada de trabalho ao final de cada aula prática.
5. Colocar os reagentes em locais apropriados, após o uso. Peça orientação ao seu tutor para indicar-lhe o local onde essas substâncias devem ser recolhidas e, muito importante, a forma correta de serem guardadas.
6. Evitar conversas em voz alta e assuntos alheios à aula. É preciso manter total atenção aos experimentos que estão sendo realizados.
7. Seguir sempre as normas de segurança.

Seguem-se informações sobre normas básicas de segurança de laboratório que serão repetidas, e poucas regras simples, mas provavelmente úteis para a redação do relatório técnico, serão sugeridas.

SEGURANÇA NO LABORATÓRIO

Sempre que for necessário consulte o livro *Técnicas básicas e segurança de laboratório I*. Nesse volume, você encontrará uma descrição mais ampla das normas e procedimentos de segurança a serem seguidos para se evitarem acidentes no laboratório.

É muito importante que todos nós, ao entrarmos num laboratório de química, tenhamos uma noção bastante clara dos riscos e dos cuidados a serem tomados antes e durante o manuseio dos reagentes e materiais que serão empregados durante o trabalho prático. É uma obrigação permanente evitar que os acidentes ocorram, pela identificação e diminuição, se não de sua total eliminação, dos riscos latentes. Nunca é demais repetir que a melhor forma de evitar os acidentes é a sua prevenção. O descuido de uma única pessoa pode colocar em risco a segurança de todos os presentes no laboratório. Por essa razão, queremos que todos vocês tenham consciência da importância de se trabalhar com segurança o que, obviamente, só resultará em benefícios para o grupo. Leia atentamente as instruções abaixo e procure segui-las integralmente:

1. É necessário ter conhecimento, desde a primeira aula, das instalações do laboratório, bem como de suas normas de funcionamento.
2. É obrigatório o uso de avental (jaleco) durante as aulas; o jaleco deve ser de algodão, longo e com mangas compridas.
3. É recomendado o uso de óculos de segurança.
4. É recomendado que todos tenham seu par de luvas em látex natural com forro.
5. É proibido o uso de calçados abertos, bermudas ou saias durante as aulas práticas. O uso de lentes de contato durante a execução dos trabalhos práticos deve-se pautar pelas considerações tratadas no livro *Técnicas básicas e segurança de laboratório I*. Consulte esse material.
6. Rigorosamente, não é permitido fumar, comer ou beber nos laboratórios.
7. É necessário usar o material do laboratório sempre de maneira adequada. Utilize somente aqueles reagentes e soluções especificadas no roteiro de aulas práticas. NÃO tente, em hipótese alguma, realizar sozinho qualquer reação não especificada nos procedimentos descritos no roteiro das aulas práticas, ou mesmo aquelas indicadas ou solicitadas pelo seu tutor.
8. É necessário deixar os reagentes nos devidos lugares, após o uso. Informe-se com o seu tutor sobre o lugar apropriado onde eles devem ser deixados.

9. É indispensável lavar cuidadosamente todo o material usado ao final de cada aula e organizá-lo no local apropriado (mesas, bancadas ou armários) indicado por seu tutor.
10. É essencial manter a bancada de trabalho sempre limpa durante a execução dos experimentos; igualmente, ela deve ser deixada limpa após cada aula.
11. É necessário se reservar uma atenção especial ao descarte de resíduos. A regra a ser sempre seguida é ter todo e qualquer resíduo obtido durante a realização das práticas devidamente recolhido em locais apropriados. Procure a orientação do seu tutor para lhe indicar a maneira correta de se tratar dos resíduos sólidos e líquidos, e os locais para realizar os descartes.

MODELO DE RELATÓRIOS

A ideia central para a redação de um bom relatório está em se preocupar com o uso de uma linguagem simples, porém clara, direta e objetiva, na descrição dos detalhes de uma experiência vivida pelo autor. Redija um texto para ser lido e compreendido por uma pessoa desconhecida em tempo e lugar, e com interesses ignorados.

A reflexão do quadro anterior motiva a formulação de algumas poucas regras práticas que podem, convenientemente, nos auxiliar na redação de um relatório. Um grupo dessas regras está reunido a seguir. Lembre-se, porém, que você será o autor (ou um dos autores) dos relatórios que serão elaborados. Assim, é sua a responsabilidade de seleção do material que formará o corpo do texto, a escolha da sequência em que ele será distribuído ao longo da apresentação e, muito importante, as opções gráficas (figuras, tabelas, esquemas, quadros etc.) que serão utilizadas na confecção do documento. Evite o excesso de informações, mas não se esqueça de que as informações necessárias não podem ser omitidas ou desprezadas. Em resumo, procure produzir um texto claro, conciso e, acima de tudo, completo e consistente.

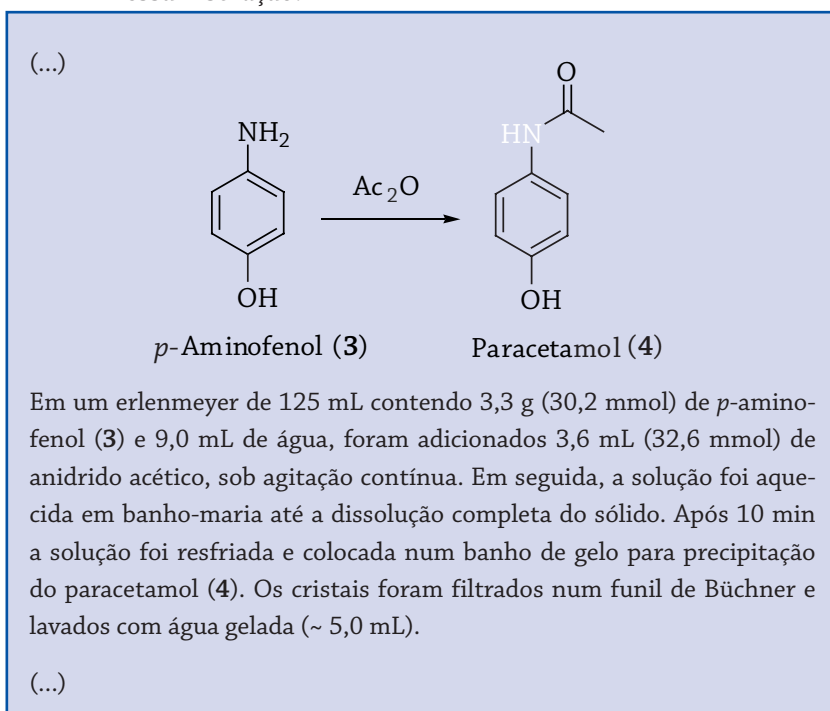
Em um relatório de atividades de laboratório, espera-se que contenha:

1. **Título, identificação do autor, local e data.** Pela modalidade do curso, é conveniente incluir, também, o nome do tutor responsável pela disciplina.
2. **Introdução.** Como não se sabe quem irá, no futuro próximo ou distante, se interessar pelo texto produzido, inclua uma seção introdutória atraindo e motivando o leitor desconhecido

a prosseguir a leitura iniciada. Descreva, resumidamente, o propósito da experiência realizada no laboratório com detalhes, por exemplo, dos aspectos históricos, importância prática ou acadêmica do assunto tratado, os argumentos teóricos que sustentam e dão interpretações ao experimento etc. No caso de reações químicas, apresente métodos alternativos que poderiam ser utilizados para se realizar a mesma transformação química: discuta as vantagens e as desvantagens dos métodos citados.

- Objetivos.** Descreva de maneira sucinta os objetivos da prática realizada.
- Parte experimental.** Organize os eventos ocorridos durante a aula prática, descrevendo-os de modo resumido, dando destaque às observações feitas durante a aula. Apresente uma descrição dos materiais utilizados, liste os reagentes empregados e suas características físicas, químicas e tóxicas, se for o caso. Esses detalhes são essenciais para uma reprodução dos experimentos de maneira segura. Em geral é recomendado o uso de esquemas e desenhos das montagens.

Uma seção de um relatório descrevendo a produção experimental do paracetamol a partir do *p*-aminofenol exemplifica essa instrução:



- Resultados e discussão.** Descreva os resultados experimentais que foram de fato observados no trabalho prático e não aqueles que supostamente eram esperados. Apresente os resultados dos cálculos do rendimento das reações, nos casos específicos de síntese de algum composto, indicando (mas não necessariamente explicitando) a maneira como

esses cálculos foram realizados. Sempre que for possível, é recomendado o uso explícito de estruturas de compostos químicos, equações químicas com os coeficientes estequiométricos corretamente incluídos e quadros com os mecanismos das reações químicas estudadas. Tabelas, figuras, esquemas e gráficos são recursos poderosos que podem e devem ser explorados na produção de relatórios concisos, mas altamente informativos. Tabelas, figuras, esquemas e gráficos devem ser acompanhados pelos seus respectivos títulos ou legendas.

Nas discussões, devem ser explorados os aspectos qualitativos e quantitativos dos resultados obtidos e o sucesso (ou não) do experimento com relação à expectativa inicial. Sendo o caso, analise o rendimento prático, a precisão permitida pelos equipamentos, vidrarias e dispositivos utilizados na execução dos experimentos, as limitações dos métodos escolhidos, os erros introduzidos pelos executores (você e seu grupo) dos trabalhos práticos. Apresente as dificuldades encontradas na realização dos experimentos, bem como as possíveis maneiras de se resolver ou minimizar tais dificuldades.

