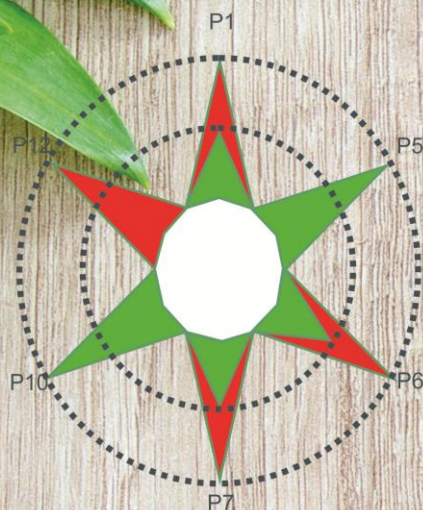




QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL

*APLICAÇÃO DE MÉTRICAS HOLÍSTICAS DE VERDURA
ESTRELA VERDE E MATRIZ VERDE*

AUTORAS

MARILEI CASTURINA MENDES SANDRI
SANDRA INÊS ADAMS ANGNES GOMES
JULIANA APARECIDA BOLZAN



**EDITORA
IFPR**

QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL

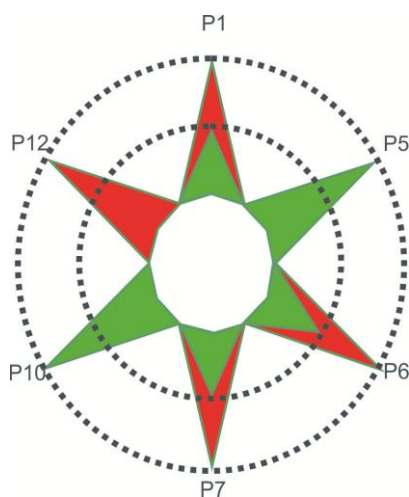
**Aplicação de Métricas Holísticas de Verdura:
Estrela Verde e Matriz Verde**

AUTORAS

**MARILEI CASTURINA MENDES SANDRI
SANDRA INÊS ADAMS ANGNES GOMES
JULIANA APARECIDA BOLZAN**

**CURITIBA
2018**


**EDITORA
IFPR**



QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL

Aplicação de Métricas Holísticas de Verdura:

Estrela Verde e Matriz Verde

AUTORAS

MARILEI CASTURINA MENDES SANDRI

SANDRA INÊS ADAMS ANGNES GOMES

JULIANA APARECIDA BOLZAN



**EDITORA
IFPR**

INSTITUTO FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE EXTENSÃO, PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

Presidente da Editora IFPR

Dr. Marcelo Estevam

Coordenadora Editorial

Me. Vanessa dos Santos Tavares

Direção Científica de Ciências Exatas e da Terra

Dr. Adriano Willian da Silva

Conselho Editorial Científico

Dr. Roberto José Medeiros Junior - Instituto Federal do Paraná

Dra. Débora Barni de Campos - Universidade do Estado de Santa Catarina

Dr. Eduardo Quadros da Silva - Pontifícia Universidade Católica, Paraná

Dr. Zaudir Dal Cortivo - UNINTER

Dr. Delcio Pereira - Universidade do Estado de Santa Catarina

Dr. André Kosciński - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Felipe Braga Ribas - Universidade Federal do Paraná

Dr. Walmor Cardoso Godoi - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Fábio Edenei Mainginski - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Cristiane Rodrigues - Universidade Federal do Paraná

Dra. Fabiana da Silva Felix - Centro Universitário de Lavras

Dr. Nicolás Misailidis Stríkis - Universidade de São Paulo

Dra. Adriana Rodrigues Perretti - Universidade Federal do Paraná

Dra. Juliana de Sousa Azevedo - Universidade Federal de São Paulo

Todos os direitos desta obra são reservados.
Todos os conteúdos apresentados pelos autores em seus capítulos são de inteira responsabilidade dos mesmos.

Revisão

Célio Escher

Deise Daiana Gugeler Bazanella

Diagramação

Jeferson Miranda Antunes

Capa

Jeferson Miranda Antunes

Equipe Técnica Editorial

Deise Daiana Gugeler Bazanella

Eduardo Fofonca

Jeferson Miranda Antunes

Patrícia Teixeira

Vanessa dos Santos Tavares

S219q SANDRI, Marilei Casturina Mendes; GOMES, Sandra Inês Adams Angnes; BOLZAN, Juliana Aparecida.

Química orgânica experimental: aplicação de métricas holísticas de Verdura: estrela verde e matriz verde/ Curitiba: Editora IFPR, 2018. 173 p.

Inclui Bibliografia

Formato: e-Book.

ISBN: 978-85-54373-14-6

1. Química verde. 2. Formação profissional. 3. Resíduos sólidos - legislação.

CDD 547

Bibliotecária responsável: Patrícia Teixeira - CRB 9/1381

SUMÁRIO

PREFÁCIO	8
APRESENTAÇÃO	11

INTRODUÇÃO

Histórico da Química Verde	13
----------------------------------	----

CAPÍTULO 1

A Química Verde no Ensino da Química	26
A QV e a Formação Profissional	27

CAPÍTULO 2

Construção de Matriz Verde e Estrela Verde e Experimentos para Química Orgânica	33
Matriz Verde para Experimentos	33
Matriz Verde para Experimentos sem Síntese	34
Matriz Verde para Experimentos de Síntese	36
Estrela Verde (EV)	40

CAPÍTULO 3

Identificação de resíduos e tratamentos	47
A lei de Resíduos Sólidos	48
Alternativas para o destino final dos resíduos sólidos	49

Os problemas para o gerenciamento de resíduos	50
Organização de Resíduos em Laboratórios de Química	51
Produtos Químicos Incompatíveis	52
Medidas de Segurança e cuidados para laboratórios	57

CAPÍTULO 4

Análise da Verdura Química de Experimentos Clássicos da Química Orgânica Experimental	60
Experimento I: Solubilidade de Compostos Orgânicos	60
Experimento II: Determinação do Ponto de Fusão de um Composto	71
Experimento III: Determinação do Ponto de Ebulição de um Composto	77
Experimento IV: Determinação da Densidade de Diferentes Substâncias	83
Experimento V: Purificação de um Composto Orgânico Sólido (recristalizado)	89
Experimento VI: Extração Simples Líquido-Líquido	94
Experimento VII: Extração com Solventes Quimicamente Ativos	100
Experimento VIII: Extração Contínua Sólido-Líquido	107
Experimento IX: Separação do Óleo de Soja do Solvente Hexano através de uma Destilação Simples	113
Experimento X - Destilação Fracionada- Separação e Identificação dos Componentes de uma Mistura Binária de Líquidos Voláteis	118
Experimento XI: Destilação por Arraste de Vapor (Isolamento de Produtos Naturais)	124

Experimento XII: Cromatografia em Papel (CP) E Cromatografia em Camada Delgada (CCD)	131
Experimento XIII: Cromatografia em Coluna	141
Experimento XIV: Extração da Cafeína	149

CAPÍTULO 5

Considerações Finais	162
REFERÊNCIAS	168
SOBRE AS AUTORAS	173

PREFÁCIO

Esta obra foi elaborada a partir da implantação de um grupo de Pesquisa e Estudo sobre a Química Verde, denominado **Grupo de Estudo e Pesquisa em Educação e Química Verde (GEPEQV)**, que tem como objetivo aprofundar conhecimentos, promover e realizar investigações acerca da inserção da Química Verde em sua vertente crítica, notadamente na formação de professores. Fazem parte das ações do grupo: i) o estudo acerca da QV, suas métricas e suas relações com o enfoque CTSA, a Educação Ambiental, a Sustentabilidade e a Alfabetização Científica; ii) a busca pela inserção transversalizada dos princípios da QV na formação docente (inicial e continuada); e iii) a investigação dos modelos de abordagem da QV pelos docentes em formação.

O Grupo é constituído por discentes colaboradores, bolsistas do Programa de Bolsa de Inclusão Social (PBIS) e professores do curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal do Paraná (IFPR), que estão integrados em todas as etapas da pesquisa, oportunizando aprofundar os conhecimentos sobre a Química Verde (QV) e suas métricas. Durante os estudos foram selecionados experimentos clássicos de Química Orgânica, comumente realizados nos laboratórios do Instituto Federal do Paraná e demais Instituições de Ensino Superior do país, para análise da verdura química, empregando as métricas Matriz Verde (MV) e Estrela Verde (EV) com o objetivo de verificar os pontos de baixa verdura química, as suas ameaças e apontar possibilidades de melhoria da verdura química dos experimentos.

Para a construção desta proposta, partimos de uma pesquisa de caráter exploratório e investigativo que permitiu, por meio do estudo sistemático da Química Verde e suas métricas, analisar os protocolos experimentais da Química Orgânica postos em prática no IFPR Campus Palmas, a fim de reconhecer suas limitações em atender os princípios da Química verde bem como apontar melhorias com vistas a melhorá-los. Nesse contexto, a obra foi dividida em quatro capítulos.

Na Introdução e no primeiro capítulo, apresentamos uma introdução à Química Verde (QV), seu histórico, princípios, inserção no ensino de Química e a formação profissional.

No segundo capítulo, mostramos os critérios necessários para a análise de experimentos de Química Orgânica sem síntese a partir da construção da Estrela Verde (EV) e Matriz Verde (MV), métricas holísticas que permitem uma visão geral e uma maior compreensão do experimento, para que possa ser readequado para execução com menos riscos à saúde e ao ambiente.

O terceiro capítulo contempla temas relacionados à identificação de resíduos e tratamentos, à lei de resíduos sólidos, às alternativas para o destino final dos resíduos sólidos e aos problemas para o gerenciamento de resíduos, além da organização de resíduos em laboratórios de química, produtos químicos incompatíveis, medidas de segurança e cuidados para laboratórios, apresentando possibilidades para o estudante separar, tratar ou armazenar os rejeitos de uma aula experimental de forma segura.

No quarto capítulo, listamos uma série de experimentos clássicos de Química Orgânica Experimental, facilmente encontrados na literatura e comumente desenvolvidos nas aulas de Química Orgânica em cursos superiores de licenciatura em Química e áreas afins. Esses experimentos desenvolvidos no IFPR foram avaliados de acordo com os princípios da

Química Verde, com apresentação da EV e MV ao leitor, mostrando possibilidades para melhorias da Verdura Química.

Por fim, o capítulo conclusivo trata da importância da inserção do ensino de uma Química mais Verde a partir de abordagens diferenciadas de ensino, possibilitando aos estudantes a investigação, o interesse pelo objeto de estudo, a criticidade e a ética profissional, tendo em vista que o emprego das métricas verdes (MV e EV) na análise de protocolos experimentais favorece os profissionais a se tornarem propensos a refletir sobre as atividades químicas, notadamente as de ensino, sob uma perspectiva socioambiental.

APRESENTAÇÃO

A Química Verde (QV) vem sendo incrementada às atividades químicas – sejam elas didáticas, de pesquisa ou industriais – por representar uma nova forma de conceber e praticar a Química com mais segurança e responsabilidade social e ambiental. A Química Verde se apoia sobre 12 (doze) princípios, os quais podem ser divididos em três grandes categorias: uso de fontes renováveis ou recicladas de matéria prima; aumento da eficiência energética; e evitar o uso de substâncias tóxicas, bioacumulativas e persistentes, buscando incluir segurança inerente aos processos químicos. A inserção dos princípios da QV nas diversas atividades químicas é recente e necessita de avaliação. Devido a isso, atualmente, tem-se feito o uso de métricas que permitem avaliar o grau de “verdura química” dos processos químicos. As chamadas *métricas verdes* permitem avaliar quais princípios são cumpridos e em que extensão o são. Dessa forma, valendo-se de métricas verdes holísticas, especificamente a Matriz Verde e a Estrela Verde, este trabalho teve como principal objetivo avaliar a verdura química de experimentos de Química Orgânica sem síntese, comumente desenvolvidos nos laboratórios didáticos do IFPR Campus Palmas e, a partir de possíveis incongruências com os princípios da QV, foram propostas melhorias que poderão ser utilizadas em aulas experimentais de forma menos impactante do ponto de vista humano e ambiental, atendendo assim aos pressupostos da sustentabilidade socioambiental.

Além disso, correlacionado à QV, a obra traz um capítulo de resíduos que trata da gestão, reuso, tratamento e cuidados quanto à incompatibilidade

entre substâncias comumente empregadas em laboratórios de pesquisa e ensino. Vasto de informações, o capítulo sugere procedimentos que devem ser tomados com mais atenção em aulas práticas experimentais, assim como os cuidados com armazenagem e estocagem desses resíduos.

Os experimentos analisados contemplam, principalmente, as técnicas introdutórias do aluno ao laboratório e aos conceitos básicos da Química Orgânica, que tratam de temas relacionados a propriedades físicas, purificação, separação e extração de compostos orgânicos.

Ao final de cada técnica experimental, a obra traz as métricas construídas, MV e EV, recomendadas para experimentos sem síntese, contemplando as possibilidades de melhorias, as ameaças encontradas e o IPE (índice de preenchimento da estrela). Ainda, no pós-laboratório, é recomendado que se faça a verificação das possibilidades indicadas pela análise da verdura e se preencha a tabela de resíduos proposta pelo capítulo anterior.

No decorrer dos capítulos, nota-se que o planejamento e o estudo aprofundado de experimentos e das propostas de melhorias acerca da QV possibilitam a reflexão do papel da Química (e do químico) na sociedade, na tecnologia e no ambiente, repercutindo em uma formação cidadã e profissional baseada na ética e na responsabilidade.

Essa obra serve aos interesses de acadêmicos e profissionais – notadamente os professores – do curso de Química e áreas afins que tenham interesse em conhecer a QV e suas métricas, bem como colocar em prática seus princípios na realização das atividades químicas. Nesse sentido, desejamos ao leitor que, por meio desses primeiros conceitos, possa iniciar seus conhecimentos sobre essa nova vertente da Química e possa se beneficiar de seus fundamentos em atividades químicas e educacionais.

INTRODUÇÃO

Histórico da Química Verde

O conceito de Química Verde foi apresentado por Anastas e Warner em 1998 e pode ser definido como *o desenho, o desenvolvimento e a aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias nocivas à saúde e ao ambiente* (ANASTAS e WARNER, 1998, *apud* Lenardão, 2003).

Essa definição se apoia em 12 princípios, também apresentados por esses autores e elencados por Lenardão (2003, p. 124):

- 1. Prevenção.** Evitar a produção do resíduo é melhor do que tratá-lo ou “limpá-lo” após sua geração.
- 2. Economia de Átomos.** Deve-se procurar desenhar metodologias sintéticas que possam maximizar a incorporação de todos os materiais de partida no produto final.
- 3. Síntese de Produtos Menos Perigosos.** Sempre que praticável, a síntese de um produto químico deve utilizar e gerar substâncias que possuam pouca ou nenhuma toxicidade à saúde humana e ao ambiente.
- 4. Desenho de Produtos Seguros.** Os produtos químicos devem ser desenhados de tal modo que realizem a função desejada e ao mesmo tempo não sejam tóxicos.

5. Solventes e Auxiliares mais seguros. O uso de substâncias auxiliares (solventes, agentes de separação, secantes, etc.) precisa, sempre que possível, tornar-se desnecessário e, quando utilizadas, essas substâncias devem ser inócuas.

6. Busca pela Eficiência de Energia. A utilização de energia pelos processos químicos precisa ser reconhecida pelos seus impactos ambientais e econômicos e deve ser minimizada. Se possível, os processos químicos devem ser conduzidos à temperatura e pressão ambientes.

7. Uso de Fontes Renováveis de Matéria-Prima. Sempre que técnica- e economicamente viável, a utilização de matérias-primas renováveis deve ser escolhida em detrimento de fontes não renováveis.

8. Evitar a Formação de Derivados. A derivatização desnecessária (uso de grupos bloqueadores, proteção/desproteção, modificação temporária por processos físicos e químicos) deve ser minimizada ou, se possível, evitada, porque essas etapas requerem reagentes adicionais e podem gerar resíduos.

9. Catálise. Reagentes catalíticos (tão seletivos quanto possível) são melhores que reagentes estequiométricos.

10. Desenho para a Degradação. Os produtos químicos precisam ser desenhados de tal modo que, ao final de sua função, se fragmentem em produtos de degradação inócuos e não persistam no ambiente.

11. Análise em Tempo Real para a Prevenção da Poluição. Será necessário o desenvolvimento futuro de metodologias analíticas que viabilizem um monitoramento e controle dentro do processo, em tempo real, antes da formação de substâncias nocivas.

12. Química Intrinsecamente Segura para a Prevenção de Acidentes. As substâncias, bem como a maneira pela qual uma substância é utilizada em um processo químico, devem ser escolhidas a fim de minimizar o potencial para acidentes químicos, incluindo vazamentos, explosões e incêndios.

Segundo Machado (2012, P. 1250), “no âmbito de uma análise mais ampla da QV com a sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável, Winterton apresentou em 2002, os segundos 12 princípios da QV, enumerados a partir do número 13, para evitar confusões com os primeiros”. Esses princípios seguem listados abaixo:

13. Identificação e quantificação dos coprodutos (subprodutos eventuais e resíduos). Identificar os coprodutos e determinar as suas quantidades relativamente à do produto principal.

14. Obtenção de conversões, seletividades, produtividades, etc. Para além do rendimento químico das reações de síntese, determinar métricas relevantes para a QV: seletividades, produtividades (eficiência atômica e similares), etc.

15. Estabelecimento de balanços materiais completos para o processo. Especificar, quantificar e contabilizar todos os materiais usados na obtenção do produto final, incluindo os auxiliares, nomeadamente os solventes.

16. Determinação das perdas de catalisadores e solventes nos efluentes. Determinar as quantidades ou caudais dos fluxos de efluentes líquidos, sólidos e gasosos e as concentrações de reagentes auxiliares neles.

17. Investigação da energética básica do processo. Avaliar e relatar as variações de entalpia das reações

exotérmicas com o fim de alertar para eventuais problemas de libertação de calor com a mudança de escala.

18. Identificação de limitações quanto às transferências de calor e de massa. Identificar fatores que afetem as transferências de calor e de massa no escalamento (velocidades de agitação ou de dispersão de gases, áreas de contato gás-líquido, etc.).

19. Visualização das reações sob a perspectiva dos engenheiros químicos. Identificar e analisar pontos de constrição para o escalamento no desenvolvimento do processo industrial por estudo das alternativas de tecnologia disponíveis para implementá-lo e por meio de contatos com engenheiros químicos.

20. Consideração da globalidade do processo industrial ao selecionar a química de base. Avaliar o impacto das alternativas possíveis de todas as variáveis de processo (matérias primas, natureza do reator, operações de separação, etc.) nas ações possíveis para a química de base e realizar experiências com os reagentes comerciais que vão ser utilizados no fabrico.

21. Procura (desenvolvimento e aplicação) de medidas de sustentabilidade do processo. Avaliar quantitativamente, na extensão possível, o grau de sustentabilidade do processo industrial.

22. Quantificação e minimização do uso de “utilidades”. Dar atenção ao uso e minimização das “utilidades” e proporcionar informação que permita avaliar as respectivas necessidades logo no início do desenvolvimento do processo, ao longo do escalamento.

23. Identificação de situações de incompatibilidade entre a segurança do processo e a minimização de resíduos.

Dar atenção à segurança do processo a desenvolver com base na síntese laboratorial e alertar para eventuais restrições de segurança que limitem as condições da implementação desta à escala industrial.

24. Monitorização, registo e minimização dos resíduos produzidos na síntese laboratorial. Dar atenção pormenorizada e quantitativa aos resíduos produzidos na realização laboratorial da síntese, registrando as suas quantidades e adotando procedimentos que conduzam à sua minimização (MACHADO, 2012, p. 1251) (*grifos nossos*).

Segundo Machado (2012), “este segundo conjunto de princípios apela aos químicos académicos que realizam investigação de laboratório sobre síntese de compostos (MACHADO, 2012, p. 1250)” com a finalidade de incluir mais verdura nas vias de síntese (MACHADO, 2012).

Machado (2011) esclarece, pois, que a QV não surgiu de forma súbita, mas foi gestada através da influência de importantes movimentos anteriores à QV. Esse autor nos explica, por meio de uma análise sobre a gênese da QV, que o seu berço está na Indústria Química que, sob as pressões das crises ambientais a ela associadas, precisou se adequar para colocar em prática uma nova forma de atuação química, que conduziu a novas atitudes e conceitos, os quais passaram a primar por evitar danos ao invés de remediá-los. Sob esse esclarecimento, percebe-se que a QV surge na esteira da crise ambiental e pode ser encarada como uma forma de enfrentamento, nos campos académico, industrial ou educativo, dos problemas socioambientais ocasionados pelos avanços científico-tecnológicos associados à Química (MACHADO, 2011).

Machado (2011) mostra que houve uma trajetória, impulsionada por muitos fatores – sejam eles económicos, políticos, científicos, sociais e

ambientais –, que culminou com o que hoje chamamos de Química Verde. Os principais movimentos que antecederam a QV são elencados por Machado (2011) numa ordem que, segundo o autor, buscou ser cronológica, mas que em alguns casos ocorreu paralelamente. São eles:

Prevenção da Poluição (P₂): Trata-se de uma lei instituída em 1990 nos EUA (FARIAS e FÁVARO, 2011). Segundo Machado (2011), essa lei visou a reduzir a quantidade de poluentes e resíduos produzidos pelos processos industriais de uma forma geral. Para Anastas e Kirchhoff (2002), essa lei mudou o foco do “comando e controle”, anteriormente praticado pela Química Ambiental, para as estratégias de prevenção e redução, como formas de evitar problemas ambientais. Machado (2011) sinaliza que a P₂ significou uma profunda mudança de paradigma de gestão ambiental para a indústria.

Minimização de resíduos: Segundo Machado (2011), as atividades de minimização de resíduos integram a P₂, mas estas surgiram especificamente na Indústria Química, tendo como foco principal o problema dos resíduos, que incluíam sólidos e líquidos produzidos por um processo. A estratégia de redução, conforme explica Machado (2011), inclui, por vezes, a reciclagem no interior do processo, a recuperação e o tratamento seguro dos resíduos gerados.

Processos com mais segurança inerente: A iniciativa por implantar processos mais seguros no desenvolvimento dos processos e no fabrico dos produtos significou um novo paradigma na abordagem da segurança na Indústria Química, que passou de uma postura reativa a uma postura pró-ativa. Machado (2011) explica que a busca por conferir maior segurança nos processos químicos foi impulsionada

pela pressão social, preocupada com os danos e perigos que a Indústria Química passou a representar após graves acidentes; pela legislação e regulamentação ambiental; pelo controle governamental; e pelos custos crescentes que o tratamento de resíduos e a segurança reativa representavam.

Atuação Responsável: Trata-se de um programa originado no Canadá, em 1985, que se estendeu para os EUA. Seu desenvolvimento na Indústria Química se deu após o acidente de Bhopal, na Índia, em 1984 – considerado o maior acidente industrial de todos os tempos. Esse programa foi considerado uma iniciativa voluntária da Indústria Química, que teve “como objetivo melhorar a sua atuação com respeito à saúde humana, segurança e ambiente” (MACHADO, 2011, p. 537).

Design para o Ambiente (*Design for Environment – DfE*):

Representa o desenho de produtos e processos para que tenham impactos mínimos sobre o ambiente. Para Machado (2011), a QV pratica o DfE, sendo que compartilham objetivos semelhantes, na medida em que ambas as vertentes perseguem a descoberta e o fabrico de produtos químicos recicláveis, não tóxicos, obtidos a partir de reagentes de origem renovável, etc.

Ecologia industrial: Movimento surgido no final da década de 80, representa o rompimento com o funcionamento linear, em regime *aberto*, dos sistemas industriais - que consiste na extração de matérias primas do ambiente, fabricação de bens, uso e deposição dos resíduos no ambiente - para sistemas alternativos *fechados*, que possibilitam utilização mais eficiente dos materiais com menores impactos ambientais.

Conforme o exposto, verifica-se que foram muitos os movimentos, programas, atividades e conceitos que influenciaram o surgimento da QV na década de 90 como um campo de atuação contrário às práticas predatórias, perigosas e nocivas associadas à Indústria Química. Percebe-se, com ênfase, que os danos ambientais – que envolveram inevitavelmente tragédias humanas – vinculados às atividades químicas foram os fatores que mais pesaram para que as práticas químicas fossem revistas.

O nascimento da QV, conforme explicam Lenardão *et al.* (2003), se deu em 1991, quando a agência ambiental norte-americana EPA (*Environmental Protection Agency*) lançou o programa de financiamento para projetos de pesquisa que incluíssem a prevenção de poluição em suas rotas sintéticas, intitulado “*Rotas Sintéticas Alternativas para Prevenção de Poluição*”. Em 1993, quando o programa foi expandido, ganhou a denominação Química Verde (ANASTAS e KIRCHHOFF, 2002).

Posteriormente, surgiram outros programas e entidades americanas e europeias incentivadoras de práticas verdes, especialmente na área de síntese, catálise e processos mais seguros, como enumeram Lenardão *et al.* (2011). Entre elas, foi criado (em 1997) o “*Green Chemistry Institute*” (GCI) que, desde 2001, atua em parceria com a Sociedade Americana de Química (*American Chemical Society*, ACS).

Também a IUPAC – União Internacional de Química Pura e Aplicada – aprovou, em 2000, a criação do Subcomitê Interdivisional de Química Verde, premiando pesquisadores, promovendo eventos internacionais e editando obras (ZUIN, 2011) desde então. Exemplo do envolvimento da IUPAC com a QV pode ser demonstrado através da promoção das Conferências Internacionais sobre Química Verde, realizadas bianualmente, sendo que em 2018 ocorrerá sua oitava edição, em Bangkok, na Tailândia. A 4ª Conferência, ocorrida em 2012, foi sediada no Brasil, na cidade de Foz do Iguaçu – PR.

Ainda na década de 90, foram publicados os primeiros livros, artigos e periódicos sobre o assunto, bem como organizados os primeiros grupos de pesquisa e realizados os primeiros simpósios com o intuito de divulgar e difundir os princípios da QV (FÁVARO e FARIAS, 2011). Também os prêmios associados às práticas verdes surgiram nesse período, inicialmente nos Estados Unidos, através do *Presidential Green Chemistry Challenge Awards* e posteriormente em outros países, como Japão, Itália e Reino Unido, que adotaram prêmios a fim de destacar as realizações ambientais e econômicas da QV (ANASTAS e KIRCHHOFF, 2002).

Farias e Fávaro (2011), ao realizarem uma retrospectiva sobre os 20 anos da QV – período de 1991 a 2011 –, afirmam que a literatura relativa à QV vem aumentando significativamente e, até a data da análise realizada pelas autoras, já havia mais de 250 mil publicações em periódicos encontrados a partir da plataforma integrada da Capes que, de alguma forma, citavam a expressão “*Green Chemistry*” ou “Química Verde” (FARIAS e FÁVARO, 2011).

As publicações, segundo essas autoras, se dividem entre muitas áreas, sendo que a área de síntese e catálise é a mais representativa. No estudo feito pelas autoras no período de 1991 a 2010, com 61 trabalhos que contivessem em seu título a expressão “*Green Chemistry*” ou “Química Verde”, nenhum deles estava vinculado ao ensino de Química. Isso demonstra o quão distante essa dimensão da Química ainda se encontra da área da pesquisa no ensino dessa ciência (FARIAS e FÁVARO, 2011).

Costa e colaboradores (2008) despenderam trabalho para avaliar a importância já atingida pela QV no ensino de Química e, para isso, realizaram uma análise sistemática sobre os artigos publicados no *Journal of Chemical Education* (JCEd) e sobre os artigos de índole pedagógica publicados na revista *Green Chemistry* da *Royal Chemical Society*, buscando o termo “*Green Chemistry*” nos títulos e nas palavras-chave. Os autores identificam o primeiro

artigo no ano de 1995 e, até o ano de 2007, contabilizaram 73 artigos que trataram da QV sob diferentes abordagens: divulgação, ensino da QV, experimentação nas diferentes áreas da Química, métricas e resenhas. Os resultados para os periódicos analisados apontaram um destaque na realização de experimentos de QV em Química Geral, Analítica, Inorgânica e, sobretudo, Orgânica, e indicaram carências dessa abordagem nos níveis introdutórios de ensino (COSTA, RIBEIRO & MACHADO, 2008).

Tratando do contexto brasileiro, Zuin (2009) nos mostra que os conceitos da QV só começaram a ser difundidos no meio acadêmico, governamental e industrial no início deste século. A mesma autora relata que, em 2007, ocorreu o primeiro Workshop Brasileiro sobre Química Verde, em Fortaleza, onde foi anunciada a instalação da Rede Brasileira de Química Verde (RBQV).

Côrrea e Zuin (2009) explicam que a RBQV pretende ser o elemento institucional de promoção das inovações tecnológicas para as empresas nacionais, com o apoio da comunidade científica e o suporte de agências governamentais e órgãos correlatos. Nesse sentido, houve a elaboração e a publicação do livro *Química Verde no Brasil: 2010-2030*, com o apoio do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) e do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.

Essa obra define alguns temas prioritários que precisam ser contemplados na agenda brasileira e com os quais os pressupostos da QV podem contribuir significativamente. Os temas definidos na obra abrangem biorrefinarias pelas rotas bioquímicas e termoquímicas, álcoolquímica, oleoquímica, sucroquímica, fitoquímica, bioprodutos, bioprocessos e biocombustíveis, conversão de CO₂ e energias alternativas (CGEE, 2010).

Quanto à difusão dessa proposta no país, Leal e Marques (2008) apontam alguns projetos de pesquisa e a divisão de Química Ambiental da

Sociedade Brasileira de Química como importantes contribuintes diretos ou indiretos para o desenvolvimento da QV em instituições de ensino, pesquisa e extensão. O Diretório de Grupos de Pesquisa na base do CNPq também indica a existência de grupos de pesquisa e estudos relacionados ao tema da QV.

Há que se considerar que esses grupos de pesquisa indicam a difusão da QV no contexto das instituições universitárias brasileiras. Destacamos entre essas instituições as seguintes:

Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), que possui o Laboratório de Síntese Orgânica Limpa (LASOL) do Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos da UFPEL e, sob a coordenação do Prof. Dr. Eder João Lenardão, mantém um dos sites mais informativos sobre QV do país (<http://wp.ufpel.edu.br/wwverde/>) o qual, segundo as informações prestadas na página, tem objetivo de divulgar a QV no Brasil;

Universidade de São Paulo – USP, na qual desenvolve-se o Grupo de Pesquisa em Química Verde e Ambiental e que vem oferecendo a Escola de Química Verde, com sua primeira edição em 2007 e a mais recente em 2012;

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), onde através do Programa de Pós-graduação em Química constituiu-se o Grupo de Estudos e Pesquisa em Química Verde, Sustentabilidade e Educação, o qual busca realizar estudos e pesquisas interdisciplinares que incorporam os conhecimentos científicos, especialmente do campo da Química, e a formação ambiental à educação na perspectiva da Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) (<http://www.ufscar.br/gpqv/gpqv/>);

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), na qual o Grupo de Investigação no Ensino de Química (GIEQ) dedica-se, entre outros, aos “temas ligados ao meio ambiente, sustentabilidade ambiental e Química Verde, discutindo suas implicações tanto à formação científica quanto ao ensino de

Ciências e de Química” (<http://www.qieq.ufsc.br/>). O site criado por esse grupo também disponibiliza informações sobre a QV;

Instituto Federal do Paraná – Campus Palmas, que comporta o **Grupo de Estudo e Pesquisa em Educação e Química Verde (GEPEQV)**, o qual tem como objetivo aprofundar conhecimentos, promover e realizar investigações acerca da inserção da Química Verde em sua vertente crítica, notadamente na formação de professores, e que tem realizado trabalhos de análise e proposição de melhoria da verdura química de experimentos didáticos, como os apresentados nesta obra.

O destaque prestado a essas últimas universidades e seus grupos de pesquisa deve-se ao fato de contemplarem a QV do ponto de vista educacional, especialmente voltado para a formação profissional, incluindo o docente e representando uma ação pioneira para a Educação em Química Verde no nosso país.

As contribuições literárias em língua portuguesa, especialmente as brasileiras, ainda são poucas no campo da QV, sendo que dentre elas destaca-se o livro “Princípios Fundamentais da QV”, organizado por Corrêa e Zuin (2009) e que aborda diferentes linhas de aplicação da QV; e os artigos científicos, as dissertações e teses produzidas através dos programas de pós-graduação – esses ainda em número reduzido.

Percebe-se, através desse breve histórico, que a QV tardou a chegar ao Brasil, em comparação com a data de seu surgimento nos EUA. Nota-se, porém, que as tentativas de difusão e incorporação de seus pressupostos são crescentes, a começar pelo surgimento de grupos de pesquisa destinados a investigações nesse campo e pelos ensejos governamentais de incluí-los nos planejamentos de desenvolvimento sustentável do país.

Contudo, ao avaliarmos o âmbito educacional, percebemos a incipiência de grupos de pesquisa e trabalhos acadêmicos dedicados a avaliar,

propor e inserir a QV nos currículos e nas práticas da sala de aula, nos diferentes níveis educacionais, contrariando o que defendem Anastas e Kirchhoff (2002) – pioneiros da QV no contexto estadunidense – ao afirmarem que “estudantes de todos os níveis devem ser introduzidos na filosofia e prática da Química Verde” (ANASTAS e KIRCHHOFF, 2002, p. 691) para assim caminharmos em direção aos desafios da sustentabilidade.

Uma nova perspectiva quanto à formação de profissionais é encontrada com a implantação do ensino da QV, pois vê-se uma oportunidade de exploração do pensamento crítico e das habilidades na resolução de problemas, além de promover uma educação ambiental no âmbito global (PINTANGA, 2016).

