

ALOISIO

Prefácio

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS



DEPARTAMENTO DE QUÍMICA – ICEX

Curso de Licenciatura em Química

Modalidade Educação a Distância

Química Orgânica Experimental I

Prof. Ângelo de Fátima
Prof. Gaspar Diaz Muñoz
Prof. Júlio César Dias Lopes
Prof.^a Rosemeire Brondi Alves

Este livro, organizado por Ângelo de Fátima, Gaspar Diaz Muñoz, Júlio César Dias Lopes e Rosemeire Brondi Alves, 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 realizados um número de modificações e revisões das apostilas originais empregadas na disciplina de Química Orgânica I (curso presencial), cujas participações 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, Rossimíriam P. de Freitas, Henriete S. Vieira, Maria Amélia D. Boaventura, Lucienir P. Duarte e Grácia D.F. Silva foram de extrema importância. Em reconhecimento às valiosas contribuições de todos os professores que dedicaram parte do seu tempo na elaboração de todo o material que serviu de base para a elaboração deste livro nós gostaríamos de externar os nossos sinceros agradecimentos.

Os autores

Sumário

Unidade I: Considerações gerais

A Rotina das aulas práticas de Química Orgânica Experimental I

Segurança no laboratório

Modelos de relatórios

Unidade II: Propriedades Químicas de Compostos Orgânicos

Primeira aula: Reconhecimento de Funções Orgânicas

Segunda aula: Acidez e Basicidade de Compostos Orgânicos

Unidade III: Técnicas de Separação e Recristalização de Compostos Orgânicos

Terceira aula: Separação de Pigmentos Vegetais por Cromatografia em Coluna

Quarta aula: Extração e Recristalização da Cafeína

Unidade IV: Preparação de Compostos Orgânicos

Quinta aula: Preparação do Ciclo-hexeno

Sexta aula: Preparação do Ácido Adípico

Anexo I: Força Relativa de Alguns Ácidos e suas Bases Conjugadas

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 dadas 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 este 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 café) podem ser isolados e purificados, escolhemos alguns 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, sua acidez e 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 características dos 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 nesta apostila. 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 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. Lá, você encontrará um conjunto de regras básicas de segurança 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 mais gerais que você deseja conhecer, assim como, as fichas de segurança das mais diversas substâncias, reagentes e solventes, que eventualmente você precisa consultar.

Como recomendações gerais, já é de seu conhecimento, o bom andamento das atividades práticas depende em seguir rigorosamente algumas regras básicas simples. São elas:

1. o uso intensivo do material didático desta disciplina já a partir da primeira aula;
2. de sua familiaridade com as instalações do laboratório. Procure se inteirar, desde a primeira aula, de toda infra-estrutura e das normas de funcionamento e de segurança do laboratório;
3. não se esqueça 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 destes materiais;
4. a bancada de trabalho deve sempre ser limpa ao final de cada aula prática;
5. após o uso, os reagentes devem ser colocados em locais apropriados. Peça orientação ao seu tutor para o local indicado onde essas substâncias devem ser recolhidas e, muito importante, a forma correta como elas devem ser acondicionadas;
6. evite conversar em voz alta e, evite assuntos alheios à aula. É preciso manter total atenção aos experimentos que estão sendo realizados;
7. siga sempre as normas de segurança. Algumas dessas normas estão relacionadas no item D abaixo.

No que se segue, algumas informações sobre normas básicas de segurança de laboratório de serão repetidas e umas poucas regras simples, mas provavelmente úteis, para a redação de um 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 evitar 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 ubíquos 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 esta 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 às instruções abaixo e procure segui-las integralmente:

1. Você deverá 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 vocês tenham individualmente um par de luvas em látex natural com forro.
5. É proibido o uso de calçados abertos, bermudas ou saias durante as aulas práticas. O aconselhamento do 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 este material.
6. Rigorosamente, não é permitido fumar, comer ou beber nos laboratórios.
7. O material do laboratório deve ser usado sempre de maneira adequada. Utilize somente aqueles reagentes e soluções especificadas no roteiro de aulas práticas. NÃO tente, em hipótese alguma, realizar qualquer reação não especificada nos procedimentos descritos no roteiro das aulas práticas, ou aquelas indicadas ou solicitadas pelo seu tutor.
8. Após o uso, deixar os reagentes nos devidos lugares. Informe-se com o seu tutor o lugar apropriado onde eles devem ser deixados.
9. Todo o material usado deve ser cuidadosamente lavado ao final de cada aula e organizado no local apropriado (mesas, bancadas ou armários) indicado por seu tutor.
10. A bancada de trabalho deve permanecer sempre limpa durante a execução dos experimentos, igualmente ela deve ser deixada limpa após cada aula.

Finalmente, uma atenção especial deve ser reservada 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 e os locais para realizar os descartes dos resíduos sólidos e líquidos.

Modelo de Relatórios

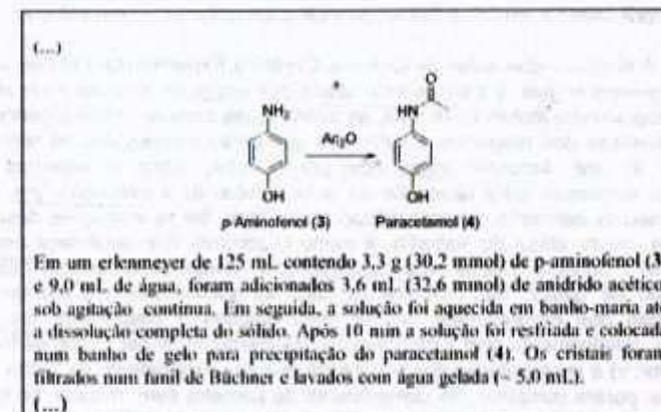
A idéia central para a redação de um bom relatório está em se preocupar com o uso de uma linguagem simples, porém clara direta e objetiva, na descrição dos detalhes de uma experiência vivida pelo autor. Redija um texto para ser lido e compreendido por uma pessoa desconhecida, em um tempo, lugar e com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