6. **Conclusões.** É sempre instrutivo ter um relatório com uma seção final, sistematizando resumidamente e correlacionando os aspectos relativos aos resultados finais, a metodologia adotada, os modelos e as informações teóricas conhecidas relacionadas direta ou indiretamente ao estudo realizado. Uma boa conclusão contém a apreciação global dos procedimentos feitos e dos objetivos alcançados.
7. **Referências.** As informações obtidas da literatura científica devem ser formalmente reconhecidas (e os devidos créditos dados aos autores) por meio de citações completas nas posições corretas do texto que forma o seu relatório de atividades. Existe uma coleção de normas técnicas que regularizam a maneira adequada como as referências devem ser postas em um texto técnico ou acadêmico. Recomendamos que um modelo unificado de citações, como o apresentado no quadro seguinte, seja, inicialmente, seguido.

(...) Historicamente, a dulcina foi o segundo adoçante sintético a ser lançado no mercado há mais de 100 anos (Goldsmith, 1987). Apesar de seu excelente poder adoçante, testes *in vivo* com mamíferos, inclusive o homem, evidenciaram toxicidade, levando-a a ser retirada do mercado após quase 60 anos de uso (Ellis, 1995; Kinghorn e Kennelly, 1995). Mesmo não sendo mais comercializada, sua preparação a partir de substratos facilmente acessíveis, utilizando uma rota sintética que também envolva intermediários com outros tipos de atividades sobre o organismo humano, desperta muito interesse.

Referências bibliográficas:

Ellis, J. W. *J. Chem. Educ.*, **1995**, 72, 671.

Goldsmith, R. H. *J. Chem. Educ.*, **1987**, 64, 954.

Kinghorn, A. D.; Kennelly E. J. *J. Chem. Educ.*, **1995**, 72, 676.

UNIDADE II

Propriedades químicas de compostos orgânicos

Na primeira aula que forma esta Unidade serão investigados processos mais comuns de identificação e caracterização de funções orgânicas simples. Isso se fará através de suas reações químicas características. A segunda aula é reservada para a separação de uma mistura baseada nas propriedades físico-químicas, acidez e basicidade, de compostos orgânicos. Entre outros detalhes importantes, serão investigadas as relações qualitativas entre a estrutura molecular e a acidez ou basicidade das substâncias estudadas.

Reconhecimento de funções orgânicas

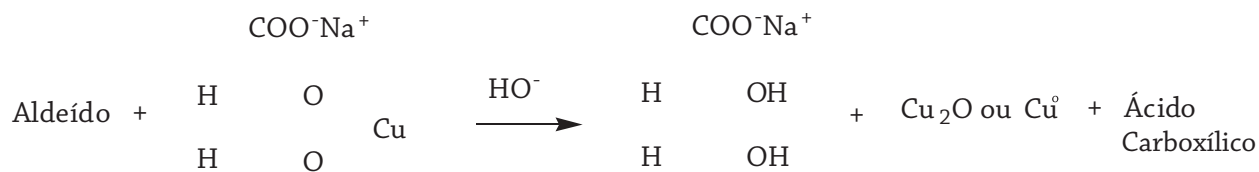
Objetivos

- Investigar a natureza orgânica de um composto por meio da caracterização de alguns grupos funcionais.
- Diferenciar algumas classes funcionais de compostos orgânicos.

Os compostos orgânicos caracterizam-se pela presença de átomos de carbono e hidrogênio em suas moléculas. São considerados heteroátomos todos os outros átomos diferentes de carbono e hidrogênio encontrados nas moléculas orgânicas. Os heteroátomos mais comuns são o oxigênio, o nitrogênio e os halogênios, principalmente cloro e bromo. Além desses, podemos ainda encontrar o enxofre e o fósforo. Como podemos notar, todos esses átomos são de elementos não metálicos e o principal tipo de ligação entre eles e os átomos de carbono e hidrogênio é de natureza covalente.

O átomo de carbono é o elemento central dos compostos orgânicos. Isso se deve a inúmeras propriedades desses átomos, que os distinguem dos demais. Uma delas é a sua capacidade de formar diferentes tipos de ligação entre si ou com átomos de outros elementos. Essas ligações podem ser simples, duplas ou triplas. Outra característica importante do átomo de carbono é a capacidade de formar ligações fortes que dão estabilidade às suas moléculas. Finalmente, está a sua capacidade quase ilimitada de formar cadeias extensas de átomos de carbonos ligados entre si. Essas características, em conjunto, possibilitam a formação de um imenso número de combinações moleculares, contribuindo para a existência de milhões de compostos orgânicos conhecidos e um número extremamente grande de compostos ainda por se descobrir.

O reconhecimento dos compostos orgânicos é facilitado pela organização em classes de derivados que possuem grupos funcionais comuns. Cada grupamento funcional tem propriedades químicas específicas, propriedades essas que são associadas às suas estruturas moleculares e que podem ser generalizadas para todos os compostos que apresentam o mesmo grupamento, isto é, que pertencem à mesma função orgânica. As funções orgânicas mais



e) Caracterização de ácidos carboxílicos:



f) Caracterização de fenóis:



TRABALHO EXPERIMENTAL

Materiais

- Conta-gotas
- Estante para tubos de ensaio
- Garra pequena de metal
- Suporte universal
- Tubos de ensaio

Amostras de compostos orgânicos

Dez amostras de compostos orgânicos desconhecidos

Reagentes e solventes

- Acetona
- Ácido acético
- Água destilada
- Álcool ter-butílico
- Ciclo-hexano
- Ciclo-hexanol
- Ciclo-hexeno
- Cloreto de *tert*-butila
- Etanol

- Formol
- Reagente com 2,4-dinitrofenil-hidrazina
- Reagente de Fehling
- Reagente de Lucas
- Solução aquosa a 10% de AgNO_3
- Solução aquosa a 10% de fenol
- Solução aquosa a 10% de NaHCO_3
- Solução aquosa a 4% de KMnO_4
- Solução etanólica a 10% de FeCl_3

Soluções previamente preparadas



Reagente com 2,4-dinitrofenil-hidrazina (2,4-DNFH): 3 g de 2,4-DNFH em 15 mL de H_2SO_4 concentrado. Adicionar, sob agitação, 20 mL de água destilada e 70 mL de etanol. Agitar bastante a mistura e filtrar.

Reagente de Lucas: 68 g de ZnCl_2 anidro em 52,5 mL de HCl concentrado (ou 136 g de $\text{ZnCl}_2/105$ mL de HCl concentrado). Preparar em banho de gelo na capela. Manter em frasco âmbar.

Reagente de Fehling:

Solução (A): misturar 17,3 g de penta-hidratado $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ em 250 mL de água destilada.

Solução (B): misturar 86,5 g de tartarato de potássio e sódio e 35 g de NaOH (ou 62 g de KOH) em 250 mL de água destilada.

As soluções de permanganato de potássio, fenol, nitrato de prata, bicarbonato de sódio e cloreto férrico também já estarão preparadas em frascos conta-gotas.

Procedimentos

Realize os testes descritos a seguir de forma completa, fazendo observações cuidadosas e anotações claras.

Teste com permanganato de potássio (Teste para verificar a presença de insaturação em um composto orgânico)

Coloque 1 mL (menos que 1 cm no tubo de ensaio) do **composto 1** em um tubo de ensaio e adicione 2 gotas de solução de KMnO_4 . Repita o mesmo procedimento com o **composto 2**. Observe. O descolorimento da solução de KMnO_4 e a formação de um precipitado marrom caracterizam uma substância insaturada não aromática.

Teste de Lucas (Diferenciação entre álcoois primários, secundários e terciários)

Selecione 3 tubos de ensaio e coloque 1 mL do reagente de Lucas em cada um deles. Adicione 5 gotas do **composto 3** no primeiro tubo de ensaio, 5 gotas do **composto 4** no segundo tubo e 5 gotas do **composto 5** no terceiro tubo. Agite os tubos e observe o aparecimento de uma turvação, emulsão ou formação de uma segunda camada líquida. Realize o procedimento com os 3 tubos ao mesmo tempo de modo que possa perceber os tempos de reação relativos de cada composto. Observe os tubos periodicamente.

Teste com nitrato de prata (Teste para identificar haletos de alquila)

Adicione 1 mL do **composto 6**, em um tubo de ensaio. Junte 3 gotas da solução de nitrato de prata. Agite e anote o tempo necessário para a formação de um precipitado. Isto indicará a presença de um haleto orgânico alifático ou benzílico, bem como a natureza do haleto (primário, secundário ou terciário).

Teste com 2,4-dinitrofenil-hidrazina (Teste para identificar grupo carbonila)

Em um tubo de ensaio coloque 2 gotas do **composto 7** e adicione 1 mL (menos da metade do tubo conta-gotas) do reagente já preparado. Repita o mesmo procedimento com o **composto 8**. Observe se há formação de precipitado colorido.

Teste com reagente de Fehling (Teste para diferenciar carbonila de aldeído e cetona)

Em um tubo de ensaio, adicione 1 mL da solução A e 1 mL da solução B de Fehling. Agite o conteúdo do tubo. Em seguida, adicione 3 gotas do **composto 7**, aqueça cuidadosamente o tubo num bico de gás e observe.



CUIDADO!

O aquecimento de solução em um tubo de ensaio deve ser feito sem o aquecimento direto do fundo do tubo, pois isto pode provocar a projeção de material.

O aquecimento deve ser realizado com o tubo inclinado, aquecendo-se a parede do tubo coberta pela solução, conforme a Figura 1. Repita o mesmo procedimento com o **composto 8**. O aparecimento de um precipitado marrom tijolo (ou um espelho de cobre nas paredes do tubo) comprova a presença de carbonila de aldeído.