Nesse cenário, esta obra trata da necessidade de implementar a QV no Ensino de Química, partindo da experimentação e exemplificando melhorias de experimentos comuns da Química Orgânica do IFPR, também empregados nas aulas experimentais em diversas Instituições de Ensino Superior do Brasil.

CAPÍTULO 1

A Química Verde no Ensino da Química

A necessidade de uma revolução na formação de profissionais no campo da Química é apontada por Pinto e colaboradores (2009), os quais indicam como possíveis caminhos para esse processo uma maior proximidade entre as Ciências Naturais e a Educação e a construção de novos currículos e estruturas de ensino e aprendizagem, bem como a introdução, de forma transversal, dos princípios da Química Verde, da sustentabilidade e da atuação responsável.

Defendemos que as inserções desses temas são especialmente importantes na formação de futuros professores, pois estes podem ser não apenas praticantes, mas também agentes disseminadores de tais princípios e de discussões capazes de fomentar, na educação básica, a formação cidadã, crítica, responsável e comprometida com um mundo no qual emerge e urge a necessidade da sustentabilidade socioambiental.

Ainda no contexto específico da formação de profissionais da Química, dentre os quais estão os professores, a Química Verde (QV) surge como uma possibilidade de difundir uma nova racionalidade para as atividades químicas, pensadas sob uma perspectiva abrangente e crítica que engloba a compreensão das relações sistêmicas da Química com a sociedade, o ambiente, a tecnologia, a economia e a política, tendo por base uma postura ética.

A QV e a Formação Profissional

“Estudantes de todos os níveis precisam ser introduzidos à filosofia e à prática da Química Verde”. Esse é o apelo de Paul Anastas – um dos propositores dos 12 princípios da QV – e Mary Kirchhoff, ao tratarem dos desafios futuros da QV (ANASTAS e KIRCHHOFF, 2002, p. 686).

Tanto no cenário internacional quanto no nacional, muitas outras vozes se somam para reivindicar a inserção dos princípios da QV nos cursos de formação profissional em Química em nível de graduação e pós-graduação (VILCHES e PEREZ, 2002; SILVA *et al.*, 2003; PRADO, 2003; MACHADO, 2004; 2008; 2011; MARQUES *et al.*, 2007; 2013; ZUIN, 2011; 2015).

Os argumentos encontrados na literatura e que fundamentam esses apelos alicerçam-se, basicamente, sobre duas diferentes concepções da QV, que foram simplificadaamente chamadas por nós de: a) concepção técnica/instrumental e b) concepção crítica.

Na primeira, conforme já apontado por Zuin (2011), a QV pressupõe apenas um conhecimento técnico/instrumental, que permite tornar os processos e as atividades químicas menos impactantes ao ambiente e igualmente eficientes e lucrativas. Na segunda concepção, a QV é reconhecida por fornecer novas bases racionais para o desempenho das atividades químicas nos mais diferentes âmbitos de sua abrangência pois, conforme já discutido, compreende-se que sua abordagem colabora para um novo paradigma no âmbito da Química.

No entanto, percebe-se como argumento aglutinador de ambas as correntes a ideia de que a QV pode colaborar nos desafios que se impõem a um futuro sustentável. Na primeira corrente, de caráter técnico, a concepção de sustentabilidade ou DS é restritiva ao aspecto econômico e ecológico; já na corrente crítica, essa concepção é mais abrangente, a exemplo do que

discutimos acerca da sustentabilidade socioambiental. Nesse sentido, trazemos algumas dessas colocações e suas respectivas justificativas a fim de constituir o nosso próprio posicionamento.

Machado (2004) cita a Declaração de Tóquio (2003), sobre Química Verde e Sustentável (QUIVES), a qual defende que essa nova abordagem da Química deverá embutir nos jovens cientistas as competências éticas e práticas requeridas para reorientar a tecnologia química no sentido da Sustentabilidade. Para isso, o autor propõe inserir os princípios da QV em todos os níveis educacionais, exemplificando sua necessidade, suas possibilidades e vantagens de aplicação.

Machado (2011) ainda defende firmemente que os princípios da QV sejam difundidos na formação acadêmica, com destaque para os químicos industriais, a fim de auxiliar sua aplicação no meio industrial, onde sua prática ainda é incipiente.

Pinto e colaboradores (2009) tecem a seguinte defesa para a inserção dessa vertente na formação do profissional Químico:

A QV precisa deixar de ser apenas um conceito para ser uma atitude responsável, em que a atividade química não agrida o meio ambiente, eliminando-se ou minimizando-se, ao máximo, a produção de rejeitos e de solventes agressivos ao meio ambiente (PINTO *et al.*, 2009, p. 568).

Esses autores reforçam a importância da QV nos currículos dos cursos de graduação, argumentando o seu vínculo com a sustentabilidade, na medida em que possui grande potencial na solução de uma gama de problemas que se impõem ao desenvolvimento sustentável, entre eles as questões energéticas, alimentares e ambientais.

Prado (2003) defende que esse novo pensamento científico seja difundido através da inserção da QV nos currículos, na prática científica e na

industrial e que seus conceitos devem ser introduzidos e aplicados na formação de profissionais qualificados para as necessidades deste novo milênio, que traz o DS como grande desafio. Conforme Farias e Fávaro (2011), é inconcebível que, dentro do quadro de problemas socioambientais no qual nos encontramos e onde a Química tem um grande papel de enfrentamento, ainda permaneçamos formando químicos que ignoram essa vertente.

A fim de justificar a importância da QV na formação do Químico, Prado (2003) cita o código de conduta da *American Chemical Society*:

Os químicos têm a responsabilidade profissional de servir ao interesse público e ao bem-estar, através dos seus conhecimentos científicos;
Os químicos deverão ter cuidados com a saúde e o bem-estar dos companheiros de trabalho, consumidores e da comunidade; deverão compreender e antecipar as consequências ambientais do seu trabalho;
Os químicos têm a responsabilidade de evitar a poluição e proteger o meio ambiente (ACS *apud* Prado, 2003, p. 743).

E reitera que tal código mostra a preocupação das entidades científicas com uma química responsável, corroborando a inserção dos princípios da QV na formação acadêmica dos profissionais da Química.

Também Vilches e Perez (2010) defendem que a QV passe a fazer parte dos cursos de formação profissional, visando a difundir essa nova proposta na formação profissional e levar a cabo essa nova racionalidade, tanto no âmbito da indústria quanto na Educação Básica, colaborando em várias frentes para o desafio de um futuro sustentável.

Apesar dos reiterados apelos para que a QV componha os currículos de formação profissional e os reconhecidos esforços para que essa proposta se viabilize nos cursos de graduação e pós-graduação em nível mundial, encontramos, na literatura nacional, indícios de que essas propostas ainda não

atingiram sua plenitude, embora sejam promissoras (ANTONIN *et al.*, 2011; MARQUES *et al.*, 2013; ZUIN, 2015).

Antonin e colaboradores (2011) consideram que a difusão dos princípios da QV nos cursos superiores de Química no Brasil, mesmo em sua dimensão instrumental, ainda é incipiente. O quadro não é diferente na formação de professores de Química, uma vez que os princípios da QV ainda são pouco difundidos e não costumam fazer parte dos cursos de formação docente (ROLLOF, 2011).

Marques *et al.* (2013) também considera que a QV está pouco presente na formação acadêmica – tanto na graduação quanto na pós-graduação –, o que é pouco desejável, segundo esses autores, tendo em vista os desafios que se interpõem ao desenvolvimento da Química nas questões relacionadas ao ambiente.

Porém, em um trabalho realizado por Zuin (2015), a autora buscou avaliar a difusão da QV na pós-graduação, indicando que 95% dos 45 programas de pós-graduação que fizeram parte do estudo afirmam que a QV está organicamente vinculada às disciplinas dos programas.

Zuin (2011) faz o alerta de que o simples “esverdeamento” do currículo não garante, por si só, uma formação capaz de modificar, por meio de conhecimentos e ferramentas tecnocientíficas, o modelo atual de profissionalização para o enfrentamento da crise ambiental contemporânea. Ou seja, não basta apenas inserir um componente curricular, na espécie de uma disciplina chamada Química Verde, para explorar seus princípios de forma meramente pragmática. Essa prática pode incorrer numa abordagem fragmentada, tal qual outras disciplinas curriculares, contribuindo para o simplismo ou reducionismo com relação a essa temática.

Isso certamente nos remete à necessidade de inserir, de forma transversal, os princípios da QV, ou seja, permeá-los em diferentes disciplinas

e práticas metodológicas, oportunizando um caráter teórico, prático e vivencial de forma problematizada, contextualizada e crítica.

Assim, consideramos justas as solicitações de inserção da QV na formação profissional em todos os segmentos da Química: engenheiros químicos, químicos bacharéis e licenciados. E entendemos que, se sua abordagem se encaminhar somente pelo viés da dimensão instrumental e técnica, esta pode colaborar nas medidas científico-tecnológicas necessárias à sustentabilidade (VILCHES E PEREZ, 2011), porém com possibilidades de formação profissional empobrecidas e limitadas.

Nesse sentido entendemos que, na formação profissional do Químico, a QV deve ser abordada para além de seu impacto econômico-ecológico e problematizada em sua relação com a sustentabilidade socioambiental que pressupõe, em última instância, a mudança de paradigmas, a incorporação da moral e da ética nos campos político, científico e social e a mudança na relação sociedade/natureza.

Também se contrapondo à inserção da QV em sua dimensão estritamente técnica, Machado (2011) propõe que a QV, no âmbito do ensino, requer

(...) uma visão ampla e holística da química, de natureza sistêmica, que possibilite a sua plena incorporação nos contextos ambiental, humano e societário em que a química sempre se desenvolveu e que são atualmente cada vez mais condicionantes da sua prática. Essa visão pode ser mais facilmente conseguida numa postura Ciência – Tecnologia – Sociedade (MACHADO, 2011, p. 541).

Entendemos nessa perspectiva que a QV, sob sua base crítica e aliada ao enfoque CTSA, constitui-se em importante e sólido suporte para: a ambientalização curricular no campo da Química; a promoção da educação ambiental dos químicos em formação, em especial a formação de professores,

em que essas temáticas poderão respaldar também a construção de saberes docentes; e a problematização e adoção dos pressupostos da sustentabilidade socioambiental nas práticas químicas.

CAPÍTULO 2

Construção de Matriz Verde e Estrela Verde para Experimentos de Química Orgânica

Matriz Verde para Experimentos

A verdura química dos experimentos é avaliada por meio da construção de métricas, como as Matrizes Verdes (MV), para experimentos sem síntese e para experimentos com síntese, nos quais, para cada tipo de síntese, são estabelecidos critérios de avaliação. As MV se enquadram entre as métricas holísticas propostas por Machado (2014), que permitem uma descrição sistêmica dos procedimentos, além da avaliação das possibilidades de melhorá-los. Conforme nos explicam Costa, Ribeiro e Machado (2012), essa métrica baseia-se na análise SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats*) para avaliação do cumprimento de objetivos previamente definidos. Nessa análise, após definidos os objetivos, identificam-se os pontos fortes (*Strengths*) e fracos (*Weaknesses*), as oportunidades (*Opportunities*) e ameaças (*Threats*) que se colocam ao cumprimento desses objetivos (MACHADO, 2014).

Os pontos fortes e fracos correspondem à análise interna do experimento. No entanto, efetua-se também uma análise externa, em que são avaliadas as implicações de imposições externas ao objeto. Essa avaliação permite identificar as oportunidades que podem tornar o objeto em análise mais forte, ou seja, *mais verde*, e as ameaças que podem comprometer o sucesso dos objetivos estabelecidos.

A vantagem da MV é permitir identificar os princípios cumpridos mesmo sem a realização do experimento, além de possibilitar identificar as oportunidades de melhorias e as ameaças, ou seja, os pontos de dificuldade para a melhoria da verdura.

Matriz Verde para Experimentos sem Síntese

A análise da verdura química dos experimentos é realizada através das métricas holísticas da Matriz Verde (MV) e da Estrela Verde (EV). Para a construção da MV de experimentos sem síntese, foram considerados 6 (seis) dos 12 (doze) princípios da QV, propostos por Machado e Ribeiro (2014) e adaptados por Sandri (2016), mostrados no Quadro I.

QUADRO I – CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DA VERDURA QUÍMICA DE EXPERIMENTOS SEM SÍNTESE

Critérios de Análise (C)		Pontos Fortes	Pontos Fracos
P1 - Prevenção	C1 Riscos físicos	Substâncias sem indicação de risco físico	Substâncias com indicação de riscos físicos (Explosivo – E; Inflamável – F ou F+)
	C2 Riscos à saúde	Sem indicação de risco à saúde ou risco baixo (Prejudicial – Xn; Irritante-Xi)	Substâncias com indicação de toxicidade (Tóxico – T; Muito Tóxico T+; Corrosivo C)
	C3 Riscos ao ambiente	Sem indicação de riscos para o ambiente (N)	Substâncias tóxicas ao ambiente (N)
	C4 Geração de resíduos	Não se formam resíduos ou geram-se resíduos inócuos	São gerados resíduos e estes representam perigos físicos, à saúde ou ao ambiente
P5 - Solventes e outras substâncias e auxiliares	C5 Consumo de solventes e auxiliares além dos reagentes iniciais	Não se faz necessário o uso de solventes e auxiliares ou estes são inócuos	Os solventes e/ou os auxiliares representam perigo moderado ou elevado para a saúde ou ambiente

	C6 Consumo de água como solvente ou reagente	Consumo baixo ($V \leq 50$ mL)	Consumo > 50 mL
	C7 Consumo de água como facilidade (resfriamento/banhos)	Consumo baixo ($V \leq 200$ mL)	Com consumo elevado ($V > 200$ mL)
	C8 Consumo de outros solventes além da água	Com consumo baixo ($V \leq 50$ mL)	Consumo > 50 mL
P6 – Eficiência energética	C9 Consumo de energia	Realiza-se a Temperatura e Pressão Ambientes	Realiza-se em temperatura ou pressão diferentes da do ambiente
P7 – Uso de substâncias renováveis	C10 Utilização de substâncias renováveis	Todos os reagentes são renováveis	Pelo menos um dos reagentes não é renovável
P10 – Planificação para a degradação	C11 Uso de produtos degradáveis a produtos inócuos (não considerar a água)	Todos os reagentes usados são degradáveis	Pelo menos uma das substâncias não é degradável ou gera substância nociva em sua decomposição
	C12 Utilizam-se substâncias que podem ser reutilizadas em outras experiências ou recicladas após o uso	Utiliza-se	Não se utiliza
P12 – Química intrinsecamente segura	C13 Riscos de acidentes devido às substâncias envolvidas	No caso de substâncias (Xi, Xn ou sem indicação de riscos)	No caso de substâncias (T, T+, C, O, F, F+)
	C14 Devido ao uso de equipamentos (centrífuga; estufa, mantas; evaporador rotativo, bomba de vácuo e banho termostatizado)	Com riscos baixos ou moderados	Com riscos elevados

	C15 Devido ao uso de outros materiais vulgares	Com riscos baixos ou moderados (vidrarias comuns, termômetros, densímetros, multímetros, etc.)	Com riscos elevados (gás; fogões; bicos de Bunsen; etc.); termômetros de mercúrio
--	--	--	---

Fonte: Sandri e Santin (2017)

Com base nos critérios elencados no Quadro I, é possível realizar a análise interna, avaliando os pontos fortes e os pontos fracos de cada experimento, e a análise externa, apontando as possibilidades de melhoramento da verdura química e indicando as ameaças, ou seja, situações que não podem ser evitadas. Essas informações estão disponíveis nas fichas de informações de produtos químicos (FISPQ), como a *Merck* e a *Sigma*, encontradas no site da plataforma online <http://educa.fc.up.pt/avaliacaoverdura>, e podem ser acessadas a partir das substâncias utilizadas em cada experimento.

Matriz Verde para Experimentos de Síntese

A MV para experimentos com síntese emprega como critérios os princípios da QV aplicáveis aos procedimentos que envolvem reações químicas, nas quais são considerados 10 (dez) princípios, elencados no Quadro II a seguir. Não são considerados os princípios P4 e P11 – referentes ao desenho de produtos seguros e à análise em tempo real, respectivamente.

QUADRO II – CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DO CUMPRIMENTO DOS PRINCÍPIOS DA QV EM EXPERIMENTOS COM SÍNTESE

Princípios da QV	Critérios
P1: Prevenção	Não se formam resíduos, ou quando se formam têm riscos baixos para a saúde e para o ambiente

P2: Economia atômica	Reações sem reagentes em excesso (menor ou igual a 10%) e sem formação de coprodutos (não se considera a água)
P3: sínteses menos perigosas	Todas as substâncias envolvidas são inócuas ou têm riscos baixos para a saúde e para o ambiente
P5: Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	Não se utilizam solventes nem outras substâncias auxiliares, ou quando se utilizam têm riscos baixos para a saúde e para o ambiente
P6: Planificação para conseguir eficácia energética	Pressão e temperatura ambientais
P7: Uso de matérias primas renováveis	Todos os reagentes/matérias-primas envolvidos são renováveis
P8: Redução de derivatizações	Não se utilizam derivatizações
P9: Catalisadores	Catalisadores não necessários ou que têm riscos baixos para a saúde e para o ambiente
P10: Planificação para a degradação	Todas as substâncias envolvidas são degradáveis com os produtos de degradação inócuos
P12: Química inerentemente segura quanto à prevenção de acidentes	As substâncias envolvidas têm um risco baixo de acidente químico

Fonte: Ribeiro e Machado (2012)

Para os experimentos de síntese, são considerados 10 princípios, os quais foram desdobrados em critérios mais detalhados, adaptados de Machado (2014), conforme apresentado no Quadro III.

QUADRO III – MATRIZ VERDE PARA AVALIAÇÃO INTERNA E EXTERNA DE PROTOCOLOS EXPERIMENTAIS DE SÍNTESES

Critérios de Análise (C)		Pontos Fortes	Pontos Fracos
Princípio 1 – Prevenção	C1 Riscos físicos	Substâncias sem indicação de risco físico	Substâncias com indicação de riscos físicos (Explosivo – E; Inflamável – F ou F+)

QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL

Aplicação de Métricas Holísticas de Verdura: Estrela Verde e Matriz Verde

	C2 Riscos à saúde	Sem indicação de risco à saúde ou risco baixo (Prejudicial – Xn; Irritante-Xi)	Substâncias com indicação de toxicidade (Tóxico – T; Muito Tóxico – T+; Corrosivo – C)
	C3 Riscos ao ambiente	Sem indicação de riscos para o ambiente (N)	Substâncias tóxicas ao ambiente (N)
	C4 Geração de resíduos	Não se formam resíduos ou geram-se resíduos inócuos	São gerados resíduos e estes representam perigos físicos, à saúde ou ao ambiente
	C5 Fator E* ou Intensidade de Massa (MI)**	Fator E ≤ 2 ou MI ≤ 3	Fator E > 2 ou MI > 3
P2 - Economia Atômica	C6 Uso de reagentes em excesso	Não utiliza	Utiliza
	C7 % do excesso de reagente	$\leq 10\%$ de excesso	$> 10\%$ de excesso
	C8 Economia Atômica (%)***	$\geq 33,3 \%$	$< 33,3\%$
P3 - Síntese de Produtos menos perigosos	C9 Riscos físicos à saúde ou ambientais decorrentes do produto principal obtido	O produto não representa qualquer tipo de riscos ou apresenta riscos baixos	O produto apresenta riscos físicos, à saúde ou ao ambiente, moderados ou severos
P5 - Uso de solventes e outras substâncias auxiliares	C10 Consumo de solventes e auxiliares além dos reagentes iniciais	Não se faz necessário o uso de solventes e auxiliares ou estes são inócuos	Os solventes e/ou auxiliares representam perigo moderado ou elevado para a saúde ou ambiente
	C11 Consumo de água como solvente ou reagente	Consumo baixo (V ≤ 50 mL)	Consumo > 50 mL
	C12 Consumo de água como facilidade (resfriamento/banhos)	Consumo baixo (V ≤ 200 mL)	Com consumo elevado (V > 200 mL)

QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL

Aplicação de Métricas Holísticas de Verdura: Estrela Verde e Matriz Verde

	C13 Consumo de outros solventes além da água	Com consumo baixo ($V \leq 50 \text{ mL}$)	Consumo > 50 mL
P6 – Eficiência energética	C14 Consumo de energia	Realiza-se a Temperatura e Pressão Ambientes	Realiza-se em temperatura ou pressão diferentes das do ambiente
P7 – Uso de substâncias renováveis	C15 Utilização de substâncias renováveis	Todas as substâncias são renováveis	Pelo menos uma das substâncias não é renovável
P8 - Evitar a Formação de Derivados	C16 Uso de grupos bloqueadores ou mudanças temporárias que geram resíduos	Não se faz necessário o uso de bloqueadores	Pelo menos uma etapa exige o uso de bloqueadores
P9 - Catálise	C17 Utilização de catalisador	Não se faz necessário	É necessário
	C18 Tipo de catalisador (homogêneo/heterogêneo/biocatalisador)	Homogêneo	Heterogêneo ou biocatalisador
	C19 Recuperação do catalisador	Não é possível recuperar	É possível recuperar
P10 – Planificação para a degradação	C20 Uso de produtos degradáveis a produtos inócuos (não considerar a água)	Todos os reagentes usados são degradáveis ou tratáveis para a degradação	Pelo menos uma das substâncias não é degradável ou gera substância nociva em sua decomposição
	C21 Utiliza substâncias que podem ser reutilizadas em outras experiências ou recicladas após o uso	Utiliza	Não utiliza
P12 – Química intrinsecamente segura	C22 Riscos de acidentes devido às substâncias envolvidas	No caso de substâncias (Xi, Xn ou sem indicação de riscos)	No caso de substâncias (T, T+, C, O, F, F+)

	C23 Devido ao uso de equipamentos (centrífuga, estufa, mantas, evaporador rotativo, bomba de vácuo e banho termostatzado)	Com riscos baixos ou moderados	Com riscos elevados
	C24 Devido ao uso de outros materiais comuns	Com riscos baixos ou moderados (vidrarias comuns, termômetros, densímetros, multímetros, etc.)	Com riscos elevados (gás, fogões, bicos de Bunsen, etc.); termômetros de mercúrio

Fonte: Autoria Própria

Estrela Verde (EV)

A métrica Estrela Verde (EV) considera os mesmos princípios e critérios da MV. Entretanto, essa métrica de natureza gráfica permite comparações visuais fáceis. Conforme Ribeiro, Costa e Machado (2010, p. 759):

a métrica é constituída por uma estrela de tantas pontas quantos os Princípios da QV em jogo no problema em análise, e em que o comprimento de cada ponta é tanto maior quanto melhor for o cumprimento do respectivo princípio, de modo que a área da estrela é tanto maior quanto maior for a verdura global do processo químico em estudo.

Para a construção da EV e os cálculos de massa (EA e Fator E), empregou-se a plataforma disponível em www.educa.fc.up.pt, que permite uma análise automática, gerada pela plataforma online, a partir do preenchimento das informações acerca do experimento (MACHADO, 2014).

Machado (2014) descreve os passos para a construção da métrica EV, considerando pontuações a partir de critérios pré-estabelecidos pontuados de 1 (um) a 3 (três), conforme a verdura química apresentada a seguir:

- 1) Ausência de verdura química (vermelhos);
- 2) Verdura química parcial (aceitável, porém com restrições); e

3) Plenamente verde (o ideal).

A pontuação é dada de acordo com a avaliação realizada para cada experimento. Se não for possível, atribui-se pontuação de valor 1 (precaução).

A EV é obtida de modo simples, a partir das pontuações (1 a 3), alimentadas em uma folha do Excel. Assim, a EV é gerada automaticamente de acordo com experimentos de síntese e sem síntese (MACHADO, 2014).

Para a construção da EV proveniente de análise com sínteses (10 pontas), são seguidos os seguintes passos:

1) Pesquisa de todas as substâncias do experimento (reagentes, produtos, coprodutos, solventes, secantes, catalisadores, etc);

2) Conhecimento das informações sobre os perigos existentes (físicos, à saúde e ao ambiente) a partir das fichas de dados de segurança (SDS) e, eventualmente, outras fontes;

3) Pontuação das substâncias, de acordo com valores de 1 a 3 (mínima e máxima, respectivamente). E de acordo com o Quadro IV, com critérios para a classificação das substâncias para a construção de estrela verde (abaixo);

4) Pontuação de cumprimento dos princípios em 1, 2 ou 3, segundo os critérios pré-estabelecidos no Quadro V, para a classificação das substâncias para a construção de estrela verde;

5) Construção da estrela com as pontuações introduzidas na folha do Excel que traça, automaticamente, a estrela em um gráfico do tipo radar.

O Índice de preenchimento da estrela (IPE), descrito por Adélio Machado (2014), possibilita a verificação de verdura de cada estrela sem analisar a sua área, sendo geralmente utilizado quando as diferenças de áreas não são tão grandes. Pode-se relacionar o IPE com o cálculo da razão da área da estrela

para a área da verdura máxima, expressa em porcentagem, como descrito abaixo:

$$\text{IPE} = 100 (\text{área da estrela} / \text{área da estrela de verdura máxima})$$

Exemplo da EV construída no Excel (Figura I) de acordo com 6 (seis) dos 12 (doze) princípios da QV:

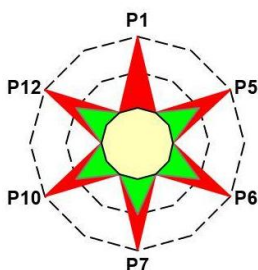


Figura I – Estrela Verde (Excel)

Fonte: <http://Educa.Fc.Up.Pt/Pedagogiadaquimicaverde/>

Os Quadros IV e V mostram os critérios e pontuações para a classificação das substâncias para a construção de estrela verde.

QUADRO IV – CRITÉRIOS PARA A CLASSIFICAÇÃO DAS SUBSTÂNCIAS PARA A CONSTRUÇÃO DE ESTRELA VERDE

Riscos	Símbolo de riscos	Pontuação
Saúde	C – Corrosivo/T – Tóxico/T+ - Muito tóxico	3
	Xn – Prejudicial/Xi – Irritante	2
	Nenhuma indicação	1
Ambiente	N - Perigosos	3
	Nenhuma indicação	1

Riscos de acidentes químicos		
Saúde	C – Corrosivo/T – Tóxico/T+ - Muito tóxico Xn – Prejudicial/Xi – Irritante Nenhuma indicação	3 2 1
Inflamabilidade	F – Muito inflamável/F + - Extremamente inflamável Nenhuma indicação	3 1
Reatividade	E – Explosivo/O – Agente oxidante Nenhuma indicação	3 1
Degradabilidade e renovabilidade		
Degradabilidade	Não-degradáveis ou que possam ser tratados para se obter a sua degradação em produtos inócuos Que possam ser tratados para obter degradação Degradáveis em produtos inócuos.	3 2 1
Renovabilidade	Não renováveis Renováveis	3 1

Fonte: Machado (2014)

QUADRO V – COMPONENTES E PONTUAÇÕES DOS PRINCÍPIOS PARA CONSTRUÇÃO DA ESTRELA VERDE

Princípios da Química Verde	Critérios	Pontuação (p)	(P)
P1 – Prevenção	Todos os resíduos são inócuos (p=1)	3	
	Formação de pelo menos um resíduo que envolva perigo moderado para a saúde e o ambiente (p=2)	2	
	Formação de pelo menos um resíduo que envolva perigo elevado para a saúde e o ambiente (p=3)	1	

P2 – Economia atômica	Reações sem reagentes em excesso ($\leq 10\%$) e sem formação de coprodutos	3	
	Reações sem reagentes em excesso ($\leq 10\%$) e com formação de coprodutos	2	
	Reações com reagentes em excesso ($> 10\%$) e sem formação de coprodutos	2	
	Reações com reagentes em excesso ($> 10\%$) e com formação de coprodutos	1	
P3 – Sínteses menos perigosas	Todas as substâncias envolvidas são inócuas ($p=1$)	3	
	As substâncias envolvidas apresentam perigo moderado para a saúde e o ambiente ($p=2$)	2	
	Pelo menos uma das substâncias envolvidas apresenta perigo elevado para a saúde e o ambiente ($p=3$)	1	
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	Os solventes e as substâncias auxiliares não existem ou são inócuas ($p=1$)	3	
	Os solventes e as substâncias auxiliares usadas envolvem perigo moderado para a saúde e o ambiente ($p=2$)	2	
	Pelo menos um dos solventes ou uma das substâncias auxiliares usadas envolve perigo elevado para a saúde e o ambiente ($p=3$)	1	
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	Temperatura e pressão ambientais	3	
	Pressão ambiental e temperatura entre 0°C e 100°C que implique arrefecimento ou aquecimento	2	
	Pressão diferente da ambiental e/ou temperatura $> 100^{\circ}\text{C}$ menor do que 0°C	1	
P7 – Uso de matérias primas renováveis	Todos os reagentes/matérias-primas envolvidos são renováveis ($p=1$)	3	
	Pelo menos um dos reagentes/matérias-primas envolvidos é renovável, não se considera a água ($p=1$)	2	

QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL

Aplicação de Métricas Holísticas de Verdura: Estrela Verde e Matriz Verde

	Nenhum dos reagentes/matérias-primas envolvidos é renovável, não se considera a água (p=3)	1	
P8 – Reduzir derivatizações	Sem derivatizações ou com uma etapa	3	
	Usa-se apenas uma derivatização ou duas etapas	2	
	Usam-se várias derivatizações ou mais do que duas etapas	1	
P9 – Catalizadores	Não se usam catalisadores ou os catalisadores são inócuos (p=1)	3	
	Utilizam-se catalisadores que envolvem perigo moderado para a saúde e o ambiente (p=2)	2	
	Utilizam-se catalisadores que envolvem perigo elevado para a saúde e o ambiente (p=3)	1	
P10 – Planificação para a degradação	Todas as substâncias envolvidas são degradáveis com os produtos de degradação inócuos (p=1)	3	
	Todas as substâncias envolvidas que não são degradáveis podem ser tratadas para obter a sua degradação com os produtos de degradação inócuos (p=2)	2	
	Pelo menos uma das substâncias envolvidas não é degradável nem pode ser tratada para obter a sua degradação com produtos de degradação inócuos (p=3)	1	
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	As substâncias envolvidas apresentam perigo baixo de acidente químico (p=1)	3	
	As substâncias envolvidas apresentam perigo moderado de acidente químico (p=2)	2	
	As substâncias envolvidas apresentam perigo elevado de acidente químico (p=3)	1	

Fonte: <http://educa.fc.up.pt/pedagogiadaquimicaverde/>

*Os valores de p da segunda coluna referem-se ao Quadro IV.

Para a construção da EV utiliza-se a plataforma online <http://educa.fc.up.pt/avaliacaoverdura>, disponível gratuitamente pela Universidade do Porto, em Portugal, que permite a inserção dos dados do experimento e constrói automaticamente a EV em um gráfico radial de acordo com o número de princípios considerados (MACHADO, 2014).

A vantagem da EV é a representação gráfica, possibilitando uma comparação visual fácil e imediata da verdura química. As pontas das estrelas permitem identificar, para cada caso, quais os princípios cumpridos e quais os não cumpridos – que seriam “atacados” com possibilidades de melhorias, ou então identificados como ameaças que não podem ser revertidas, como explica Adélio Machado (MACHADO, 2014).

CAPÍTULO 3

Identificação de Resíduos e Tratamentos

Qualquer material gasoso, líquido ou sólido resultante de um processo de produção, transformação ou extração é classificado como *resíduo*, podendo ser de origem domiciliar, comercial, industrial, radioativo, agrícola, químico, entre outros (JESUS; SANTOS, 2009, p. 2). Quando se esgotam todas as possibilidades de tratamento e recuperação, é chamado de *rejeito*, pois não apresenta outra possibilidade senão a disposição final ambientalmente adequada (JESUS; SANTOS, 2009, p. 2).

Na década de 1990, os centros de pesquisas e ensino do país passaram a preocupar-se com a produção e os perigos dos resíduos químicos gerados nos laboratórios. No entanto, isso não se restringe apenas à adoção de práticas que visem à minimização e ao tratamento dos resíduos produzidos nas atividades laboratoriais, mas também à conscientização e ao treinamento do indivíduo que está à frente dessas atividades. Essas instituições de ensino e pesquisa habitualmente não são consideradas unidades poluidoras, porém, juntas, produzem quantidades desnecessárias de resíduos por empregarem grandes quantidades de reagentes (MARINHO, BOZELLI & ESTEVES, 2011).

Dentre os laboratórios de pesquisa e ensino, o laboratório de química é o que concentra a maior parte dessas experiências que geram resíduos. Naturalmente, como explicam Marinho, Bozelli & Esteves (2011), nesses laboratórios existe toda uma variedade de análises químicas e é necessária a

adoção de novos hábitos, que se preocupem não apenas com a qualidade das análises, mas também com a gestão dos resíduos. Essa visão tem o intuito de diminuir os possíveis impactos ao meio ambiente (MARINHO, BOZELLI & ESTEVES, 2011).

Conforme Jardim (1998), considerando que os resíduos gerados são de natureza variada, incluindo metais pesados, solventes halogenados, radioisótopos e material infectante, a premissa de que essas atividades dispensam um programa eficiente de gerenciamento de resíduos não procede e, nas últimas décadas, a conscientização e a mobilização da sociedade civil tem exigido que um sistema de gerenciamento de resíduos passe a fazer parte dessas instituições (JARDIM, 1998).