A reflexão do quadro acima motiva a formulação de algumas poucas regras práticas que podem, convenientemente, nos auxiliar na redação de um relatório. Um grupo dessas regras está reunido abaixo. Lembre-se, porém, que você será o autor (ou um dos autores) dos relatórios que serão elaborados. Assim, é sua a responsabilidade da seleção do material que formará o corpo do texto, a escolha da seqüência como ele será distribuído ao longo da apresentação, e, muito importante, a decisão pelas várias opções gráficas (figuras, tabelas, esquemas, quadros, etc.) que serão utilizadas na confecção do documento. Evite o excesso de informações, mas, não se esqueça que as informações necessárias não podem nunca 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 ter:

1. Título, identificação do autor, local e data. Pela modalidade do curso, é conveniente ter, também, o nome do tutor responsável pela disciplina incluído.
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 desvantagens dos métodos citados.
3. Objetivos. Descreva de maneira sucinta os objetivos da prática realizada.
4. 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, e químicas e tóxicas, se for o caso. Esses detalhes são essenciais para a uma nova realização 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 da do *p*-aminofenol, exemplifica as instruções acima:



5. 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 sempre recursos poderosos que podem e devem ser explorados na produção de relatórios sintéticos, mas altamente informativos. Tabelas, figuras, esquemas e gráficos devem sempre ser acompanhados pelos seus respectivos títulos ou legendas adequados.

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) 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, resumidamente sistematizando e correlacionando os aspectos relativos aos resultados finais, a metodologia adotada, os modelos e as informações teóricas conhecidas direta ou indiretamente relacionadas ao estudo realizado. Uma boa conclusão contém uma apreciação global dos procedimentos realizados e dos objetivos alcançados.
7. **Referências:** As informações obtidas da literatura científica, devem ser formalmente reconhecida (e os devidos créditos dados aos autores) através de citações completas nas posições corretas do texto que forma o seu relatório de atividades. Existe uma coleção de normas técnicas regularizando a maneira adequada como referências devem ser apostas em um texto técnico ou acadêmico. Para que o bom hábito seja adquirido através de bons exercícios, recomendamos que um modelo unificado de citações, como o apresentado no quadro abaixo seja, inicialmente, seguido.

(...) Historicamente, a dulcina foi o segundo adoçante sintético a ser lançado no mercado há mais de cem 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.

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 alguns processos mais comuns de identificação e caracterização de algumas funções orgânicas simples. Isto se fará através de suas reações químicas características. A segunda aula é reservada para a determinação qualitativa e quantitativa das 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.

Primeira Aula

Reconhecimento de Funções Orgânicas

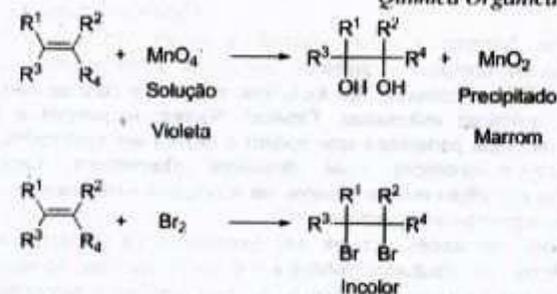
Os compostos orgânicos se caracterizam pela presença de átomos de carbono e hidrogênio em suas moléculas. Os heteroátomos são considerados como todos os outros átomos diferentes de carbono e hidrogênio encontrados nas moléculas orgânicas. Os heteroátomos mais comuns são o oxigênio, o nitrogênio e os 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 puramente covalente.

O átomo de carbono é o elemento central dos compostos orgânicos. Isto 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. Estas podem ser ligações 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 descobrir-se.

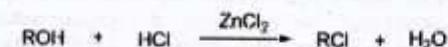
O reconhecimento dos compostos orgânicos é facilitado pela organização em classes de derivados possuindo funções orgânicas comuns. Cada grupamento funcional tem propriedades químicas específicas, propriedades essas que são associadas às suas estruturas moleculares, e que podem ser generalizadas para todos os compostos que apresentarem o mesmo grupamento, isto é, que pertencem à mesma função orgânica. As funções orgânicas mais comuns são os alcanos (hidrocarbonetos saturados), alquenos, alquinos e hidrocarbonetos aromáticos (hidrocarbonetos insaturados), álcoois, aldeídos, cetonas, ácidos carboxílicos, haletos de alquila, aminas e fenóis. Cada uma dessas classes de compostos apresenta reações químicas específicas que podem ser, reciprocamente, utilizadas na sua caracterização.

Nesta prática serão utilizadas algumas reações para identificar a presença de grupamentos funcionais específicos, tais como:

a) Diferenciação de hidrocarbonetos saturados e insaturados:



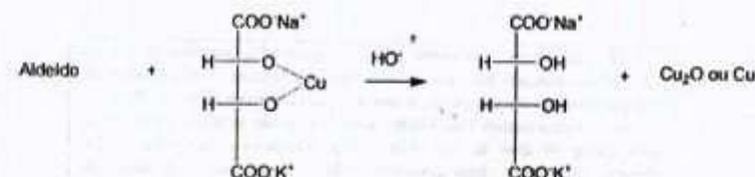
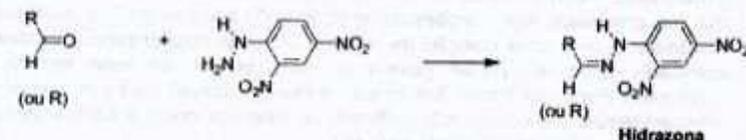
b) Caracterização e Diferenciação de Álcoois:



c) Caracterização de Haletos de Alquila:



d) Caracterização e Diferenciação de Aldeídos e Cetonas:



e) Caracterização de Ácidos Carboxílicos:



f) Caracterização de Fenóis:



Objetivos

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

Trabalho Experimental

Materiais

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

Amostras de compostos orgânicos

10 Amostras de compostos orgânicos desconhecidos

Reagentes e Solventes

Solução aquosa a 4% de KMnO_4
Solução aquosa a 10% de fenol
Solução aquosa a 10% de AgNO_3
Solução aquosa a 10% de NaHCO_3
Solução etanólica a 10% de FeCl_3
Água destilada
Ciclo-hexano
Ciclo-hexeno
Etanol
Ciclo-hexanol
Álcool ter-butilico
Ácido acético
Formol
Acetona
Cloro de ter-butila
Reagente com 2,4-dinitrofenil-hidrazina
Reagente 2,4-DNFH
Reagente de Lucas
Reagente de Fehling

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 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 CuSO_4 penta-hidratado 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 cloro férrico também já estarão preparadas em frascos conta-gotas.

Procedimentos

Realize os testes abaixo descritos de forma completa, fazendo observações cuidadosas e anotações completas e 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 . Faça o mesmo com o **composto 2**. Observe. O descoloramento da solução de KMnO_4 e formação de um precipitado marrom caracterizam uma substância insaturada que não seja 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 três 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)

Pegue 1 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: Modo correto 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** num 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 um 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 abaixo, 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			
Confirmação			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
7			
8			
9			
10			

Considerações Finais

Ao final dessa 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. 6ª Edição. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983, 517p.

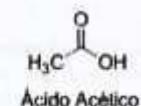
Auto-Avaliação

- 1) Caracterize quimicamente cada uma das funções orgânicas: alcano, alqueno, álcool, cetona e éster.
- 2) Por que uma cetona dá resultado negativo na reação de Fehling?
- 3) Quais são as velocidades relativas de reação dos álcoois primário, secundário e terciário no teste de Lucas? Justifique com base na estabilidade dos carbocátions formados.
- 4) Suponha que você possua três frascos sem rótulos que contenham, separadamente, o 3-hepteno, o benzeno e o etanol. Proponha uma forma de identificar o conteúdo de cada frasco.

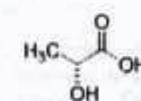
Segunda Aula

Acidez e Basicidade de Compostos Orgânicos

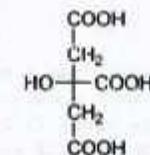
Quem não sabe identificar, dentre várias frutas, aquelas que são ácidas? Praticamente todos sabem fazer esta identificação, principalmente, se provarmos esta fruta. Mas qual(is) composto(s) esta(ão) presente(s) nesta fruta que conferem a ela o sabor ácido? O termo ácido vem do latim *acere*, que significa 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 destes produtos é devido a 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.

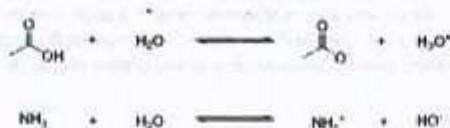
Apesar das propriedades das substâncias ácidas e básicas serem conhecidas desde o século XVII, foi somente no final do século XIX que surgiram as primeiras idéias bem-sucedidas correlacionando uma estrutura química com as propriedades ácidas e básicas das substâncias. A primeira teoria sobre a natureza química dos ácidos e bases foi proposta por Arrhenius, em 1887. Alguns anos mais tarde (1923), Brønsted e Lowry expandiram os conceitos de Arrhenius. Porém, foi Lewis, neste 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.

Svant 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 destas espécies carregadas, formadas quando os compostos estudados por Arrhenius eram dissolvidos em água, explicavam a condutividade elétrica destas 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

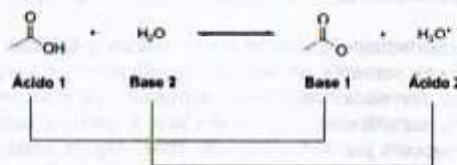
idéias para outros tipos de solventes ou mesmo a eliminação completa da necessidade de um meio solvente, levaram ao surgimento de novas definições ou teorias para ácidos e bases.

Em 1923, J. N. Brønsted e T. M. Lowry, propuseram uma definição mais ampla para ácidos e bases, chamada de "definição protônica". A teoria de Brønsted e Lowry 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. Esta definição é mais ampla que a de Arrhenius, uma vez que o meio de reação não influi 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, a água 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 pelos diagramas:



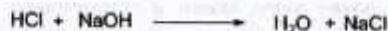
Pode-se notar, assim, que a teoria de Brønsted-Lowry não contraria a teoria de Arrhenius, ao contrário, ela a amplia para aplicação em outros solventes que não a água. A liberação ou formação do íon HO^- não é uma característica de todas as bases, mas a capacidade de reagir com H^+ é uma propriedade de todas as bases, em qualquer solvente.

Pela definição de Brønsted-Lowry, não é necessário, nem mesmo um meio líquido para que as reações ocorram. A reação entre vapores de cloreto de hidrogênio e amônia é um exemplo disso. O cloreto de amônio é o produto sólido desta reação. Segundo a definição protônica, uma reação ácido-base envolve a competição de um próton (H^+) entre duas bases:



Um ácido (ácido 1) ao reagir com uma base (base 2), sempre dará origem a uma outra base (base 1) e um outro ácido (ácido 2). Formam-se pares de ácido e base conjugados: a base 1 é a base conjugada do ácido 1, e o ácido 2 é o ácido conjugado da base 2. A reação sempre se processa no sentido de formação do ácido e da base mais fracos.

A definição de ácido e base de Lewis veio para ampliar ainda mais a aplicação desses conceitos. Lewis definiu um ácido como uma espécie capaz de receber pares de elétrons e base como uma espécie capaz de doar pares de elétrons para a formação de novas ligações químicas. A reação entre um ácido e uma base de Lewis de uma maneira geral dá origem à formação de uma nova ligação covalente.