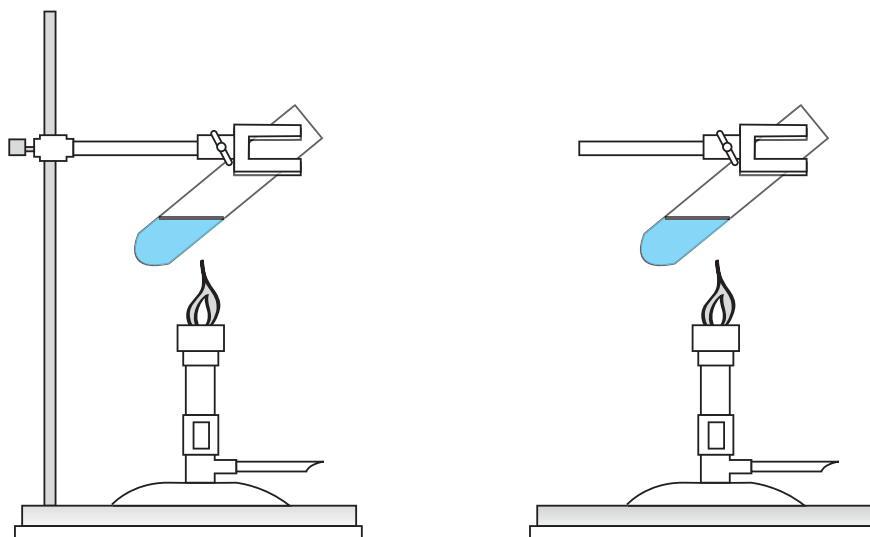


Figura 1: Modos corretos de se aquecer um líquido contido em um tubo de ensaio

Teste com bicarbonato de sódio (Teste para identificar ácido carboxílico)

Coloque 1 mL do **composto 9** em 1 tubo de ensaio e adicione cerca de 1 mL de solução de NaHCO_3 . A evolução de dióxido de carbono indica a presença de grupo carboxila.

Teste com o cloreto férrico (Teste para identificar fenóis)

Coloque 1 mL do **composto 10** em 1 tubo de ensaio, adicione 2 gotas da solução de cloreto férrico e observe se há formação de precipitado colorido. A formação de precipitado de coloração variando de azul a vermelho revela a presença de fenol no meio.

SISTEMATIZAÇÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Complete a tabela que se segue, apresentando os resultados obtidos durante a prática. Dê um título adequado à tabela.

RESULTADOS E CONCLUSÕES			
Composto nº	Reagente	Observações	Grupo funcional presente
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
7			
8			
9			
10			

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final desta aula, você deve ser capaz de:

- Diferenciar algumas classes de compostos orgânicos por meio da caracterização de alguns de seus grupos funcionais mais importantes.
- Ter a capacidade de reconhecer as funções orgânicas e saber que há diferença entre a reatividade dos seus grupos funcionais.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

SHRINER, R. L.; FUSON, R. C.; CURTIN, D. Y. *Identificação sistemática dos compostos orgânicos: manual de laboratório*. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983. 517 p.

AUTOAVALIAÇÃO

1. Caracterize por meio de reações químicas cada uma das funções orgânicas: alceno, álcool, cetona e éster.
2. Quais são as velocidades relativas de reação dos alcoóis primários, secundários e terciários no teste de Lucas? Justifique com base na estabilidade dos carbocátions formados.
3. Suponha que você possua 3 frascos sem rótulos que contenham, separadamente, o 3-hepteno, o benzeno e o etanol. Proponha uma forma de identificar o conteúdo de cada frasco.

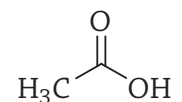
AULA 2

Reação ácido-base: separação da mistura de acetanilida, cafeína e aspirina

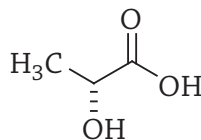
Objetivo

- Ilustrar os conceitos de acidez e basicidade de compostos orgânicos.

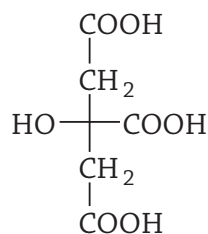
Quem não sabe identificar, dentre várias frutas, aquela que é ácida? Praticamente todos sabem fazer essa identificação, principalmente se provarem essa fruta. Mas qual(is) composto(s) em esta(ão) presente(s) nessa fruta que confere(m) a ela o sabor ácido? O termo "ácido" vem do latim *acere*, que significa azedo, e produtos que tinham esse sabor, como o vinagre, o leite coalhado e o suco de limão, eram considerados ácidos. Hoje em dia, sabemos que o sabor azedo desses produtos é devido à presença de ácidos carboxílicos em sua composição, como o ácido acético (vinagre), o ácido d-lático (leite coalhado) e o ácido cítrico (suco de limão).



Ácido Acético



Ácido D-Lático



Ácido Cítrico

O termo "álcali", por outro lado, é derivado do árabe e foi inicialmente empregado para caracterizar a propriedade das cinzas obtidas pela queima de certas plantas, ricas em carbonato de potássio, de neutralizar os ácidos. Já a palavra "base" foi introduzida mais recentemente, no século XVIII, e praticamente substituiu a denominação "álcali".

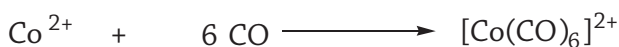
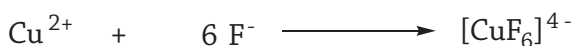
Apesar de as propriedades das substâncias ácidas e básicas serem conhecidas desde o século XVII, foi somente no final do século XIX que surgiram as primeiras ideias bem-sucedidas correlacionando a estrutura química com as propriedades ácidas e básicas das substâncias. A primeira teoria sobre a natureza química dos ácidos e bases foi proposta por Svante Arrhenius, em 1887. Alguns anos mais tarde, em 1923, J. N. Brønsted e T. M. Lowry expandiram os conceitos de Arrhenius. Porém, foi Lewis, nesse mesmo ano, quem formulou uma teoria mais adequada e elaborada para descrever os conceitos de "ácidos" e "bases". Enquanto as duas primeiras teorias são restritas a casos particulares, a teoria de Lewis abrange todos os tipos de reações ácido-base, sendo a mais usada pelos químicos atualmente.

Arrhenius, no final do século XIX, desenvolveu um amplo trabalho sobre dissociação de compostos neutros. Em 1887, ele propôs a teoria de *dissociação iônica* ou *ionização em solução*, a qual dizia que determinadas substâncias, quando dissolvidas em água, davam origem a íons positivos e negativos. A formação dessas espécies carregadas, formadas quando os compostos estudados por Arrhenius eram dissolvidos em água, explicava a condutividade elétrica dessas soluções. Segundo Arrhenius, os ácidos, quando dissolvidos em água, aumentavam a concentração de íons H^+ , enquanto as bases aumentavam a concentração de ânions HO^- (íons hidroxilas).

As deficiências da definição de Arrhenius para os ácidos (liberam H^+ em água) e as bases (liberam HO^- em água) estavam, principalmente, relacionadas ao fato de uma substância ser ácida ou básica somente em meio aquoso. A ampliação dessas ideias para outros tipos de solventes ou mesmo a eliminação completa da necessidade de um meio solvente, levaram ao surgimento de novas definições ou teorias para ácidos e bases.

Em 1923, Brønsted e Lowry propuseram uma definição mais ampla para ácidos e bases, chamada de "definição protônica". Sua teoria define um ácido como toda substância (molécula ou íon) capaz de liberar um próton (H^+), e uma base como toda substância (molécula ou íon) capaz de receber esse próton. Essa definição é mais ampla que a de Arrhenius, uma vez que o meio de reação não influencia na propriedade de uma substância ser ou não um ácido ou uma base. Na realidade é possível para uma mesma substância ser ácida em uma condição experimental e básica em outra. Por exemplo, a água pode liberar ou receber íons H^+ . Na presença de ácido acético, algumas moléculas de água atuam como uma base recebendo íons H^+ , formando o íon hidrônio (H_3O^+) e o íon acetato. Contudo, na presença de amônia, é a molécula de amônia quem agora recebe os íons H^+ , e, portanto, a água atua como ácido. Esses equilíbrios podem ser representados pelas equações:

A definição de Lewis abrange todos os íons, sejam cátions (bons receptores de elétrons) e ânions (bons doadores de elétrons), que funcionam como ácidos e bases, respectivamente. Ela é ainda mais geral que a teoria de Brønsted-Lowry, incluindo novas espécies químicas não contempladas anteriormente. Não só íons podem ser ácidos ou bases de Lewis, mas compostos e elementos químicos neutros também o podem, como é exemplificado por reações de complexação. Nessas reações, íons metálicos deficientes em elétrons, como Cu^{2+} e Co^{2+} , são ácidos de Lewis, enquanto os ligantes F^- e CO funcionam como bases de Lewis.



Os conceitos de acidez e basicidade são muito úteis em Química Orgânica para prever e compreender a reatividade de inúmeras classes de compostos diferentes. Por exemplo, baseando-se nesse fato é possível separar diferentes substâncias com características ácido-base distintas.

TRABALHO EXPERIMENTAL

Materiais

- Aros
- Balão de fundo redondo de 100 mL
- Béquer de 50 mL
- Erlenmeyer de 125 mL
- Funil de Büchner
- Funil de separação de 250 mL
- Funil simples
- Garras
- Kitasato
- Papel de filtro
- Proveta de 50 mL
- Suporte universal
- Trompa de vácuo

Reagentes

- Acetanilida
- Ácido clorídrico concentrado
- Aspirina
- Bicarbonato de sódio
- Cafeína
- Clorofórmio
- Solução aquosa a 4 mol/L de HCl
- Solução aquosa a 5% de NaHCO_3
- Sulfato de sódio anidro

Procedimentos

Dissolva 1,5 g da mistura contendo aspirina (0,5 g), cafeína (0,5 g) e acetanilida (0,5 g) em 25 mL de clorofórmio e transfira-a para um funil de separação. Em seguida, adicione 30 mL de uma solução aquosa de ácido clorídrico 4 mol/L, agite bem e deixe o sistema em repouso, para que as duas fases se separem completamente. Separe a camada orgânica inferior e reserve-a para tratamento posterior (designe-a como **solução A**).