A lei de Resíduos Sólidos

Diante dessa problemática, pareceu urgente a criação de mecanismos de regulação do uso e descarte de resíduos com enfoque preventivo, que vêm acompanhados de medidas de conscientização e de estímulo a práticas que visem ao melhor aproveitamento dos recursos naturais, à minimização do desperdício e à reutilização dos resíduos (LIBERAL, *et al*, 2012, p. 11).

Em 2010, deu-se um passo importante na relação que norteia a geração de resíduos quando foi aprovada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). O processo todo resultou na Lei nº 12.305/10, regulamentada pelo Decreto nº 7.404/10. A referida Lei estabelece princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes para a gestão integrada e o gerenciamento dos resíduos sólidos e traz, como grande inovação, o conceito de responsabilidade compartilhada (LIBERAL, *et al*, 2012, p.11).

“Resíduos armazenados em frascos, mesmo no estado líquido, sólido ou gasoso, seguem a lei de resíduos sólidos”. A Lei nº 12.305/10 (2010, p. 1)

estabelece ainda a gestão integrada dos resíduos, conforme descrito nos artigos abaixo:

Art. 1º Esta Lei institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluída os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010).

§ 1º Estão sujeitas à observância desta Lei as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Alternativas para o destino final dos resíduos sólidos

Com a preocupação em atender a Lei de Resíduos sólidos nº 12.305/10, municípios e estados tendem a procurar alternativas para atenuar os riscos à saúde pública que provocam mortalidade, aumento na incidência de doenças ou acentuem seus índices e riscos ao meio ambiente. Portanto, os métodos utilizados por essas instituições para o tratamento de disposição final baseiam-se em:

- Compostagem, remediação, encapsulamento, autoclavação, esterilização por micro-ondas, coprocessamento, reprocessamento, incineração, reciclagem, *landfarming*, lixões, aterros (classe I e classe II – A, II – B), aterros controlados e resíduos classificados como industriais e como resíduos de serviços de saúde (GONÇALVES *et al*, 2010).

Segundo os autores Sanebavi (2014) e Lopes (2006), a classificação de resíduos baseia-se em: domiciliares; provenientes de limpeza urbana, estabelecimentos comerciais e de serviços; industriais; serviços de saúde,

resíduos radioativos e agrícolas; construção civil e resíduos gerados em portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários, entre outros (SANEBAVI, 2014; LOPES, 2006).

Os problemas para o gerenciamento de resíduos

Cunha (2001) relata que resíduos químicos gerados nos laboratórios das Instituições de ensino (Universidades) geralmente percorrem o caminho da coleta e acúmulo – prática que perdura há vários anos –, com o armazenamento em vários frascos abandonados que perdem o rótulo pela ação do tempo (CUNHA, 2001).

Nesse contexto, Cunha (2001) demonstra preocupação principalmente com os riscos que podem vir a ocorrer, tais como explosões, intoxicações agudas ou incêndios ocasionados por esses resíduos (CUNHA, 2001).

Atualmente há três alternativas para o destino final dos resíduos químicos: o aterramento controlado, a incineração e o coprocessamento em forno de cimento. No entanto, essas alternativas encontram-se localizadas nos grandes centros urbanos do país: São Paulo e Rio de Janeiro.

Nesse contexto, as principais dificuldades encontradas no gerenciamento de resíduos baseiam-se no tratamento e na incineração, que requerem investimentos financeiros de alto custo, além de transporte até os centros especializados localizados nas capitais brasileiras e planejamento prévio. Nos laboratórios de ensino de graduação, as atividades de coleta seletiva e tratamento de rejeitos já são realizadas em algumas disciplinas, visando à síntese de reagentes para a reutilização em outros laboratórios de ensino ou em laboratórios de pesquisa (CUNHA, 2001).

Existe a necessidade de, sempre que possível, reduzir a geração de resíduos, reaproveitá-los e substituir substâncias tóxicas por aquelas menos onerosas. Seguindo o mesmo pensamento, o presente trabalho se entrelaça

com dois princípios da Química Verde: 1) prevenção: é melhor prevenir a formação de subprodutos do que tratá-los posteriormente; e 2) química segura para a prevenção de acidentes: as substâncias usadas nos processos químicos deverão ser escolhidas para minimizar acidentes em potencial, tais como explosões e incêndios (PRADO, 2003).

A QV tem se preocupado com o desenvolvimento de tecnologias e processos incapazes de causar poluição, propondo uma situação ideal: a aplicação dos princípios da QV que conduz à regulamentação e ao controle para não causar uma remediação desnecessária. Além dos benefícios ambientais, tal pensamento apresenta também um impacto econômico, graças à diminuição de gastos com o armazenamento e tratamento de resíduos, a descontaminação e o pagamento de indenizações (PRADO, 2003, p. 738).

Organização de Resíduos em Laboratórios de Química

O ensino e a pesquisa em diversas áreas – incluindo indústrias, universidades e demais centros geradores de resíduos – muitas vezes fazem uso de substâncias perigosas em suas atividades experimentais. Nesse contexto, para que sejam desempenhados de modo seguro e sustentável, é necessário que ocorra um planejamento completo de todo o experimento. Esse planejamento inclui o gerenciamento dos resíduos gerados em que o responsável deve ter um controle do que é produzido de resíduos nos laboratórios e, caso não tenha base, pode gerar um inventário de resíduos (VITTA, 2014).

Diante disso, é possível propor uma minimização ou redução da geração de resíduos através da redução da quantidade de reagentes empregados nos experimentos. Ainda, é possível diminuir a toxicidade ou adaptar as práticas a fim de não utilizar reagentes tóxicos, assim como preconiza a QV.

Jardim (1998) explica que, ao se tratar de geração de resíduos, não importa quem os gerou, mas sim a hierarquia que eles devem seguir: 1 - Prevenção na geração de resíduos (perigosos ou não); 2 - Minimizar a proporção dos perigosos ou que são inevitavelmente gerados; 3 - Segregar e concentrar, sempre que possível, correntes de resíduos de modo a tornar viável e economicamente possível a atividade gerenciadora; 4 - Reuso interno ou externo; 5 - Reciclagem; 6 - Manter todo o resíduo produzido na sua forma mais passível de tratamento; 7 - Tratar e dispor o resíduo de maneira segura (JARDIM, 1998, p. 672.)

Portanto, a fonte geradora desses resíduos deve propor uma segregação, que consiste na sua separação de acordo com suas propriedades químicas, físicas e biológicas, e levando em consideração seus estados físicos e seus tratamentos ou utilizações. A segregação deve ser sempre efetuada no momento e no local de sua geração para evitar a exposição de demais eventuais riscos. Sendo que isso permitirá o reuso, a reciclagem ou ainda os tratamentos mais seguros e baratos (VITTA, 2014).

Quando se trata de resíduos gerados em laboratórios, é necessário o acondicionamento em recipientes fisicamente resistentes e quimicamente compatíveis com os resíduos, com rotulagem correta que contenha as informações básicas de acordo com cada instituição.

Produtos Químicos Incompatíveis

Devido às suas propriedades químicas, alguns produtos químicos podem reagir entre si, como no caso de substâncias incompatíveis, ocasionando riscos violentos de explosões e produção de gases tóxicos ou inflamáveis. Por esse motivo, o transporte, o armazenamento, a utilização e o descarte devem ser executados cuidadosamente, evitando que os reagentes presentes no quadro abaixo (coluna da esquerda) entrem em contato com os

reagentes da coluna direita, mesmo que acidentalmente. O quadro VI relaciona somente as substâncias principais e mais comuns:

QUADRO VI – SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS COM PROPRIEDADES INCOMPATÍVEIS

Substância	Incompatível com
Acetileno	Cloro, bromo, flúor, cobre, prata e mercúrio
Acetona	Bromo, cloro, ácido nítrico e ácido sulfúrico
Ácido Acético	Etileno glicol, compostos contendo hidroxilas, óxido de cromo IV, ácido nítrico, ácido perclórico, peróxidos, permanganatos e peróxidos, ácido acético, anilina, líquidos e gases combustíveis
Ácido Cianídrico	Álcalis e ácido nítrico
Ácido Crômico [Cr(VI)]	Ácido acético glacial, anidrido acético, álcoois, matéria combustível, líquidos, glicerina, naftaleno, ácido nítrico, éter de petróleo e hidrazina
Ácido Fluorídrico	Amônia (anidra ou aquosa) $\leq p < p =$
Ácido Fórmico	Metais em pó e agentes oxidantes
Ácido Nítrico (concentrado)	Ácido acético, anilina, ácido crômico, líquidos e gases inflamáveis, gás cianídrico e substâncias nitráveis
Ácido Nítrico	Álcoois e outras substâncias orgânicas oxidáveis, ácido iodídrico, magnésio e outros metais, fósforo e etileno, ácido acético, anilina óxido Cr(IV) e ácido cianídrico
Ácido Oxálico	Prata, sais de mercúrio prata e agentes oxidantes
Ácido Perclórico	Anidrido acético, álcoois, bismuto e suas ligas, papel, graxas, madeira, óleos ou qualquer matéria orgânica, clorato de potássio, perclorato de potássio e agentes redutores
Ácido Pícrico	Amônia aquecida com óxidos ou sais de metais pesados e fricção com agentes oxidantes
Ácido Sulfídrico	Ácido nítrico fumegante ou ácidos oxidantes, cloratos, percloratos e permanganatos de potássio

QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL

Aplicação de Métricas Holísticas de Verdura: Estrela Verde e Matriz Verde

Água	Cloreto de acetilo, metais alcalinos terrosos, seus hidretos e óxidos, peróxido de bário, carbonetos, ácido crômico, oxiclureto de fósforo, pentaclureto de fósforo, pentóxido de fósforo, ácido sulfúrico e trióxido de enxofre, etc
Alumínio e suas ligas (principalmente em pó)	Soluções ácidas ou alcalinas, persulfato de amônio e água, cloratos, compostos clorados nitratos, Hg, Cl, hipoclorito de Ca, I ₂ , Br ₂ HF
Amônia	Bromo, hipoclorito de cálcio, cloro, ácido fluorídrico, iodo, mercúrio e prata, metais em pó e ácido fluorídrico
Amônio Nitrato	Ácidos, metais em pó, substâncias orgânicas ou combustíveis finamente divididos
Anilina	Ácido nítrico, peróxido de hidrogênio, nitro metano e agentes oxidantes
Bismuto e suas ligas	Ácido perclórico
Bromo	Acetileno, amônia, butadieno, butano e outros gases de petróleo, hidrogênio, metais finamente divididos, carbeto de sódio e terebintina
Carbeto de cálcio ou de sódio	Umidade (no ar ou água)
Carvão Ativo	Hipoclorito de cálcio e oxidantes
Cianetos	Ácidos e álcalis, agentes oxidantes, nitritos Hg (IV) nitratos
Cloratos e percloratos	Ácidos, alumínio, sais de amônio, cianetos, ácidos, metais em pó, enxofre, fósforo, substâncias orgânicas oxidáveis ou combustíveis, açúcar e sulfetos
Cloratos ou percloratos de potássio	Ácidos ou seus vapores, matéria combustível, (especialmente solventes orgânicos), fósforo e enxofre
Cloratos de sódio	Ácidos, sais de amônio, matéria oxidável, metais em pó, anidrido acético, bismuto, álcool pentóxido, de fósforo, papel, madeira
Cloreto de zinco	Ácidos ou matéria orgânica
Cloro	Acetona, acetileno, amônia, benzeno, butadieno, butano e outros gases de petróleo, hidrogênio, metais em pó, carboneto de sódio e terebintina

QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL

Aplicação de Métricas Holísticas de Verdura: Estrela Verde e Matriz Verde

Cobre	Acetileno, peróxido de hidrogênio
Cromo IV Óxido	Ácido acético, naftaleno, glicerina e líquidos combustíveis
Dióxido de cloro	Ácido acético, naftaleno, glicerina e líquidos combustíveis
Flúor	Maioria das substâncias (armazenar separadamente)
Enxofre	Qualquer matéria oxidante
Fósforo branco	Ar (oxigênio) ou qualquer matéria oxidante
Fósforo vermelho	Matéria oxidante
Hidreto de lítio e alumínio	Ar, hidrocarbonetos cloráveis, dióxido de carbono, acetato de etila e água
Hidrocarbonetos (benzeno, butano, gasolina, propano, etc.)	Flúor, cloro, bromo, peróxido de sódio, ácido crômico e peróxido de hidrogênio
Hidrogênio Peróxido	Cobre, cromo, ferro, álcoois, acetonas e substâncias combustíveis
Hidroperóxido de cumeno	Ácidos (minerais ou orgânicos)
Hipoclorito de cálcio	Amônia ou carvão ativo
Iodo	Acetileno, amônia (anidra ou aquosa) e hidrogênio
Líquidos inflamáveis	Nitrato de amônio, peróxido de hidrogênio, ácido nítrico, peróxido de sódio e halogênios
Lítio	Ácidos, umidade no ar e água $\leq p \leq$
Magnésio (principal/em pó)	Carbonatos, cloratos, óxidos ou oxalatos de metais pesados (nitratos, percloratos, peróxidos, fosfatos e sulfatos)
Mercúrio	Acetileno, amônia, metais alcalinos, ácido nítrico com etanol e ácido oxálico
Metais Alcalinos e alcalinos terrosos (Ca, Ce, Li, Mg, K, Na)	Dióxido de carbono, tetracloreto de carbono, halogênios, hidrocarbonetos clorados e água

QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL

Aplicação de Métricas Holísticas de Verdura: Estrela Verde e Matriz Verde

Nitrato	Matéria combustível, ésteres, fósforo, acetato de sódio, cloreto estagnoso, água e zinco em pó
Nitrato de amônio	Ácidos, cloratos, cloretos, chumbo, nitratos metálicos, metais em pó, compostos orgânicos, combustíveis finamente divididos, enxofre e zinco
Nitrito	Cianeto de sódio ou potássio
Nitrito de sódio	Compostos de amônio, nitratos de amônio ou outros sais de amônio
Nitro-parafinas	Álcoois inorgânicos
Óxido de mercúrio	Enxofre
Oxigênio (líquido ou ar enriquecido com O ₂)	Gases inflamáveis, líquidos ou sólidos como acetona, acetileno, graxas, hidrogênio, óleos e fósforo
Pentóxido de fósforo	Compostos orgânicos e água
Perclorato de amônio, permanganato ou persulfato	Materiais combustíveis e materiais oxidantes tais como ácidos, cloratos e nitratos
Permanganato de Potássio	Benzaldeído, glicerina, etilenoglicol, ácido sulfúrico, enxofre, piridina, dimetilformamida, ácido clorídrico e substâncias oxidáveis
Peróxidos	Metais pesados, substâncias oxidáveis, carvão ativado, amoníaco, aminas, hidrazina e metais alcalinos
Peróxidos (orgânicos)	Ácido (mineral ou orgânico)
Peróxido de Bário	Compostos orgânicos combustíveis, matéria oxidável e água
Peróxido de hidrogênio 3%	Crômio, cobre, ferro, com a maioria dos metais ou seus sais, álcoois, acetona e substância orgânica
Peróxido de sódio	Ácido acético glacial, anidrido acético, álcoois benzaldeído, dissulfeto de carbono, acetato de etila, etileno glicol, furfural, glicerina, acetato de etila e outras substâncias oxidáveis, metanol e etanol
Potássio	Ar (unidade e/ou oxigênio) ou água

Prata	Acetileno, compostos de amônia, ácido nítrico com etanol, ácido oxálico e tartárico
Zinco em pó	Ácidos ou água
Zircônio (principal/em pó)	Tetracloroeto de carbono e outros carbetos, pralogenados, peróxidos, bicarbonato de sódio e água

Fonte: http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/lab_virtual/armazenamento_de_produtos_quimicos.html

Medidas de segurança e cuidados para laboratórios

As principais medidas de segurança e cuidados de laboratório, segundo a Fiocruz (2018), são:

1º: organizar um documento informativo sobre o uso, manipulação e disposição dos produtos químicos perigosos e disponibilizá-lo para consultas a fim de sanar eventuais dúvidas, além de divulgá-lo para todas as pessoas que trabalham no laboratório;

2º: metais reativos (sódio, potássio) são estocados com segurança, em pedaços pequenos, imersos em hidrocarbonetos secos (hexano, benzeno, etc.);

3º: adquirir, sempre, a quantidade mínima necessária às atividades do laboratório. Produtos químicos sem rótulo ou com a embalagem violada não devem ser aceitos;

4º: utilizar no laboratório somente produtos químicos compatíveis com o sistema de ventilação e exaustão existentes;

5º: selar as tampas dos recipientes de produtos voláteis em uso com filme inerte para evitar odores ou a deterioração, se os produtos forem sensíveis ao ar e/ou umidade;

6º: não armazenar produtos químicos em prateleiras elevadas; garrafas grandes devem ser colocadas no máximo a 60 cm do piso;

7º: não armazenar produtos químicos dentro da capela nem no chão do laboratório;

8º: evitar o uso de armário fechado para armazenagem. O ideal é que existam aberturas laterais ou na parte superior para ventilação, evitando-se assim o acúmulo de vapores;

9º: analisar com cuidado a incompatibilidade entre os produtos químicos durante a armazenagem; se incompatíveis, evitar acomodar em locais próximos todos os produtos com propriedades químicas distintas (corrosivo, solvente, oxidante, entre outros). Orienta-se a não colocar, por exemplo, ácidos próximos a bases ou hidróxido de amônio em local sem ventilação ou próximo a outros produtos. Esses são cuidados que vão proporcionar maior segurança aos indivíduos envolvidos;

10º: as prateleiras ou os armários de armazenagem dos produtos químicos devem ser rotulados de acordo com a classe do produto que contêm;

11º: manter, na bancada, a quantidade mínima necessária de produtos químicos. No caso de mistura de produtos, lembrar que a bancada terá o nível de risco do componente mais perigoso;

12º: considerar os produtos químicos desconhecidos como sendo de risco elevado.

O quadro de resíduos abaixo trata dos reagentes usados na aula prática, possibilitando descrevê-los no protocolo experimental e classificá-los de acordo com o reaproveitamento final, as possibilidades e formas de fazê-lo. Se houver possibilidades de tratamento dos resíduos gerados para cada procedimento experimental, o quadro também deve ser preenchido. Por fim, o descarte dos resíduos deve seguir as orientações da legenda, conforme

indicam os símbolos: R.O: resíduo orgânico; R.I: resíduo inorgânico; H: halogenado; N.H: não halogenado; T: tóxico e N.T: não tóxico. Todas essas informações estão contidas nas fichas de informação de segurança de produtos químicos (FISPQ).

O quadro VII mostra como é realizada a classificação de resíduos e quais critérios são levados em consideração para cada experimento.

QUADRO VII – QUADRO DE RESÍDUOS

Reagentes usados nesta aula	Reaproveitamento ao final do processo	Tratamento	Descarte			
	☐ S ☐ N De que forma?	☐ S ☐ N De que forma?		R.O		
				H	N.H	
				R.I		
				T	N.T	
	☐ S ☐ N De que forma?	☐ S ☐ N De que forma?		R.O		
				H	N.H	
				R.I		
				T	N.T	
	☐ S ☐ N De que forma?	☐ S ☐ N De que forma?		R.O		
				H	N.H	
				R.I		
				T	N.T	

CAPÍTULO 4

Análise da Verdura Química de Experimentos Clássicos da Química Orgânica Experimental

Experimento I – Solubilidade de Compostos Orgânicos

Pré-laboratório

Para a compreensão dos fenômenos ocorridos neste experimento, o aluno deverá buscar previamente a compreensão acerca dos seguintes conceitos: polaridade de ligações e moléculas, geometria molecular, forças intermoleculares, solubilidade de compostos orgânicos e escolha de solventes para purificação pelo método de recristalização. Além disso, recomenda-se estudar o experimento, conferir os riscos de todos os reagentes na tabela FISPQ e avaliar a MV e a EV para aplicação das possibilidades de melhorias apresentadas no experimento e construção da EV, para fins comparativos com a proposta teórica apresentada no protocolo experimental.

Objetivos

Determinar a solubilidade de algumas substâncias em solventes de polaridade crescente e explicar esse fenômeno em função das interações soluto-solvente; prever qual solvente seria mais adequado para a recristalização de cada substância sólida, bem como os métodos de separação de substância através da diferença de solubilidade entre os compostos num

mesmo solvente; avaliar as melhorias propostas no experimento e construir a EV.

Introdução

Grande parte dos processos rotineiros de um laboratório de Química Orgânica (reações químicas, métodos de análise e purificação de compostos orgânicos) é efetuada em solução ou envolve propriedades relacionadas à solubilidade de compostos orgânicos.

A solubilidade dos compostos orgânicos pode ser dividida em duas categorias principais: a solubilidade na qual uma reação química é a força motriz e a solubilidade na qual somente está envolvida a simples miscibilidade. As duas estão inter-relacionadas, sendo que a primeira é, geralmente, usada para identificar os grupos funcionais e a segunda, para determinar os solventes apropriados para a recristalização nas análises espectrais e nas reações químicas.

Três informações podem ser obtidas com relação a uma substância desconhecida através da investigação de seu comportamento quanto à solubilidade em água, solução de hidróxido de sódio 5%, solução de bicarbonato de sódio 5%, solução de ácido clorídrico 5% e ácido sulfúrico concentrado a frio. Em geral, encontram-se indicações sobre o grupo funcional presente na substância.

Diz-se que uma substância é “solúvel” em um dado solvente quando esta se dissolve na razão de 3 g por 100 mL de solvente. Entretanto, quando se considera a solubilidade em ácido ou base diluídos, a observação importante a ser feita não é saber se ela atinge os 3% ou outro ponto arbitrário, e sim se a substância desconhecida é muito mais solúvel na solução ácida ou básica aquosa do que em água.

A solubilidade das substâncias em solventes de diferentes polaridades pode ser prevista com o auxílio da análise das forças intermoleculares existentes entre soluto-soluto, solvente-solvente e daquelas que poderão se estabelecer entre soluto-solvente. Seguindo a regra geral de que “semelhante dissolve semelhante”, é possível fazer uma previsão arbitrária das solubilidades relativas das substâncias nos solventes propostos. Contudo, faz-se necessário analisar também a mudança de solubilidade em função do aumento da temperatura do sistema, teste esse que permitirá a escolha de um solvente apropriado para ser usado no processo de recristalização de determinado composto.

A análise das solubilidades relativas também é base para processos de separação de substâncias, através da diferença de solubilidade de duas ou mais substâncias num mesmo solvente.

Materiais e reagentes

O Quadro VIII apresenta a lista de materiais e reagentes necessários para a realização do experimento “solubilidade de compostos orgânicos”.

QUADRO VIII – MATERIAIS E REAGENTES PARA O EXPERIMENTO

Tubo de ensaio	Espátula
Hexano	Éter etílico
Etanol	Água
Ácido benzoico	Beta-Naftol
Anilina	Tiosulfato de sódio
Ureia	

Procedimento experimental

Numere cinco tubos de ensaio e coloque em cada um cerca de 3 mL dos solventes especificados no quadro abaixo. Siga a ordem estabelecida no quadro IX. Em cada um dos tubos, coloque cerca de 100 mg (uma ponta de espátula) do soluto especificado como s.1. Observe a solubilidade desse composto em cada um dos solventes à temperatura ambiente e anote o resultado no mesmo quadro, colocando (+) para solúvel, (-) para insolúvel e (- ; +) para insolúvel a frio e solúvel a quente.

Aqueles tubos nos quais não houve solubilização a frio deverão ser levados ao banho-maria, observando-se possíveis mudanças de solubilidade com o aumento de temperatura.

Repita o mesmo procedimento com os demais solutos para anotar no Quadro IX.

QUADRO IX – RESULTADOS OBTIDOS NOS TESTES DE SOLUBILIDADE

Solvente/Soluto	Hexano	Éter etílico	Acetato de Etila	Etanol	Água
Ácido Benzoico s.1					
Beta-Naftol s.2					
Anilina s.3					
Tiossulfato de Sódio s.4					
Ureia s.5					

O quadro X mostra a MV e EV construídas para o experimento de solubilidade proposto pelo experimento.

QUADRO X – MV E EV DO EXPERIMENTO DE SOLUBILIDADE DE COMPOSTO ORGÂNICO

Pontos Fortes	Pontos Fracos
C5. Não faz uso de solventes auxiliares. C6. Não utiliza água como solvente ou reagente. C7. Consumo baixo de água com banho de aquecimento.	C1. Risco físico: éter etílico – líquido inflamável (H224). Líquido e vapores extremamente inflamáveis (H224). Pode formar peróxidos explosivos (EUH019). Hexano – líquido inflamável (H225). Etanol - é inflamável e, dependendo da quantidade, pode causar danos físicos (H225). C2. Risco à saúde: éter etílico – toxicidade aguda (H302). Toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico – exposição única Sistema nervoso central (H336). Nocivo se ingerido (H302). Pode provocar sonolência ou vertigem (H336). Pode provocar ressecamento da pele ou fissuras por exposição repetida (EUH066). Beta-Naftol – toxicidade aguda (H302). Toxicidade aguda por inalação (H332). Ácido benzoico – apresenta riscos à saúde, como danos oculares graves (H318). Provoca danos aos órgãos (H372). Irritação na pele (H315). Hexano – toxicidade à reprodução (H361fd). Toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico – exposição única sistema nervoso central (H336). Toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico – exposição repetida, inalação, sistema nervoso (H373). Perigo por aspiração (H304). Etanol - pode causar irritação ao globo ocular (H319). Anilina - é carcinogênica (H351). Mutagênica em células germinativas (H341). Toxicidade aguda por inalação (H331). Toxicidade aguda por contato dérmico (H311). Toxicidade aguda via oral (H301). Toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico – exposição repetida sangue (H372). Lesões oculares graves (H318). Causa sensibilização à pele (H317). C3. Riscos ao ambiente: beta-Naftol – perigoso ao ambiente aquático – Agudo (H400). Hexano – perigoso ao ambiente aquático – Crônico (H411). Anilina- perigosa ao ambiente aquático – Agudo (H400). C4. O experimento gera resíduos e estes apresentam perigos à saúde e ao ambiente por se tratarem de natureza nociva. C8. Utilizam-se solventes como: hexano, éter etílico, acetato de etila e etanol.

QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL

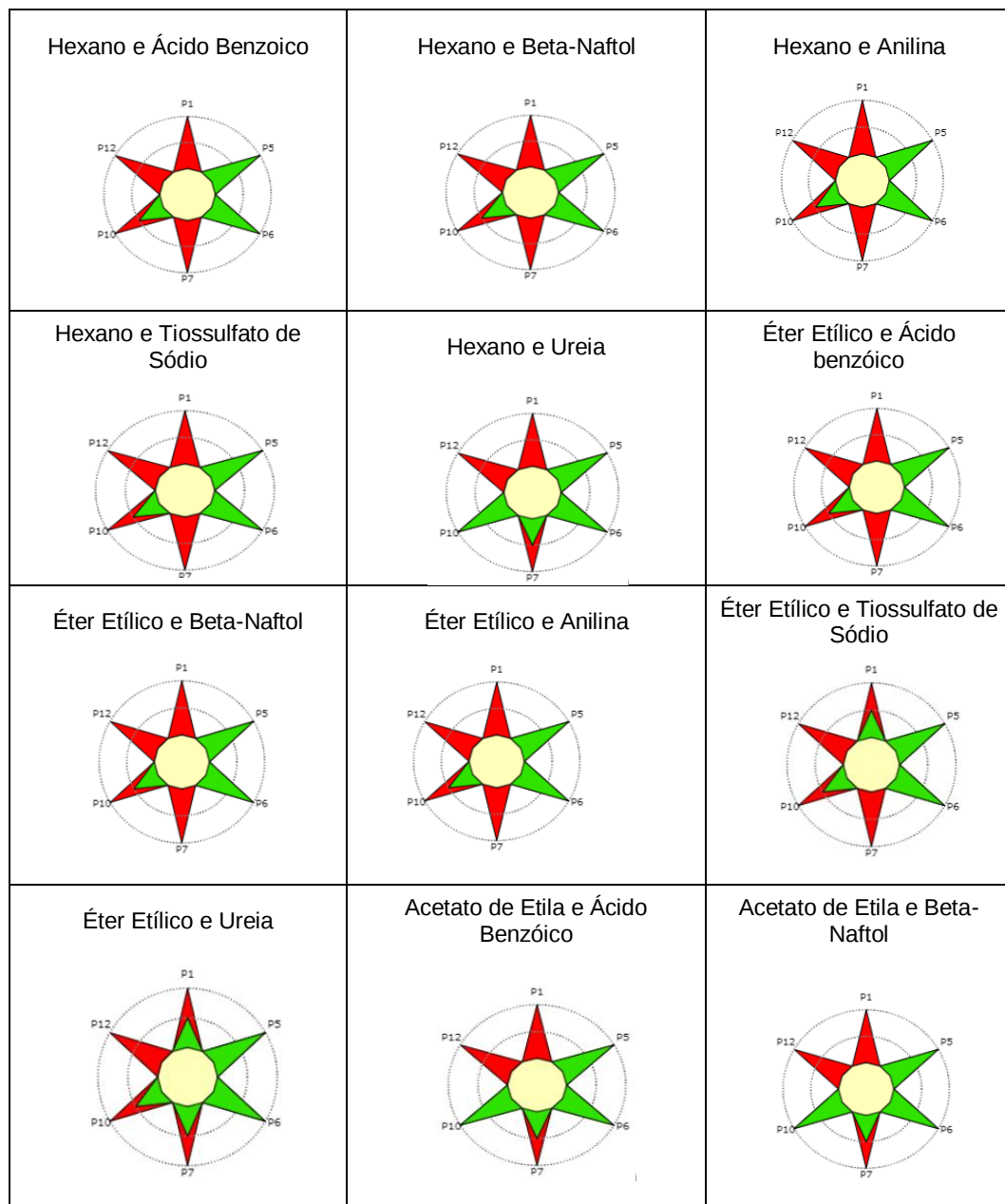
Aplicação de Métricas Holísticas de Verdura: Estrela Verde e Matriz Verde

	C9. É necessário utilizar energia na forma de calor para a realização do experimento. C10. Hexano, éter etílico, ácido benzoico, beta-Naftol, anilina e tiosulfato de sódio não são renováveis. C11. Os compostos químicos não são degradáveis ou tratados para degradação. C12. A maioria das substâncias não podem ser reutilizadas em outros experimentos. C13. Etanol, éter etílico, acetato de etila e hexano são inflamáveis e podem causar acidentes. C14. Utilizam-se fontes de calor. C15. Utilizam-se fontes de aquecimento.
Possibilidades	Ameaças
- É possível a utilização do ácido benzoico e do ácido acetilsalicílico como soluto. Ambos são menos nocivos e podem ser reutilizados no experimento de recristalização. * Se julgar viável, o professor pode reduzir o número de testes, empregando 3 solutos e 3 solventes em vez dos 5 propostos, por exemplo. Com base nos dados apresentados, é possível escolher os reagentes de menor toxicidade e riscos, sem prejuízo ao objetivo da aula.	- Os Solventes orgânicos, apesar de apresentarem as maiores ameaças, são necessários, pois em experimento de solubilidade também se trabalham as interações moleculares e a polaridade dos compostos orgânicos. Destaca-se que o experimento apresenta a solubilidade de diversos compostos apolares até os mais polares.

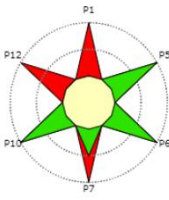
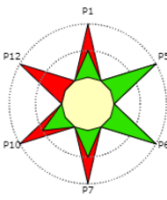
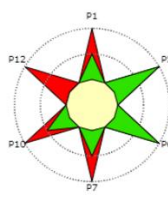
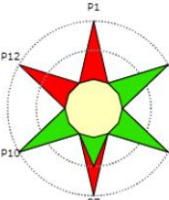
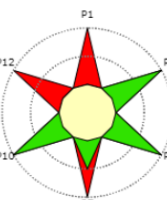
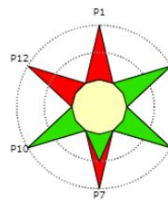
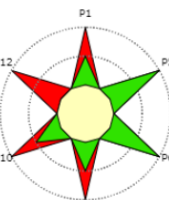
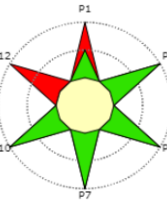
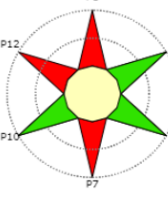
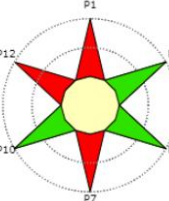
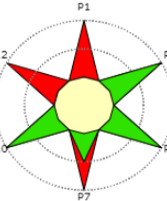
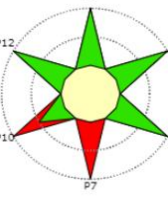
Fonte: Autoria Própria

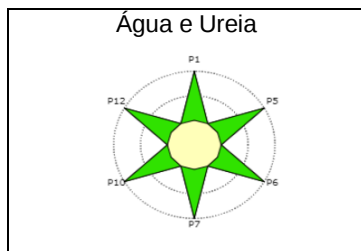
O quadro XI apresenta as EV para todos os testes de solubilidade realizados à temperatura ambiente, avaliados anteriormente pela MV.