A definição de Lewis abrange todos os íons, sejam cátions (bons receptores de elétrons) e ânions (bons doadores de elétrons), 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 se é exemplificado por reações de complexação. Nessas reações, íons metálicos deficientes em elétrons como, por exemplo, 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 de Lewis são muito úteis em Química Orgânica para prever e compreender a reatividade de inúmeras classes de compostos diferentes.

Objetivos

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

Trabalho Experimental

Materiais

Tubos de ensaio
 Garras de madeira
 Papel indicador universal de pH

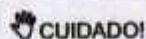
Reagentes

Solução aquosa a 5% de NaOH
 Solução aquosa a 50% de NaOH
 Solução aquosa a 5% de NaHCO_3
 Ácido sulfúrico concentrado
 Ácido acético
 Ácido trifluoroacético
 Etanol
 Trietilamina
 Anilina

Procedimentos

Realize os 12 testes abaixo descritos de forma completa, fazendo observações cuidadosas e anotações completas e claras.

1. Em um tubo de ensaio coloque 3 mL de etanol. Teste o pH com uma pequena tira de papel indicador e compare a cor com a escala da embalagem. Adicione 0,5 mL de solução aquosa de NaOH 5% e agite. Teste novamente o pH. Teste também o pH da solução 5% de NaOH. Anote os resultados.
2. Repita o procedimento utilizando etanol e solução de NaOH 50%. Anote os valores do pH da solução de NaOH 50% e da mistura etanol/NaOH 50%.
3. Em um tubo de ensaio coloque 1 mL de ácido acético e teste o pH. Adicione 0,5 mL de solução de NaOH 5%. Agite e observe. Teste o pH da solução. Anote os resultados.
4. Repita o procedimento anterior utilizando ácido acético e solução de NaHCO₃ 5%. Teste o pH da solução de NaHCO₃ 5% e da mistura. Anote os resultados.
5. Repita o procedimento 4 utilizando ácido acético e adicione 0,5 mL de solução aquosa de NaOH 50%. Teste o pH da mistura. Anote os resultados.
6. Em um tubo de ensaio coloque 1 mL de ácido trifluoroacético e teste o pH. Adicione 0,5 mL de solução de NaOH 5%. Agite e observe. Teste o pH da solução. Anote os resultados.
7. Repita o procedimento anterior utilizando ácido trifluoroacético e solução de NaOH 50%. Teste o pH da mistura. Anote os resultados.
8. Em um tubo de ensaio coloque 1 mL de anilina e teste o pH. Adicione 1 mL de H₂SO₄ concentrado.



A reação do ácido sulfúrico concentrado com amônia é altamente exotérmica.

Agite e observe. Teste o pH da mistura. Adicione mais 1 mL de ácido. Agite e observe. Teste novamente o pH da mistura. Anote os resultados.

9. Repita o procedimento anterior utilizando a trietilamina e ácido sulfúrico concentrado. Anote os resultados.
10. Em um tubo de ensaio coloque 1 mL de H₂SO₄ concentrado e teste o pH. Adicione 3 mL de etanol e agite. Teste o pH após alguns minutos. Anote os resultados.
11. Repita o procedimento anterior utilizando 1 mL de H₂SO₄ concentrado e 5 mL de ácido acético. Anote os resultados.
12. Em um tubo de ensaio coloque 2 mL de ácido acético, 3 mL de etanol e 0,5 mL de ácido sulfúrico concentrado. Agite e observe. Teste e anote o pH da mistura. Aqueça cuidadosamente e observe a mudança de odor. Teste novamente e veja se houve mudança de pH. Aqueça e teste novamente o pH. Anote os resultados.

Sistematização dos resultados experimentais

1. Complete a tabela abaixo, apresentando os resultados experimentais obtidos durante a prática. Dê um título adequado à tabela.

Substância/Mistura	pH	Observações
Etanol		
Etanol + NaOH 5%		
NaOH 5%		
Etanol + NaOH 50%		
Etanol + NaOH 50% após aquecimento		
NaOH 50%		
CH ₃ COOH		
CH ₃ COOH + NaOH 5%		
CH ₃ COOH + NaOH 50%		
CH ₃ COOH + NaHCO ₃ 5%		
ácido trifluoroacético		
ácido trifluoroacético + NaOH 5%		
Anilina		
1 mL de H ₂ SO ₄ + anilina		
2 mL de H ₂ SO ₄ + anilina		
Trietilamina		
Trietilamina + 1 mL de H ₂ SO ₄		
Trietilamina + 2 mL de H ₂ SO ₄		
H ₂ SO ₄ (concentrado)		
Etanol + H ₂ SO ₄ (conc.)		
CH ₃ COOH + H ₂ SO ₄ (conc.)		
CH ₃ COOH + H ₂ SO ₄ (conc.) + etanol sem aquecimento		
CH ₃ COOH + H ₂ SO ₄ (conc.) + etanol com aquecimento		

2. Escreva as equações dos testes realizados. Em cada equação identifique os pares conjugados de ácido e base. Identifique também o ácido e a base mais fortes e os mais fracos.

Considerações Finais

Ao final dessa aula você deve ser capaz de:

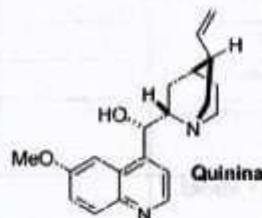
- ✓ Definir ácido e base segundo as teorias de Arrhenius, Brønsted-Lowry e Lewis;
- ✓ Reconhecer e classificar as moléculas orgânicas como ácidos ou bases.

Bibliografia Recomendada

1. Costa, P.; Ferreira, V.; Esteves, P.; Vasconcellos, M. Ácidos e Bases em Química Orgânica. 1ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 2005, 151p.
2. Bruice, P. Y. Química Orgânica. Tradução de Débora Omena Futuro e Colaboradores. 4ª Edição. Volume I. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006, 590p.