Neutralize a camada aquosa, contida no funil, com 2 g de bicarbonato de sódio, adicionados em pequenas porções e com agitação contínua dentro do próprio funil.



CUIDADO!

Cuidado especial deve ser tomado com o desprendimento de gás ou desenvolvimento de calor quando da agitação do funil! Alivie constantemente sua pressão.

Após adição do bicarbonato de sódio, extraia o sólido que se formou com 2 porções de 15 mL de clorofórmio. Recolha a fração clorofórmica em um erlenmeyer de 50 mL (ou de 125 mL) e adicione sulfato de sódio anidro para secá-la. Deixe em repouso por aproximadamente 5 minutos. Filtre a solução utilizando um funil simples em um béquer de 50 mL previamente tarado (ou balão) e remova o solvente em banho-maria (operação a ser realizada na capela!) ou no evaporador rotatório. Após remoção do solvente, determine a massa do **sólido I** obtido.

Transfira a **solução A**, reservada anteriormente, para um funil de separação, adicione 25 mL de solução de bicarbonato de sódio 5 % e agite bem a mistura. Deixe a mistura em repouso até que se separe

a camada orgânica inferior. Deixe a fase aquosa no funil (designe-a como **solução B**). Recolha a fase orgânica em um erlenmeyer e adicione sulfato de sódio. Filtre a solução em um béquer previamente tarado (ou um balão) e elimine o solvente no banho-maria (operação a ser realizada na capela!) ou no evaporador rotatório. Após remoção do solvente, determine a massa do **sólido II** obtido.

Transfira a **solução B** contida no funil para um béquer, adicione (lentamente e com agitação) 10 mL de solução de ácido clorídrico concentrado. Resfrie o conteúdo do béquer em um banho de gelo até a formação de um sólido (aproximadamente 15 minutos). Filtre o **sólido III** utilizando um funil de Büchner, seque-o ao ar e determine a massa do mesmo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final desta aula, você deve ser capaz de:

- Definir ácido e base segundo as teorias de Arrhenius, Brønsted-Lowry e Lewis.
- Reconhecer e classificar as moléculas orgânicas como ácidos ou bases.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

BRUICE, P. Y. *Química orgânica*. Tradução de Débora Omena Futuro e colaboradores. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006. 590 p. v. 1.

COSTA, P. *et al.* *Ácidos e bases em química orgânica*. Porto Alegre: Bookman, 2005. 151 p.

AUTOAVALIAÇÃO

1. Identifique as principais diferenças para *ácidos* e *bases* segundo Arrhenius, Brønsted-Lowry e Lewis.
2. Construa um fluxograma que represente a extração executada, considerando o caráter ácido, básico ou neutro das substâncias.
3. Relacione as estruturas químicas da acetanilida, da cafeína e da aspirina com os sólidos **I**, **II** e **III** obtidos na prática.
4. Calcule a eficiência (porcentagem de recuperação de cada um dos componentes da mistura) do método empregado na separação da mistura de acetanilida, cafeína e aspirina.

UNIDADE III

Técnicas de separação e recristalização de compostos orgânicos

As duas aulas que formam esta unidade são destinadas às técnicas simples de separação e recristalização de compostos orgânicos presentes em extratos vegetais.

Separação de pigmentos vegetais por cromatografia em coluna

Objetivo

- Introduzir a técnica de cromatografia em coluna e utilizá-la na separação de pigmentos vegetais.

A cromatografia é um método físico-químico de análise que se presta à purificação, separação, identificação e quantificação de substâncias orgânicas e inorgânicas. Essa técnica fundamenta-se na migração diferencial dos componentes de uma mistura em um meio poroso (fase estacionária) quando arrastados por um solvente (fase móvel). A grande variedade de combinações entre as fases móveis e estacionárias torna essa técnica extremamente versátil e de grande aplicação.



O termo cromatografia foi primeiramente empregado em 1906 pelo bioquímico russo Michael Tswett, que o utilizou para descrever suas experiências na separação dos componentes de extratos de pigmentos vegetais. Nesse estudo, a passagem de éter de petróleo (fase móvel) através de uma coluna de vidro preenchida com carbonato de cálcio (fase estacionária) levou à separação dos componentes do extrato bruto em faixas coloridas. Este é provavelmente o motivo pelo qual a técnica é conhecida como cromatografia (do grego, *chroma* = cor e *graphein* = escrever). Apesar deste, e de outros estudos anteriores, a cromatografia foi praticamente ignorada até a década de 1930, quando foi redescoberta. A partir daí, diversos trabalhos na área possibilitaram seu aperfeiçoamento e, em conjunto com outros avanços tecnológicos, levaram-na a um elevado grau de sofisticação, que ampliou seu potencial de aplicação para muitas áreas.

A cromatografia em coluna é uma técnica muito utilizada para isolamento de produtos naturais e purificação de produtos de reações químicas. Nessa modalidade de cromatografia, as fases

Éter de petróleo é uma denominação dada a uma mistura de hidrocarbonetos saturados que se obtém na destilação do petróleo, contendo pentano e hexano como constituintes principais. Entre as aplicações do éter de petróleo, está o seu emprego como solvente em laboratórios e indústrias químicas.

estacionárias mais utilizadas são as sílicas e as aluminas. Esses adsorventes podem também servir simplesmente como suporte para uma fase estacionária líquida. Fases estacionárias sólidas levam à separação por adsorção e fases estacionárias líquidas por partição.

Adsorção é o processo de retenção de moléculas na superfície de partículas sólidas, causado, em geral, por interações intermoleculares. As moléculas da amostra que se encontram adsorvidas na superfície das partículas sólidas retornam à fase móvel quando as interações com esta são mais fortes. A separação por adsorção baseia-se justamente na diferença da intensidade dessas interações. A separação por partição baseia-se na distribuição da amostra na fase estacionária que é líquida e na fase móvel também líquida.

A cromatografia em coluna fundamenta-se no fato de que os componentes de uma mistura movem-se com o solvente ao longo de uma coluna, com velocidades de difusão diferentes. Essas velocidades dependem de vários fatores, tais como a natureza de cada substância, a natureza do solvente e a atividade do adsorvente. A separação dos constituintes de uma mistura é efetuada através da passagem do solvente pela coluna e baseia-se na interação diferencial dos componentes da amostra com o solvente e com a superfície do adsorvente (ver Figura 1). Um adsorvente sólido ativo tem uma grande área superficial, dispondo de inúmeros sítios polares que podem se combinar reversivelmente ou adsorver pequena concentração de substâncias, por meio de forças de interação eletrostática. O solvente, ao mover-se pela superfície do adsorvente, compete com a amostra adsorvida pelos sítios de retenção do adsorvente e, então, desloca-os reversível e continuamente pela coluna.

A velocidade de eluição dos componentes através da coluna depende da natureza e das forças relativas das interações da amostra com o adsorvente e o solvente. Por exemplo, quando usamos uma fase estacionária polar, os compostos polares ou polarizáveis, tais como alcoóis, ácidos carboxílicos, amidas, aminas, são adsorvidos mais fortemente pela base adsorvente e, conseqüentemente, são eluídos mais lentamente do que os compostos menos polares, como derivados halogenados, aldeídos, cetonas, éteres e hidrocarbonetos.

A eluição é a denominação dada ao movimento de uma substância (ou várias substâncias) ao longo da coluna.

A atividade de um adsorvente sólido também determina a velocidade com que as substâncias são eluídas. A atividade é determinada pelo conteúdo de água e pela granulação das partículas

desse material. Os adsorventes possuem partículas na faixa de 63-200 μm , de modo a possibilitar um fluxo razoável do solvente através da coluna. O solvente empregado também afeta a velocidade de eluição. Quanto mais polar for o solvente, mais rapidamente os componentes se moverão coluna abaixo. Assim, a escolha do solvente é um fator preponderante na eficiência dos processos de separação de substâncias químicas e deve ser conduzida de acordo com a natureza dos componentes a serem separados. Solventes pouco polares são empregados para substâncias fracamente adsorvidas enquanto solventes polares são usados para as substâncias fortemente adsorvidas.