QUADRO XI – EV DOS TESTES DE SOLUBILIDADE REALIZADOS À TEMPERATURA AMBIENTE



QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL
 Aplicação de Métricas Holísticas de Verdura: Estrela Verde e Matriz Verde

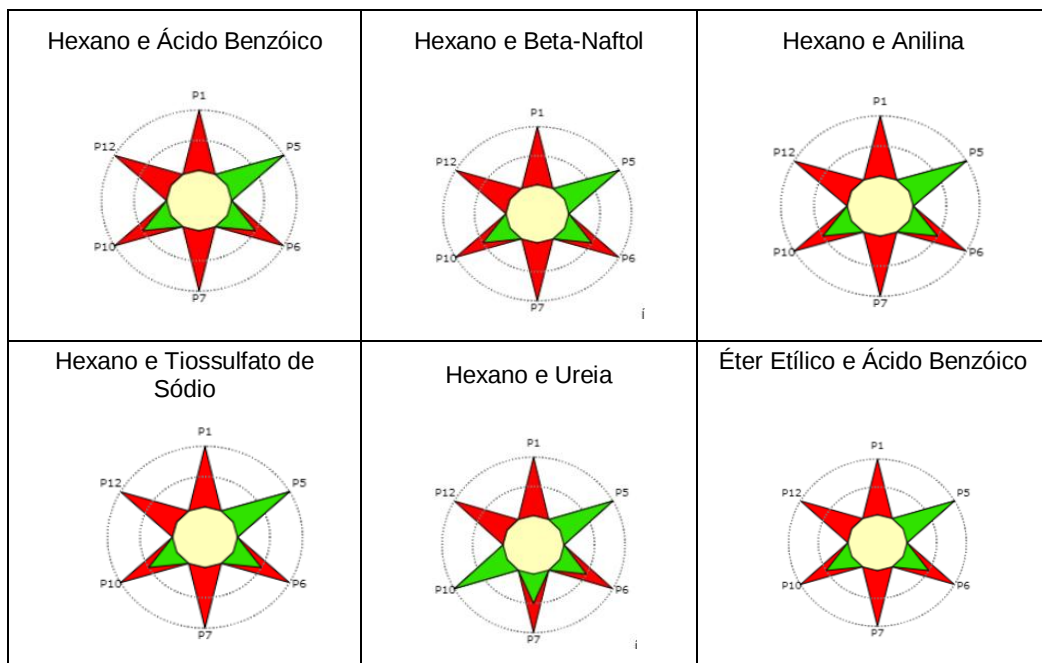
Acetato de Etila e Anilina 	Acetato de Etila e Tiosulfato de Sódio 	Acetato de Etila e Ureia 
Etanol e Ácido Benzoico 	Etanol e Beta-Naftol 	Etanol e Anilina 
Etanol e Tiosulfato de Sódio 	Etanol e Ureia 	Água e Ácido Benzoico 
Água e Beta-Naftol 	Água e Anilina 	Água e Tiosulfato de Sódio 



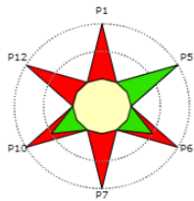
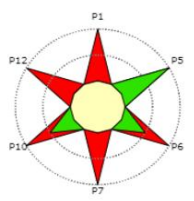
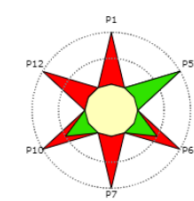
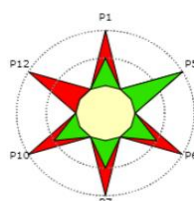
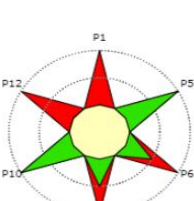
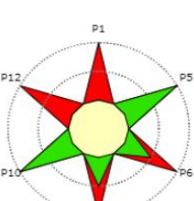
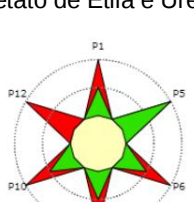
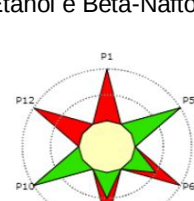
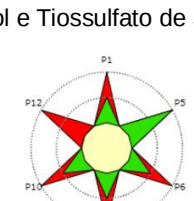
Fonte: Autoria Própria

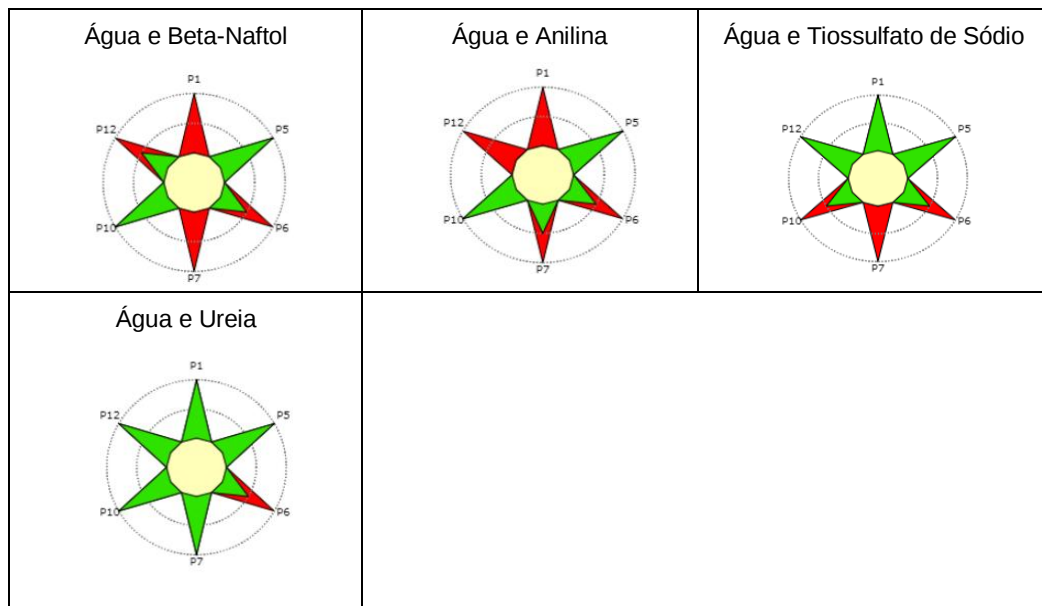
O quadro XII apresenta as EV para todos os testes de solubilidade realizados à temperatura diferente da do ambiente, avaliados anteriormente pela MV do Quadro X.

QUADRO XII – EV DOS TESTES DE SOLUBILIDADE REALIZADOS À TEMPERATURA DIFERENTE DA DO AMBIENTE



QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL
 Aplicação de Métricas Holísticas de Verdura: Estrela Verde e Matriz Verde

Éter Etílico e Beta-Naftol 	Éter Etílico e Anilina 	Éter Etílico e Tiossulfato de Sódio 
Éter Etílico e Ureia 	Acetato de Etila e Ácido Benzóico 	Acetato de Etila e Beta-Naftol 
Acetato de Etila e Anilina 	Acetato de Etila e Tiossulfato de Sódio 	Acetato de Etila e Ureia 
Etanol e Ácido Benzóico 	Etanol e Beta-Naftol 	Etanol e Anilina 
Etanol e Tiossulfato de Sódio 	Etanol e Ureia 	Água e Ácido Benzóico 



Fonte: Autoria Própria

Nesse experimento, a métrica MV apresenta possibilidades de reutilização do ácido benzoico e utilização do ácido acetilsalicílico como solutos nos testes de solubilidade, uma vez que ambos são menos nocivos e podem ser reutilizados no experimento de recristalização. A métrica EV é construída para as substâncias do experimento e suas possíveis interações de solubilidade. Avaliando-as num todo, vemos que a EV de substâncias em temperatura ambiente apresenta um grau de verdura maior que a EV dos experimentos realizados entre temperaturas de 0° a 100°C. No entanto, é possível classificá-las de acordo com cada situação.

Em temperatura ambiente: hexano com tiosulfato de sódio ou ureia; éter etílico com ácido benzoico, Beta-naftol, tiosulfato de sódio ou ureia; e acetato de etila com ácido benzoico são as estrelas que apresentaram menor grau de verdura química, enquanto a água com ureia apresentou todos os princípios cumpridos.

Em temperatura de 0° a 100°C, praticamente todas seguem o mesmo comportamento quanto à ausência ou parcialidade de princípios cumpridos. No entanto, a água com ureia é exceção, por apresentar 5 (cinco) princípios totalmente atingidos e 1 (um) princípio atingido parcialmente. Analisando-os dessa forma, concluímos que a elevação ou o arrefecimento da temperatura e pressão interferem na verdura química evidenciada pelas EVs, mas que a alteração de temperatura muitas vezes se faz necessária, a depender do experimento.

O experimento “Solubilidade dos Compostos Orgânicos” proposto pelo IFPR é realizado antes do experimento de recristalização, justamente com o pensamento de que ocorra a reutilização das espécies. Essa abordagem é bastante interessante no aspecto pedagógico, pois mostra ao aluno uma sequência lógica do conteúdo, bem como no aspecto de Química Verde, pois apresenta uma contribuição para o que pode ser resíduo.

Pós-laboratório

- Redija um texto com os resultados do experimento acima e as devidas discussões, tendo como respaldo a pesquisa teórica realizada no pré-laboratório.
- Responda o quadro de resíduos proposto no capítulo anterior (Quadro VII do capítulo anterior) e faça a conclusão.

Experimento II – Determinação do Ponto de Fusão de um Composto

Pré-laboratório

Para a compreensão dos fenômenos ocorridos neste experimento, o aluno deverá buscar previamente a compreensão acerca de conceitos como ponto de fusão, os fatores que interferem no ponto de fusão (forças

intermoleculares e tamanho das moléculas) e a explicação acerca do uso do ponto de fusão como critério de pureza e misturas eutéticas. Além disso, recomenda-se estudar o experimento e conferir os riscos de todos os reagentes na tabela FISPQ, disponível na plataforma online EDUCA, através do endereço eletrônico <http://educa.fc.up.pt/>, em que é possível avaliar a MV e a EV propostas ao final do protocolo experimental para a aplicação das possibilidades de melhorias apresentadas no experimento e construção da EV, conforme orientações no capítulo 2 deste livro, para fins de comparação com a proposta teórica apresentada no protocolo experimental.

Objetivos

Determinar o ponto de fusão de substâncias utilizando o método do tubo capilar. Usar o ponto de fusão para caracterizar uma substância e empregar o ponto de fusão como critério de pureza. Avaliar as melhorias propostas no experimento e construir a EV.

Introdução

As constantes físicas ponto de fusão, ponto de ebulição, densidade, índice de refração e poder rotatório constituem meios rotineiros para se caracterizar os compostos orgânicos e estabelecer critérios de pureza, bem como para separá-los de suas eventuais misturas. O ponto de fusão depende das forças existentes entre as moléculas (ou entre os íons, no caso de cristais iônicos) da substância sólida. Se estiverem fortemente ligadas umas às outras, a temperatura necessária para separá-las deve ser elevada para dispô-las em sua nova forma, o líquido.

Os compostos orgânicos podem apresentar-se nos três estados físicos – sólido, líquido ou gasoso – em temperatura ambiente, fator decorrente

das diferentes intensidades das forças intermoleculares que os mantêm unidos. Os compostos orgânicos que se apresentam no estado sólido geralmente apresentam pontos de fusão relativamente baixos (abaixo de 300° C), quando comparados com os compostos inorgânicos. Há ainda compostos orgânicos que nem chegam a atingir seu ponto de fusão, sofrendo decomposição.

*Nos compostos orgânicos (covalentes), dois fatores influenciam o ponto de fusão: o tipo de força intermolecular existente no composto (quanto mais intensas forem as atrações intermoleculares do composto, maior será seu ponto de fusão) e a intensidade crescente das forças intermoleculares.

*Dipolo-dipolo induzido (Van Der Waalls) < dipolo-dipolo permanente < ponte de H.

*Dessa forma, um composto capaz de estabelecer pontes de H entre suas moléculas deverá ter maior ponto de fusão e ebulição que um composto que apresenta van der Waalls ou dipolo-dipolo, pois como as pontes de H são interações fortes, maior energia será necessária para rompê-las.

* Em relação ao tamanho das moléculas, pode-se afirmar que, quanto maior o tamanho das moléculas, maior será a sua superfície. Isso propicia um maior número de interações com outras moléculas vizinhas, acarretando um ponto de fusão maior.

O ponto de fusão de uma substância pode ser determinado através do método do tubo capilar, de aquecimento eletrotérmico ou, ainda, através de equipamentos eletrônicos destinados a esse fim.

Materiais e reagentes

O Quadro XIII apresenta a lista de materiais e reagentes para o experimento de Determinação do ponto de fusão de um composto.

QUADRO XIII – MATERIAIS E REAGENTES PARA O EXPERIMENTO

Glicerina	Ureia
Ácido benzoico	Anéis de borracha
Tubo de Thiele Bico de Gás	Capilar para ponto de fusão
Rolha de cortiça	

Procedimento Experimental

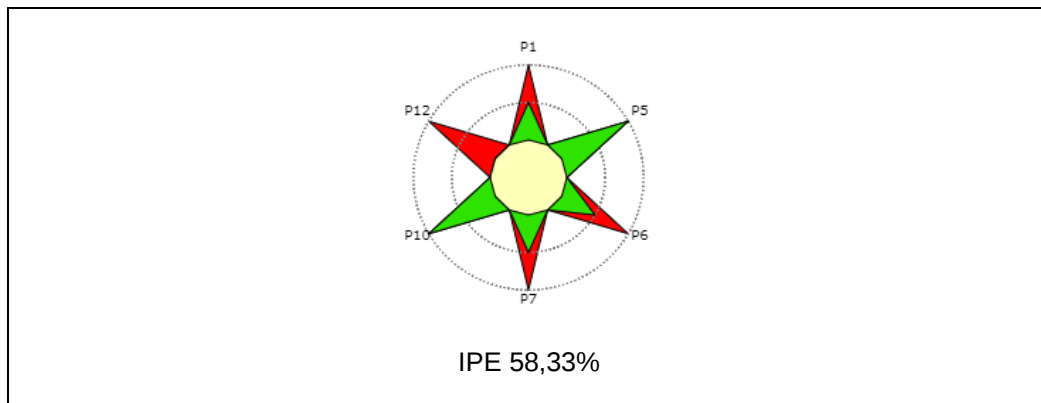
Monte uma aparelhagem para a determinação do ponto de fusão com tubo de Thiele e termômetro. Triture uma pequena quantidade da substância cujo ponto de fusão será determinado e a coloque num vidro relógio; transfira uma pequena quantidade do composto triturado para um tubo capilar; empacote o sólido no tubo capilar até cerca de 5 mm do sólido no fundo do capilar; una o tubo capilar a um termômetro com o auxílio de um anel de borracha e leve o conjunto (termômetro + tubo capilar contendo a substância) ao banho de glicerina; aqueça o tubo de Thiele com o Bico de Bunsen.

Observe e anote a faixa de temperatura do primeiro indício de líquido até a fusão completa.

No Quadro XIV, apresenta-se a MV e a EV do experimento de ponto de fusão (DPF) com possibilidades de melhorias da Verdura Química.

QUADRO XIV - MV E EV DO EXPERIMENTO DPF

Pontos Fortes	Pontos Fracos
C1. O Ácido benzoico e a ureia não apresentam riscos físicos. C3. O ácido benzoico e a ureia não apresentam riscos ao ambiente. C5. Não se utilizam solventes e auxiliares. C6. Não consome água como reagente. C8. Não há consumo de solventes. C14. Não apresenta riscos devido ao uso de equipamentos.	C2. O Ácido benzoico apresenta riscos à saúde como danos oculares graves (H318), provoca danos aos órgãos (H372) e irritação na pele (H315). C4. O ácido benzoico e a ureia tornam-se resíduos. C7. Se utiliza banho de aquecimento com pequena quantidade de glicerina, que pode ser reutilizada em outros experimentos. C9. Realiza-se em temperatura diferente da do ambiente. C10. O ácido benzoico não é renovável. C11. Geram substâncias nocivas na sua decomposição C12. O ácido benzoico e a ureia não podem ser reutilizados. C13. O ácido benzoico pode causar riscos de acidentes. C15. Usa-se fonte de calor, como bico de Bunsen e termômetro de mercúrio.
Possibilidades	Ameaças
- Podem-se usar outros reagentes com menor periculosidade, como o ácido acetilsalicílico (AAS), para substituir o ácido benzoico. - Utilizar o fusiômetro (aparelho de ponto de fusão), evitando o uso de chamas. - Preferir termômetro que não seja de mercúrio.	- A utilização de aquecimento é inevitável.



Fonte: Autoria Própria

Para a realização do experimento, as possibilidades de melhora apontam a utilização de outros reagentes, como o ácido acetilsalicílico (AAS) em substituição ao ácido benzoico, e a substituição do uso de chamas (riscos físicos) pelo uso de fusiômetro (aparelho de ponto de fusão) para determinação do ponto de fusão. É inevitável o uso de aquecimento, por se tratar de uma técnica de determinação de ponto de fusão.

A métrica EV, construída após as análises de critérios pré-determinados pela métrica MV, apresentou os princípios P5 e P10 totalmente cumpridos (verdes), os princípios P1, P6 e P7 cumpridos parcialmente e o princípio P12 não cumprido (marrom).

O IPE (Índice de Preenchimento da Estrela Verde), disponibilizado pela plataforma online <http://educa.fc.up.pt/avaliacaoverdura/>, apontou um IPE de 58.33%. Isso é explicado pelo fato de que o princípio P5 (que trata de solventes e outras substâncias auxiliares) e o princípio P10 (que trata da planificação para degradação) foram totalmente atendidos, pois o experimento não faz uso de substâncias auxiliares e o ácido benzoico e a ureia são degradáveis. Os princípios P1, P6 e P7, que tratam da prevenção, eficiência energética e uso de substâncias renováveis, respectivamente, foram parcialmente atendidos, pois o ácido benzoico, segundo a FISPQ, apresenta

riscos à saúde, como descrito nos pontos fracos da MV, gera resíduos em conjunto com a ureia (critério 4: princípio 1) e não apresenta riscos físicos e ao ambiente (ponto forte). E o princípio P12, que trata da Química intrinsecamente segura, devido a acidentes, substâncias e equipamentos envolvidos, não foi atendido. A técnica utiliza o ácido benzoico (que pode causar danos à saúde) e apresenta riscos de acidentes por fazer uso de fonte de calor, como o bico de Bunsen e o termômetro de mercúrio.

Pós-laboratório

- Redija um texto com os resultados do experimento acima e as devidas discussões, tendo como respaldo a pesquisa teórica realizada anteriormente, no pré-laboratório.
- Responda o quadro VII de resíduos proposto no capítulo anterior (capítulo 03) e faça a conclusão.

Experimento III – Determinação do Ponto de Ebulição de um Composto

Pré-laboratório

Para a compreensão dos fenômenos ocorridos neste experimento, o aluno deverá buscar previamente a compreensão acerca dos conceitos de pressão de vapor, ponto de ebulição, ponto de ebulição como critério de pureza e misturas azeotrópicas. Recomenda-se ao aluno estudar o experimento e conferir os riscos de todos os reagentes na tabela FISPQ, disponível na plataforma online EDUCA (<http://educa.fc.up.pt/>), em que é possível avaliar a MV e a EV propostas ao final do protocolo experimental para aplicação das possibilidades de melhorias apresentadas no experimento e construção da EV, conforme orientações no capítulo 2 deste livro, para fins comparativos com a proposta teórica apresentada no protocolo experimental.

Objetivos

Determinar o ponto de ebulição de alguns líquidos utilizando o método do tubo de Thiele; relacionar essa propriedade física com a pureza das substâncias; avaliar as melhorias propostas no experimento e construir a EV.

Introdução

O ponto de ebulição, na verdade, consiste na libertação das moléculas das forças de coesão que as mantêm ligadas no estado líquido. Isso acontece quando se atinge a temperatura na qual a energia térmica das partículas vence a ação das forças do líquido.

A energia necessária para vencer as forças de coesão do líquido está relacionada com as forças intermoleculares existentes nesse composto, bem como com o seu tamanho. Quanto mais intensas forem essas interações, maior deverá ser a energia fornecida e, portanto, maior será o ponto de ebulição.

Formalmente, o ponto de ebulição pode ser definido como sendo a temperatura na qual a pressão de vapor de um líquido é igual à pressão externa exercida sobre a superfície, ou ainda, a temperatura na qual o vapor do líquido está em equilíbrio com uma dada pressão.

Dessa forma, o ponto de ebulição de uma substância é intensamente influenciado pela pressão, pois, quanto maior a pressão, maior terá que ser a temperatura fornecida à substância para que suas moléculas consigam igualar a pressão externa exercida sobre o líquido.

Assim, convencionou-se, como ponto de ebulição normal, a temperatura em que um líquido entra em ebulição à pressão de 760 mmHg (1 atm).

O ponto de ebulição das substâncias puras, a uma dada pressão, é sempre exato e se mantém constante durante a ebulição, enquanto que o das misturas varia dentro de um intervalo de temperatura que depende da natureza e das proporções de seus constituintes.

Atualmente existem aparelhos que medem os pontos de fusão e de ebulição das substâncias com grande exatidão, eliminando erros de leitura de temperatura. Contudo, um dos métodos mais simples e que dispensam o uso de equipamentos sofisticados e caros será visto na proposta experimental a seguir.

Materiais e reagentes

Materiais e reagentes necessários para o experimento de determinação do ponto de ebulição de um composto (Quadro XV).

QUADRO XV – MATERIAIS E REAGENTES PARA O EXPERIMENTO

Glicerina	Etanol	Água
Anéis de borracha	Tubo de Thiele e microtubo de ensaio	Bico de gás
Termômetro	Capilar para ponto de fusão	Rolha de cortiça

Procedimento Experimental

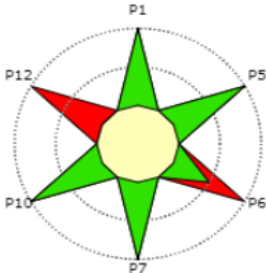
Monte o tubo de Thiele no suporte e acrescente glicerina ao tubo. Em um microtubo de ensaio, coloque a substância cujo ponto de ebulição será determinado. Introduza, nesse tubo de ensaio, um tubo capilar com a extremidade aberta voltada para baixo. Ajuste esse sistema a um termômetro e coloque-o dentro do tubo de Thiele. Aqueça lentamente o tubo de Thiele até

que uma corrente de bolhas suba rápida e continuamente pelo tubo capilar. Interrompa o aquecimento nesse momento. Fique atento ao termômetro e anote a sua temperatura de estabilização.

No Quadro XVI, apresentamos a avaliação da Verdura do experimento de ponto de fusão (DPE), feito pela análise da MV e da EV.

QUADRO XVI – MV E EV DO EXPERIMENTO DPE

Pontos Fortes	Pontos Fracos
C2. O etanol pode causar irritação ao globo ocular (H319). C3. Por ser uma quantidade muito pequena, o etanol não apresenta riscos ao ambiente. C4. Não há geração de resíduo. C5. Não se faz uso de solventes e auxiliares. C6. Não há consumo de água como solvente. C7. Não se utiliza banho de resfriamento. Entretanto, faz-se uso de banho com aquecimento (glicerina em pequena quantidade que pode ser reutilizada em outros experimentos). C8. O consumo de etanol é muito baixo. C10. O etanol é uma substância renovável. C11. O etanol é biodegradável. C12. Tanto o etanol quanto a glicerina podem ser reutilizados em outros experimentos. C14. Não se faz uso de equipamentos perigosos.	C1. O etanol é inflamável e, dependendo da quantidade, pode causar danos físicos (H225). C9. O experimento requer o uso de aquecimento. C13. Pode haver riscos com as substâncias envolvidas devido à inflamabilidade do etanol. C15. Se faz necessário o uso do bico de Bunsen.

Possibilidades	Ameaças
- Quando se utilizam substâncias inflamáveis, como o etanol, é importante que elas não sejam manuseadas próximas a chamas para evitar acidentes físicos e ambientais. - Como os riscos físicos e à saúde estão relacionados a ataques ao globo ocular, os mesmos podem ser evitados com boas práticas laboratoriais e com a utilização correta dos equipamentos de segurança (EPI), notadamente os óculos. - Pode-se substituir o aquecimento de chamas por fontes de aquecimento elétricas.	- A utilização de fonte de aquecimento é inevitável.
 IPE 75,00	

Fonte: Autoria Própria

Para a realização do experimento, as possibilidades de melhora apontam uma maior atenção na manipulação de substâncias inflamáveis, como o etanol. Nesse caso, é importante que não haja manuseio próximo a chamas, para evitar acidentes físicos e ambientais. Os riscos físicos e à saúde, apontados no quadro acima, podem ser evitados com boas práticas laboratoriais e com a utilização correta dos equipamentos de segurança (EPI). Outra possibilidade apontada na técnica, visto que o aquecimento é inevitável (ameaça), é a substituição do aquecimento tradicional, que faz uso de chamas, por fontes de aquecimento elétricas.

A métrica EV, construída após as análises de critérios pré-determinados pela métrica MV, apresentou os princípios P1, P5, P7 e P10 totalmente cumpridos (verdes), o princípio P6 cumprido parcialmente e o princípio P12 não cumprido (marrom).

O IPE (Índice de Preenchimento da Estrela Verde), disponibilizado pela plataforma online <http://educa.fc.up.pt/avaliacaoverdura/>, apontou IPE de 75,00%. Isso é explicado pelo fato de que os princípios P1 (prevenção), P5 (que trata de solventes e outras substâncias auxiliares), P7 (substâncias renováveis) e P10 (que trata da planificação para degradação) foram totalmente atendidos. O experimento apresenta um risco físico (H225) (de acordo com a MV). No entanto, o risco depende da quantidade utilizada, o que não interfere no cumprimento do princípio no experimento em questão. Não faz uso de substâncias auxiliares e o etanol é renovável e biodegradável. O princípio P6, que trata da eficiência energética, foi parcialmente atendido, pois o experimento requer aquecimento, ou seja, temperaturas diferentes da do ambiente – entre 0°C à 100°C, no entanto. E o princípio P12, que trata da Química intrinsecamente segura, devido a acidentes, substâncias e equipamentos envolvidos, não foi atendido. A técnica utiliza etanol, caracterizado pela inflamabilidade, que apresenta risco de acidentes físicos e faz uso de fonte de calor, como o bico de Bunsen.

Pós-laboratório

- Redija um texto com os resultados do experimento acima e as devidas discussões, tendo como respaldo a pesquisa teórica realizada no pré-laboratório.
- Responda o quadro VII de resíduos proposto no capítulo anterior (capítulo 03) e faça a conclusão.

Experimento IV – Determinação da Densidade de Diferentes Substâncias

Pré-laboratório

Para a compreensão dos fenômenos ocorridos neste experimento, o aluno deverá buscar previamente a compreensão dos conceitos que envolvem a técnica, como solventes orgânicos (querosene, clorofórmio ou hexano), densidade e densidade absoluta, solubilidade e ponto de fusão e de ebulição aplicados a determinadas substâncias. Além disso, recomenda-se estudar o experimento e conferir os riscos de todos os reagentes na tabela FISPQ, disponível na plataforma online EDUCA, através do endereço eletrônico <http://educa.fc.up.pt/>, em que é possível avaliar a MV e a EV propostas ao final do protocolo experimental para a aplicação das possibilidades de melhorias apresentadas no experimento e para a construção da EV, conforme orientações no capítulo 2 deste livro, para fins comparativos com a proposta teórica apresentada no protocolo experimental.

Objetivos

Observar a diferença de densidade de compostos orgânicos, utilizando corretamente um densímetro, além de compreender que a densidade de um composto serve como método de identificação por tratar-se de uma propriedade específica. Além disso, tem-se como objetivo avaliar as melhorias propostas no experimento e construir a EV.

Introdução

A densidade, juntamente com a solubilidade, temperatura de ebulição e de fusão, consistem nas propriedades características das substâncias, ou seja, cada substância possui densidade, solubilidade, ponto de fusão e de ebulição

específicos. Portanto, a densidade e as demais grandezas citadas são muito utilizadas na identificação de materiais e nos procedimentos de separação de misturas.

A **densidade absoluta** é definida como sendo a razão entre a **massa** de uma amostra e o **volume** ocupado por essa massa. Em geral, a densidade dos sólidos é maior que a dos líquidos e esta, por sua vez, é maior que a dos gases. A densidade tem como unidade g/cm^3 ou g/mL e pode ser encontrada através da seguinte relação matemática:

$$d = m/V$$

Os densímetros são os dispositivos utilizados para fazer a medida da densidade de um líquido ou de uma mistura de líquidos.

O Quadro XVII indica as densidades aproximadas de algumas substâncias a 25°C .

QUADRO XVII – DENSIDADES APROXIMADAS

Substância	$d/(\text{g cm}^{-3})$	Substância	$d/(\text{g cm}^{-3})$	Substância	$d/(\text{g cm}^{-3})$
Álcool	0,79	Ouro	19,3	Porcelana	2,4
Alumínio	2,7	Ferro	7,9	Prata	10,5
Latão	8,4	Mercúrio	13,6	Aço Inoxidável	7,9
Cobre	8,9	Níquel	8,9	Água	1,0
Vidro	2,6	Platina	21,4	Estanho	7,26

A medida da densidade apresenta grande importância porque mostra a integridade da substância analisada. Os densímetros nos postos de gasolina, por exemplo, possibilitam ao consumidor comprovar a qualidade do álcool que está sendo vendido, uma vez que o álcool deve apresentar uma quantidade adequada de água para que não seja considerado adulterado.

Também nas cooperativas de leite, faz-se uso da medida da densidade do leite para se ter certeza de que o mesmo não foi adulterado com a adição de água. A densidade do leite varia entre $1,023 \text{ g mL}^{-1}$ e $1,040 \text{ g mL}^{-1}$ a 15°C . O valor médio é de $1,032 \text{ g mL}^{-1}$. O leite adulterado tem sua densidade diminuída.

Materiais e reagentes

O Quadro XVIII indica os materiais e reagentes para o experimento “determinação da densidade de diferentes substâncias”.

QUADRO XVII – MATERIAIS E REAGENTES PARA O EXPERIMENTO

Água	Álcool Etílico
Solventes orgânicos (querosene, clorofórmio ou hexano)	Densímetro
Proveta	Leite

Procedimento Experimental

Parte 1

Pese seis provetas e anote suas massas. Coloque em cada uma delas 30 mL das seguintes substâncias, respectivamente: água destilada, leite, álcool etílico anidro, álcool etílico combustível, uma mistura água/etanol anidro 50% e, finalmente, um solvente orgânico de sua escolha. Pese o sistema proveta + líquido e desconte a massa da proveta anotada anteriormente.

Calcule a densidade de cada um dos líquidos e registre em uma tabela.

Parte 2

Utilizando-se das mesmas provetas, coloque o densímetro na primeira e observe a densidade registrada, anotando-a. Retire o densímetro da proveta, seque-o e repita o procedimento com as demais provetas.

Faça uma tabela registrando a densidade de cada um dos líquidos e compare com os valores obtidos na parte 1.

Parte 3

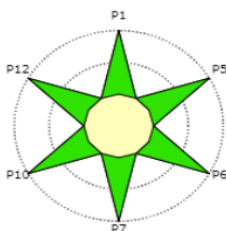
Em uma proveta, coloque 20 mL de água, 20 mL de hexano e observe. Acrescente mais 10 mL de água e conclua qual líquido compõe a fase inferior e qual compõe a fase superior. O Quadro XIX apresenta a MV e a EV da análise desse experimento.

QUADRO XIX – MV E EV DA ANÁLISE DO EXPERIMENTO “DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE DIFERENTES SUBSTÂNCIAS”

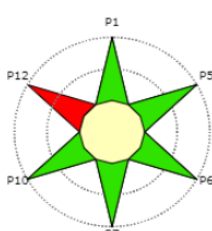
Pontos Fortes	Pontos Fracos
C4. O experimento não gera resíduos, considerando-se que os reagentes poderão ser reutilizados ou são inócuos (leite).	C1. O Hexano, álcool etílico 95% e álcool etílico anidro são inflamáveis e podem causar sérios riscos físicos (H225).
C5. Não se utilizam solventes e auxiliares, além dos que já estão empregados no experimento.	C2. O Hexano apresenta riscos à saúde, como câncer, e pode causar danos ao sistema nervoso central e sistema cardiovascular, entre outros (H350, H361, H335, H372, H302). O Álcool Etílico apresenta irritação ao globo ocular (H319). O Hexano apresenta riscos à saúde, como irritação na pele (H315), ataque ao globo ocular grave (H319), defeito genético (H340) e pode causar problemas respiratórios (H371).
C6. A água utilizada no experimento é menor que 50 mL.	C3. O Hexano é tóxico para organismos aquáticos (H401).
C7. Não se utiliza água para aquecer ou resfriar o experimento.	C8. Utiliza-se o Hexano como solvente além da água.
C9. Não há consumo de energia.	
C12. Todos os reagentes (com exceção do leite) podem ser	

reutilizados. C14. Não se utilizam equipamentos que podem gerar acidentes. C15. Não se utilizam materiais que apresentem riscos.	C10. O Hexano não é renovável. C11. O Hexano apresenta resistência para a degradação. C13. O álcool etílico e hexano são inflamáveis, logo apresentam riscos de acidentes físicos (H225).
---	--

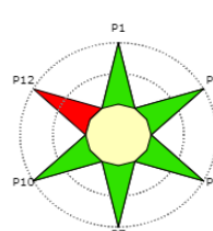
Possibilidades	Ameaças
C1 e C2 – Os riscos podem ser amenizados quando utilizados os EPIS corretamente e sem o manuseio dos produtos inflamáveis próximo de fontes de calor. C3, C8 e C11 – É possível reutilizar todos os reagentes envolvidos; logo, os critérios C3, C8 e C11 são amenizados. C13 – Não é utilizada fonte de calor no experimento, logo os riscos de inflamabilidade são baixos.	C10 – O Hexano não é renovável.