Auto-Avaliação

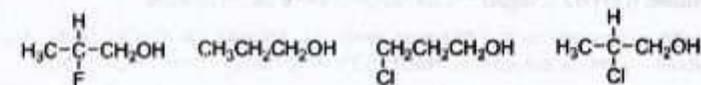
- 1) Identifique as principais diferenças para **ácidos** e **bases** segundo Arrhenius, Brønsted-Lowry e Lewis.
- 2) A quinina é um fármaco de origem natural utilizado no tratamento da malária. Pergunta-se:
 - a) com quantos equivalentes de HCl este alcalóide pode reagir?
 - b) qual a estrutura do sal formado?



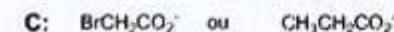
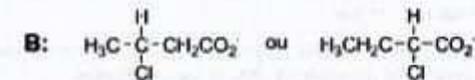
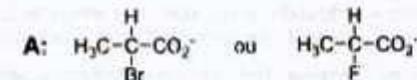
- 3) Identifiquem nas reações os ácidos, as bases, os ácidos conjugados e as bases conjugadas:



- 4) Liste as substâncias dadas a seguir, em ordem decrescente de acidez. Justifique sua resposta:



- 5) Para cada uma das substâncias dadas a seguir, indique qual é a base mais forte. Justifique sua resposta:



UNIDADE III

Técnicas de Separação e Recristalização de Derivados Orgânicos

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

Terceira Aula

Separação de Pigmentos Vegetais por Cromatografia em Coluna

A cromatografia é um método físico-químico de análise que se presta à purificação, separação, identificação e quantificação de substâncias orgânicas e inorgânicas. Esta 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 esta 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, *chromos* = cor e *graphie* = escrita). Apesar deste, e de outros estudos anteriores, a cromatografia foi praticamente ignorada até a década de 30, 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.

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

A cromatografia em coluna é uma técnica muito utilizada para isolamento de produtos naturais e purificação de produtos de reações químicas. Nesta modalidade de cromatografia, as fases estacionárias mais utilizadas são as sílicas (SiO_2) e as aluminas (Al_2O_3). 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 destas interações. A separação por partição processa-se da mesma forma, exceto que a fase estacionária é um líquido.

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, através 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 álcoois, ácidos carboxílicos, amidas, aminas, são adsorvidos mais fortemente pela base adsorvente e, conseqüentemente, são eluídos mais lentamente do que os compostos menos polares, tais 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 nos 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 para aquelas fortemente adsorvidas.

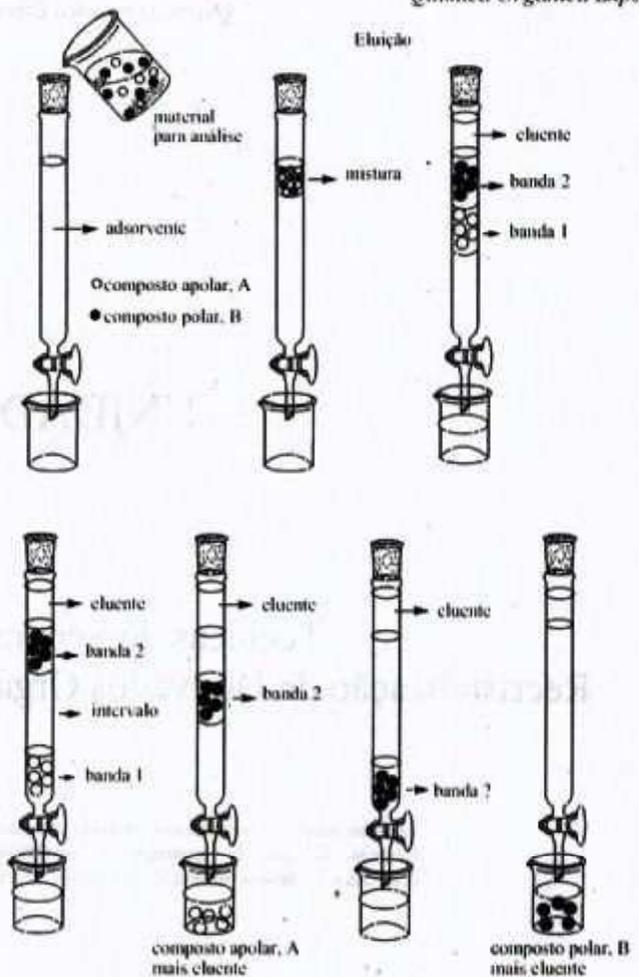


Figura 1: Esquema de separação de duas substâncias em uma coluna cromatográfica.

Objetivos

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

Trabalho Experimental

Materiais

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

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

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 com um bastão de vidro, 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 na coluna. Essa transferência precisa ser feita lentamente, de modo que a acomodação do adsorvente ocorra homogeneamente 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 a 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 atinja o 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 verde 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 utilizando papel toalha. Colete as folhas secas de espinafre em um almofariz, adicione 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 100 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 de Pasteur. Nesta operação, tenha o máximo de cuidado para não deixar a camada superior de adsorvente ser furada, e nem deixar o extrato escorrer pela parede da coluna. Abra a torneira até que a solução atinja o topo do adsorvente; neste momento, feche-a e, utilizando 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. Neste momento, substitua o eluente por acetona, substitua o frasco coletor e recolha o este novo eluente até que seja verificada uma mudança de cor novamente na coluna. Substitua então 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 da disciplina *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 indicado. Despreze os restos de folha de espinafre no lixo e lave todo o material.

Considerações Finais

Ao final dessa aula você deve ser capaz de:

- ✓ Relacionar a polaridade de substâncias com a ordem da eluição esperada para as suas separações cromatográfica.
- ✓ 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*. 1ª Edição. Campinas: Editora da Unicamp, 1987, 298p.