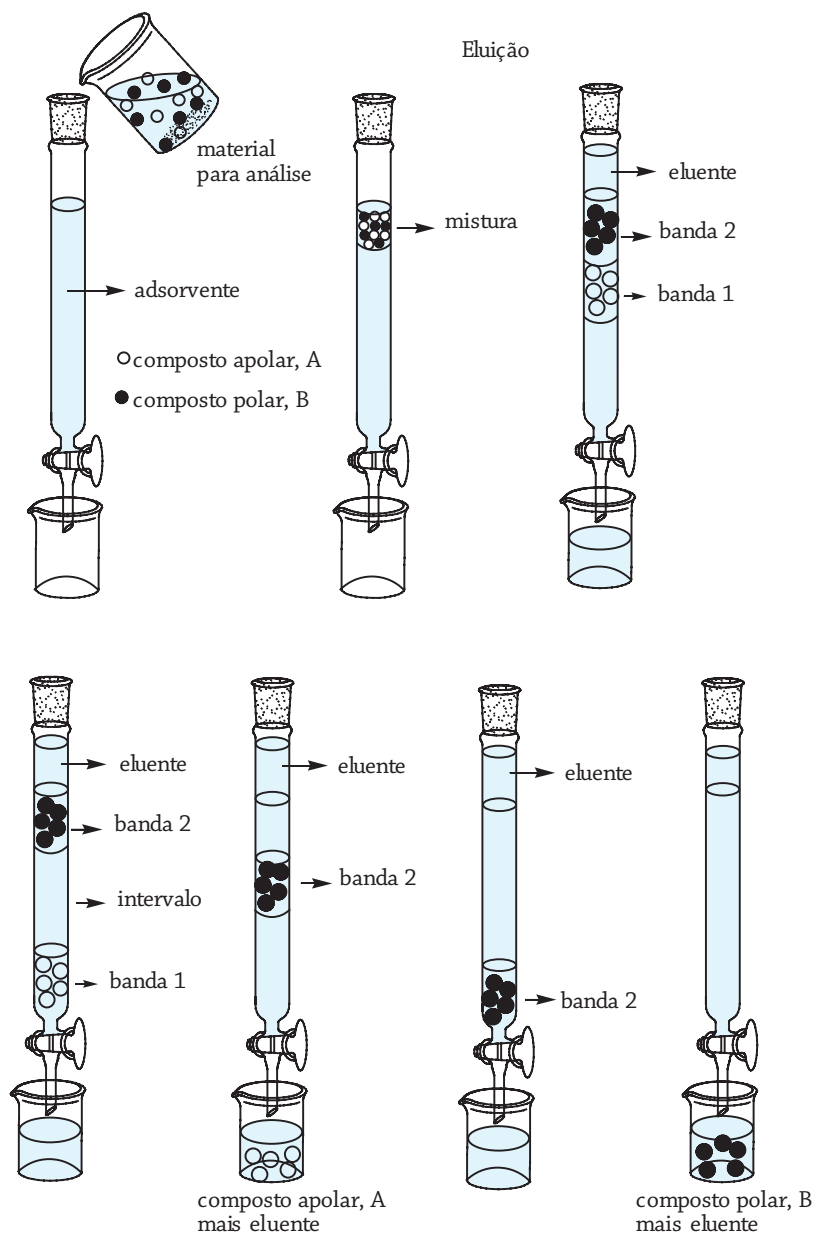


Figura 1: Esquema de separação de duas substâncias em uma coluna cromatográfica.

TRABALHO EXPERIMENTAL

Materiais

- Algodão
- Almofariz com pistilo
- Bastão de vidro
- Béqueres de 250 mL e de 50 mL
- Bulbo para a pipeta Pasteur
- Coluna de vidro com torneira
- Erlenmeyer de 125 mL
- Papel toalha
- Pipeta Pasteur
- Proveta de 100 mL

Reagentes

- Acetona
- Água destilada
- Éter de petróleo
- Folhas verdes de espinafre (cerca de 10 g)
- Sílica-gel para coluna

Procedimentos

Empacotamento da coluna

Adicione à coluna cromatográfica cerca de 10 mL de éter de petróleo e deposite na sua extremidade inferior, próximo à torneira, um pequeno chumaço de algodão para impedir a passagem de partículas da fase estacionária. O algodão pode ser empurrado suavemente com um bastão de vidro, um tubo de vidro ou com um arame rígido. Adicione mais solvente, até cerca de 1/3 de seu volume, e depois uma suspensão contendo cerca de 5 g de sílica-gel misturada ao mesmo solvente. Essa transferência precisa ser feita lentamente, de modo que a acomodação do adsorvente ocorra homogênea e sem interrupções para se evitar quebra no seu empacotamento. Abra a torneira da coluna cromatográfica e deixe escoar o líquido. Se a coluna se encher de solvente antes da transferência total da suspensão, faça essa transferência simultaneamente com o

recolhimento de eluente. Não recolha, porém, o líquido no mesmo frasco da suspensão. Após a completa transferência da suspensão, continue recolhendo solvente para acertar o enchimento da coluna, até que o nível de solvente esteja pouco acima do topo da fase estacionária. Feche, então, a torneira e tampe a coluna enquanto a mistura a ser analisada estiver sendo preparada.

Preparo do extrato de espinafre

Pese 10 g de folhas verdes de espinafre. Remova as nervuras centrais e, em um béquer de 250 mL, ferva essas folhas em 100 mL de água destilada por 2 minutos. Decorrido esse tempo, despreze a água na pia, resfrie rapidamente as folhas utilizando água gelada e enxugue-as com papel toalha. Colete as folhas secas de espinafre em um almofariz, adicione 15 mL de uma mistura de éter de petróleo e acetona (80:20), e triture-as até que seja obtida uma solução verde. Transfira a solução para um béquer de 50 mL e deixe-a decantar.

Eluição e separação cromatográfica de duas classes de compostos orgânicos

Transfira a solução do extrato de espinafre para o topo da coluna cromatográfica, utilizando uma pipeta Pasteur. Nessa operação, tenha o máximo de cuidado para não deixar a camada superior de adsorvente ser furada nem o extrato escorrer pela parede da coluna. Abra a torneira até que a solução atinja o topo do adsorvente; nesse momento, feche-a e, utilizando a pipeta Pasteur, adicione um pouco de éter de petróleo de modo a lavar a parede da coluna. Abra novamente a torneira, até que o solvente, uma vez mais, atinja o topo do adsorvente. Feche, então, a torneira e adicione eluente em quantidade suficiente para proceder a eluição da coluna.

Para prosseguir, recolha a primeira banda colorida que se forma, assim que ela for se movendo para a parte inferior da coluna cromatográfica. Terminada essa coleta, substitua, em seguida, o frasco de coleta e continue recolhendo material até que o eluente perca toda a sua cor. Nesse momento, substitua o eluente por acetona, substitua o frasco coletor e recolha esse novo eluente até que seja novamente verificada uma mudança de cor na coluna. Substitua o frasco coletor e recolha a segunda banda colorida. Compare as cores das frações obtidas.

Eliminação do solvente das soluções coletadas e tarefas finais

Monte um equipamento de destilação simples. Por exemplo, considere o modelo da montagem ilustrada no livro *Técnicas básicas e segurança de laboratório II*.

Remova o solvente de cada uma das frações recolhidas e transfira os respectivos resíduos para frascos devidamente identificados. Remova o adsorvente das colunas com auxílio de um jato d'água deixando-o em local apropriado. Despreze os restos de folha de espinafre no lixo e lave todo o material.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final desta aula, você deve ser capaz de:

- Relacionar a polaridade de substâncias com a ordem da eluição esperada para as suas separações cromatográficas.
- Propor uma separação cromatográfica de um extrato orgânico qualquer utilizando como adsorvente a sílica-gel.
- Escolher eluentes adequados para trabalhos de separação cromatográfica de extratos orgânicos.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

COLLINS, C. H.; BRAGA, G. L. *Introdução a métodos cromatográficos*. Campinas: Unicamp, 1987. 298p.

AUTOAVALIAÇÃO

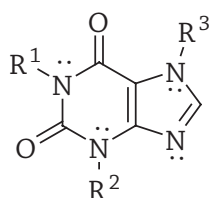
1. Consulte, na literatura, as estruturas gerais da classe de compostos denominados carotenos e clorofilas.
2. Os derivados carotenos apresentam cores próximas do amarelo enquanto as clorofilas são verdes. Avalie as polaridades relativas das misturas que formam as frações de compostos orgânicos separadas nesta aula. Identifique o conteúdo das mesmas.
3. Correlacione a polaridade de uma substância química com a sua estrutura molecular. Utilize como exemplo um caroteno e uma clorofila.
4. O que deve ocorrer com a ordem de eluição se há uma mudança na ordem de adição do eluente? Especificamente, o que ocorreria se, no experimento realizado nesta aula, fosse primeiro adicionado a acetona e depois o éter de petróleo?
5. Suponha que você tenha uma mistura de 3 substâncias orgânicas, sendo todas sólidas: um álcool, um hidrocarboneto saturado e uma cetona. Proponha uma sequência para a separação cromatográfica dessas substâncias, utilizando sílica-gel como adsorvente e os eluentes que julgar necessários.
6. Faça uma pesquisa sobre outros adsorventes que possam ser utilizados em métodos de separação por cromatografia em coluna. Organize, em uma tabela, as diferenças entre suas características cromatográficas.

Extração e recristalização da cafeína

Objetivos

- Isolamento de um produto natural por extração com solvente.
- Purificação de um composto sólido por recristalização.

As metilxantinas, compostos nitrogenados geralmente considerados pseudoalcalóides, possuem várias atividades farmacológicas agindo sobre o sistema nervoso central (SNC), sistema cardíaco, sistema respiratório, musculatura lisa e estriada. As metilxantinas mais abundantes são: a cafeína, a teofilina e a teobromina. A cafeína pode ser extraída das sementes do café (*Coffea arabica*) e das sementes do guaraná (*Paullinia cupana*).



$R^1 = R^2 = R^3 = \text{CH}_3$; Cafeína

$R^1 = \text{H}, R^2 = R^3 = \text{CH}_3$; Teobromina

$R^1 = R^2 = \text{CH}_3, R^3 = \text{H}$; Teofilina

A cafeína é um dos produtos naturais mais consumidos em todo o mundo. Essa substância pode ser encontrada no café, no chá, no chimarrão, nos refrigerantes e no chocolate. A cafeína, 1,3,7-trimetilxantina, é um pó branco cristalino muito amargo. Na medicina, ela é utilizada como estimulante cardíaco e diurético. Ela também produz uma descarga de energia, ou seja, um aumento no estado de alerta em um indivíduo. A cafeína é uma droga que causa dependência física e psicológica, operando por mecanismos similares às anfetaminas e à cocaína. Seus efeitos, entretanto, são mais fracos que os dessas drogas, mas ela atua nos mesmos receptores do sistema nervoso central (SNC).