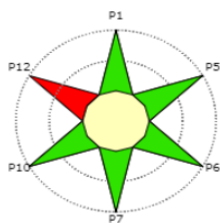
a) EV: Água Destilada



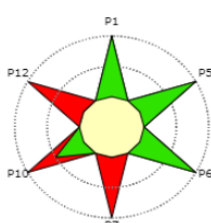
b) EV: Álcool Etílico Anidro



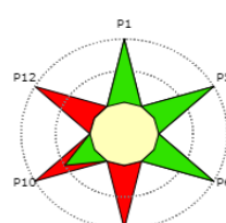
c) EV Álcool Etílico 95%



d) EV Água e Etanol Anidro



e) EV Hexano



f) EV Hexano e Água

OBS: Ao elaborar as métricas holísticas Estrela Verde, não foi possível realizar a EV do leite.

Fonte: Autoria Própria

Para a realização do experimento, as possibilidades de melhora apontam a utilização de EPIs corretamente, evitar o manuseio de produtos inflamáveis próximo a fontes de calor e a reutilização de todos os reagentes envolvidos. A ameaça presente é a utilização do hexano, que é substância não renovável.

A métrica EV, construída após as análises de critérios pré-determinados pela métrica MV, apresentou as EV:

a) água destilada com todos os princípios cumpridos (P1, P5, P6, P7, P10 e P12), apresentando IPE = 100,00%.

b) álcool etílico anidro, c) álcool etílico 95% e d) água e etanol anidro com apenas o princípio P12 não atendido e os princípios P1, P5, P6, P7 e P10 atendidos totalmente, apresentando IPE = 83,33%. E as EV e) hexano e f) hexano e água com os princípios P1, P5 e P6 atendidos, P10 atendido parcialmente e P7 e P12 não atendidos, apresentando IPE = 58,33%.

Na EV em que todos os princípios foram atendidos, os 15 (quinze) critérios da MV foram classificados como pontos fortes: não há indicação de riscos físicos, à saúde e ao ambiente; não há geração de resíduos ou são inócuos; não há uso de substâncias auxiliares e/ou consumo baixo (menor que 50 mL); temperatura e pressão ambientais, substâncias renováveis, degradáveis e com possibilidades de reutilização, sem indicação de riscos de acidentes devido a substâncias, acidentes e equipamentos.

Nas demais, o princípio P10 foi parcialmente atingido – como é o caso da EV presente em e) e f), que têm o devido comportamento, pois o hexano apresenta resistência para degradação, mesmo sendo possível reutilizar todas as substâncias.

E os princípios P12 ou P7, de acordo com cada EV, apresentam-se não atingidos quando na presença de álcool etílico e hexano (não renovável), por serem substâncias inflamáveis e apresentarem riscos de acidentes físicos

(H225).

Pós-laboratório

- Redija um texto com os resultados do experimento acima e as devidas discussões, tendo como respaldo a pesquisa teórica realizada no pré-laboratório.
- Responda o quadro VII de resíduos proposto no capítulo anterior (capítulo 03) e faça a conclusão.

Experimento V – Purificação de um Composto Orgânico Sólido (recristalizado)

Pré-laboratório

Para a compreensão dos fenômenos ocorridos neste experimento, o aluno deverá buscar previamente a compreensão acerca dos temas que norteiam a técnica, respondendo a questões como: 1) Por que a água é um solvente adequado para a recristalização do ácido salicílico? 2) Qual a função do carvão ativo? 3) Por que é mais adequado que a solução seja resfriada espontaneamente após aquecida? 4) Através da prática de solubilidade, qual solvente é mais adequado para uma possível recristalização dos solutos testados? Após a pesquisa, recomenda-se estudar o experimento e conferir os riscos de todos os reagentes na tabela FISPQ, disponível na plataforma online EDUCA, através do endereço eletrônico <http://educa.fc.up.pt/>, em que é possível avaliar a MV e a EV propostas ao final do protocolo experimental para aplicação das possibilidades de melhorias apresentadas no experimento e na construção da EV, conforme orientações no capítulo 2 deste livro, para fins comparativos com a proposta teórica apresentada no protocolo experimental.

Objetivos

Realizar a recristalização de um composto; efetuar a filtração a vácuo de uma mistura sólido-líquido; efetuar a secagem de um composto sólido; determinar o rendimento percentual de um processo de recristalização; avaliar as melhorias propostas no experimento e construir a EV.

Introdução

Substâncias sólidas raramente são puras quando obtidas a partir de uma reação. Consequentemente, desde a época dos primeiros alquimistas, substâncias sólidas têm sido purificadas por recristalização, a partir de um solvente adequado. Hoje, sem dúvida alguma, a recristalização continua sendo o método mais útil para a purificação de substâncias sólidas. A purificação através de recristalização baseia-se nas diferenças de solubilidade em diferentes solventes e no fato de que a maioria das substâncias sólidas é mais solúvel em solventes quentes do que em frios.

O processo de recristalização consiste na dissolução do sólido a ser purificado em um solvente quente ou até mesmo em ebulição (se necessário, a mistura quente é filtrada para remoção de quaisquer impurezas insolúveis) e, posteriormente, na sua recristalização, à medida que a solução resfria. O sólido cristalino pode ser separado do solvente por filtração e depois secado.

Na seleção de um solvente adequado para o processo de recristalização, são feitos testes preliminares com vários solventes para escolher aquele capaz de solubilizar pouco o soluto a frio e solubilizá-lo muito bem a quente. Na escolha dos solventes, deve-se também levar em consideração a toxicidade dos mesmos.

Materiais e reagentes

No Quadro XX, estão listados os materiais e reagentes para o experimento “Purificação de um composto orgânico sólido”.

QUADRO XX – MATERIAIS E REAGENTES PARA O EXPERIMENTO “PURIFICAÇÃO DE UM COMPOSTO ORGÂNICO SÓLIDO (RECRISTALIZADO)”

Ácido salicílico	Carvão ativo	Béquer
Bico de gás	Funil de vidro	Papel de filtro
Funil de Buchner	Kitasato	Bomba a vácuo
Estufa		

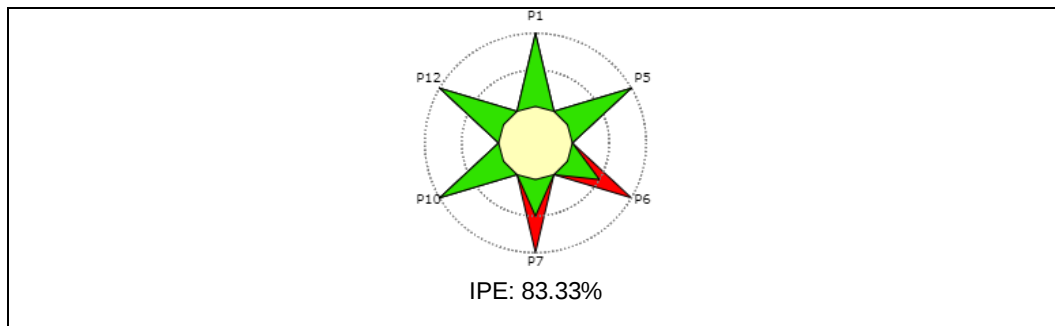
Procedimento Experimental

Pesar 2,00 g de ácido salicílico em um copo de béquer e cerca de 0,10 g de carvão ativado. Adicionar ao béquer cerca de 80 mL de água destilada e aquecer a mistura até a solubilização completa do sólido. Manter o aquecimento por cerca de 2 minutos após a solubilização. Fazer a filtração a quente, recolhendo o material em um béquer. Deixar a solução em repouso até que ela volte à temperatura ambiente. Enquanto isso, montar um sistema de filtração a vácuo, pesando previamente o papel de filtro a ser utilizado. Após o resfriamento da solução, filtrar a mistura e lavar os cristais com duas porções de água destilada resfriada (< 5 mL). Finalmente, secar o sólido na estufa por 15 minutos, pesando-o em seguida, juntamente com o papel de filtro. Calcular o rendimento percentual do processo de recristalização. Ao final, colocar o sólido recristalizado em um frasco apropriado, guardando-o em local indicado.

A seguir, apresenta-se a MV e EV do experimento de Recristalização (Quadro XXI).

QUADRO XXI – MV E EV DO EXPERIMENTO DE RECRISTALIZAÇÃO

Pontos Fortes	Pontos Fracos
C1. As substâncias envolvidas não apresentam riscos físicos. C2. O ácido salicílico é nocivo se ingerido (H302) e pode causar irritação ao globo ocular (H318), considerados riscos baixos. C3. As substâncias envolvidas não apresentam riscos ambientais. C4. O ácido salicílico é utilizado em quantidades muito pequenas e parte se solubiliza no solvente da purificação. No entanto, o resíduo é inócuo. C5. Utiliza-se água como solvente (inócuo). C7. O experimento utiliza banho de aquecimento com menos de 200 mL de água. C8. Não se utilizam outros solventes além da água. C11. O ácido salicílico e o carvão ativado são degradáveis. C12. O ácido salicílico recristalizado pode ser utilizado em outros experimentos. C13. As substâncias envolvidas apresentam riscos de acidentes físicos. C14. Se faz uso de equipamentos com riscos baixos e moderados, como por exemplo, a bomba a vácuo e a estufa.	C6. O experimento utiliza água como solvente em quantidades superiores a 50 mL. C9. O experimento necessita de aquecimento para ser realizado. C10. O ácido salicílico não é renovável. C15. Utiliza-se bico de gás.
Possibilidades	Ameaças
- É possível fazer a substituição do ácido salicílico pelo ácido acetilsalicílico. - Redução do ácido salicílico para 1g e água para 40 mL, havendo a redução de reagentes. - Podem ser usadas fontes elétricas de calor, tornando mais fácil o manuseio e diminuindo os riscos de acidentes.	- Não é possível retirar o uso da água e o aquecimento. - O uso de vidrarias é inevitável.



Fonte: Autoria Própria

Para a realização do experimento, as possibilidades de melhora apontam a substituição do ácido salicílico pelo ácido acetilsalicílico ou a redução do ácido salicílico para 1g e água para 40 mL, havendo a redução de reagentes. Tais medidas podem ser seguidas pela utilização de fontes elétricas de calor, tornando mais fácil o manuseio e diminuindo os riscos de acidentes. Dentre as ameaças que a técnica dispõe está o inevitável uso de vidrarias, água e aquecimento.

A métrica EV, construída após as análises de critérios pré-determinados pela métrica MV, apresentou os princípios P1, P5, P10 e P12 totalmente cumpridos (verdes) e os princípios P6 e P7 cumpridos parcialmente.

O IPE (Índice de Preenchimento da Estrela Verde), disponibilizado pela plataforma online <http://educa.fc.up.pt/avaliacaoverdura/>, apontou um IPE de 83,33%, explicado pelo fato de que os princípios P1 (prevenção), P5 (que trata de solventes e outras substâncias auxiliares), P10 (que trata da planificação para degradação) e P12 (que trata da Química intrinsecamente segura – devido a acidentes, substâncias e equipamentos envolvidos) foram totalmente atendidos. O experimento traz os princípios P6 e P7 (que tratam da eficiência energética e de substâncias renováveis, respectivamente) parcialmente atendidos, pois o experimento requer aquecimento, ou seja, temperaturas diferentes da do ambiente (entre 0°C a 100°C, no entanto), e faz uso de

substância não renovável (o ácido salicílico).

Pós-laboratório

- Redija um texto com os resultados do experimento acima e as devidas discussões, tendo como respaldo a pesquisa teórica realizada no pré-laboratório.
- Responda o quadro VII de resíduos proposto no capítulo anterior (capítulo 03) e faça a conclusão.

Experimento VI – Extração Simples Líquido-Líquido

Pré-laboratório

Para a compreensão dos fenômenos ocorridos neste experimento, o aluno deverá buscar previamente a compreensão dos seguintes conceitos: solubilidade, miscibilidade, coeficiente de partição e extração líquido-líquido. Recomenda-se, também, estudar o experimento e conferir os riscos de todos os reagentes na tabela FISPQ, disponível na plataforma online EDUCA, através do endereço eletrônico <http://educa.fc.up.pt/>, em que é possível avaliar a MV e a EV propostas ao final do protocolo experimental para aplicação das possibilidades de melhorias apresentadas no experimento e para a construção da EV, conforme orientações no capítulo 2 deste livro, para fins comparativos com a proposta teórica apresentada no protocolo experimental.

Objetivos

Explorar as diferenças de solubilidade de uma determinada substância em diferentes solventes a fim de promover sua separação de um deles; tomar conhecimento das técnicas de extração; aprender a manusear adequadamente

as vidrarias utilizadas para a extração; avaliar as melhorias propostas no experimento e construir a EV.

Introdução

Componentes de uma mistura podem ser separados e purificados por vários métodos. Nessa experiência, os componentes de uma mistura serão separados por extração líquido-líquido. Esse processo de extração é baseado na solubilidade relativa do soluto em dois solventes imiscíveis.

Para que a extração seja eficiente, é essencial que haja uma grande diferença nos valores dos parâmetros de solubilidade dos líquidos imiscíveis e que o soluto seja mais solúvel em um dos solventes do que no outro.

Se tivermos um sistema de dois líquidos imiscíveis e adicionarmos uma terceira substância (soluto) solúvel em ambas as camadas, a substância se distribuirá diferentemente nas duas camadas. Esse processo é chamado de partição.

A razão entre as concentrações do soluto nos solventes é uma constante denominada constante de partição K. Assim, no equilíbrio e numa temperatura específica, temos:

$$K = \frac{CA}{CB}$$

CA= concentração do soluto no solvente A

CB= concentração do soluto no solvente B

Materiais e reagentes

No Quadro XXII, apresenta-se a lista de materiais e reagentes para o experimento de extração simples líquido-líquido.

QUADRO XXII – MATERIAIS E REAGENTES PARA O EXPERIMENTO “EXTRAÇÃO SIMPLES LÍQUIDO-LÍQUIDO”

Funil de decantação	Suporte universal
Argola	Gasolina
Água	Solução de iodo
Querosene	

Procedimento Experimental

Parte I

Em uma proveta, meça 50 mL de gasolina e coloque no funil de decantação.

Acrescente 20 mL de água e agite a mistura. Espere decantar e separe a porção aquosa. Repita o procedimento com mais 2x 20 mL de água e uma das fases aquosas. Ao final do processo de extração, meça o volume total da solução aquosa obtida e calcule a porcentagem de álcool presente na gasolina. Avalie se essa amostra de gasolina está de acordo com as normas da legislação brasileira.

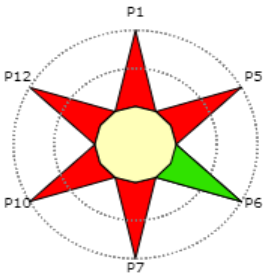
Parte II

Coloque 50 mL de querosene no funil de separação e acrescente cerca de 30 mL de solução aquosa de iodo. Observe as fases. Agite a mistura e observe as mudanças. Faça a extração da fase orgânica. Repita o procedimento com mais 2x 25 mL de querosene e uma das fases orgânicas.

No Quadro XXIII, mostra-se a análise de verdura obtida através da MV e da EV do experimento de extração líquido-líquido.

QUADRO XXIII – MV E EV DO EXPERIMENTO DE EXTRAÇÃO LÍQUIDO-LÍQUIDO

Pontos Fortes	Pontos Fracos
C7. Não há consumo de água como facilidade. C9. Realiza-se em temperatura e pressão ambientes. C12. Utilizam-se substâncias que podem ser reutilizadas em outras experiências. C14. Não utiliza equipamentos com riscos elevados. C15. Materiais vulgares com riscos baixos.	C1. O querosene é um líquido de vapores inflamáveis (H226). Gasolina – líquido inflamável (H225). C2. Querosene – pode ser fatal se ingerido e penetrar nas vias respiratórias (H304). Gasolina – perigo por aspiração (H304). Solução de iodo – pode provocar danos aos órgãos (H373). Nocivo se ingerido (H302). Provoca irritação na pele (H315). Provoca irritação ocular (H320). C3. Solução de iodo – tóxico para os organismos aquáticos (H401). Gasolina e querosene são solventes orgânicos insolúveis em água que, se descartados incorretamente, causam danos ambientais no meio aquático e dificultam o tratamento do esgoto. C4. São gerados resíduos (misturas de solução de iodo, querosene, gasolina e água). C5. Os solventes representam perigo moderado para a saúde ou o ambiente. C6. Consumo de água como solvente ou reagente > 50 mL. C8. Há consumo de outros solventes além da água. A soma dos solventes gasolina, querosene e solução de iodo é superior a 50 mL. C10. Não utiliza substâncias renováveis. C11. Os reagentes não são biodegradáveis e geram substância nociva em sua decomposição. C13. Há indicação de riscos em função de querosene e gasolina serem altamente inflamáveis e tóxicos.

Possibilidades	Ameaças
- Reduzir os volumes de reagentes para 10 mL; - Usar EPIs que protejam contra exposição; - O professor poderá selecionar um dos experimentos para realização e explorar teoricamente todos os princípios da solubilidade, reduzindo o uso dos reagentes e a produção de resíduos; - Ao final do experimento, separar as fases orgânicas da fase aquosa e armazenar os solventes orgânicos em frascos apropriados para reutilização em outros experimentos.	É necessário o uso de solventes orgânicos de alta toxicidade para a realização da prática.
 IPE: 16.67%	

Fonte: Autoria Própria

Para a realização do experimento, as possibilidades de melhora baseiam-se na redução dos volumes de reagentes utilizados para 10 mL e no uso de EPIs que protejam contra exposição, além de possibilitar ao professor selecionar um dos experimentos para a realização e explorar teoricamente todos os princípios da solubilidade, reduzindo o uso dos reagentes e a produção de resíduos. Ao final do experimento, deve-se separar as fases orgânicas da fase aquosa e armazenar os solventes orgânicos em frascos apropriados para reutilização em outros experimentos. No entanto, é

necessário o uso de solventes orgânicos de alta toxicidade para a realização da prática.

A métrica EV, construída após as análises de critérios pré-determinados pela métrica MV, apresentou o princípio P6 totalmente verde e os demais, P1, P5, P7, P10 e P12, considerados marrons pela QV (em vermelho na Estrela), ou seja, não atingidos.

O IPE (Índice de Preenchimento da Estrela Verde), disponibilizado pela plataforma online <http://educa.fc.up.pt/avaliacaoverdura/>, apontou IPE de 16,67, o qual é explicado pela seguinte situação: o princípio P6, atingido na EV, se dá pela realização em temperatura e pressão ambientais, sem a necessidade de arrefecer ou aquecer. Para os demais princípios, pode-se explicar relacionando o experimento com a utilização de substâncias perigosas, que interferem no princípio P1 (prevenção) – querosene, gasolina e solução de iodo; líquidos com características inflamáveis: **H226 e H225**, promovendo risco físico elevado. A querosene pode ser fatal se ingerida ou penetrar nas vias respiratórias (**H304**), assim como a solução de iodo pode provocar danos aos órgãos (**H373**), resultando em riscos à saúde humana. São classificadas como substâncias tóxicas para os organismos aquáticos (**H401**) por se tratarem de solventes orgânicos insolúveis em água que, se descartados incorretamente, causam danos ambientais no meio aquático e dificultam o tratamento do esgoto, além de ocasionarem geração de resíduos provenientes da mistura das substâncias com os riscos já mencionados acima. O princípio P5, que trata da utilização de substâncias auxiliares, também não é atingido, assim como o P7, referente a substâncias renováveis, o P10, que trata de substâncias degradáveis, e o P12, referente à Química intrinsecamente segura, devido à periculosidade das substâncias envolvidas relacionada aos equipamentos com riscos elevados.

Pós-laboratório

- Redija um texto com os resultados do experimento acima e as devidas discussões, tendo como respaldo a pesquisa teórica realizada no pré-laboratório.
- Responda o quadro VII de resíduos proposto no capítulo anterior (capítulo 3) e faça a conclusão com base nas justificativas dos fenômenos observados em função das forças de interação entre soluto e solventes, seguida do cálculo da porcentagem de álcool na gasolina, com parecer a respeito da qualidade da amostra de gasolina; a seguir, explique por que motivo devem-se fazer lavagens com vários volumes pequenos de solvente, ao invés de uma lavagem com um único volume (grande) de solvente; por fim, faça referência aos cuidados que se deve adotar para o manuseio do funil de decantação, explicando suas razões.

Experimento VII – Extração com Solventes Quimicamente Ativos

Pré-laboratório

Para a compreensão dos fenômenos ocorridos neste experimento, o aluno deverá buscar previamente a compreensão acerca dos seguintes conceitos: extração com solventes quimicamente ativos e reações pertinentes às separações dos compostos ácido benzoico e β -naftol. Além disso, recomenda-se estudar o experimento e conferir os riscos de todos os reagentes na tabela FISPQ, por meio da plataforma online EDUCA <http://educa.fc.up.pt/>, além de avaliar a MV e a EV propostas ao final do protocolo experimental para aplicação das possibilidades de melhorias apresentadas no experimento e na construção da EV, conforme orientações no

capítulo 2 deste livro, para fins comparativos com a proposta teórica apresentada no protocolo experimental.

Objetivos

Realizar a separação de componentes de uma mistura através de extração líquido-líquido, utilizando-se solventes quimicamente ativos; avaliar as melhorias propostas no experimento e construir a EV.

Introdução

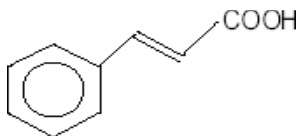
Numa extração desse tipo, o soluto é modificado quimicamente (ou seja, sofre reação química) para se tornar mais solúvel na fase externa. Geralmente, explora-se a acidez ou basicidade dos solutos para retirá-los de uma fase e torná-los solúveis em outra. Por exemplo, solventes básicos são usados preferencialmente para extrair solutos ácidos, enquanto solventes ácidos são usados para extrair solutos básicos.

Para isso, é necessário recordar as teorias ácido-base, bem como as reações ácido-base.

Geralmente, os ácidos mais fortes reagem com bases mais fracas e os ácidos mais fracos, somente com bases mais fortes.

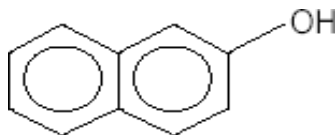
Exemplo: Tem-se dissolvida em éter etílico uma mistura de ácido cinâmico e β - naftol e deseja-se separar esses dois solutos.

- Primeiramente, devemos analisar dentre os dois solutos qual tem maior caráter ácido ou básico.
- Para extrair o soluto mais ácido, deve-se utilizar um solvente de caráter básico, porém não tão forte, de modo que o soluto seja solúvel nele. Por exemplo, consideremos uma solução aquosa de bicarbonato de sódio (NaHCO_3) 10%. Escreve-se a reação:



Ácido Cinâmico

Deve-se reconstituir o soluto, fazendo-o reagir com um ácido, por exemplo com uma solução ácido clorídrico (HCl) 5% ou de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Segue a reação:



β naftol

Para extrair o soluto menos ácido, deve-se usar uma base mais forte, por exemplo o hidróxido de sódio (NaOH) 5% ou o hidróxido de potássio (KOH). Mostre a reação:

Deve-se reconstituir o soluto, neutralizando-o com uma solução ácida (HCl ou H_2SO_4). Reação:

Exercício: preveja como separar uma mistura de anilina e ácido benzoico, solúveis em éter etílico.

Materiais e reagentes

No Quadro XXIV, estão listados os materiais e reagentes para o experimento “Extração com solventes quimicamente ativos”.

QUADRO XXIV – MATERIAIS E REAGENTES PARA O EXPERIMENTO “EXTRAÇÃO COM SOLVENTES QUIMICAMENTE ATIVOS”

Funil de separação	Béquer	Suporte universal
Argola	Éter etílico	Água
Solução de NaHCO_3 10%	Solução de NaOH 2 mol L^{-1}	HCl concentrado
Papel	Indicador universal	Bomba de Vácuo
Funil de Büchner	Kitasato	β - naftol
Ácido benzoico		

Procedimento Experimental

Pese 2,0 g de uma mistura contendo ácido benzoico e β - naftol (1,0 g de cada composto). Dissolva essa mistura em 50 mL de éter etílico e a coloque em um funil de separação com 250 mL de capacidade. Proceda na seguinte sequência para extrair os compostos, deixando sempre no funil de separação a camada etérea.

Parte I

Adicione 25 mL de NaHCO_3 10% ao funil de separação contendo a solução etérea. Tampe o funil e agite com cuidado. Tenha cuidado com a vazão da pressão interna. Deixe as camadas se separarem e retire a **camada inferior**. Repita o procedimento com mais 25 mL de NaHCO_3 , sempre deixando a camada etérea no funil.

Combine as duas frações aquosas e neutralize-as com HCl concentrado, controlando o pH com papel indicador até próximo de 1,0.

Submeta as soluções a um banho de gelo. Separe o filtrado por filtração a vácuo.

Parte II

A camada etérea que permaneceu no funil deve ser extraída agora, com duas vezes 25 mL de NaOH 2 mol L⁻¹.

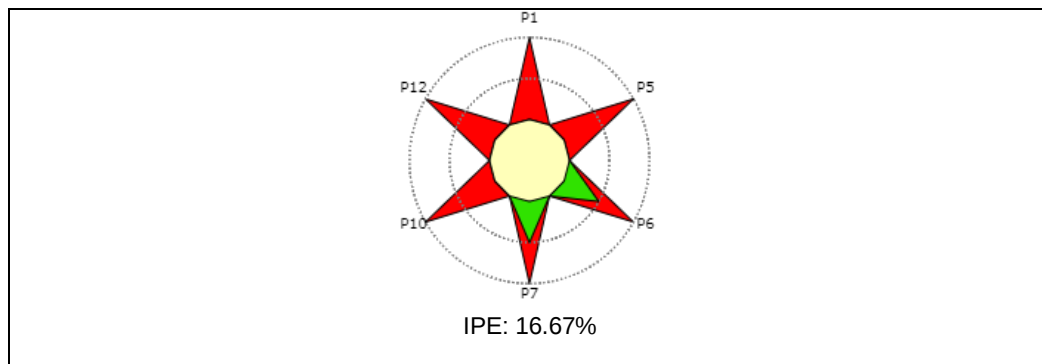
Combine as camadas aquosas e neutralize-as com HCl concentrado, controlando o pH com papel indicador até próximo de 1,0. Submeta as soluções a um banho de gelo. Separe o precipitado por filtração a vácuo. Seque os produtos na estufa, pese-os e calcule o rendimento do processo.

O Quadro XXV mostra a análise da verdura do experimento e as possibilidades de melhorias.

QUADRO XXV – MV E EV DO EXPERIMENTO DE EXTRAÇÃO COM SOLVENTES QUIMICAMENTE ATIVOS

Pontos Fortes	Pontos Fracos
C7. Não faz consumo elevado de água com aquecimento e resfriamento. A água do banho de gelo pode ser reutilizada. C12. Utiliza substâncias que podem ser reutilizadas em outras experiências, devido ao processo de separação dos componentes. C14. Equipamentos com riscos baixos ou moderados. C15. Utiliza vidrarias convencionais de laboratório, com riscos baixos ou moderados.	C1. Risco físico: éter – líquido inflamável (H224); líquido e vapores extremamente inflamáveis (H224) e pode formar peróxidos explosivos (EUH019). C2. Risco à saúde: éter – toxicidade aguda (H302); toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico – exposição única sistema nervoso central H336. Hidróxido de Sódio – corrosivo para a pele (H314). Ácido clorídrico – corrosivo para a pele (H314); toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico – exposição única (H335). Beta-naftol – toxicidade aguda (H302); toxicidade aguda por inalação (H332). Ácido benzoico – apresenta riscos à saúde, como danos oculares graves (H318); provoca danos aos órgãos (H372). Riscos à saúde: éter – nocivo se ingerido (H302); pode provocar sonolência ou vertigem (H336); pode provocar ressecamento da pele ou fissuras por exposição repetida (EUH066). Bicarbonato – provoca irritação ocular grave (H319). Ácido benzoico – irritação na pele (H315).

	C3. Riscos ao ambiente: Beta-naftol – perigoso ao ambiente aquático – Agudo (H400). C4. São gerados resíduos. C5. Consumo de HCl e NaOH e 2-naftol, com perigo à saúde e ao ambiente, de éter etílico, que apresenta riscos físicos, e de ácido benzoico, que traz riscos à saúde. C6. Consumo de água maior que 50 mL para o preparo de soluções de bicarbonato de sódio 10% e hidróxido de sódio 2 mol L⁻¹. C8. Consumo de soluções aquosas de hidróxido de sódio e bicarbonato de sódio acima de 50mL. C9. Apesar de o experimento acontecer a pressão ambiente, deve ser realizado a baixas temperaturas, com resfriamento utilizando banho de gelo. C10. Utilizam-se substâncias não renováveis. C11. Os solventes podem gerar substâncias nocivas em sua decomposição. C13. Há indicação de riscos durante a manipulação do HCl concentrado, na utilização de éter etílico e no preparo de solução de hidróxido de sódio a 2 mol L⁻¹.
Possibilidades	Ameaças
- Pode-se utilizar os solventes em quantidades menores, sem interferência na extração; - Uso de EPIs; - Descarte dos resíduos em frascos adequados.	- Não é possível realizar o experimento com substituição dos reagentes ativos por produtos menos tóxicos.



Fonte: Autoria Própria

Para a realização do experimento, as possibilidades de melhora apontam a utilização de solventes em quantidades menores, sem interferência na extração; o uso de EPIs, amenizando riscos físicos e à saúde; e descarte dos resíduos em frascos adequados, sem riscos ambientais. No entanto, o experimento traz ameaças, como a impossibilidade de substituição dos reagentes ativos por produtos menos tóxicos.

A métrica EV, construída após as análises de critérios pré-determinados pela métrica MV, apresentou os princípios P6 e P7 parcialmente atingidos e os princípios P1, P5, P10 e P12 não atingidos.

O IPE (Índice de Preenchimento da Estrela Verde), disponibilizado pela plataforma online <http://educa.fc.up.pt/avaliacaoverdura/>, apontou IPE de 16.67%. O predomínio do marrom na EV desse experimento é explicado por se tratar de substâncias quimicamente ativas, que apresentam riscos físicos, como a inflamabilidade do éter **H224** e **EUH019**; riscos à saúde, como é o caso do éter, hidróxido de sódio, ácido clorídrico, 2-naftol e ácido benzoico, que correspondem aos riscos (tóxicos, muito tóxicos ou corrosivos) presentes em **H302**, **H336**, **H314**, **H335**, **H302**, **H332**, **H318** e **H372**; riscos ao ambiente, apresentado pelas substâncias ativas hidróxido de sódio/ácido clorídrico **H290** e 2-Naftol **H400**; e ainda a geração de resíduos provenientes da mistura desses ativos. Desse modo, o princípio P1 (prevenção) não é atingido. Os

princípios P5, P10 e P12 – que tratam do consumo de solventes e auxiliares, além dos reagentes iniciais, planificação para degradação e Química intrinsecamente segura, respectivamente – não são atingidos pelo fato de se fazer uso de solventes auxiliares, não degradáveis e por apresentarem riscos de acidentes, devido ao grau de riscos apresentados pelos solventes ativos do experimento. Os princípios P6 (eficiência energética) e P7 (substâncias renováveis) foram parcialmente atingidos, como mostra a métrica MV. O experimento, baseado no critério do consumo de energia (P6), apesar de acontecer a pressão ambiente, deve ser realizado a baixas temperaturas, com resfriamento utilizando banho de gelo. No entanto, essa temperatura fica entre 0°C a 100°C. O P7 é parcialmente atingido.

Pós-laboratório

- Redija um texto com os resultados do experimento acima, apresentando os cálculos de rendimento e as devidas discussões, tendo como respaldo a pesquisa teórica realizada no pré-laboratório.
- Responda o quadro VII de resíduos proposto no capítulo anterior (capítulo 3) e faça a conclusão.

Experimento VIII – Extração Contínua Sólido-Líquido

Pré-laboratório

Para a compreensão dos fenômenos ocorridos neste experimento, o aluno deverá buscar previamente a compreensão dos seguintes motivos: por que se utilizam pérolas de vidro junto ao solvente; por que se deve triturar os grãos de soja antes de iniciar a extração; por que se deve utilizar uma manta aquecedora em vez de levar ao aquecimento na chama; e qual a principal vantagem da extração contínua. Além disso, recomenda-se estudar o

experimento e conferir os riscos de todos os reagentes na tabela FISPQ por meio da plataforma online EDUCA, disponível em <http://educa.fc.up.pt/>, avaliar a MV e a EV propostas ao final do protocolo experimental para a aplicação das possibilidades de melhorias apresentadas no experimento e a construção da EV, conforme orientações no capítulo 2 deste livro, para fins comparativos com a proposta teórica apresentada no protocolo experimental.

Objetivos

Os objetivos são conhecer o processo de obtenção de óleos vegetais na indústria; extrair o óleo da soja utilizando o extrator Soxhlet, além de conhecer o método de extração contínua sólido-líquido; avaliar as melhorias propostas no experimento e construir a EV.

Introdução

Quando preparamos um chá, um café ou mesmo um chimarrão, estamos fazendo uma extração sólido-líquido. Nesses casos, componentes que estavam na fase sólida (no pó de café ou nas ervas) passam para a fase líquida (água). Em todos os exemplos, a extração é descontínua e isso é possível porque a solubilidade dos componentes extraídos em água é grande. Porém, nos casos em que a solubilidade do soluto é pequena ou quando quisermos maximizar a extração do soluto, utiliza-se a técnica da extração contínua.

Sendo assim, a extração sólido-líquido consiste em uma fase, da qual se deseja extrair a substância sólida em questão, e numa fase externamente líquida.