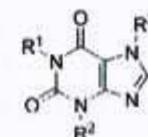
Auto-avaliação

- Consultem, na literatura, as estruturas gerais da classe de compostos denominados carotenos e de clorofilas.
- 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 por você nesta aula. Identifique o conteúdo das mesmas.
- Correlacione a polaridade de uma substância química com a sua estrutura molecular. Utilize como exemplo um caroteno e uma clorofila.
- O que deve ocorrer com a ordem de eluição se há uma mudança na ordem de adição dos eluentes? Especificamente, o que ocorreria se, no experimento realizado nesta aula, fosse primeiro adicionado a acetona e depois o éter de petróleo?
- Uma pessoa leu rapidamente o procedimento experimental e começou a executar os procedimentos práticos desta prática. No entanto, ao invés de utilizar inicialmente o éter de petróleo na eluição, ele utilizou o metanol. Discuta as consequências que esta troca de eluentes irá causar na separação cromatográfica.
- Suponha que você tenha uma mistura de três substâncias orgânicas, sendo todas sólidas: um álcool, um hidrocarboneto saturado e uma cetona. Proponha uma seqüência para uma separação cromatográfica destas substâncias utilizando sílica-gel como adsorvente e os eluentes que julgar necessário.
- 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.

Quarta Aula

Extração e Recristalização da Cafeína

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 (*Paulinia cupana*).

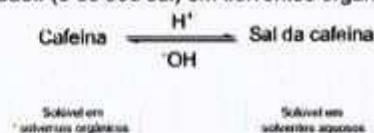


$R^1 = R^2 = R^3 = \text{CH}_3$; Cafeína

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

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

A extração da cafeína é baseada nas suas propriedades básicas e na sua solubilidade (e do seu sal) em solventes orgânicos e aquosos.



A cafeína é um dos produtos naturais mais consumidos em todo o mundo. Esta substância pode ser encontrada no café, no chá, no chimarrão, refrigerantes e no chocolate. A cafeína, 1,3,7-trimetilxantina, é um pó branco cristalino muito amargo. Na medicina, a cafeína é utilizada como um estimulante cardíaco e um diurético. Ela também produz um "boost" de energia, ou um aumento no estado de alerta em um indivíduo. A cafeína é uma droga que causa dependência física e psicológica. Ela opera por mecanismos similares às anfetaminas e à cocaína. Seus efeitos, entretanto, são mais fracos do que estas drogas, mas ela atua nos mesmos receptores do sistema nervoso central (SNC). Muitos medicamentos apresentam cafeína em sua formulação com a finalidade de minimizar os efeitos colaterais de alguns medicamentos, especialmente a aspirina.

Como a cafeína é um composto sólido pode-se obter a sua purificação por recristalização. O princípio da recristalização é o de se utilizar um solvente, ou mistura de solventes, onde 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 ou, 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 cíclico 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.

Objetivos

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

Trabalho Experimental

Materiais

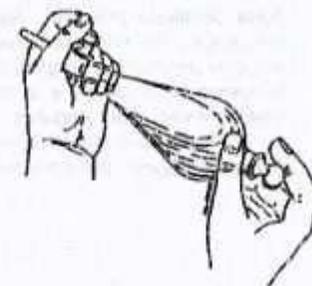
Funil de separação 500 mL
Suporte universal
Anel de ferro
Garras
Vidro de relógio
Papel de filtro (20 cm x 20 cm)
Placa de aquecimento
Béquer de 100 mL, 500 mL e 50 mL
Erlenmeyer de 500 mL e 125 mL
Funil simples
Bastão de vidro
Espátula

Água destilada
Gelo
Café em pó (100 g)
Carbonato de cálcio
Clorofórmio
Sulfato de sódio anidro

Procedimentos

Preparação do extrato aquoso

Pese 100 g de café em pó em um papel de filtro. Dobre o papel de modo a obter um cartucho ou envelope. Utilize um grapeador para fechar bem o envelope e evitar vazamentos. Coloque o envelope em um béquer de 500 mL. Adicione 10 g de carbonato de cálcio e 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 café. 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.

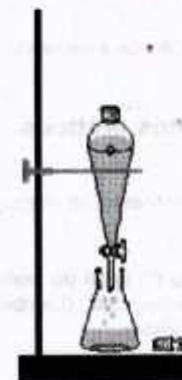


Figura 1: Ilustração da montagem empregada em uma extração líquido-líquido.

Para prosseguir, adicione 5g de sulfato de sódio anidro ao erlenmeyer contendo a solução de trabalho e agite-o. Verifique se a solução ficou limpa; caso

contrário, adicione mais sulfato de sódio. Transfira 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 limpa 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 (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 café. (Lembre-se que a cafeína obtida não apresenta um alto grau de pureza).

Considerações Finais

Ao final dessa aula você deve ser capaz de:

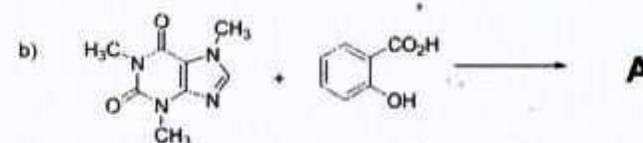
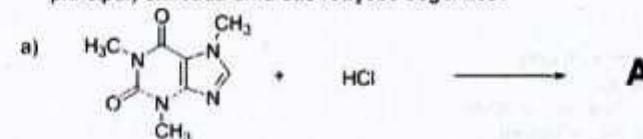
- ✓ Compreender as etapas envolvidas no isolamento de produtos naturais, em particular, da cafeína;
- ✓ Compreender e ter domínio da técnica de purificação por recristalização de compostos orgânicos sólidos.