Como a cafeína é um composto sólido, pode-se realizar a sua purificação por recristalização. O princípio da recristalização é o de se utilizar um solvente, ou mistura de solventes, em que o soluto (produto) desejado seja solúvel a quente e insolúvel a frio. Aquecendo-se

a solução, o soluto se dissolve e, por resfriamento, cristaliza-se espontaneamente. Para uma recristalização bem-sucedida, é necessário que as impurezas indesejáveis sejam insolúveis a quente e/ou solúveis a frio no solvente (ou mistura de solventes) selecionado. No primeiro caso, elas são eliminadas por um processo de filtração a quente e, no segundo caso, permanecem na solução-mãe e o composto de interesse é filtrado a frio. Assim, ao se aquecer uma mistura, o produto desejado é dissolvido e alguma impureza insolúvel poderá permanecer visível. Por uma filtração da solução quente, eliminam-se as impurezas totalmente insolúveis a quente. Ao se resfriar a solução, o produto se cristaliza e as impurezas solúveis permanecem na solução. Por uma nova filtração, obtém-se o produto de interesse em maior pureza. Realizando esse processo repetidas vezes, um produto com um alto grau de pureza pode ser, então, obtido. A pureza do composto pode ser confirmada pela sua temperatura de fusão.

A purificação por recristalização deve ser realizada com misturas contendo menos de 5% de impurezas, o que favorece a eliminação eficiente das impurezas da solução-mãe.

TRABALHO EXPERIMENTAL

Materiais

- Anel de ferro
- Bastão de vidro
- Béquer de 50 mL, 100 mL e 500 mL
- Erlenmeyer de 125 mL e 500 mL
- Espátula
- Funil de separação 500 mL
- Funil simples
- Funil de Büchner
- Garras
- Kitasato
- Papel de filtro (20 cm x 20 cm)
- Placa de aquecimento
- Rolha de borracha
- Suporte universal
- Vidro de relógio

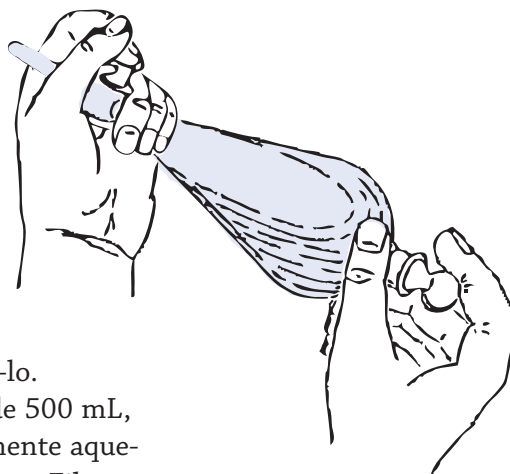
Reagentes

- Água destilada
- Clorofórmio
- Guaraná em pó (100 g)
- Sulfato de sódio anidro

Procedimentos

Preparação do extrato aquoso

Pese 100 g de guaraná em pó em um papel de filtro. Dobre o papel de modo a obter um cartucho ou envelope. Utilize um grampeador para fechar bem o envelope e evitar vazamentos. Coloque o envelope em um béquer de 500 mL contendo 200 mL de água destilada. Aqueça a mistura, permitindo ebulição branda, por cerca de 10 minutos. Procure agitar a água periodicamente, com auxílio de um bastão de vidro, e tampe o béquer com um vidro de relógio sempre que possível. Não force muito o envelope com o bastão para não rasgá-lo. Transfira o líquido ainda quente para um erlenmeyer de 500 mL, lave o envelope duas vezes com 25 mL de água previamente aquecida e junte a fase aquosa ao extrato obtido anteriormente. Filtre o extrato, caso tenha ocorrido vazamento do pó de guaraná. Descarte o envelope no lixo e resfrie o extrato em banho de gelo.



Extração clorofórmica

Adapte um funil de separação a um anel de ferro preso a um suporte (ver Figura 1) e transfira o extrato aquoso para o funil (com o auxílio de um funil simples). Lave o erlenmeyer utilizado com 40 mL de clorofórmio, transfira o clorofórmio para o funil de separação e agite suavemente o conteúdo do funil. Deixe o funil em repouso até a separação das fases. Recolha a fase orgânica (inferior) em um erlenmeyer seco. Repita o procedimento de extração com duas outras porções de clorofórmio (10 mL cada). Descarte a fase aquosa na pia.

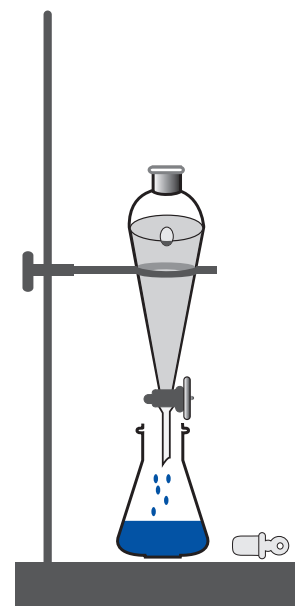


Figura 1: Ilustração da montagem empregada em uma extração líquido-líquido.

Para prosseguir, adicione 5 g de sulfato de sódio anidro ao erlenmeyer contendo a solução de trabalho e agite-o. Verifique se a solução ficou límpida; caso contrário, adicione mais sulfato de sódio. Filtre o líquido para um balão colocado em um béquer de 100 mL e proceda à remoção do solvente aquecendo o béquer em uma placa aquecedora dentro da capela. Transfira o líquido restante para um béquer pequeno previamente tarado e com a identificação do grupo (e turma) que está realizando o experimento. Após a eliminação do solvente, pese o béquer para a determinação da quantidade final obtida do extrato bruto.

Purificação da cafeína por recristalização

Transfira o extrato bruto isolado para um erlenmeyer e adicione um pouco de água destilada (~3 mL). Aqueça em banho-maria a solução até a sua completa dissolução. Se necessário, adicione mais um pouco do solvente. Cuide para que a solução permaneça límpida e sem material em suspensão. Resfrie a solução até a temperatura ambiente e a mergulhe em um banho de gelo e água. Filtre os cristais obtidos a vácuo empregando um funil de Büchner (ver Figura 2) ou equivalente.

Coloque o material em um vidro de relógio e deixe-o secar até a próxima aula. Após a secagem, pese o sólido e calcule o rendimento da substância obtida.

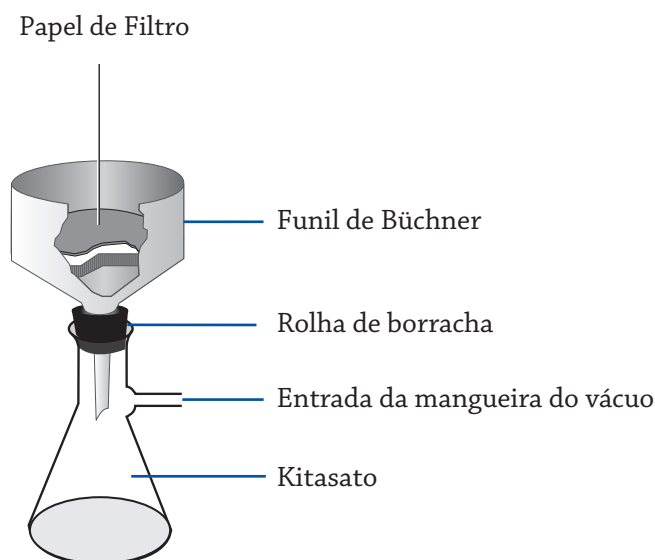


Figura 2: Ilustração da filtração para separação dos cristais de cafeína.

SISTEMATIZAÇÃO DOS TRABALHOS PRÁTICOS

1. Construa um fluxograma mostrando as etapas realizadas para a extração de cafeína.
2. Após a secagem e obtenção do peso do material, calcule a porcentagem em massa da cafeína presente no guaraná em pó. (Lembre-se de que a cafeína obtida não apresenta um alto grau de pureza.)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final desta aula, você deve ser capaz de:

- Compreender as etapas envolvidas no isolamento de produtos naturais, em particular, da cafeína.
- Compreender e ter domínio das técnicas de extração e de purificação por recristalização de compostos orgânicos sólidos.

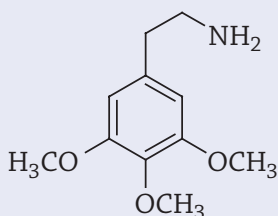
BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

BRENELLI, E. C. S. A extração da cafeína em bebidas estimulantes: uma nova abordagem para um experimento clássico em química orgânica. *Química Nova*, São Paulo, v. 26, n. 6, p. 136-138, jan.-fev. 2003.

FARIA, T. J. Processos de separação e purificação de fármacos. In: ANDREI, C. C.; *et al.* (Org.). *Da química medicinal à química combinatória e modelagem molecular: um curso prático*. Barueri: Manole, 2003. 154 p.

AUTOAVALIAÇÃO

1. A cafeína tem propriedades ácidas ou básicas? Justifique sua resposta com base na estrutura molecular dessa substância.
2. A mescalina (1) é um produto natural extraído do cacto peiote (*Lophophora williamsii*). A mescalina era usada inicialmente em rituais de várias tribos pré-hispânicas. Ela foi isolada em 1896 e teve sua síntese total realizada em 1919. Seus efeitos alucinógenos foram descritos em 1927.



Mescalina (1)

Esboce um fluxograma apresentando as etapas que você poderia empregar para extrair e purificar a mescalina a partir do cacto peiote.