A extração contínua pode ser desenvolvida com um extrator Soxhlet e apresenta a vantagem de utilizar um volume reduzido de solvente, já que o

solvente é evaporado e condensado várias vezes dentro do próprio sistema de extração e, com isso, não necessita de reposição.

Materiais e reagentes

O Quadro XXVI mostra a relação de materiais e reagentes necessários para a realização do experimento.

QUADRO XXVI – MATERIAIS E REAGENTES PARA O EXPERIMENTO “EXTRAÇÃO CONTÍNUA SÓLIDO-LÍQUIDO”

Manta de aquecimento	Balão de fundo redondo
Extrator Soxhlet	Condensador
Termômetro	Liquidificador
Pérolas de vidro	Béquér
Papel de filtro	Algodão
Grãos de soja	Hexano

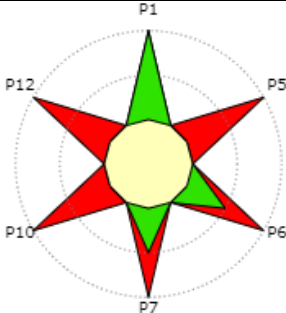
Procedimento Experimental

- Pese 50 g de soja em um béquer e triture no liquidificador. Confeccione um cartucho com o papel de filtro e nele coloque a soja triturada, com um chumaço de algodão na parte superior. Acomode esse cartucho no extrator Soxhlet.
- Coloque, dentro do balão de fundo redondo, cerca de 100 mL de solvente hexano e algumas pérolas de vidro.
- Monte o sistema de extração. Ligue a manta aquecedora na temperatura de aproximadamente 60° C e permita a passagem de água para o condensador.
- Observe a ocorrência da extração.

O Quadro XXVII traz a análise da verdura do experimento e as possibilidades de melhorias.

QUADRO XXVII – MV E EV DO EXPERIMENTO DE EXTRAÇÃO CONTÍNUA SÓLIDO-LÍQUIDO

Pontos Fortes	Pontos Fracos
C4. Os resíduos são constituídos por biomassa (soja), sendo inócuos. O hexano pode ser recuperado. C6. Não há consumo de água como solvente. C12. O hexano pode ser recuperado e reutilizado em outros experimentos. C14. Utiliza equipamentos com riscos baixos ou moderados. C15. Usa materiais vulgares, tais como manta de aquecimento, extrator Soxhlet, termômetro e liquidificador/multiprocessador, que não representam riscos elevados.	C1. Apresenta riscos físicos: hexano – líquido inflamável (H225). C2. Apresenta riscos à saúde: hexano – toxicidade à reprodução (H361fd); toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico – exposição única sistema nervoso central (H336); toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico – exposição repetida, inalação, sistema nervoso, (H373); perigo por aspiração (H304). C3. Riscos ao ambiente: hexano – perigoso ao ambiente aquático – Crônico (H411). C5. Utiliza solvente (hexano) e este representa risco físico, para a saúde e o ambiente. C7. Há um consumo excessivo de água no processo de resfriamento do sistema durante 4 a 6 horas para a extração de óleo em sementes de soja. C8. O consumo de solvente é maior que 50 mL (100 mL de hexano). C9. Realiza-se em temperatura diferente da do ambiente. C10. O hexano não é renovável. C11. Pelo menos uma substância não é degradável (hexano) e gera substâncias nocivas em sua decomposição. C13. Há indicação de riscos de acidentes devido ao uso do hexano e de aquecimento.
Possibilidades	Ameaças
- Recuperar o hexano por rotaevaporação para utilização em outros experimentos; - Substituir o hexano por solventes menos tóxicos, como a propanona ou o éter	- Para esse tipo de extração, é necessário o uso de energia elétrica por um período longo; - Utilização de solventes orgânicos;

etílico. - Determinar o rendimento de óleo de soja extraído; - Sugere-se, sempre que possível, a reutilização da água descartada no processo de resfriamento durante a extração do óleo de soja.	- Gasto elevado de água no sistema de condensação.
 IPE: 41.67%	

Fonte: Autoria Própria

Para a realização do experimento, as possibilidades de melhora apontam a recuperação do hexano por rotaevaporação para utilização em outros experimentos; a substituição por solventes menos tóxicos, como a propanona ou éter etílico. Sugere-se, ainda, a reutilização da água descartada no processo de resfriamento durante a extração do óleo de soja. No entanto, para esse tipo de extração é necessário o uso de energia elétrica por um período longo e, consequentemente, um gasto elevado de água no sistema de condensação, seguido da impossibilidade de substituição dos solventes orgânicos.

A métrica EV, construída após as análises de critérios pré-determinados pela métrica MV, apresentou o princípio P5 totalmente cumprido, os princípios P6, P7 e P10 parcialmente atingidos e os princípios P1 e P12 não atingidos.

O IPE (Índice de Preenchimento da Estrela Verde), disponibilizado pela plataforma online <http://educa.fc.up.pt/avaliacaoverdura/>, apontou IPE de

41,67%. Isso possibilita uma análise visual dos princípios em que, de acordo com a métrica MV, é possível perceber que o princípio P5 é atingido por não se utilizarem substâncias auxiliares durante o experimento, mesmo havendo consumo excessivo de água durante 4 a 6 horas para a extração de óleo em sementes de soja. Por se tratar de um solvente inócuo, ele não interfere na verdura química, de acordo com a EV. Os princípios P6 (eficiência energética), P7 (substâncias renováveis) e P10 (planificação para a degradação) foram atingidos parcialmente pelo fato de ser necessário o arrefecimento ou aquecimento da temperatura, não se afastando muito da temperatura ambiental, no entanto. O experimento faz uso de, pelo menos, uma substância renovável (grãos de soja); já o hexano não atende ao critério 11 do princípio 10 (P10), o que possibilita classificá-lo como substância não degradável, mesmo que os grãos de soja atendam ao critério. Por fim, os princípios P1 (prevenção) e P12 (Química intrinsecamente segura) não são atendidos. O solvente hexano, usado na extração do óleo de soja, apresenta riscos físicos, à saúde e ao ambiente (**H225, H361fd, H336, H373 e H411**). Por outro lado, os resíduos são constituídos por biomassa (soja), ou seja, inócua. No entanto, o hexano é um resíduo nocivo, considerando que o experimento não dá alternativa para a recuperação e a reutilização em outro experimento. Dessa forma, relacionam-se os riscos do solvente hexano a acidentes e ao uso de equipamentos com o propósito da Química intrinsecamente segura, o que tornam os princípios totalmente marrons.

Pós-laboratório

- Redija um texto com os resultados do experimento acima e as devidas discussões, tendo como respaldo a pesquisa teórica realizada no pré-laboratório.

- Responda o quadro VII de resíduos proposto no capítulo anterior (capítulo 3) e faça a conclusão.

Experimento IX – Separação do Óleo de Soja do Solvente Hexano através de uma Destilação Simples

Pré-laboratório

Para a compreensão dos fenômenos ocorridos neste experimento, o aluno deverá buscar previamente a compreensão acerca dos seguintes temas: métodos para melhorar a extração de óleo de soja e outros métodos que poderiam ser utilizados na remoção do solvente; explicação clara sobre o funcionamento da destilação simples. Recomenda-se estudar o experimento e conferir os riscos de todos os reagentes na tabela FISPQ através da plataforma online EDUCA, disponível em <http://educa.fc.up.pt/>, avaliar a MV e a EV propostas ao final do protocolo experimental para aplicação das possibilidades de melhorias apresentadas no experimento e a construção da EV, conforme orientações no capítulo 2 deste livro, para fins comparativos com a proposta teórica apresentada no protocolo experimental.

Objetivos

Obter o óleo da soja isento de solvente, utilizando um sistema de destilação simples; avaliar as melhorias propostas no experimento e construir a EV.

Introdução

Destilação é o processo de separação de uma mistura homogênea, constituída por um sólido e um líquido ou por dois líquidos, baseado na diferença entre seus pontos de ebulição. Dois fenômenos físicos são observados na destilação: o primeiro é a evaporação, quando a mistura recebe energia suficiente de uma fonte de calor (eletricidade, bico de Bunsen, lamparina) para que suas moléculas passem para o estado de vapor; o segundo é a condensação, quando a corrente de vapor passa no interior de um recipiente frio onde perde energia e volta ao estado líquido. A substância que tiver o menor ponto de ebulição se condensará primeiro e a segunda substância só será destilada após o término da primeira. Essa técnica de separação é uma das mais importantes e mais utilizadas para a purificação de líquidos.

No caso de líquidos inflamáveis, nunca se deve utilizar aquecimento com bico de Bunsen.

A destilação simples somente pode ser usada em separações entre sólido e líquido ou em caso de líquidos com pontos de ebulição distantes, em que as substâncias não formam mistura azeotrópica.

Procedimento Experimental

Pegue o balão que contém o óleo extraído e o acomode na manta aquecedora. Ligue o aquecimento e o fluxo de água, deixando um recipiente ao final do destilador para recolher o solvente removido.

Observe o aumento da temperatura através do termômetro e registre a temperatura em que o hexano começar a condensar. Prossiga com o processo até que todo o solvente seja removido. Meça o volume final de óleo e preveja o rendimento para 1,0 kg 1000 kg (1T) de soja.

Materiais e reagentes

No Quadro XXVIII, estão listados os materiais e reagentes necessários para o experimento proposto.

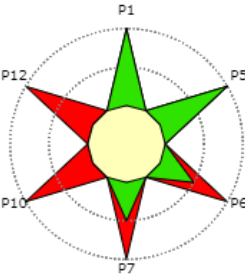
QUADRO XXVII – MATERIAIS E REAGENTES NECESSÁRIOS

Balão volumétrico	Manta aquecedora	Hexano proveniente do experimento anterior
Óleo extraído do experimento anterior	Termômetro	

Após a avaliação do experimento, apresentam-se melhorias através das métricas de verdura, a MV e a EV, no Quadro XXIX.

QUADRO XXIX – MV E EV DO EXPERIMENTO DE SEPARAÇÃO DO ÓLEO DE SOJA DO SOLVENTE HEXANO ATRAVÉS DE UMA DESTILAÇÃO SIMPLES

Pontos Fortes	Pontos Fracos
C4. Não há geração de resíduos que representem riscos, pois a biomassa (soja) é inócua, o hexano é recuperado por destilação para posterior utilização e o óleo de soja – separado do solvente – pode ser utilizado em outras aulas. C5. Não há consumo de solventes. C6. Não há consumo de água como solvente ou reagente em volume maior do que 50 mL. C12. Utiliza hexano, que pode ser reutilizado em outros experimentos. C14. Equipamentos com riscos baixos ou moderados. C15. Usa materiais vulgares com riscos baixos.	C1. O solvente hexano apresenta riscos ao ambiente – líquido inflamável (H225). C2. O hexano apresenta riscos à saúde: toxicidade à reprodução (H361fd); toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico – exposição única sistema nervoso central (H336); toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico – exposição repetida, inalação, sistema nervoso (H373). C3. O solvente hexano apresenta riscos ao ambiente: perigoso ao ambiente aquático – Crônico (H411); irritação da pele (H315) e perigo por aspiração (H304). C7. Há consumo de água com facilidade (água de resfriamento durante a destilação do hexano). C9. Realiza-se em temperatura ou pressão diferentes da do ambiente.

	C10. O hexano não é renovável. C11. Pelo menos uma substância não é degradável (hexano) e gera substâncias nocivas em sua decomposição. C13. Há indicação de riscos de acidentes devido à inflamabilidade do hexano, se aquecido com bico de Bunsen no processo de destilação.
Possibilidades	Ameaças
- Indica-se o uso do hexano recuperado em outros experimentos; - Sugere-se a reutilização da água descartada no processo de destilação.	- É necessário o uso de energia e água de resfriamento em grandes quantidades.
 IPE: 50.00%	

Fonte: Autoria Própria

Para a realização do experimento, as possibilidades de melhoria apontam para a utilização do hexano em outros experimentos. Além disso, sugere-se a reutilização da água descartada no processo de destilação e recomenda-se a substituição do bico de Bunsen por manta termostática. No entanto, é inevitável o uso de energia e água de resfriamento em grandes quantidades para a realização do experimento.

A métrica EV, construída após as análises de critérios pré-determinados pela métrica MV, apresentou os princípios P1 e P5 totalmente atingidos, os

princípios P6 e P7 parcialmente atingidos e os princípios P10 e P12 não atingidos.

O IPE (Índice de Preenchimento da Estrela Verde), disponibilizado pela plataforma online <http://educa.fc.up.pt/avaliacaoverdura/>, apontou IPE de 50.00%. A métrica EV possibilita uma análise visual dos princípios que, correlacionada com a métrica MV, permite compreender que os princípios P1 (prevenção) e P5 (uso de solventes e outras substâncias auxiliares) são totalmente atingidos mesmo com o solvente (hexano) apresentando riscos **H225, H336, H411**, entre outros, pois estes não são classificados pela EV como suficientes para interferir na verdura química do princípio. Além disso, os resíduos gerados pelo experimento são constituídos por biomassa (soja), que é inócua, e o hexano é recuperado por destilação simples para determinação do rendimento de óleo. Quanto ao uso de solventes e outras substâncias auxiliares, não há uso de outras substâncias além das iniciais, o que torna ambos os princípios verdes. Já os princípios P6 (eficiência energética) e P7 (uso de substâncias renováveis) são parcialmente atingidos, pois há consumo de energia, no entanto não muito afastada da pressão e temperatura ambientais; além disso, utiliza-se soja, matéria-prima renovável, enquanto o hexano é solvente não renovável. O princípio P10 (planificação para degradação) não é atingido: o hexano em questão, além de não ser degradável a produtos inócuos, gera substância nociva em sua decomposição e apresenta riscos de acidentes – uso de equipamentos com riscos elevados (eletricidade, bico de Bunsen ou lamparina) –, uma vez que o seu uso com líquidos inflamáveis atinge o princípio da Química intrinsecamente segura (P12).

Pós-laboratório

- Redija um texto com os resultados do experimento acima e as devidas discussões, tendo como respaldo a pesquisa teórica realizada no pré-laboratório.
- Responda o quadro VII de resíduos proposto no capítulo anterior (capítulo 3) e faça a conclusão.

Experimento X – Destilação Fracionada- Separação e Identificação dos Componentes de uma Mistura Binária de Líquidos Voláteis

Pré-laboratório

Para a compreensão dos fenômenos ocorridos neste experimento, o aluno deverá buscar previamente a compreensão dos conceitos de pressão de vapor, ponto de ebulição, Lei de Dalton, Lei de Raoult e destilação fracionada.

Além disso, recomenda-se estudar o experimento e conferir os riscos de todos os reagentes na tabela FISPQ, por meio da plataforma online EDUCA <http://educa.fc.up.pt/>, avaliar a MV e a EV propostas ao final do protocolo experimental para aplicação das possibilidades de melhorias apresentadas no experimento e construção da EV, conforme orientações no capítulo 2 deste livro, para fins comparativos com a proposta teórica apresentada no protocolo experimental.

Objetivos

Separar os componentes de uma mistura binária através do método de destilação fracionada; identificar os componentes da mistura e determinar o procedimento percentual desse processo; avaliar as melhorias propostas no experimento e construir a EV.

Introdução

Nesta experiência, os conceitos de pressão de vapor e ponto de ebulição são fundamentais, por isso devem ser revistos.

Nesse caso, tem-se uma mistura homogênea de líquidos (solução ideal). Segundo a Lei de Raoult, a pressão total do vapor a uma determinada temperatura é a soma das pressões parciais de todos os componentes:

$$P_T = P_A + P_B + P_C \dots P_N$$

A pressão parcial de cada componente é dada por:

$$P_A = P^0 \cdot X_A$$

X_A é a fração molar de A na mistura e P^0 é a pressão de vapor de A, quando puro.

Para uma solução ideal, o ponto de ebulição da mistura é definido como a temperatura na qual a soma das pressões parciais dos componentes é igual a pressão atmosférica. No entanto, a Lei de Dalton e a Lei de Raoult revelam que, para uma mistura ideal, o componente mais volátil tem maior fração molar na fase de vapor do que na fase líquida, em qualquer temperatura.

De qualquer forma, apesar de o condensado conter o componente mais volátil, ele ainda é uma mistura de duas substâncias e, por esse motivo, uma destilação simples não garantiria a separação dos líquidos. Nesse caso, devemos fazer uma destilação fracionada, que consiste em uma série de vaporizações e condensações sucessivas.

Na destilação fracionada, faz-se uso de uma coluna de fracionamento ou de destilação (Figura II) que proporciona, em uma única destilação, uma

série de micro destilações simples sucessivas. A eficiência de uma coluna é medida pelo número de vezes em que a solução é vaporizada e recondensada durante a destilação e é expressa por pratos teóricos.

A escolha da coluna depende da diferença dos pontos de ebulição dos componentes da mistura. Quanto menor a diferença entre os pontos de ebulição dos componentes da mistura, maior será o número de pratos teóricos necessários para uma separação eficiente.

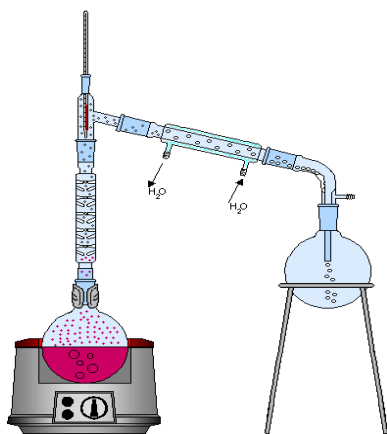


Figura II – Sistema de Destilação Fracionada

Procedimento Experimental

No balão de fundo redondo, coloque 50 mL do líquido A (mais volátil) e 50 mL do líquido B (menos volátil). Monte novamente o sistema de acordo com a Figura II, ligue o aquecimento da manta e o fluxo de água.

Assim que o vapor chegar ao condensador e começar a condensar, anote a temperatura indicada pelo termômetro na cabeça de destilação. Não permita que a destilação ocorra numa velocidade maior que 1 gota/segundo. Quando a temperatura começar a se tornar menor do que aquela observada, transfira o condensado recolhido para uma proveta e faça a medida do volume de A obtido. Calcule o rendimento.

Retorne o frasco coletor ao sistema e espere até que a temperatura suba novamente e se torne constante (anote esse valor). Nesse momento, desligue o aquecimento, despreze o líquido coletado e meça o volume do líquido B que ficou no balão de fundo redondo, após o seu resfriamento. Calcule o rendimento.

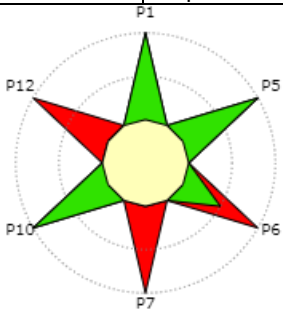
Compare os valores de temperatura de ebulição com a tabela abaixo e identifique as substâncias A e B. O Quadro XXX apresenta os valores de temperatura de ebulição de alguns solventes.

QUADRO XXX – VALORES DE TEMPERATURA DE EBULIÇÃO DE ALGUNS SOLVENTES

Solvente	P.E (°C)
Água	100,0
Metanol	64,7
Etanol	78,4
Acetona	56,4
Éter etílico	34,6
Benzeno	80,1
Tolueno	110,6

No Quadro XXXI, mostramos a MV e a EV do experimento de destilação fracionada – separação e identificação dos componentes de uma mistura binária de líquidos voláteis – com possibilidades para melhoria da verdura do experimento. A mistura considerada na análise foi água e acetona.

QUADRO XXXI – MV E EV DO EXPERIMENTO DE DESTILAÇÃO FRACIONADA – SEPARAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DE UMA MISTURA BINÁRIA DE LÍQUIDOS VOLÁTEIS (ACETONA/ÁGUA)

Pontos Fortes	Pontos Fracos
C3. Os reagentes não representam riscos ao ambiente. C4. Não há geração de resíduos, considerando que os reagentes são recuperados pela destilação e poderão ser empregados em outros experimentos. C5. Não há consumo de solventes e auxiliares além dos reagentes iniciais. C11. A acetona é degradável a compostos inócuos. C12. Há possibilidades de reutilização das substâncias destiladas para outras aulas. C14. Não há riscos devidos ao uso de equipamentos. C15. Utilizam-se materiais vulgares com baixos riscos.	C1. Riscos Físicos: acetona - líquido e vapores altamente inflamáveis (H225). C2. Riscos à saúde: acetona - provoca irritação ocular grave (H319); pode provocar sonolência ou vertigem (H336); pode provocar ressecamento da pele ou fissuras por exposição repetida (EUH066). C7. Há consumo de água com facilidade (resfriamento). C9. Realiza-se em temperatura ou pressão diferentes da do ambiente. C10. A acetona não é renovável. C13. Há riscos de acidentes devido às substâncias envolvidas.
Possibilidades	Ameaças
- Se possível, realizar a destilação em microescala. - Possibilidade de se empregar um volume menor de acetona. - Sugere-se a reutilização da água utilizada no resfriamento da destilação.	- É necessário o uso de energia para a realização do experimento. - Dificuldade de substituir a acetona por outro reagente de menor risco físico e à saúde. - Gasto excessivo de água no processo de resfriamento da destilação, caso este não seja reaproveitado.
 IPE: 41.67%	

Fonte: Autoria Própria

Para a realização do experimento, as possibilidades de melhoria apontam para a utilização de solventes com menor potencial de riscos físicos e que atenuem danos à saúde (por exemplo, a mistura de etanol e água), bem como a redução de volumes. Sugere-se a reutilização da água descartada no processo de destilação e a substituição do bico de Bunsen por manta eletrostática. No entanto, prevê-se o uso de energia para realização do experimento e o gasto excessivo de água no processo de resfriamento da destilação.

A métrica EV, construída após as análises de critérios pré-determinados pela métrica MV, apresentou os princípios P1 e P5 totalmente atingidos, o princípio P6 parcialmente atingido e os princípios P7, P10 e P12 não atingidos.

O IPE (Índice de Preenchimento da Estrela Verde), obtido pela plataforma online <http://educa.fc.up.pt/avaliacaoverdura/>, apontou IPE de 41,67 %. A métrica EV possibilita uma análise visual dos princípios que, correlacionada com a métrica MV, permite compreender que o princípio P1 (prevenção) foi totalmente atingido, mesmo verificando-se os riscos físicos, à saúde e ao ambiente vistos na matriz verde. Isso se explica pelo fato de usar equipamentos com riscos baixos a moderados e de não haver riscos de acidentes, em função das substâncias envolvidas, e de não ter resíduos (solventes recuperados ao final), etc. O princípio P5 foi integralmente verde em função de não se fazer uso de solventes e outras substâncias auxiliares. O princípio P6 (eficiência energética) é parcialmente atingido, pois há consumo de energia. Os princípios P7 (que prevê o uso de substâncias renováveis) e P10 (que prevê a planificação para a degradação) não são atingidos, ou seja, não são verdes no olhar da QV. E, por fim, a acetona utilizada no experimento apresenta riscos de acidentes – uso de equipamentos com riscos elevados (eletricidade, bico de Bunsen ou lamparina) – devido à sua inflamabilidade, o

que atinge o princípio da Química intrinsecamente segura (P12), deixando-o marrom (vermelho).

Pós-laboratório

- Redija um texto com os resultados do experimento acima e as devidas discussões, tendo como respaldo a pesquisa teórica realizada no pré-laboratório.
- Responda o quadro VII de resíduos proposto no capítulo anterior (capítulo 3) e faça a conclusão baseada nas pesquisas prévias do experimento, respondendo às seguintes questões: por que não foi possível utilizar uma destilação simples para separar A e B? Que substâncias são os líquidos A e B e como você conseguiu identificá-las? Por que foi descartado o volume coletado após a retirada do líquido mais volátil? Além disso, mostre os rendimentos obtidos e apresente as razões para as defasagens em relação aos volumes iniciais.

Experimento XI – Destilação por Arraste de Vapor (Isolamento de Produtos Naturais)

Pré-laboratório

Para a compreensão dos fenômenos ocorridos neste experimento, o aluno deverá buscar previamente a compreensão dos conceitos de destilação por arraste de vapor, usada no processo de isolamento de produtos naturais e na obtenção de óleos essenciais, e do conceito de separação de líquidos imiscíveis por extração líquido-líquido simples. Além disso, recomenda-se estudar o experimento e conferir os riscos de todos os reagentes na tabela

FISPQ através da plataforma online EDUCA, disponível em <http://educa.fc.up.pt/>, avaliar a MV e a EV propostas ao final do protocolo experimental para aplicação das possibilidades de melhorias apresentadas no experimento e construção da EV, conforme orientações no capítulo 2 deste livro, para fins comparativos com a proposta teórica apresentada no protocolo experimental.

Objetivos

Realizar uma destilação por arraste de vapor para obtenção de óleos essenciais; separar líquidos imiscíveis por extração líquido-líquido simples; determinar o rendimento percentual do processo de extração; avaliar as melhorias propostas no experimento e construir a EV.

Introdução

Os óleos essenciais são substâncias voláteis extraídas de plantas aromáticas, constituindo matéria-prima de grande importância para as indústrias cosmética, farmacêutica e alimentícia. Essas substâncias orgânicas, puras e extremamente potentes, são consideradas os principais componentes bioquímicos de ação terapêutica das plantas medicinais e aromáticas. Esses óleos são, de uma maneira geral, misturas complexas de substâncias voláteis, lipofílicas, geralmente odoríferas e líquidas.

Para a obtenção dessas essências são empregadas diversas técnicas, entre elas a extração contínua e a destilação por arraste de vapor. Esta última apresenta a vantagem de empregar apenas água e não solventes orgânicos, tornando o processo menos oneroso e mais limpo.

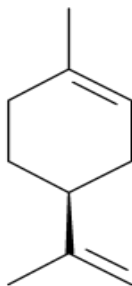
A destilação por arraste de vapor é um método de isolamento e purificação de substâncias que se aplica a líquidos imiscíveis em água ou com miscibilidade muito pequena.

Os óleos essenciais, na sua grande maioria, são imiscíveis em água e o processo de destilação consiste, essencialmente, em volatilizar o óleo essencial com uma corrente de vapor de água. A temperatura elevada do vapor auxilia na ruptura das vesículas existentes no vegetal, liberando uma quantidade maior de óleo.

A temperatura de ebulição da mistura será aquela em que a pressão de vapor total for igual a da pressão atmosférica. Assim, como os óleos essenciais têm uma grande pressão de vapor (são muito voláteis), a pressão de vapor da mistura gasosa se igualará à pressão atmosférica, inferior a 100°C. Isso representa uma grande vantagem, uma vez que os óleos essenciais são muito sensíveis ao calor, podendo se decompor em temperaturas maiores que 100°C.

Óleo Essencial Da Laranja

O óleo essencial recém extraído das cascas da laranja (*Citrus sinensis* L.) contém 95-98% do monoterpeno (-) limoneno ® com uma mistura de outros terpenos (entre eles mirceno, a-pineno e alguns aldeídos monoterpênicos) e aldeídos alifáticos (decanal, octanal, etc.). O limoneno pode facilmente sofrer oxidação, a qual pode ser comprovada pela mudança na coloração, odor e viscosidade do óleo essencial.

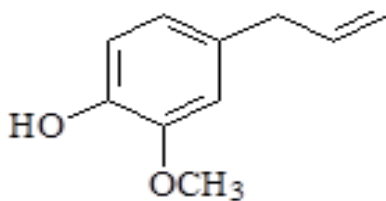
**(-)-limoneno**

(-) 1-metil-4-isopropenilciclohexen-1-eno

Óleo Essencial Do Cravo-da-Índia

O Cravo-da Índia é uma especiaria oriental amplamente utilizada na culinária e na terapêutica, acompanhando a história do desenvolvimento da civilização.

O seu rendimento em óleo essencial é excepcional, podendo atingir de 15-20% da sua massa. Sua composição é caracterizada pela presença de um propenilfenol largamente preponderante, o eugenol. O teor dessa substância no óleo essencial varia entre 70-85%, majoritariamente na forma livre e uma parte na forma de acetato de eugenila.

**eugenol**

4-propenil-2-metoxifenol

Materiais e reagentes

No Quadro XXXII, apresenta-se a lista de materiais e reagentes para o experimento de destilação por arraste de vapor (isolamento de produtos naturais).

QUADRO XXXII – MATERIAIS E REAGENTES PARA O EXPERIMENTO DE DESTILAÇÃO POR ARRASTE DE VAPOR (ISOLAMENTO DE PRODUTOS NATURAIS)

Bico de Bunsen	Balão de fundo redondo
Kitasato	Pérolas de vidro
Tela de amianto	Béquers
Condensador	Suporte universal
Água destilada	Casca de laranja
Cravo-da-índia	

Procedimento Experimental

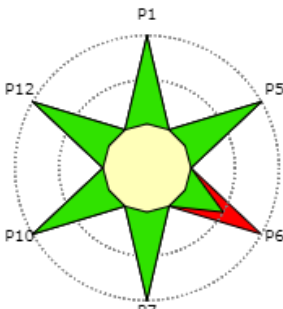
Coloque água destilada até cerca da metade do volume do kitasato e algumas pérolas de vidro. Tampe-o, deixando um tubo de respiro. No balão de fundo redondo, coloque o material vegetal e água até 50% do volume do balão.

Ligue o aquecimento de forma mais intensa para o kitasato e de forma mais branda para o balão de fundo redondo. Certifique-se de que o fluxo de água do condensador está ligado e dê início à extração. Não permita que o gotejamento no frasco coletor seja muito rápido. Após a evaporação de quase a totalidade da água do kitasato, interrompa o aquecimento e faça a separação do óleo essencial com a água, através do funil de decantação.

No Quadro XXXIII, mostramos a MV e a EV do experimento de destilação por arraste de vapor (isolamento de produtos naturais), com possibilidades para a melhoria da verdura do experimento.

QUADRO XXXIII – MV E EV DO EXPERIMENTO DE DESTILAÇÃO POR ARRASTE DE VAPOR (ISOLAMENTO DE PRODUTOS NATURAIS)

Pontos Fortes	Pontos Fracos
C1. Substâncias sem indicação de riscos físicos.	C6. Utiliza volume de água maior que 50 mL.
C2. Substâncias sem indicação de riscos à saúde.	C7. Há consumo de água com facilidade para a extração durante o processo de resfriamento dos vapores.
C3. Substâncias sem indicação de riscos ao ambiente.	C9. Realiza-se em temperatura ou pressão diferentes da do ambiente.
C4. Não há produção de resíduos ou geram-se resíduos inócuos (casca de laranja ou cravo-da-índia).	C15. Utiliza bico de Bunsen e tela de amianto com riscos elevados. O amianto é apontado como causador de asbestose, uma fibrose pulmonar progressiva e de placas pleurais, como o câncer de pulmão. Causa ainda mesoteliomas de pleura e peritônio. O risco aumenta linearmente com a exposição cumulativa e com o tempo desde a primeira exposição (WUNSCH FILHO; NEVES & MONCAU, 2001).
C5. Não se faz necessário o uso de solventes e auxiliares além dos reagentes iniciais.	
C8. Não há consumo de outros solventes além da água.	
C10. Todas as substâncias são renováveis.	
C11. Utilizam-se substâncias degradáveis e inócuas.	
C12. O material extraído pode ser aproveitado em outra aula.	
C13. Não há riscos de acidentes devido às substâncias envolvidas.	
C14. Uso de equipamentos com riscos baixos ou moderados.	

Possibilidades	Ameaças
- Substituir o bico de Bunsen e a tela de amianto utilizada no aquecimento por uma chapa ou manta de aquecimento; - Propor um sistema de reutilização da água do resfriamento.	- O uso excessivo de energia é inevitável; - O uso excessivo de água é uma ameaça se não houver reaproveitamento.
 IPE: 91.67%	

Fonte: Autoria Própria

Para a realização do experimento, as possibilidades de melhoria apontam para a substituição do bico de Bunsen e da tela de amianto utilizada no aquecimento por uma chapa ou manta de aquecimento, além de se propor um sistema de reutilização da água do resfriamento. No entanto, o uso excessivo de água e energia é inevitável.

A métrica EV, construída após as análises de critérios pré-determinados pela métrica MV, apresentou os princípios P1, P5, P7, P10 e P12 totalmente atingidos e o princípio P6 parcialmente atingido.

O IPE (Índice de Preenchimento da Estrela Verde), disponibilizado pela plataforma online <http://educa.fc.up.pt/avaliacaoverdura/>, apontou IPE de 91,67%. A métrica EV possibilita uma análise visual dos princípios que, correlacionada com a métrica MV, permite compreender que os princípios P1 (prevenção), P5 (uso de solventes e outras substâncias auxiliares), P7 (uso de

substâncias renováveis), P10 (Planificação para a degradação) e P12 (Química intrinsecamente segura) são atingidos, ou seja, verdes na visão da QV. O princípio P6 (eficiência energética), devido ao uso de aquecimento ou arrefecimento da temperatura (entre 0° e 100°C), manteve-se parcialmente atingido.

Pós-laboratório

- Calcule o rendimento e compare para concluir de qual material se obteve mais óleo essencial. Redija um texto com os resultados do experimento acima e as devidas discussões, tendo como respaldo a pesquisa teórica realizada no pré-laboratório.
- Responda o quadro VII de resíduos proposto no capítulo anterior (capítulo 3) e faça a conclusão.