Bibliografia Recomendada

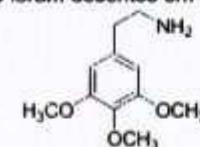
1. Brenelli, E.C.S. *Química Nova*, 2003, 26, 136.
2. Faria, T.J. *Processos de Separação e Purificação de Fármacos*. Em: *Da Química Medicinal à Química Combinatória e Modelagem Molecular: Um Curso Prático*. Organizadores: C.C. Andrei, D.T. Ferreira, M. Faccione & T.J. Faria Barueri, SP: Manole, 2003, 154p.

Auto-avaliação

- 1) A cafeína tem propriedades ácidas ou básicas? Justifique sua resposta com base na estrutura molecular desta substância.
- 2) Considere as equações químicas apresentadas abaixo. Qual a estrutura química do composto A (refere-se ao produto originado da protonação principal) em cada uma das reações seguintes?



- 3) A mescalina (1) é um produto natural extraído do cacto pelote (*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 pelote.

- 4) Faça uma pesquisa geral e apresente outras fontes naturais de cafeína, além do café.

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.

Quinta Aula

Preparação do Ciclo-hexeno

A desidratação de álcoois em meio ácido é um método muito utilizado para a formação de alcenos, pois utiliza somente quantidades catalíticas de ácido (como exemplificado na Figura 1), além de ser um método barato, prático, rápido, e de altos rendimentos. Frequentemente se utilizam o ácido sulfúrico e o ácido fosfórico concentrado. Nessa reação se estabelece 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. Isto pode ser feito, seja destilando o produto da mistura ou adicionando um agente desidratante para eliminar a água, um sub-produto da reação direta. Geralmente, um alceno entra em ebulição a uma temperatura menor que o seu correspondente álcool. Esta propriedade física permite separá-lo de uma mistura contendo o par álcool-alceno associado, deslocando-se assim, o equilíbrio para a direção da formação dos alcenos em um equilíbrio químico.

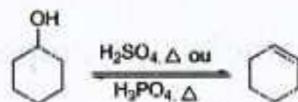
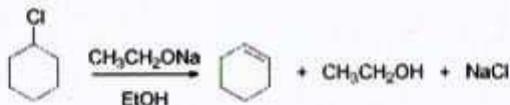


Figura 1: Equilíbrio ciclo-hexanol – ciclo-hexeno na presença catalítica de um ácido.

A desidratação dos álcoois, geralmente se desenvolve mediante o mecanismo E1, raramente é observado o mecanismo E2. A primeira etapa consiste na protonação do álcool que é ligeiramente exotérmica; essa etapa é seguida da eliminação de uma molécula (neutra) de água e formação do carbocátion correspondente. Essa é a etapa determinante do processo. Em seguida ocorre a abstração de um dos prótons vicinais ao carbocátion, produzindo o alceno desejado (este processo é fortemente exotérmico). Como a etapa determinante é a formação de um carbocátion, a facilidade de desidratação dos álcoois segue a mesma ordem de facilidade de formação dos carbocátions: álcoois terciários > álcoois secundários > álcoois 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.



Objetivos

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

Trabalho Experimental

Materiais

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

Reagentes

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

Procedimentos

Preparação do ciclo-hexeno

Coloque 30 mL de ciclo-hexanol em um balão de destilação de 100 mL. Adicione 1,0 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 (Figura 2). Utilize um erlenmeyer de 25 ou 50

mL como frasco coletor. Aqueça o balão, não ultrapassando os 90 °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 observar o aparecimento de um resíduo escuro no balão de destilação.

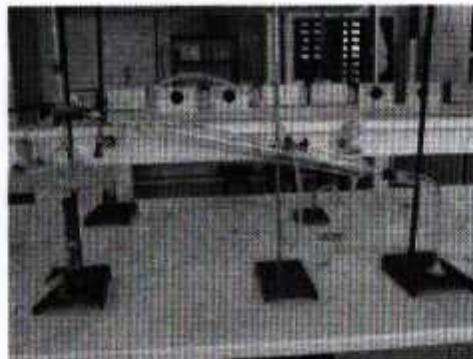


Figura 2: Montagem para destilação simples.

Elaboração do bruto de reação

Na seqüência, introduza uma pequena porção de NaCl no erlenmeyer que contém o produto destilado. Após a adição do sal, adicione 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 de bicarbonato de sódio 5% 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, transferindo-o para uma proveta de 25 mL limpa. 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 de KMnO_4 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 dessa 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 $\text{C}=\text{C}$ nos alcenos utilizando os testes de grupos funcionais adequados.

Bibliografia Recomendada

- 1) Pavia, D.L.; Lampman, G.M.; Kriz, G.S. "Introduction to Organic Laboratory Techniques - A Contemporary Approach" 2ª Edição. Philadelphia: Saunders Coll. Publ., 1982, 736p.
- 2) Vogel, A.I. Química Orgânica - Análise Orgânica Qualitativa. 3ª Edição. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, volume 1, 1971, 458p.

Auto-Avaliação

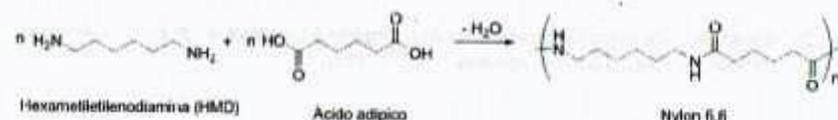
- 1) Qual a necessidade de se retirar o alceno formado por destilação na reação química investigada nesta aula?
- 2) Apresente a reação química que ocorre na destilação do ciclo-hexanol, evidenciando o tipo de mecanismo envolvido. Discuta as relações estequiométricas dos reagentes e as condições da reação.
- 3) Como poderia ser aumentado o rendimento da reação de formação do ciclo-hexeno estudada nesta aula?
- 4) Para as mesmas condições de reação, por que os álcoois terciários eliminam água mais facilmente, se comparados aos álcoois primários?
- 5) Explique a diferença entre os pontos de ebulição do ciclo-hexeno e do ciclo-hexanol.
- 6) Esquematize as reações de caracterização do ciclo-hexeno empregada nesta aula.
- 7) Faça uma pesquisa simples na literatura química e proponha outros métodos de obtenção de alcenos.
- 8) Qual deve ser o produto formado a partir da desidratação do 2,2-dimetilciclo-hexanol?