3. Faça uma pesquisa geral e apresente outras fontes naturais de cafeína, além do guaraná em pó.

UNIDADE IV

Preparação de compostos orgânicos

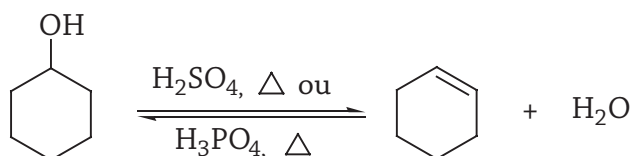
Nesta unidade, duas práticas serão realizadas para a preparação do ciclo-hexeno e do ácido adípico, aulas 5 e 6, respectivamente. No primeiro experimento trataremos de um processo de formação de ciclo-alceno via uma reação de desidratação de um álcool secundário. No segundo experimento trataremos da preparação do ácido adípico, um composto orgânico de interesse industrial.

Preparação do ciclo-hexeno

Objetivos

- Preparar o ciclo-hexeno pela desidratação do ciclo-hexanol.
- Ilustrar experimentalmente a reação de eliminação para formação de alcenos.

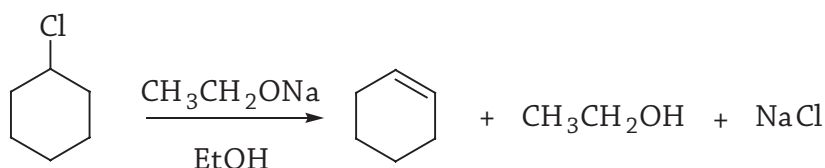
A desidratação de álcoois em meio ácido é um método muito empregado para a formação de alcenos, pois utiliza somente quantidades catalíticas de ácido (como exemplificado a seguir), além de ser um método barato, prático, rápido e de altos rendimentos. Frequentemente utilizam-se o ácido sulfúrico e o ácido fosfórico concentrado. Nessa reação estabelece-se um equilíbrio entre os reagentes e o produto. Para deslocar o equilíbrio para a direção dos produtos (os alcenos), é necessário eliminar um ou mais dos produtos à medida que eles vão se formando. Isso pode ser feito, seja destilando o produto da mistura, seja adicionando-se um agente desidratante para eliminar a água, um subproduto da reação direta. Geralmente, um alceno entra em ebulição a uma temperatura menor que o álcool correspondente. Essa propriedade física permite separar o alceno de uma mistura contendo o par álcool-alceno associado, deslocando-se, assim, o equilíbrio para a direção da formação dos produtos.



A desidratação dos álcoois geralmente se desenvolve mediante o mecanismo E1, e raramente é observado o mecanismo E2. A primeira etapa consiste na protonação do álcool que é ligeiramente exotérmica; esta etapa é seguida da eliminação de uma molécula de água e da formação do carbocátion correspondente. Essa é a etapa determinante do processo. Em seguida ocorre a eliminação de um

dos prótons vicinais ao carbocátion, produzindo o alceno desejado (esta etapa é fortemente exotérmica). Já que a etapa determinante é a formação de um carbocátion, a facilidade de desidratação dos alcoóis segue a mesma ordem de facilidade de formação dos carbocátions: alcoóis terciários > alcoóis secundários > alcoóis primários. Como em outras reações em que são formados carbocátions, são comuns processos de rearranjos moleculares acompanhando a reação principal.

Outro método muito utilizado para a obtenção de alcenos é a desidro-halogenação de haletos de alquila, com uso de bases fortes e eliminação de sais.



TRABALHO EXPERIMENTAL

Materiais

- Algodão
- Alonga
- Aro metálico
- Balão de destilação de 100 mL
- Bico de Bunsen
- Condensador reto
- Erlenmeyer de 50 mL
- Funil de separação de 100 mL
- Funil simples
- Garras
- Mangueira
- Pedacos de porcelana
- Proveta de 10 mL
- Rolhas de borracha
- Suporte universal
- Tela de amianto
- Termômetro
- Tubo de ensaio

Reagentes

- Ácido sulfúrico concentrado
- Ciclo-hexanol
- Cloreto de cálcio anidro
- Cloreto de sódio
- Solução aquosa a 4% de KMnO_4
- Solução aquosa a 5% de NaHCO_3

Procedimentos

Preparação do ciclo-hexeno

Coloque 30 mL de ciclo-hexanol em um balão de destilação de 100 mL. Adicione 1 mL de ácido sulfúrico concentrado e agite a mistura lentamente. Introduza um ou dois pedaços de porcelana e ajuste ao balão a rolha com o termômetro, o condensador (já com as mangueiras conectadas e com a passagem da água) e a alonga, como mostrado na montagem (ver Figura 1). Utilize um erlenmeyer de 25 ou 50 mL como frasco coletor. Aqueça o balão, **não ultrapassando os 100 °C** de temperatura.



IMPORTANTE:

O aquecimento da solução ácida do ciclo-hexanol não pode ser muito violento, para evitar a formação excessiva de subprodutos poliméricos. Interrompa a destilação quando se observar o aparecimento de um resíduo escuro no balão de destilação.



Figura 1: Montagem para destilação simples

Elaboração do bruto de reação

Na sequência, introduza uma pequena porção de NaCl no erlenmeyer que contém o produto destilado. Após a adição do sal, acrescente 10 mL de água destilada ao erlenmeyer e transfira a mistura para um funil de separação. Agite o funil lentamente. Espere até observar a separação das fases e despreze a camada inferior (aquosa). Adicione 10 mL de solução a 5% de bicarbonato de sódio e uma vez mais, agite o funil levemente. Espere a separação das fases e despreze a camada aquosa. Repita o procedimento de extração com mais 10 mL de água destilada. Espere novamente a separação, das fases e despreze a camada inferior. Transfira o produto para um erlenmeyer seco, utilizando a parte superior do funil de separação e adicione cloreto de cálcio anidro aos poucos, até a solução ficar límpida. Deixe a solução em repouso durante 5 minutos.

Filtre, então, o produto obtido, utilizando um funil simples com algodão, para uma proveta de 25 mL. Meça o volume obtido. Transfira o produto para um frasco, devidamente identificado, conforme orientação do tutor. Coloque uma gota de reagente de Baeyer (solução aquosa a 4% de KMnO_4) no resíduo que permaneceu na proveta e observe. A formação de coloração marrom caracteriza a presença de insaturação na estrutura molecular do produto formado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final desta aula, você deve ser capaz de:

- Reconhecer a reação desidratação de álcoois por meio de algumas evidências experimentais baseadas em alterações físicas da substância inicial.
- Identificar as ligações duplas C=C nos alcenos, utilizando os testes adequados de grupos funcionais.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

PAVIA, D. L.; LAMPMAN, G. M.; KRIZ, G. S. *Introduction to organic laboratory techniques: A contemporary approach*. 2. ed. Philadelphia: Saunders Coll. Publ., 1982. 736 p.

VOGEL, A. I. *Química orgânica: análise orgânica qualitativa*. 3. ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1971. 458 p. v. 1.

AUTOAVALIAÇÃO

1. Construa uma tabela contendo todos os reagentes e os produtos orgânicos, assim como os eventuais produtos (orgânicos) secundários que participaram do processo de síntese do ciclo-hexeno realizado nesta aula. Colete suas propriedades físicas (temperaturas de ebulição e fusão, densidade e solubilidade) e as inclua na tabela construída.
2. Construa uma outra tabela contendo as massas ou volumes dos reagentes utilizados na síntese do ciclo-hexeno e as respectivas quantidades molares. Discuta as relações estequiométricas entre os reagentes utilizados.
3. Qual a necessidade de se retirar o alceno por destilação na reação química investigada nesta aula?
4. Apresente a reação química que ocorre na destilação do ciclo-hexanol, representando detalhadamente o mecanismo envolvido. Discuta as relações estequiométricas dos reagentes e as condições da reação.
5. Como poderia ser aumentado o rendimento da reação de formação do ciclo-hexeno estudada nesta aula?
6. Para as mesmas condições de reação, por que os álcoois terciários eliminam água mais facilmente, se comparados aos álcoois primários?
7. Explique a diferença entre as temperaturas de ebulição do ciclo-hexeno e do ciclo-hexanol.
8. Esquematize as reações de caracterização do ciclo-hexeno empregadas nesta aula.
9. Faça uma pesquisa simples na literatura química e proponha outros métodos de obtenção de alcenos.
10. Qual deve ser o produto formado a partir da desidratação do 2,2-dimetilciclo-hexanol?

AULA 6

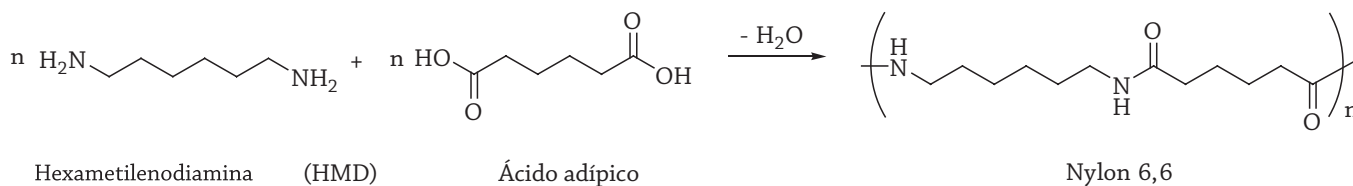
Preparação do ácido adípico

Objetivos

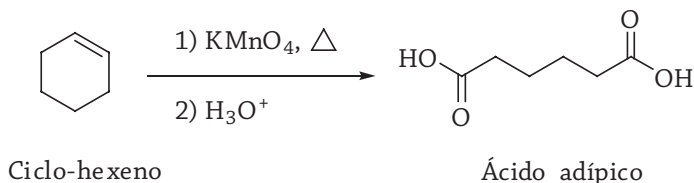
- Ilustrar a reação de adição à ligação dupla e a oxidação de alcenos.
- Preparar um composto orgânico de interesse industrial.