Experimento XII – Cromatografia em Papel (CP) e Cromatografia em Camada Delgada (CCD)

Pré-laboratório

Para a compreensão dos fenômenos ocorridos neste experimento, o aluno deverá buscar previamente a compreensão acerca dos conceitos sobre princípios básicos da cromatografia, critérios para escolha do solvente, cromatografia em papel, cromatografia em camada delgada, cromatografia em coluna e reveladores. Além disso, recomenda-se estudar o experimento e conferir os riscos de todos os reagentes na tabela FISPQ pela plataforma online EDUCA, disponível em <http://educa.fc.up.pt/>, avaliar a MV e a EV propostas ao final do protocolo experimental para aplicação das possibilidades de melhorias apresentadas no experimento e a construção da EV, conforme

orientações no capítulo 2 deste livro, para fins comparativos com a proposta teórica apresentada no protocolo experimental.

Objetivos

Compreender o princípio da cromatografia; aplicar o conceito de equilíbrio de partição em cromatografia; entender a adsorção diferencial de compostos em um determinado adsorvente; reconhecer a separação de uma mistura pela análise de um cromatograma; avaliar as melhorias propostas no experimento e construir a EV.

Introdução

A palavra cromatografia quer dizer “escrita em cor” em grego. Essa técnica foi usada pela primeira vez em 1906 por Michael Tswett, um botânico russo que conseguiu separar pigmentos de plantas em zonas de cores distintas utilizando um vidro preenchido com carbonato de sódio (sólido) e passando extratos de plantas através do tubo. No entanto, o uso da cromatografia se tornou popular somente a partir de 1930, como um método de separação e identificação de substâncias, inclusive as incolores, preservando, porém, o nome da técnica.

O princípio da cromatografia é o mesmo em que se baseia a extração. Trata-se da partição de uma substância entre duas fases distintas. A Cromatografia é um processo físico de separação no qual os componentes a serem separados distribuem-se em duas fases: fase estacionária e fase móvel. Se uma substância está dissolvida na fase móvel, se moverá mais ou menos rapidamente, de acordo com a solubilidade na fase móvel e na fase estacionária.

Quando a fase estacionária é uma substância sólida, em vez de solubilidade relativa das substâncias, considera-se sua adsorção relativa no sólido.

A fase estacionária pode ser sólida ou líquida, de acordo com a técnica. Já a fase móvel é um líquido (eluente) ou um gás (gás de arraste).

No caso de a fase móvel ser líquida, a escolha do eluente deve ser minuciosa, considerando a polaridade das moléculas tanto dos solventes quanto das substâncias a serem preparadas. Esse fator interfere muito na eficiência da separação.

Consideremos a seguinte placa cromatográfica (Figura III):

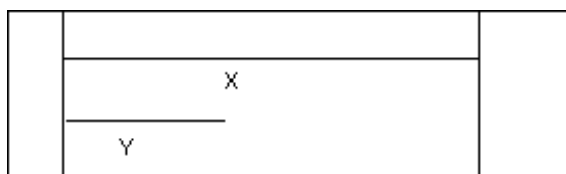


Figura III – placa cromatográfica.

$$R_f = \frac{Y}{X}$$

Se, a partir do ponto de aplicação da solução do composto desconhecido, a distância percorrida pela fase móvel for X e a distância percorrida pelo composto for Y, o quociente entre Y e X denomina-se R_f – fator de retenção ou retardamento.

O valor de R_f pode identificar uma substância, pois ele é característico da mesma em cada eluente empregado.

Cromatografia em papel (CP)

A cromatografia em papel (CP) é uma das técnicas mais simples e que requer menos instrumentos para a sua realização, porém é a que apresenta as maiores restrições para a utilização em termos analíticos.

Na cromatografia em papel, a fase estacionária é uma tira de papel denominada cromatograma – que pode ser feita de papel de filtro – e a fase móvel é um solvente inerte, ou seja, que não reage com nenhuma substância da mistura que será analisada. A amostra que contém a mistura é aplicada sobre a fase estacionária e não deve entrar em contato direto com a fase móvel, a fim de se evitar solubilização.

O princípio da cromatografia em papel é o seguinte: quando a ponta da tira de papel que contém a amostra da mistura é mergulhada no líquido (eluente), esse líquido sobe pelo papel, arrastando consigo as substâncias existentes na mistura. Cada substância da mistura possui uma afinidade diferente com o solvente; desse modo, as substâncias que possuem maior afinidade são arrastadas mais depressa, enquanto as que possuem menor afinidade eluem mais devagar. O surgimento de zonas incolores pode significar a existência de alguma substância incolor na mistura.

Cromatografia em Camada Delgada (CCD)

Na cromatografia em camada delgada (CCD), a fase estacionária é uma camada fina formada por um sólido granulado (sílica, alumina, poliamida, etc.) depositado sobre uma placa de vidro, alumínio ou outro suporte inerte.

É importante ressaltar que a CCD pode ser utilizada na identificação de compostos orgânicos, líquidos e sólidos. Em todos os casos, é sempre conveniente aplicar uma solução do composto conhecido sobre a placa para

servir como padrão. Após a solução ter sido aplicada, ela é então colocada em uma câmara de eluição, conforme a Figura IV.

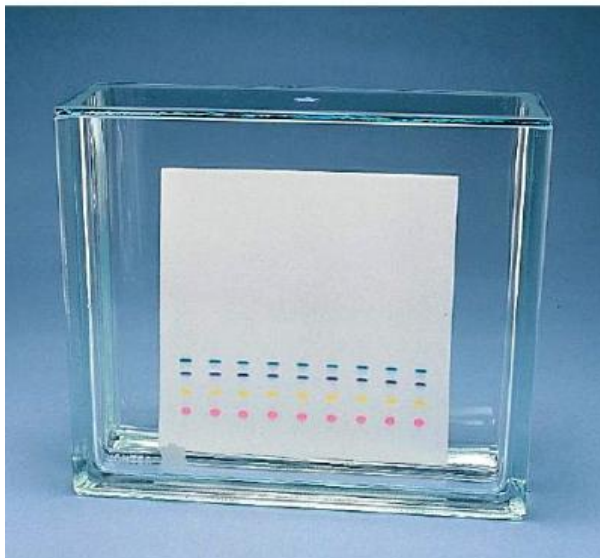


Figura IV – Câmara Cromatográfica

As substâncias incolores também podem ser separadas por cromatografia, conforme mencionado anteriormente. Nesse caso é necessária a utilização de um revelador, que interage com a substância e forma manchas visíveis na placa. Entre os reveladores mais comumente utilizados estão o iodo e o cloreto de ferro (FeCl_3). Também é possível utilizar câmaras de UV, que permitem a visualização das manchas incolores no VIS.

Materiais e reagentes

No Quadro XXXIV, consta a lista de materiais e reagentes para realização do experimento de cromatografia em papel (CP) e cromatografia em camada delgada (CCD).

QUADRO XXXIV – MATERIAIS E REAGENTES PARA O EXPERIMENTO DE CROMATOGRAFIA EM PAPEL (CP) E CROMATOGRAFIA EM CAMADA DELGADA (CCD)

Papel filtro	Placa de CCD com sílica
Béquer	Placa de Petri
Éter etílico	Hexano
Acetato de etila	Ácido acetilsalicílico
Álcool etílico	Corantes
Canetas hidrográficas	Amostras que absorvem luz UV
Tubos capilares	

Procedimento Experimental

Parte I – Cromatografia em Papel

Inicialmente, prepare a placa cromatográfica com um béquer, cortando um papel de filtro que recubra toda a sua lateral interna. Antes de inserir o papel dentro do béquer, coloque cerca de 0,5 cm de eluente (álcool etílico) no béquer e em seguida o papel. Tampe o béquer com uma placa de Petri e deixe saturar.

Enquanto isso, prepare a placa cromatográfica, cortando uma tira de papel retangular que seja maior que o béquer. Marque com grafite uma linha a cerca de 1 cm da base e aplique as amostras de canetas hidrográficas. A aplicação das amostras deve ser equidistante.

Prenda a placa cromatográfica na placa de Petri e coloque-a dentro da câmara cromatográfica. Cuide para que a amostra não entre em contato direto com o eluente. Aguarde até que o eluente percorra toda a placa cromatográfica e então retire-a, fazendo as observações.

Parte II – Cromatografia em Camada Delgada (CCD)

Escolha do Eluente

Cada equipe irá preparar a câmara cromatográfica com um eluente diferente: equipe 1 – hexano; equipe 2 – éter etílico; equipe 3 – álcool etílico.

Aplique a amostra 1 (uma mistura de corantes) na placa de sílica-gel a 1 cm da base e de maneira equidistante. Espere secar. Faça também uma marca com grafite a cerca de 0,5 cm do topo da placa. Coloque-a na câmara e aguarde. Tome os cuidados devidos. Aguarde até que o eluente atinja a marca superior e retire-a da câmara. Observe qual dos solventes foi capaz de promover melhor a separação da mistura e calcule o R_f de cada uma das substâncias. Registre o valor de R_f de cada uma delas.

Parte III – Identificação de uma substância

Utilizando o eluente que melhor separou a amostra anterior, prepare uma câmara cromatográfica e teste uma nova mistura. Calcule o R_f de cada uma das substâncias e tente identificar os componentes da amostra.

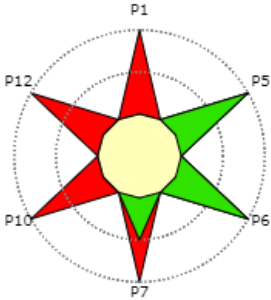
Parte IV – Cromatografia para substâncias incolores

Dissolva uma pequena amostra de ácido acetilsalicílico em etanol e aplique sobre uma placa cromatográfica. Coloque em uma câmara de eluição com acetato de etila e deixe eluir até a marca superior da placa. Após a eluição, leve a placa à câmara de UV. Marque o ponto onde se encontra a marca do composto. Calcule o R_f .

Apresentamos a MV e a EV do experimento de cromatografia em papel (CP) e cromatografia em camada delgada (CCP) no Quadro XXXV.

QUADRO XXXV – MV E EV PARA O EXPERIMENTO DE CROMATOGRAFIA EM PAPEL (CP) E CROMATOGRAFIA EM CAMADA DELGADA (CCP)

Pontos Fortes	Pontos Fracos
C6. Não há consumo de água. C7. Não há consumo de água como facilidade. C8. Com consumo baixo ($V < 50 \text{ mL}$) de solventes além da água. C9. Realiza-se em temperatura e pressão ambientes. C14. Uso de equipamentos com riscos baixos ou moderados. C15. Outros materiais vulgares são usados com baixos riscos ou moderados.	C1. Riscos físicos: éter etílico – líquido inflamável (H224); pode formar peróxidos explosivos (EUH019); pode provocar ressecamento da pele ou fissuras por exposição repetida (EUH066). Acetato de etila – líquido inflamável (H225). Hexano – líquido inflamável (H225). C2. Riscos à saúde: éter etílico – toxicidade aguda (H302). Toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico – exposição única e sistema nervoso central (H336). Acetato de etila – toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico – exposição única e sistema nervoso central (H336). Acetato de etila – irritação ocular (H319); pode provocar ressecamento da pele ou fissuras por exposição repetida (EUH066). Hexano – irritação da pele (H315); perigo por aspiração (H304); toxicidade à reprodução (H361fd); toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico – exposição única, Sistema nervoso central (H336); toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico – exposição repetida Inalação, Sistema nervoso, (H373). C3. Riscos ao ambiente: hexano – perigoso ao ambiente aquático – Crônico (H411). C4. Há geração de resíduos. C5. Há uso de auxiliares (solventes) com possíveis riscos à saúde e ao ambiente. C10. Pelo menos uma das substâncias não é renovável. C11. Os solventes utilizados não são degradáveis a produtos inócuos.

	C12. Os solventes restantes da prática não podem ser reutilizados em outras práticas. C13. Há riscos de acidentes devido ao uso das substâncias envolvidas.
Possibilidades	Ameaças
- Os riscos referentes ao uso desses solventes podem ser atenuados com a substituição por solventes de menor toxicidade, por exemplo Álcool 70% e acetona comercial. - O professor pode optar em não realizar a parte II do experimento, referente à escolha de eluentes, se julgar que os objetivos da aula não serão prejudicados.	- Não é possível realizar esse experimento sem o uso de solventes.
 IPE: 41.67%	

Fonte: Autoria Própria

Para a realização do experimento, as possibilidades de melhoria apontam minimizar os riscos de uso de solventes com a substituição por solventes inócuos, por exemplo, associar com álcool 70% e acetona. No entanto, a ameaça de exposição aos solventes orgânicos é inevitável.

A métrica EV, construída após as análises de critérios pré-determinados pela métrica MV, apresentou os princípios P5 e P6 totalmente atingidos, o P7 parcialmente atingido e os princípios P1, P10 e P12 não atingidos, considerados marrons e evidenciados em vermelho na Estrela.

O IPE (Índice de Preenchimento da Estrela Verde), disponibilizado pela plataforma online <http://educa.fc.up.pt/avaliacaoverdura/>, apontou IPE de 41,67%. A métrica EV possibilita uma análise visual dos princípios que, correlacionada com a métrica MV, permite compreender que os princípios P5 (uso de solventes e outras substâncias auxiliares) e P6 (eficiência energética) são atingidos pelo fato de não se fazer uso de solventes e outras substâncias auxiliares, ou estes serem inócuos, seguido de realização do experimento em pressão e temperaturas ambientais. O princípio P7 (uso de substâncias renováveis) é parcialmente atingido, o que é explicado no uso de pelo menos uma substância renovável (desconsiderando-se a água), no caso do acetato de etila (proveniente do etanol e demais constituintes). Os princípios P1, P10 e P12 (que tratam da prevenção, planificação para degradação e Química intrinsecamente segura, respectivamente) não são atingidos, ou seja, marrons na visão da QV. Dessa maneira, compreende-se ser uma técnica que utiliza solventes e reagentes que apresentam riscos físicos, à saúde e ao ambiente, além de produzir resíduos nocivos em sua decomposição, o que resulta no princípio 10. Por se tratar de riscos, acidentes e uso de equipamentos, mesmo sendo inexistentes as fontes de calor, é considerado pela métrica EV como preocupante.

Pós-laboratório

- Recomenda-se no pós-laboratório ao aluno redigir um texto com os resultados do experimento acima e as devidas discussões, tendo como respaldo a pesquisa teórica realizada no pré- laboratório.

- Responda o quadro VII de resíduos proposto no capítulo anterior (capítulo 3) e faça a conclusão, apresentando os cálculos de R_f e mostrando como foi possível identificar os componentes da solução problema. Explique, também, os cuidados necessários na preparação da câmara e na aplicação da amostra e responda qual o solvente escolhido e o porquê. Explique como são possíveis a separação e a identificação de substâncias através dessa técnica.

Experimento XIII – Cromatografia em Coluna

Pré-laboratório

Para a compreensão dos fenômenos ocorridos neste experimento, o aluno deverá buscar previamente a compreensão dos conceitos e assuntos pertinentes à técnica. Por exemplo, pesquisar como é possível separar substâncias através da cromatografia em coluna; por que se faz a adição de uma mistura de solventes às folhas do vegetal; o porquê do processo de maceração; por que utilizar dois eluentes com polaridades diferentes; quais as substâncias obtidas em cada solvente; e, indo além com pesquisa sobre as estruturas do azul de metileno e do alaranjado de metila, prever qual deles eluirá melhor com éter e qual eluirá com etanol. Além disso, recomenda-se estudar o experimento e conferir os riscos de todos os reagentes na tabela FISPQ pela plataforma online EDUCA, disponível em <http://educa.fc.up.pt/>, avaliar a MV e a EV propostas ao final do protocolo experimental para aplicação das possibilidades de melhorias apresentadas no experimento e a construção da EV, conforme orientações no capítulo 2 deste livro, para fins comparativos com a proposta teórica apresentada no protocolo experimental.

Objetivos

Compreender a utilização da cromatografia em coluna como método de separação de substâncias orgânicas; avaliar as melhorias propostas no experimento e construir a EV.

Introdução

As colunas utilizadas em cromatografia podem ter de alguns centímetros a alguns metros, porém o tamanho da coluna interfere na eficiência da separação das substâncias.

Na extremidade inferior da coluna, há uma torneira que possibilita o escoamento do eluente e das substâncias separadas. A coluna cromatográfica é preenchida com uma massa porosa de grande superfície, como por exemplo sílica-gel ou alumina.

A cromatografia em coluna requer quantidades relativamente grandes de amostra. Há, porém, a vantagem de ser um método preparativo, ou seja, capaz de separar os componentes da amostra de tal modo que possam ser coletados individualmente.

A coluna cromatográfica é empacotada com uma suspensão da fase estacionária com o solvente de eluição, tomando o cuidado de vedar a saída da coluna com algodão ou lã de vidro (Figura VI). A amostra é adicionada pela extremidade superior e, em seguida, o solvente é adicionado continuamente, deixando a amostra percolar pela fase estacionária (adsorvente).

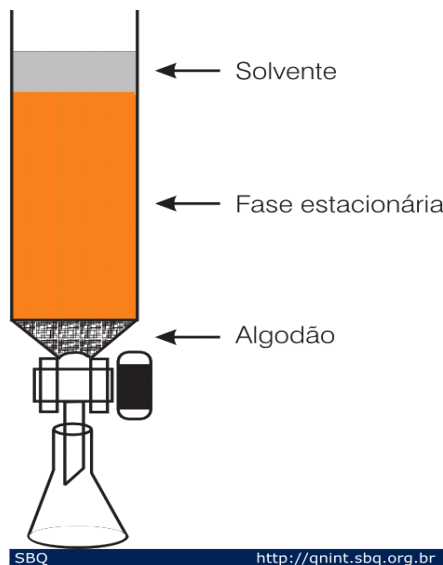
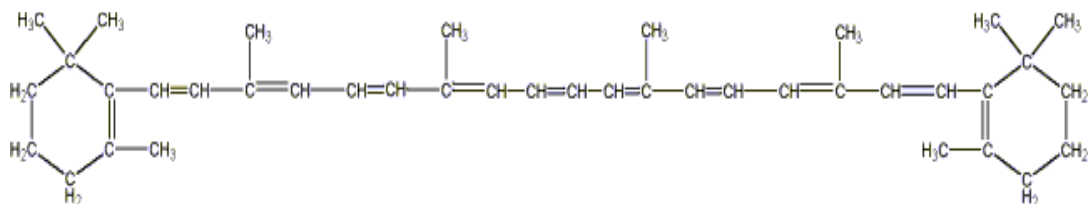


Figura VI – Coluna Cromatográfica

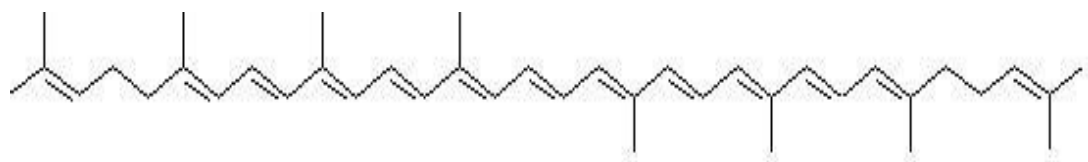
Assim, o componente que tiver maior afinidade com a fase móvel será eluído com mais rapidez, sendo coletado primeiro. Já aquele que tiver mais interação com a fase estacionária eluirá mais devagar e será coletado posteriormente.

Os vegetais produzem uma infinidade de substâncias diferentes, que podem ser classificadas como metabólitos primários e secundários. Os primários desempenham funções vitais nas plantas, enquanto os secundários desempenham outras diversas funções, como defesas contra predadores, atração para polinizadores, etc.

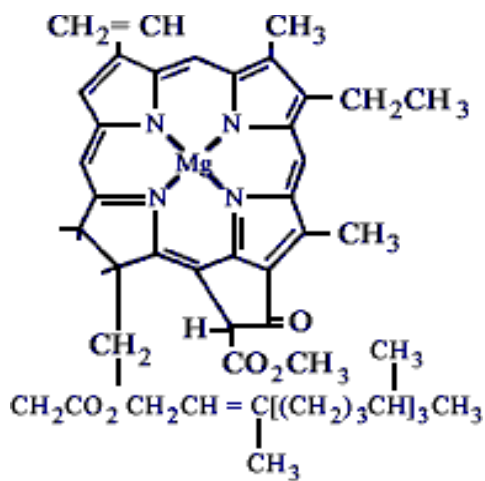
Entre os metabólitos secundários encontram-se os pigmentos das plantas, tais como o β -caroteno (pigmento amarelo-laranja), licopeno (vermelho) e a clorofila (pigmento verde), a qual tem a função de realizar a fotossíntese, mostrada abaixo. Esses pigmentos se apresentam como uma mistura em que predomina a coloração verde, derivada da clorofila. Contudo, com a técnica de cromatografia é possível separá-los.



β-Caroteno



Licopeno



Clorofila

Também a fase estacionária estabelecerá interações com as substâncias de modos diferentes. As fases estacionárias podem ser a sílica ou

a alumina e, dependendo do seu caráter polar, poderão interagir mais ou menos com as substâncias a serem separadas.

Materiais e reagentes

Os materiais e reagentes para o experimento de cromatografia em coluna estão relacionados no Quadro XXXVI.

QUADRO XXXVI – MATERIAIS E REAGENTES PARA O EXPERIMENTO DE CROMATOGRAFIA EM COLUNA

Bureta	Pistilo	Suporte universal com garra metálica
Almofariz	Algodão	Éter de petróleo
Béquero	Gel	Álcool etílico
Sílica	Acetona	Folhas de vegetais
Folhas de espinafre		

Procedimento Experimental

Preparação da amostra

Amasse cerca de 25 g de folhas de vegetais num almofariz, juntamente com 10 mL de uma mistura (80:20) de éter de petróleo e acetona. Para garantir uma boa extração, as folhas devem ser amassadas até que o solvente adquira uma coloração esverdeada.

Preparação da Coluna

Coloque algodão na parte inferior da bureta (utilizada como coluna cromatográfica). A coluna deve ser empacotada com sílica-gel e suspensa no solvente éter de petróleo, deixando-se a torneira semi aberta e batendo

continuamente ao longo da mesma para que o ar seja expulso, obtendo-se uma compactação uniforme. Cuide para que o topo da coluna não seque.

Separação das amostras

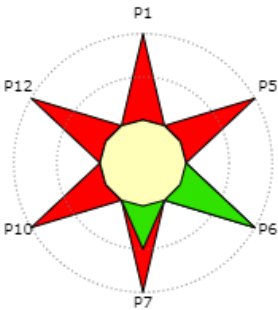
Após verificar que a coluna está uniforme, adicione cuidadosamente 4 mL do extrato bruto, obtido pela maceração do vegetal. Elua com éter de petróleo, adicionando-o com o auxílio de uma pipeta e escorrendo-o pela parede da coluna. Recolha cada substância em frascos diferentes.

Após a eluição dessas substâncias, inicie a adição de álcool etílico para a eluição das outras substâncias.

A MV e a EV, com possibilidades de otimização do experimento de cromatografia em coluna, são mostradas no Quadro XXXVII.

QUADRO XXVII – MV E EV PARA O EXPERIMENTO DE CROMATOGRAFIA EM COLUNA

Pontos Fortes	Pontos Fracos
C6; C7. Não há consumo de água como solvente ou como facilidade. C8. O consumo dos demais solventes é menor que 50 mL. C9. É realizado em temperatura e pressão ambientes. C14. Usa equipamentos com riscos baixos. C15. Utiliza materiais vulgares, com riscos moderados.	C1. Riscos físicos: acetona – líquido e vapores altamente inflamáveis (H225). Éter de petróleo – líquido inflamável (H225). C2. Riscos à saúde: acetona – provoca irritação ocular grave (H319); pode provocar sonolência ou vertigem (H336); pode provocar ressecamento da pele ou fissuras por exposição repetida (EUH066). Éter de petróleo - irritação da pele (H315) e perigo por aspiração (H304); toxicidade à reprodução (H361f); toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico – exposição única, sistema nervoso central (H336); toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico – exposição repetida, inalação, sistema nervoso central (H373). C3. Riscos ao ambiente: éter de petróleo – perigoso ao ambiente aquático – Crônico (H411).

	C4. Há geração de resíduos. C5. Há uso de solventes com riscos à saúde e ao ambiente. C10. Pelo menos uma substância não é renovável. C11. Pelo menos uma substância não é degradável a produtos inócuos. C12. Não usa substâncias que podem ser reutilizadas. C13. Há riscos de acidentes devido ao uso das substâncias envolvidas.
Possibilidades	Ameaças
- As possibilidades relacionadas a essa técnica são a substituição da fase estacionária (sílica gel) por açúcar comercial, como propõem FONSECA; GONÇALVES (2004). Essa substituição representa mais economia e facilidade de viabilização a essa prática.	- Não é possível realizar a prática sem o emprego de solventes orgânicos.
 IPE: 41.67%	

Fonte: Autoria Própria

Para a realização do experimento, as possibilidades relacionadas a essa técnica são a substituição da fase estacionária (sílica gel) por açúcar comercial, como propunham FONSECA; GONÇALVES (2004) na técnica de cromatografia em coluna, publicada na revista “Química nova na escola” n° 20, intitulada *Extração e separação de pigmentos do espinafre*, disponível em <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc20/v20a10.pdf>. Essa substituição representa mais economia e acessibilidade à fase em discussão. No entanto, como todo experimento possui possibilidades de melhoria, apontamos as ameaças que não podem ser evitadas, como a utilização e exposição de solventes orgânicos.

A métrica EV, construída após as análises de critérios pré-determinados pela métrica MV, apresentou os princípios P5 e P6 totalmente atingidos, o P7 parcialmente atingido e os princípios P1, P10 e P12 não atingidos, destacados em vermelho na Estrela.

O IPE (Índice de Preenchimento da Estrela Verde), disponibilizado pela plataforma online <http://educa.fc.up.pt/avaliacaoverdura/>, apontou IPE de 41,67%. A métrica EV possibilita uma análise visual dos princípios que, correlacionada com a métrica MV, permite compreender que os princípios P5 (uso de solventes e outras substâncias auxiliares) e P6 (eficiência energética) são atingidos pelo fato de não se fazer uso de solventes e outras substâncias auxiliares, ou por estes serem inócuos, seguido da realização do experimento em pressão e temperatura ambientais. O princípio P7 (uso de substâncias renováveis) é parcialmente atingido, o que é explicado no uso de, pelo menos, uma substância renovável (desconsiderando-se a água), no caso das folhas de espinafre e demais vegetais. Os princípios P1, P10 e P12 (prevenção, planificação para degradação e Química intrinsecamente segura, respectivamente) não são atingidos, ou seja, são marrons na visão da QV. Dessa maneira, compreende-se ser uma técnica que utiliza solventes e

reagentes que apresentam riscos físicos, à saúde e ao ambiente, além de produzir resíduos nocivos em sua decomposição, o que resulta no princípio 10 não cumprido. Por se tratar de riscos, acidentes e uso de equipamentos, mesmo com fontes de calor inexistentes, é considerada pela métrica EV como preocupante devido à exposição.

Pós-laboratório

- Redija um texto com os resultados do experimento acima e as devidas discussões, tendo como respaldo a pesquisa teórica realizada no pré-laboratório.
- Responda o quadro VII de resíduos proposto no capítulo anterior (capítulo 3) e faça a conclusão respondendo à seguinte questão: conhecendo a estrutura do azul de metileno e do alaranjado de metila, considere que uma mistura das duas substâncias foi eluída com etanol, usando colunas contendo suportes diferentes: alumina e sílica. Analise e preveja qual substância será separada primeiramente em cada coluna.

Experimento XIV – Extração da Cafeína

Pré-laboratório

Para a compreensão dos fenômenos ocorridos neste experimento, o aluno deverá buscar previamente a compreensão dos conceitos e assuntos pertinentes à técnica, como extração e purificação de chás, determinação de ponto de fusão, recristalização, entre outros. Além disso, recomenda-se estudar o experimento e conferir os riscos de todos os reagentes na tabela

FISPQ por meio da plataforma online EDUCA, disponível em <http://educa.fc.up.pt/>, avaliar a MV e a EV propostas ao final do protocolo experimental para aplicação das possibilidades de melhorias apresentadas no experimento e a construção da EV, conforme orientações no capítulo 2 deste livro, para fins comparativos com a proposta teórica apresentada no protocolo experimental.

Objetivos

O objetivo dessa prática é extrair a cafeína do chá preto Mate Leão e determinar o seu ponto de fusão; avaliar as melhorias propostas no experimento e construir a EV.

Introdução

A cafeína foi isolada do café por Runge, em 1820, e do chá preto por Oudry, em 1827. Ela é encontrada ainda no guaraná, erva-mate e outros vegetais, e é responsável pelo efeito estimulante de bebidas, como chá e café, e de refrigerantes, como Coca-Cola e Pepsi-Cola. É também um dos princípios ativos de bebidas ditas “energéticas” (Red Bull, Power Flash, etc.). A cafeína [(1,3,7-trimetil-1H-purino-2,6(3H,7H) – diona1,3,7-trimetilxantina, 1) P.F. = 236 °C] pertence à família dos alcaloides xantínicos.

Alcaloides são substâncias orgânicas nitrogenadas de caráter básico, geralmente de origem vegetal, que provocam efeitos fisiológicos característicos nos organismos humanos. Contudo, nem todas as substâncias classificadas como alcaloides obedecem rigorosamente a todos os itens dessa definição. Por exemplo, o alcaloide da pimenta (piperina) não é básico, mas tem acentuada ação fisiológica. Do ponto de vista químico, os alcaloides não constituem um grupo homogêneo de substâncias. Quase todos, porém, apresentam estrutura química derivada de um composto heterocíclico. Uma

classificação química de alcaloides baseia-se na estrutura desse heterocíclico: alcaloides da piridina (nicotina), da xantina (cafeína), da quinolina, do pirrol, do indol, da piperidina, etc.

Certas famílias vegetais são particularmente ricas em alcaloides, como as rubiáceas (café) e as solanáceas (fumo). A cafeína provoca um efeito pronunciado no sistema nervoso central (SNC), mas nem todos os derivados xantínicos são efetivos como estimulantes do SNC. A teobromina, uma xantina encontrada no cacau, possui pouco efeito no SNC, mas é um forte diurético e é utilizada em medicamentos para tratar pacientes com problemas de retenção de água. A teofilina (3), encontrada no chá juntamente com a cafeína, também tem pouca ação no SNC, mas é um forte estimulante do miocárdio, relaxando a artéria coronária que fornece sangue ao coração. A teofilina, também chamada de aminofilina, é frequentemente usada no tratamento de pacientes que tiveram parada cardíaca. É também um diurético mais potente que a teobromina. Sendo um vasodilatador, é geralmente empregada no tratamento de dores de cabeça causadas por hipertensão e asma.

A cafeína é relativamente tóxica ($LD_{50} = 75 \text{ mg/Kg}$), mas para se obter uma dose letal de cafeína, o indivíduo deveria ingerir cerca de uma centena de xícaras de café em um curto período de tempo. No Quadro XXXVIII, são apresentadas as quantidades médias de cafeína encontradas em algumas bebidas e alimentos.

Devido aos efeitos provocados pela cafeína no SNC, algumas pessoas preferem usar café descafeinado. A descafeinação reduz o conteúdo de cafeína do café para aproximadamente 0,03 – 1,2%.

O Quadro XXXVIII traz a porcentagem em massa de cafeína presente em bebidas e alimentos.

QUADRO XXXVIII – PORCENTAGEM EM MASSA DE CAFEÍNA PRESENTE EM BEBIDAS E ALIMENTOS

Bebida/alimento	% em massa de cafeína
Café (moído)	0,06 – 0,10
Café (instantâneo)	0,03 – 0,07
Café (expresso)	0,17 – 0,25
Café (descafeinado)	0,001 – 0,004
Chá	0,02 – 0,07
Chocolate	0,005
Coca-Cola	0,015

Metodologia

Alcaloides são aminas e, portanto, formam sais solúveis em água, quando tratados com ácidos. A cafeína encontrada nas plantas apresenta-se na forma livre ou combinada com taninos fracamente ácidos. Ela é solúvel em água, então pode ser extraída de grãos de café ou das folhas de chá com água quente. Junto com a cafeína, outros inúmeros compostos orgânicos são extraídos e a mistura desses compostos é o que confere aroma característico ao chá e ao café. Entretanto, a presença dessa mistura de compostos interfere na etapa de extração da cafeína com um solvente orgânico, provocando a formação de uma emulsão difícil de ser tratada. Para minimizar esse problema, utiliza-se uma solução aquosa de carbonato de cálcio. O meio básico promove a hidrólise do sal de cafeína-tanino, aumentando assim o rendimento de cafeína extraída.

Materiais e reagentes

A seguir, a lista de materiais e reagentes para a extração da cafeína (Quadro XXXIX).

QUADRO XXXIX – MATERIAIS E REAGENTES PARA A EXTRAÇÃO DA CAFEÍNA

Chá preto mate leão	Sulfato de sódio anidro (Na_2SO_4)	Funil de Buchner	Banho de gelo triturado
Carbonato de cálcio anidro (CaCO_3)	Frasco Erlenmeyer	Kitasato	Bastão de vidro
Diclorometano (CH_2Cl_2)	Proveta de 250 mL	Papel de filtro	Suporte universal e garra
Tolueno	Proveta de 25 mL	Funil de separação de 250 mL	Béquer de 250 mL
Éter de petróleo	Vidro de relógio	Placa aquecedora	

Procedimento experimental

1º. Pese 6 sachês de chá preto em um vidro de relógio, 105 mL de água destilada em uma proveta de 250 mL e 4,2 g de carbonato de cálcio anidro em um vidro de relógio.

2º. Transfira todos os reagentes para um erlenmeyer de 250 mL.

3º. Ferva a mistura, com agitação ocasional, utilizando um bastão de vidro por 20 minutos em uma placa de aquecimento.

4º. Filtre a mistura quente em um funil de Buchner e esfrie o filtrado em banho de gelo a 10-15°C por 10 minutos.