Sexta Aula

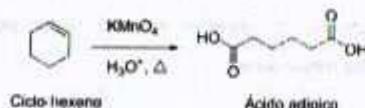
Preparação do Ácido Adípico

O ácido adípico é uma substância que possui uma gama de 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.

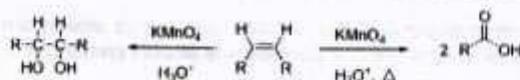
Um exemplo de grande importância do ácido adípico em síntese orgânica é a obtenção do sal de nylon 6,6. Este composto é obtido pela reação entre o ácido adípico e a hexametiletilenodiamina (HMD), e é designado usualmente como nylon 6,6.



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. Este ácido 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 vasto 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.



O produto inorgânico formado em meio neutro ou básico é o dióxido de manganês, de modo que a cor inicial do sistema é um roxo vivo do íon permanganato, passando para marrom cinzento, caracterizando a formação do dióxido de manganês. Essa mudança de cor é a evidência usada no teste de Baeyer, para observar a existência de insaturação



Objetivo

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

Trabalho Experimental

Materiais

Termômetro
 Erlenmeyers de 250 mL
 Funil de Büchner
 Béquer de 500 mL
 Kitasato
 Provetas de 10 mL
 Trompa de vácuo
 Espátula
 Vidro de relógio
 Folha de papel de filtro
 Caixa de papel pH
 Bacia de plástico
 Pedacos de porcelana
 Banho-maria

Reagentes

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

Procedimentos

Preparação do ácido adípico

Em um erlenmeyer de 500 mL prepare uma solução com 20 g de permanganato de potássio e 400 mL de água. Agite a mistura para aumentar a solubilidade do sal, porém nem todo o permanganato tornará solúvel na água. Prepare, em um segundo erlenmeyer de 500 mL (ou de volume maior que se tenha disponível no laboratório), uma solução de 5 mL de ciclo-hexeno com 15 mL de acetona.

Adicione a solução de permanganato (não deixe que o permanganato sólido derrame no frasco contendo os reagentes), em porções de 50 mL, em um período de

20 minutos, à solução de ciclo-hexeno e acetona. 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 do aquecimento do 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 funil de Büchner (ver Figura 2 da segunda aula) ou procedimento equivalente. Lave com 50 mL de água destilada e descarte o precipitado marrom que ficar no funil.

Transfira o filtrado limpo para um 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 50 mL, através do aquecimento. Coloque, antes, algumas pérolas 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, ou técnica equivalente. Coloque o material obtido em um vidro de relógio e cubra-o com uma folha de papel. No próximo retorno ao pólo, 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 dessa aula você deve ser capaz de:

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

Bibliografia Recomendada

- 1) Vogel, A.I. Química Orgânica - Análise Orgânica Qualitativa. 3ª Edição. Rio de Janeiro: Ao livro Técnico, Volume 2, 1971, 434p.
- 2) Vogel, A.I. Química Orgânica - Análise Orgânica Qualitativa. 3ª Edição. Rio de Janeiro: Ao livro Técnico, Volume 3, 1971, 380p.
- 3) Shriner, R. L.; Fuson, R. C.; Curtin, D. Y. Identificação Sistemática dos Compostos Orgânicos: Manual de Laboratório. 6ª Edição. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983, 517p.
- 4) Solomons, T.W.G; Fryle, C. B. Química Orgânica. 8ª Edição. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Volume 1, 2004, 715p.

- 5) Solomons, T.W.G; Fryle, C. B. Química Orgânica. 8ª Edição. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Volume 2, 2004, 542p.

Auto-Avaliação

- 1) Construa uma tabela contendo todos os reagentes e produtos orgânicos, assim como os eventuais produtos (orgânicos) secundários que participaram do processo de síntese do ácido adípico 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 ácido adípico 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 bruto da reação. Faça uma análise das espécies químicas presentes e como elas são eliminadas no processo de elaboração do bruto da reação. Proponha um mecanismo para a reação.
- 4) A reação do ciclo-hexeno com KMnO_4 leva a um produto sólido de ponto de fusão igual a 96°C e a um outro produto solúvel em água e que só pode ser recuperado por acidulação. Identifique estes produtos e justifique sua formação pela representação das equações das reações químicas.
- 5) Qual é a necessidade de adição de acetona ao meio reagente na preparação do ácido adípico?
- 6) Qual 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 a esta questão e proponha um mecanismo de reação para elas.
- 7) Qual é o produto formado na reação de bromação do ciclo-hexeno ao utilizar como solvente o tetracloreto de carbono (CCl_4) em lugar da água?

Anexo

Força Relativa de Alguns Ácidos e suas Bases Conjugadas

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 ₂ 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 Bacharel e Licenciado pela Universidade Federal de Viçosa, Mestre em Química Orgânica e Doutor em Ciências pela Universidade Estadual de Campinas. Atualmente é professor no Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais. (E-mail: adefatima@qui.ufmg.br).

Gaspar Diaz Muñoz é Engenheiro Químico pela Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Mestre em Química Orgânica pela Universidade Federal do Pará e Doutor em Ciências pela Universidade Estadual de Campinas. Professor do Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais. (E-mail: gaspardm@qui.ufmg.br).

Júlio César Dias Lopes é Bacharel e Doutor pela Universidade de São Paulo. Professor do Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais. (E-mail: jlopes@netuno.lcc.ufmg.br).

Rosemeire Brondi Alves é Bacharel, Licenciada e Mestre em Química Orgânica pela Universidade Federal de Minas Gerais. Doutora em Ciências pela Université Paris XI – Orsay – França. Professora do Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais. (E-mail: brondi@netuno.lcc.ufmg.br).