O ácido adípico é uma substância que possui várias aplicações; entre elas podemos citar: intermediários em sínteses orgânicas, polímeros, fibras têxteis de poliamidas, lubrificantes, plastificantes, adesivos, tintas, resinas e até mesmo em alimentos e detergentes.

Um exemplo da grande importância do ácido adípico em síntese orgânica é a obtenção do sal de nylon 6,6. Esse composto é obtido pela reação entre o ácido adípico e a hexametilenodiamina (HMD), e é designado usualmente como nylon 6,6.

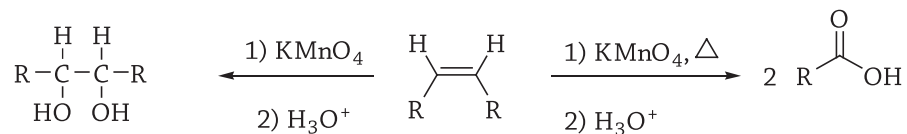


O ácido adípico também é usado como acidulante na indústria de alimentos, porém, seu alto custo de produção não o torna competitivo frente ao ácido cítrico. O ácido adípico pode ser preparado a partir do ciclo-hexeno, pelo tratamento com permanganato de potássio em meio ácido.



A ligação dupla dos alcenos é facilmente oxidada por um grande número de reagentes, incluindo o permanganato de potássio aquoso. O produto orgânico formado depende das condições da

reação. A hidroxilação *syn*, ou seja, do mesmo lado da molécula, é favorecida por condições mais brandas do meio reagente, enquanto a clivagem para a formação do ácido dicarboxílico ocorre sob condições mais vigorosas.



TRABALHO EXPERIMENTAL

Materiais

- Bacia de plástico
- Béquer de 500 mL
- Bico de Bunsen
- Caixa de papel pH
- Erlenmeyers de 500 mL
- Espátula
- Folha de papel de filtro
- Funil de Büchner
- Kitasato
- Pedacos de porcelana
- Provetas de 10 mL
- Termômetro
- Trompa de vácuo
- Vidro de relógio

Reagentes

- Acetona
- Ácido clorídrico
- Bissulfito de sódio
- Ciclo-hexeno
- Permanganato de potássio

Procedimentos

Preparação do ácido adípico

Em um erlenmeyer de 500 mL prepare uma solução com 20 g de permanganato de potássio e 100 mL de água. Agite a mistura para acelerar a solubilidade do sal, porém, nem todo o permanganato será solúvel na água. Prepare, em um segundo erlenmeyer de 500 mL (ou o de maior volume que se tenha disponível no laboratório), uma solução de 5 mL de ciclo-hexeno com 15 mL de acetona.

Adicione a solução de permanganato à solução de ciclo-hexeno e acetona (não deixe que o permanganato sólido passe para o frasco contendo os reagentes), em pequenas porções de 50 mL, em um período de 20 minutos, . Durante o processo de mistura dos reagentes, agite o erlenmeyer para favorecer uma melhor interação entre as diferentes fases. Após a mistura total dos reagentes, aqueça o erlenmeyer, em banho-maria, mantendo a temperatura entre 55-60 °C, durante 30 minutos.

Elaboração do bruto de reação

Remova o frasco que está em banho-maria, adicione 8 g de bissulfito de sódio ao frasco quente e, em seguida, transfira-o para um banho de gelo. Filtre a mistura a vácuo usando um funil de Büchner (ver Figura 2 da Aula 4) ou procedimento equivalente. Lave com 50 mL de água destilada e descarte o precipitado marrom que ficar no funil.

Transfira o filtrado para o béquer de 500 mL, acidificando o meio com pequenas porções de ácido clorídrico concentrado até pH 2. Verifique o pH da solução usando um papel indicador adequado. Reduza o volume do filtrado para aproximadamente 30 mL, por meio de aquecimento. Coloque, antes, algumas pérolas de vidro ou pedaços de porcelana ao béquer. Coloque a mistura concentrada em banho de gelo, quando será observada a formação de cristais brancos de ácido adípico; recolha-os filtrando a solução a vácuo em um funil de Büchner. Coloque o material obtido em um vidro de relógio e cubra-o com uma folha de papel. No próximo retorno ao laboratório, pese o produto e calcule o rendimento da reação. Determine a temperatura de fusão do ácido adípico e compare com o valor encontrado na literatura.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final desta aula, você deve ser capaz de:

- Reconhecer que o KMnO_4 pode em determinadas condições promover a clivagem oxidativa de alcenos levando à formação de ácidos carboxílicos.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

SHRINER, R. L.; FUSON, R. C.; CURTIN, D. Y. *Identificação sistemática dos compostos orgânicos: manual de laboratório*. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983. 517 p.

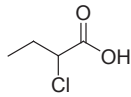
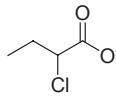
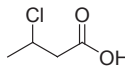
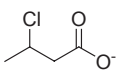
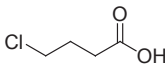
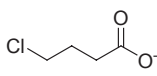
SOLOMONS, T. W. G.; FRYLE, C. B. *Química orgânica*. 8. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2004, 715 p. v. 1.

VOGEL, A. I. *Química orgânica: análise orgânica qualitativa*. 3. ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1971, 434 p. v. 2.

AUTOAVALIAÇÃO

1. Construa uma tabela contendo todos os reagentes e os produtos orgânicos, assim como os eventuais produtos (orgânicos) secundários que participaram do processo de síntese do ciclo-hexeno realizado nesta aula. Colete suas propriedades físicas (temperaturas de ebulição e fusão, densidade e solubilidade) e as inclua na tabela construída.
2. Construa uma outra tabela contendo as massas ou volumes dos reagentes utilizados na síntese do ciclo-hexeno e as respectivas quantidades molares. Discuta as relações estequiométricas entre os reagentes utilizados.
3. Descreva quimicamente cada etapa do procedimento empregado para a síntese do ácido adípico e da elaboração do produto bruto da reação. Faça uma análise das espécies químicas presentes e de como elas são eliminadas no processo de elaboração do produto bruto da reação.
4. Qual é a necessidade de adição de acetona aos reagentes na preparação do ácido adípico?
5. Qual é a ordem de reatividade da halogenação dos alcenos com Cl_2 , Br_2 e I_2 ? Justifique sua resposta. Represente, por meio de equações químicas corretamente balanceadas, as reações químicas correspondentes e proponha um mecanismo de reação para elas.

ANEXO
Força relativa de alguns ácidos
e suas bases conjugadas

Ácido	pK_a em água (ou DMSO*)	Base conjugada
HI	-10,0	I ⁻
HBr	-9,0 (0,9)	Br ⁻
HCl	-7,0 (1,8)	Cl ⁻
HF	3,2	F ⁻
H ₂ SO ₄	-3,0	HSO ₄ ⁻
HSO ₄ ⁻	1,99	SO ₄ ²⁻
HNO ₃	-1,3	NO ₃ ⁻
HNO ₂	3,29	NO ₂ ⁻
CH ₃ CH ₃	48,0	CH ₃ CH ₂ ⁻
H ₂ C=CH ₂	50,0	H ₂ C=CH ⁻
HC≡CH	24,0	HC≡C ⁻
H ₃ O ⁺	-1,7	H ₂ O
H ₂ O	15,7 (31,4)	HO ⁻
NH ₄ ⁺	9,2 (10,5)	NH ₃
NH ₃	38,0 (41,0)	NH ₂ ⁻
	2,8	
	4,0	
	4,5	
CH ₃ CO ₂ H	4,8 (12,3)	CH ₃ CO ₂ ⁻
CF ₃ CO ₂ H	-0,2	CF ₃ CO ₂ ⁻
CH ₄	48,0 (56,0)	CH ₃ ⁻
CH ₃ OH	15,3 (29,0)	CH ₃ O ⁻
CH ₃ CH ₂ OH	16,0	CH ₃ CH ₂ O ⁻

*DMSO = dimetilsulfóxido.

$pK_a = -\log(K_a)$; K_a constante de acidez.

SOBRE OS AUTORES

Ângelo de Fátima é doutor em Ciências pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e professor no Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais ICEX -(UFMG). E-mail: adefatima@qui.ufmg.br

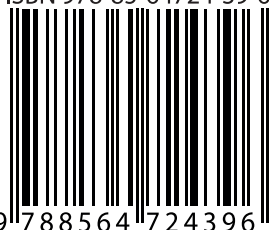
Gaspar Diaz Muñoz é doutor em Ciências pela Unicamp e professor do Departamento de Química do ICEX-UFMG. E-mail: gaspardm@qui.ufmg.br

Júlio César Dias Lopes é doutor pela Universidade de São Paulo (USP) e professor do Departamento de Química do ICEX-UFMG. E-mail: jlopes@netuno.lcc.ufmg.br

Rosemeire Brondi Alves é doutora em Ciências pela Université Paris - Sud 11 e professora do Departamento de Química do ICEX-UFMG. E-mail: brondi@netuno.lcc.ufmg.br

A presente edição foi composta pela Editora UFMG, em caracteres Chaparral Pro e Optma Std, e impressa pela Rettec Artes Gráficas, em sistema offset, papel offset, papel offset 90g (miolo) e cartão supremo 250g (capa), em dezembro de 2009.

ISBN 978-85-64724-39-6



9 788564 724396