5º. Transfira o filtrado para um funil de separação e extraia a cafeína com 4 porções de 10 mL de diclorometano, uma de cada vez, recuperando a fase orgânica (extração múltipla com agitação suave para evitar a formação de emulsão).

6º. Seque a fase orgânica com sulfato de sódio anidro (uma ponta de espátula) e filtre por gravidade para um bquer de 250 mL.

7º. Evapore o extrato com o restante do solvente em banho de vapor até a secura.

8º. Pese o resíduo esverdeado de cafeína bruta e calcule a percentagem de alcaloide no chá.

9º. O resíduo pode ser recristalizado, dissolvendo-o em 2-3 mL de tolueno a quente e adicionando algumas gotas de éter de petróleo (P.E. 60-80°C) até formar o precipitado. **Opcionalmente, a recristalização pode ser realizada utilizando-se acetona.** Determine o ponto de fusão do cristal e compare-o com o descrito na literatura.

Elaboramos um questionário adicional, que pode ser empregado como lista de exercícios.

Questionário:

1. O que se entende por recristalização?
2. Descreva todas as etapas de uma recristalização.
3. A recristalização é uma operação física ou química? Por quê?
4. Cite algumas características que um solvente deve apresentar para que seja empregado na recristalização.
5. Por que é mais indicado que a solução seja esfriada espontaneamente depois de aquecida?
6. Cite os métodos usados para acelerar a cristalização de uma determinada substância.
7. Como é possível determinar o grau de pureza de uma substância cristalina?
8. Procure, no seu ambiente, situações em que processos de purificação são utilizados. Descreva esses processos.
9. Apresente a estrutura da cafeína e indique as funções orgânicas.

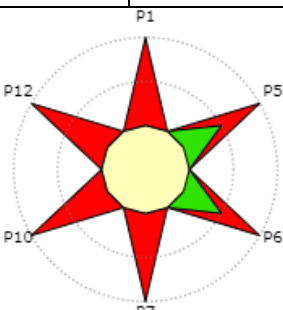
10. O que é um alcaloide?

11. Quais as estruturas dos heterocíclicos piridina, piperidina, pirrol, quinolina, indol e xantina?

A MV e a EV para o experimento da extração da cafeína, propostas pelo colegiado de Química do IFPR (Palmas), são mostradas no Quadro XL.

QUADRO XL – MV E EV PARA O EXPERIMENTO DA EXTRAÇÃO DA CAFEÍNA PROPOSTO PELO COLEGIADO DE QUÍMICA DO IFPR (PALMAS)

Pontos Fortes	Pontos Fracos
C1. O diclorometano não apresenta riscos físicos.	C2. Risco à saúde: diclorometano – toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico – exposição única, sistema nervoso central (H336); carcinogenicidade (H351); irritação da pele (H315) e irritação ocular (H319).
C7. Utiliza-se água como facilidade (banho de gelo), em volume menor que 200 mL.	C3. A utilização do diclorometano (organoclorado) apresenta riscos ao ambiente.
C8. Consumo de solvente (diclorometano) menor que 50 mL.	C4. Há geração de resíduos.
C12. O diclorometano pode ser recuperado na fase orgânica.	C5. Faz-se o uso de solventes e auxiliares (diclorometano e sulfato de sódio anidro).
C14. Utiliza equipamentos com riscos baixos ou moderados (placa de aquecimento, rotaevaporador).	C6. Utiliza-se 105 mL de água destilada na extração (Consumo > 50 mL).
C15. Utiliza placa de aquecimento para extração aquosa da cafeína e vidrarias comuns de laboratório, sem riscos consideráveis.	C9. Realiza-se em temperatura e pressão diferentes das do ambiente.
	C10. As substâncias diclorometano e sulfato de sódio anidro não são renováveis.

	C11. Os reagentes utilizados não são degradáveis a substâncias inócuas em sua decomposição. C13. Há riscos devido ao uso do reagente diclorometano.
Possibilidades	Ameaças
O experimento apresenta a possibilidade de recuperação do diclorometano por destilação, podendo ser reutilizado em outros experimentos.	É inevitável o uso de aquecimento e de reagentes químicos para a extração.
 IPE: 16.67 %	

Fonte: Autoria Própria

Para a realização do experimento, a possibilidade relacionada a essa técnica é a recuperação do diclorometano por destilação, podendo ser reutilizado em outros experimentos. As ameaças concentram-se no uso de aquecimento e reagentes químicos para a extração.

A métrica EV, construída após as análises de critérios pré-determinados pela métrica MV, apresentou os princípios P5 e P6 parcialmente atingidos e os princípios P1, P7, P10 e P12 não atingidos, portanto, considerados marrons (vermelhos na Estrela).

O IPE (Índice de Preenchimento da Estrela Verde), disponibilizado pela plataforma online <http://educa.fc.up.pt/avaliacaoverdura/>, apontou IPE de

16,67%. A métrica EV possibilita uma análise visual dos princípios, correlacionada com a métrica MV. Nesse caso, o princípio P1 (que trata da prevenção) não foi atingido, pois utiliza reagentes com riscos físicos, à saúde e ao ambiente e, além disso, há geração de resíduos. Os princípios P5 (solventes e outras substâncias e auxiliares) e P6 (eficiência energética – extração realizada sob aquecimento) foram parcialmente atingidos. O princípio P7 (usos de substâncias renováveis) foi parcialmente atingido, pois a técnica de extração envolve o uso de diclorometano, que não é renovável. Os princípios P5, P10 e P12 (uso de solventes e outras substâncias auxiliares, planificação para degradação e Química intrinsecamente segura, respectivamente) não são atingidos, ou seja, são marrons sob os aspectos da QV.

Matriz de Cristalização

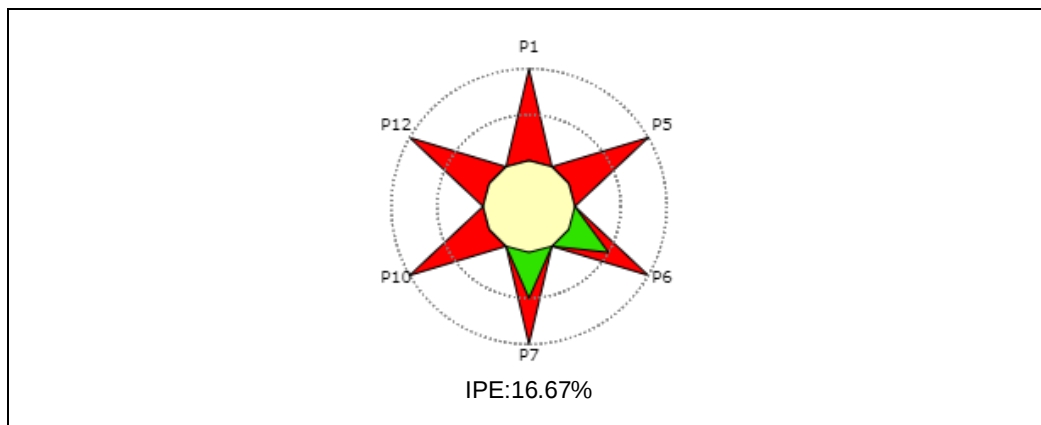
Dissolver o extrato da cafeína em 2 a 3 mL de tolueno a quente e adicionar algumas gotas de éter de petróleo (p. e. 60-80°C) até formar o precipitado. Opcionalmente, a recristalização pode ser realizada utilizando-se acetona. Determine o ponto de fusão do cristal e compare-o com o descrito na literatura.

No Quadro XLI, apresenta-se a MV e a EV para a etapa de recristalização da cafeína.

QUADRO XLI – MV E EV PARA A ETAPA DE RECRISTALIZAÇÃO DA CAFEÍNA

Pontos fortes	Pontos fracos
C6. Não utiliza água como solvente ou reagente.	C1. Risco físico: éter de petróleo – líquido inflamável (H225). Tolueno – líquido inflamável (H225).
C7. Uso de água como facilidade para	C2. Risco à saúde: éter de petróleo – toxicidade à

banho de vapor ($V \leq 200$ mL). C8. O volume de solventes empregados é pequeno. C14. Utiliza equipamentos com riscos baixos ou moderados (placa de aquecimento). C15. Não há riscos devido ao uso de materiais comuns.	reprodução (H361f); toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico – exposição única, sistema nervoso central (H336); toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico – exposição repetida, sistema nervoso central (H373). Tolueno – toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico – exposição repetida, sistema nervoso central (H373); toxicidade à reprodução (H361d); toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico – exposição única, sistema nervoso central (H336). C3. Risco ao ambiente: éter de petróleo – perigoso ao ambiente aquático – Crônico (H411). Tolueno – riscos ambientais. C4. Há geração de resíduos. C5. Faz-se uso dos solventes éter de petróleo e tolueno. C9. Realiza-se em temperatura e pressão diferentes das do ambiente. C10. As substâncias (éter e tolueno) não são renováveis. C11. Esse experimento não indica a utilização ou reciclagem das substâncias para outras atividades. C12. O éter de petróleo e o tolueno não são degradáveis e geram substâncias nocivas em sua decomposição. C13. O éter de petróleo e o tolueno são inflamáveis e tóxicos.
Possibilidades	Ameaças
As possibilidades relacionadas a essa prática estão no uso da acetona na fase de purificação, ao invés de tolueno e éter de petróleo. Os riscos relacionados ao uso da acetona são muito menores que os riscos relacionados ao uso do tolueno (acetona – H225: inflamável).	A ameaça é a impossibilidade de utilizar solventes ainda mais verdes do que a acetona.



Fonte: Autoria Própria

Para a realização da técnica de recristalização, as possibilidades para sua melhoria estão relacionadas à opção pelo uso da acetona na fase de purificação ao invés de tolueno e éter de petróleo. Os riscos relacionados ao uso da acetona – **H225** (inflamável) – são muito menores que os riscos relacionados ao uso do tolueno – **H225** (inflamável), **H373** (toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico – exposição repetida, Sistema nervoso central), **H361** (toxicidade à reprodução) e **H336** (toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico – exposição única, sistema nervoso central). A ameaça é, basicamente, a impossibilidade de utilizar solventes ainda mais verdes que a acetona.

A métrica EV, construída após as análises de critérios pré-determinados pela métrica MV, apresentou os princípios P6 e P7 parcialmente atingidos e os princípios P1, P5, P10 e P12 não atingidos (em vermelho na Estrela).

O IPE (Índice de Preenchimento da Estrela Verde), disponibilizado pela plataforma online <http://educa.fc.up.pt/avaliacaoverdura/>, apontou IPE de 16,67%. A métrica EV possibilita uma análise visual dos princípios, correlacionada com a métrica MV. Nesse caso, os princípios P6 (eficiência energética) e P7 (usos de substâncias renováveis) são parcialmente atingidos, pois a técnica de recristalização é realizada em temperatura entre 0° e 100°C,

não muito além da ambiental (critério parcial de verdura), e utiliza, pelo menos, uma substância renovável entre as demais não renováveis, como o chá mate leão. Os princípios P1 (prevenção), P5 (uso de solventes e outras substâncias renováveis), P10 (planificação para degradação) e P12 (Química intrinsecamente segura) não são atingidos devido ao uso do tolueno e do éter de petróleo como reagentes iniciais (P1) e do éter de petróleo como auxiliar (P5), ambos apresentando riscos físicos (**H225**), à saúde (**H361**, **H336**, **H373**) e, no caso do éter de petróleo, risco ambiental (**H411**), interferindo na verdura química de ambos os princípios da QV. Os princípios P10 e P12, que correspondem à planificação para degradação e à Química intrinsecamente segura, não são atingidos na métrica EV, pois o éter de petróleo e o tolueno não são degradáveis e geram substâncias nocivas em sua decomposição, além de serem inflamáveis e tóxicos; e, ainda, utiliza-se placa aquecedora para aquecimento das substâncias inflamáveis, atenuando os riscos de acidentes.

Pós-laboratório

- Responda o quadro VII de resíduos proposto no capítulo anterior (capítulo 3) e faça a conclusão.

Referências consultadas na proposição das atividades experimentais

BORGES, C.P.F.; MARQUES, J.A. Roteiros de Aulas Práticas - **Química Orgânica Experimental**. Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa, 1998.

COLLINS, Carol H.; BRAGA, Gilberto L.; BONATO, Pierina S. **Fundamentos de Cromatografia**. Campinas: UNICAMP, 2006.

MORRISON, Robert T.; BOYD, Robert N. **Química Orgânica**. 14^a Ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1996.

MORTINER, E.F.; MACHADO, A.H. **Química. Volume Único.** Ensino Médio. São Paulo: Scipione, 2007.

PAVIA, Donald L. et al. **Química Orgânica Experimental:** técnicas de pequena escala. 2ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

REIS, F.A.M.; KOIKE, L.; SCHIAVON, M.A. **Apostila De Química Orgânica – Engenharia Química.** Instituto de Química. São Paulo: Universidade Estadual de Campinas, 2001.

SOARES, B.G; SOUZA, N.A; PIRES, D.X. **Química Orgânica:** teoria e técnicas de preparação, purificação e identificação de compostos orgânicos. Rio de Janeiro: Guanabara S.A., 1998.

VOGEL, A.I. **Química Orgânica - Análise Orgânica Qualitativa.** V. 1. 3ª ed. Rio de Janeiro: Ao livro Técnico, 1971.

CAPÍTULO 5

Considerações Finais

Os princípios da QV permitem avaliar que ela pode ser abordada e problematizada perpassando as disciplinas curriculares em diferentes conteúdos da formação específica do Químico, dentre os quais exemplificam-se os seguintes:

- Síntese orgânica – permite explorar os diferentes tipos de reações, seus mecanismos, formação de subprodutos e o rendimento reacional em confronto com a eficiência atômica;
- Técnicas e sínteses laboratoriais – permitem explorar os princípios de redução através do emprego de experimentos em microescala; prevenção de geração de resíduos; escolha e emprego de substâncias de menor toxicidade e oriundas de fontes renováveis; aplicação das métricas da QV (MACHADO, 2014); discussão da importância da Química intrinsecamente segura;
- Físico-química – permite avaliar as questões termodinâmicas das reações e suas preferências por determinados caminhos reacionais; estudar os processos de catálise homogênea, heterogênea e biocatálise e uso de fluidos supercríticos, que tornam os processos mais verdes. Torna-se possível ainda relacionar as leis termodinâmicas – especificamente a 2ª lei,

considerada a lei-limite da natureza –, permitindo problematizar o mito do crescimento infinito e situar as transformações químicas nesse contexto;

- Técnicas instrumentais – permitem explorar as potencialidades do uso das micro-ondas e ultrassom para a realização de processos reacionais com maior eficiência atômica e energética.

No que concerne especificamente à análise da Verdura Química dos experimentos de Química Orgânica – vistos no Capítulo 4 –, foi possível explorar os princípios de redução através do emprego de experimentos em microescala, prevenção de geração de resíduos, escolha e emprego de substâncias de menor toxicidade e oriundas de fontes renováveis e aplicação das métricas da QV, bem como a promoção da reflexão e discussão da importância da Química intrinsecamente segura nos bancos das Licenciaturas, contribuindo, assim, para a formação de cidadãos e profissionais preocupados com o meio ambiente que os cerca.

Consideramos importante reafirmar que a relação da ciência Química com o ambiente é muito bem ilustrada por Machado (2004), ao apresentar um panorama das diferentes relações estabelecidas entre a Química e o ambiente no decorrer do século XX. Para Machado (2004), a relação da Química com a dimensão ambiental inicia-se no campo da Geoquímica, entendida como a Química do ambiente, que se ocupou em estudar a existência natural das substâncias químicas no ambiente, seus processos de formação, comportamento, mobilidades, reações, etc.

Posteriormente, com a inserção de substâncias químicas não naturais ao ambiente – oriundas das mais diversas atividades químicas –, surge a Química no ambiente, que pode ser compreendida como a Química Ambiental, por meio da qual avalia-se como as substâncias lançadas no ambiente pela

atividade humana, em especial a decorrente da Química Industrial, se comportam e o modo como se transformam nele (MACHADO, 2004).

Finalmente, Machado trata da QV como sendo a Química para o ambiente, visto que essa corrente se preocupa com a

[...] proteção do ambiente por parte de quem pratica a química – procura que esta seja realizada de modo a conservar o ambiente, por exemplo, com limitação ou, preferivelmente, impedimento da dispersão de poluentes e contaminantes tóxicos por parte da Química Industrial e atividades a jusante (MACHADO, 2004, p. 59).

Assim, conforme esse autor, é possível considerar que a relação de cuidado e responsabilidade da Química com a dimensão ambiental se estreitou por meio da QV, a partir do momento em que esta corresponde a uma nova postura em relação aos problemas ambientais, compreendidos em sua dimensão biológica e social.

No ensino, essa correlação é requerida por Vilches e Perez (2010) ao considerarem que a maioria dos conteúdos químicos permite tratar de questões socioambientais. Segundo esses autores, o ensino de Química pode favorecer uma visão global da situação do mundo e das emergências planetárias quando seu ensino ocorre de forma funcional, permitindo reflexões sobre as intrincadas redes de fatores que convergem para a problemática socioambiental instalada.

Os autores defendem, porém, que essas questões não sejam abordadas pontualmente, mas sim de maneira funcional, seja na educação básica ou superior, e alertam para que a abordagem parta de temas que congreguem os conteúdos e que permitam avaliar cuidadosamente as questões tocantes à Química e ao ambiente natural, social e artificial, de modo que não sejam levados em conta exclusivamente os problemas provocados

pelas atividades químicas, mas também as suas contribuições para a proposição de alternativas de enfrentamento.

É com vistas ao enfrentamento da insustentabilidade dos procedimentos vigentes na prática didática da experimentação que a presente obra trouxe o viés da análise da Verdura Química de protocolos de Química Orgânica, buscando contribuir para a aquisição de conhecimentos que fomentem práticas químicas mais alinhadas com a ética e a responsabilidade para com as questões do ambiente e do bem-estar comum.

Esperamos que esse texto possa motivar professores e estudantes de cursos de licenciatura em Química para o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis que as tradicionais, chegando a resultados mais eficientes e benignos ao ambiente, conforme as possibilidades de melhorias apresentadas nos experimentos de Química Orgânica durante o capítulo 4.

Entendemos que a QV pode proporcionar a abordagem de questões ambientais na esfera educativa, ajudando a desenvolver atitudes e comportamentos mais responsáveis para o exercício da cidadania no contexto de sociedade em que nos encontramos, e assim favorecer a Educação Ambiental e a Educação para a sustentabilidade – chamada também de Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS) –, tanto na Educação Básica quanto no Ensino Superior.

Diante do exposto, compreendemos que a inserção da QV na formação profissional, especialmente quando tratada sob a dimensão crítica, colabora para a ambientalização do currículo, à medida que traz para a cena uma nova perspectiva de relação entre a Química – e os químicos – e o ambiente, em sua dimensão natural/ecológica e humana/social.

Destacamos, nessa conjuntura, a formação de professores e nos apoiamos em Marques *et al*, (2007) para defender que a inserção do enfoque CTSA e da QV nos cursos de formação inicial de professores de Química pode

contribuir positivamente na formação desses professores e ajudar a promover transformações no ensino dessa ciência no âmbito da Educação Básica.

Acreditamos que esses professores poderão contribuir para que essa perspectiva de atuação química chegue à base da educação e contribua, assim, para os processos de Alfabetização Científica e formação para a cidadania. Nesse sentido, compreendemos que os professores de Química precisam de suporte teórico-metodológico, pois, conforme ANASTAS e KIRCHHOFF (2002, p. 689), “Educadores precisam de ferramentas apropriadas, treinamento e materiais para integrar efetivamente a Química Verde em seu ensino e na pesquisa”.

Com esse intento, é necessário que os educadores assumam e impulsionem um compromisso por uma educação para a sustentabilidade. Para tanto, a inserção da QV na formação de professores deve estar aliada a vieses educacionais críticos, tais como o enfoque CTSA, a Educação Ambiental e a Alfabetização científica, a fim de que se possa promover uma nova racionalidade, sob a qual:

- i) o homem é compreendido como parte integrante da natureza e não superior ou detentor desta;
- ii) compreende a dimensão individual e social do homem e que, portanto, avalia as relações sociedade/natureza sob um foco não individualista;
- iii) reconhece as intrincadas relações entre a Química, suas tecnologias e a sociedade, com suas dimensões econômica, política, histórica, cultural e ambiental, numa dinâmica de causa e efeito que não mais reside na lógica linear pois, segundo Pellanda (2009), estamos numa lógica circular, em que nossas

ações têm efeitos que rebatem na causa, que por sua vez dispara outros efeitos.;

- iv) preocupa-se e compromete-se em exercer o seu conhecimento químico em prol de melhores práticas sociais e ambientais.

Defendemos ainda que a inserção dos princípios da QV na formação de professores deve ir além das disciplinas específicas e compor também aquelas destinadas à formação didático-pedagógica dos futuros professores, reiteradamente as disciplinas de prática como componente curricular (PPC), que devem se ocupar da didática específica da ciência em questão, visto que esses princípios poderão ajudar a compor também o conhecimento pedagógico do conteúdo.

REFERÊNCIAS

AMARAL, T.S. *et al.* Relato de uma experiência: Recuperação e cadastramento de resíduos dos laboratórios de graduação do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul: **Química Nova**, 2000.

ANASTAS, P.T.; WARNER, J.C. **Green Chemistry: theory and practice**. New York: Oxford University Press, 1998.

ANASTAS, P.T. KIRCHHOFF, M.M. Origins, Current Status, and Future Challenges of Green Chemistry. **Acc. Chem. Res.** Vol.35, n.9, p. 686-694, jun./2002.

ANDRADE, *et al.* A formação do químico. **Química Nova**, v. 27, n. 2, p. 358-362, 2004.

ARAGÃO, N. M.; *et al.* Validação de métodos cromatográficos de análise – um experimento de fácil aplicação utilizando cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) e os princípios da “Química Verde” na determinação de metilxantinas em bebidas. **Quim. Nova**, v. 32, n. 9, p.2476-2481, nov, 2009.

BRASIL. Lei Nº 9.795, de 27 de Abril de 1999. **Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências**. Brasília, DF, abr, 1999.

BRASIL. Lei Nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências**. Brasília, DF, ago, 2010.

CALEGARE, M.G.A.; SILVA JÚNIOR, N. Progresso, Desenvolvimento Sustentável e abordagens diversas de desenvolvimento: uma sucinta revisão da literatura. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**. N.24, p. 39-56, 2011.

CGEE. **Química Verde no Brasil: 2010-2030**. Brasília – DF: Centro de Gestão e Estudos estratégicos, 2010.

CORREA, A. G.; ZUIN, V. G. Introdução à Química Verde. In: CORREA, A.G.; ZUIN, V.G. (Org.). **Química Verde: Fundamentos e Aplicações**. 1ª ed. São Carlos: EDUFSCar, v. 1, p. 9-22, 2009 (52º Prêmio Jabuti Bronze).

COSTA, D. A; RIBEIRO, M. G. T. C; MACHADO, A. A. S. C. Uma revisão da bibliografia sobre o Ensino da Química Verde. **Boletim da Sociedade Portuguesa de Química**, v. 109, 47-51, 2008.

COSTA, D.A.; RIBEIRO, M.G.T.C.; MACHADO, A.A.S.C. Uma análise SWOT do contexto CTSS das atividades laboratoriais de ensino secundário. **Informativo de Química 124** – jan/mar, p. 65-74, 2012.

CUNHA, J, C. O programa de gerenciamento dos resíduos laboratoriais do departamento de Química da UFPR. Curitiba: **Quím. Nova**, v.24, n.3, p. 424-427, 2001.

DREWS, F. **Abordagens de temáticas ambientais no ensino de Química: um olhar sobre textos destinados ao professor da escola básica**. Dissertação de Mestrado. Mestrado acadêmico em Educação Científica e Tecnológica. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC: Florianópolis, 2011.

FARIAS, L.; FÁVARO, D.I.T. Vinte anos de Química Verde: conquistas e desafios. **Quím. Nova**, v. 34, n. 6, p.1089-1093, 2011.

FONSECA, S. F.; GONÇALVES, C. C. L. Extração de pigmentos do espinafre e separação em coluna de açúcar comercial. **Quím. Nova na Escola**, n.20, nov, 2004.

GAIE, J.B.R. As bases morais da Química Verde. **Green Chemistry in Africa, INCA (IT)**. Series nº 5, 2002.

GONÇALVES, S. M. *et al.* Gerenciamento de resíduos sólidos na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Francisco Beltrão. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n.15, mar./ 2010.

HRYSYK, A. S. **Inserção da Química Verde em atividades experimentais de graduação**. Mestrado acadêmico em Química aplicada. Universidade Estadual do Centro-oeste, Guarapuava, jun, 2012.

IFPR. **Material Didático de Química Orgânica**. Não Publicado, 2014.

JARDIM, F. W. Gerenciamento de Resíduos Químicos em Laboratórios de ensino e pesquisa. **Quím. Nova**, v.21, n.5, p. 671-678, 1998.

JESUS, M, M.; SANTOS C, S. Resíduos e Rejeitos. Salvador: **Renorbio**, 2009.

LEAL, A. L.; MARQUES, C. A. O conhecimento químico e a questão ambiental na formação docente. **QNEsc.**, n. 29, p. 30-33, ago. 2008.

LENARDÃO, E.J. *et al.* “Green Chemistry” – Os 12 princípios da Química Verde e sua inserção nas Atividades de Ensino e Pesquisa. **Quím. Nova**, v.26, n.1, p.123- 129, jun., 2003.

LIBERAL, C. *et al.* **Política Nacional de Resíduos Sólidos** – Desafios e oportunidades para as empresas. São Paulo, p.11, 2012. Disponível em: https://www3.ethos.org.br/wp-content/uploads/2012/08/Publicação-Residuos-Solidos_Desafios-e-Oportunidades_Web_30Ago12.pdf Acesso: jan. 2018.

LOPES, L. Gestão e Gerenciamento integrados dos resíduos sólidos urbanos – Alternativas para pequenos municípios. Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Geografia Humana da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. USP: São Paulo, 2006.

MACHADO, A.A.S.C. Química e Desenvolvimento sustentável – QV, QUIVES, QUISUS. **Boletim da Sociedade Química Portuguesa**, n. 95, p. 59-67, 2004.

MACHADO, A. A. S. C. Da gênese ao ensino da Química Verde. **Quim. Nova**, v.34, n. 3, 535-543, 2011.

MACHADO, A. A. S.C. **Introdução às Métricas da Química Verde**: uma visão sistêmica. Florianópolis: UFSC, 2014.

MACHADO, A. A. S.C. Dos primeiros aos segundos doze princípios da Química Verde. **Quím. Nova**, v.35, n.6, São Paulo, 2012.

MARINHO, C. C.; BOZELLI, R. L. & ESTEVES, F. A. Gerenciamento de resíduos químicos em um laboratório de ensino e pesquisa: a experiência do laboratório de limnologia da UFRJ. **Eclética Química**, v.36, n.2, 2011.

MARQUES C.A. *et al.* Visões de Meio ambiente e suas implicações pedagógicas no ensino de Química na escola média. **Quim. Nova**. V. 30, n.8, p. 2043-2052, 2007.

MARQUES, C.A. *et al.*, Sustentabilidade Ambiental: um estudo com pesquisadores químicos no Brasil. **Quim. Nova**, v. 36, no. 6, 914-920, 2013.

PINTO, A.C. *et al.* Recursos Humanos para Novos Cenários. **Quím. Nova**. V.32, n.3, p.567-570, abr, 2009.

PITANGA, A. F. Crise da modernidade, educação ambiental, educação para o desenvolvimento sustentável e educação em Química Verde: (re)pensando paradigmas. **Revista Ensaio**, v.18, n.3, p.141-159, set-dez, 2016.

PRADO, A.G.S. Química verde, os desafios da química do novo milênio. **Quim. Nova**, v. 26, n. 5, p.738-744, 2003.

RIBEIRO, G. T. C; MACHADO. A. S. C. **Cálculo de métricas da avaliação de Verdura de Reações Químicas**. Plataforma online: <http://educa.fc.up.pt/avaliacaoverdura/>. Dez, 2008.

RIBEIRO, M. G. T. C.; MACHADO, A. A. S. C. Novas Métricas Holísticas para Avaliação da Verdura de Reações de Síntese em Laboratório. **Quím. Nova**, n.35, p.1879-1883, 2012.

ROLLOF, F. B. **Questões ambientais em cursos de licenciatura em Química: as vozes do currículo e professores**. Mestrado acadêmico em Educação Científica e Tecnológica. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, mar, 2011.

SANDRI, M C M. **Contribuição da inserção do Enfoque CTSA e da Química Verde na formação de licenciandos em Química**. Tese de doutorado. Doutorado em Educação para a Ciência e a Matemática. Maringá – UEM. p.356, 2016.

SANEBAVI. **Resíduos Sólidos**. Vinhedo – SP. Disponível em: http://www.sanebavi.com.br/templates/PMSB/Capitulo_05_Resduos_Slidos.pdf. Acesso em 18 jan. 2018.

VILCHES, A.; GIL, D.; CAÑAL, P. Educación para la sostenibilidad y educación ambiental. **Investigación en la Escuela**, v. 71, p. 5-15, 2010.

VILCHES, A; GIL PÉREZ, D. Papel de la Química y su enseñanza en la construcción de un futuro sostenible. **Educación Química**, p. 2-15, 2011.

VITTA, B, P. Gerenciamento De Resíduos Químicos Gerados Em Laboratórios De Ensino E Pesquisa: Procedimentos Gerais. 2014. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/met/images/arquivos/17MET/minicursos/mini curso%20patricia%20texto.pdf>.

WUNSCH FILHO, V; NEVES, H & MONCAU, J. E. Amianto no Brasil: conflitos científicos e econômicos. **Revista da Associação Médica Brasileira**. V.47, n.3. São Paulo. Jul/Set, 2001.

ZUIN, V. **A inserção da dimensão ambiental na formação de professores de Química**. Campinas: Átomo, 2011.

ZUIN, V.G. *et al.*, Desenvolvimento Sustentável, Química Verde e Educação Ambiental: o que revelam as publicações da SBQ. **Revista Brasileira de Ensino de Química**, V. 10, n.1, p. 79-90; Jan./Jun. 2015.

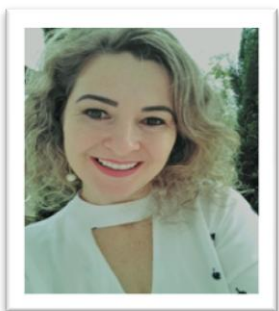
SOBRE AS AUTORAS



Marilei Casturina Mendes Sandri

Doutora em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática, mestre em Química Aplicada, licenciada em Química e professora do colegiado de Química do Instituto Federal do Paraná (IFPR), campus Palmas. Coordenadora do grupo de Pesquisa e Estudo sobre a Química Verde, denominado Grupo de Estudo e Pesquisa em Educação e Química Verde (GEPEQV).

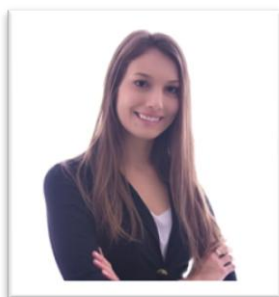
e-mail: marilei.mendes@ifpr.edu.br



Sandra Inês Adams Angnes Gomes

Mestre em Química, especialista em Ciências-Química, licenciada em Ciências com habilitação em Química e professora do colegiado de Química do Instituto Federal do Paraná (IFPR), campus Palmas. Integrante do grupo de Pesquisa e Estudo sobre a Química Verde, denominado Grupo de Estudo e Pesquisa em Educação e Química Verde (GEPEQV).

e-mail: sandra.angnes@ifpr.edu.br



Juliana Aparecida Bolzan

Acadêmica do curso em Bacharel de Farmácia no Instituto Federal do Paraná (IFPR), campus Palmas. Bolsista PIBIS Fundação Araucária (FA). Integrante do grupo de Pesquisa e Estudo sobre a Química Verde, denominado Grupo de Estudo e Pesquisa em Educação e Química Verde (GEPEQV).

e-mail: juliana-bolzan@hotmail.com

Esta obra serve aos interesses de acadêmicos e profissionais - notadamente os professores - do curso de Química e áreas afins que tenham interesse em conhecer a QV e suas métricas, bem como colocar em prática seus princípios na realização das atividades químicas. Foi elaborada a partir da implantação de um grupo de Pesquisa e Estudo sobre a Química Verde (GEPEQV), que é constituído por discentes colaboradores, bolsista do Programa de Bolsa de Inclusão Social (PIBIS) e professores do curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal do Paraná (IFPR), o qual tem como objetivo aprofundar conhecimentos, promover e realizar investigações acerca da inserção da Química Verde em sua vertente crítica, notadamente na formação de professores. Durante os estudos foram selecionados experimentos clássicos de Química Orgânica, comumente realizados nos laboratórios do Instituto Federal do Paraná e demais Instituições de Ensino Superior do País, para análise da verduza química, empregando as métricas Matriz Verde(MV) e Estrela Verde (EV), objetivando verificar os pontos de baixa verduza química, suas ameaças e apontar possibilidades de melhoria da verduza química dos experimentos tornando-os menos impactantes ao meio ambiente. Esperamos que esta obra possa incentivar professores e estudantes dos cursos de licenciatura em Química e áreas afins, para o desenvolvimento de atividades experimentais mais sustentáveis que as práticas didáticas tradicionais, chegando a resultados mais eficientes e benignos ao ambiente, ajudando a desenvolver atitudes e comportamentos mais responsáveis para o exercício da cidadania, no contexto de sociedade no qual nos encontramos, e assim favorecer a Educação Ambiental e a Educação para a sustentabilidade - chamada também de Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS).
