

EXTRAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO DO ÓLEO DE AMÊNDOAS PELO MÉTODO SOXHLET

Rodrigo F. Lazarotti[1]; Carlos A. S. Carvalho[1]; Maurício M. Almeron[1]; Camila Baldasso[1]; Leandro Corso[1].

[1] *Universidade de Caxias do Sul – Programa de pós-graduação em engenharias de processos e tecnologias*

rflazarotti@ucs.br

Palavras-chave: extração sólido-líquido; Soxhlet; amêndoas e hexano.

Introdução

A extração sólido-líquido é uma operação unitária amplamente empregada na indústria química, alimentícia, farmacêutica e cosmética para separar compostos de interesse presentes em matrizes sólidas por meio da utilização de um solvente líquido. O processo baseia-se na transferência de massa entre as fases sólida e líquida, permitindo a recuperação de substâncias como óleos vegetais, compostos bioativos, pigmentos e metabólitos naturais. Em função de sua elevada eficiência e simplicidade operacional, essa técnica permanece entre as mais utilizadas em pesquisas laboratoriais e em aplicações industriais (AZMIR et al., 2013).

Entre os métodos convencionais de extração sólido-líquido, destaca-se o sistema Soxhlet, desenvolvido por Franz von Soxhlet em 1879. O equipamento opera por meio de sucessivos ciclos de evaporação, condensação e refluxo do solvente, que entra repetidamente em contato com a amostra sólida, promovendo a dissolução e a remoção dos compostos de interesse. Essa recirculação contínua favorece a transferência de massa, proporcionando elevada eficiência de extração e boa reprodutibilidade experimental, razão pela qual o método é amplamente utilizado como referência para determinação do teor de óleo em materiais vegetais (JENSEN, 2007; AOAC INTERNATIONAL, 2023).

A eficiência da extração depende de diversos fatores, entre eles a granulometria da amostra, o tempo e a temperatura de extração, a razão sólido/solvente e, principalmente, as propriedades físico-químicas do solvente empregado. O hexano é tradicionalmente o solvente mais utilizado para a obtenção de óleos vegetais devido à sua elevada afinidade por compostos apolares, alta capacidade de solubilização dos lipídios e facilidade de recuperação por destilação. Entretanto, solventes alternativos, como o álcool isopropílico, têm sido estudados em função de suas características de extração e do potencial de reduzir impactos ambientais e riscos ocupacionais associados ao uso de solventes orgânicos convencionais (CHEMAT et al., 2019; ÖZCAN et al., 2020).

As amêndoas constituem uma importante fonte de óleo vegetal, apresentando elevado teor de lipídios e compostos de interesse para aplicações alimentícias, cosméticas

e farmacêuticas. Da mesma forma, outras oleaginosas, como o amendoim e a semente de girassol, também apresentam potencial para a produção de óleos, embora diferenças na composição química e na estrutura da matriz vegetal possam influenciar diretamente o rendimento da extração. Dessa forma, estudos comparativos entre diferentes matérias-primas e solventes são importantes para compreender a influência dessas variáveis sobre a eficiência do processo e fornecer subsídios para a seleção das melhores condições operacionais.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo realizar a extração sólido-líquido do óleo de amêndoas pelo método Soxhlet, utilizando hexano, e comparar o rendimento obtido com resultados experimentais de outras combinações de matérias-primas (amendoim e semente de girassol) e solventes (hexano e álcool isopropílico). Essa análise comparativa permite discutir a possível influênciada estrutura da matriz vegetal e das propriedades do solvente sobre a eficiência da extração. Dessa forma, o estudo contribui para uma compreensão mais aprofundada dos fenômenos de transferência de massa envolvidos nesta operação unitária, evidenciando a importância da escolha adequada dos parâmetros operacionais para a otimização da recuperação de óleos vegetais.

Material e Métodos

O experimento foi realizado com um sistema Soxhlet convencional disponível em laboratório. Foram utilizadas amêndoas (Prunus dulcis) como matriz sólida e hexano como solvente extrator. Para fins de comparação, os resultados experimentais também envolveram amendoim (Arachis hypogaea) e semente de girassol (Helianthus annuus), empregando hexano e álcool isopropílico como solventes. O hexano utilizado apresentava grau padrão analítico, enquanto o álcool isopropílico apresentava pureza de 99,8%.

As amêndoas cruas foram trituradas em almofariz para obtenção de farelo e aumento da área superficial, favorecendo as etapas de secagem e extração. O material foi mantido em estufa durante 30 minutos, à temperatura constante de 40 °C, e resfriado antes da pesagem. Em seguida, foram separadas 25 g da amostra para o experimento.

O material foi depositado em papel filtro devidamente dobrado e grampeado para evitar a perda de massa sólida. Em seguida, o invólucro com a amostra foi inserido no extrator Soxhlet com o auxílio de uma pinça. Para a extração, mediram-se 200 mL de hexano em uma proveta, os quais foram transferidos para o balão de destilação. Após a montagem completa do equipamento, o termostato da manta de aquecimento foi ajustado para 60% de sua potência nominal para promover a ebulição do solvente.

Durante o ensaio, o hexano foi aquecido até entrar em ebulição. O vapor formado subiu até o condensador, onde retornou ao estado líquido e entrou em contato com a amostra sólida. O solvente removeu parte do óleo presente nas amêndoas e, após determinado volume, retornou ao balão principal pelo sifão do equipamento.

Após o término da extração, a amostra foi seca para remoção do solvente residual e pesada novamente. O rendimento mássico aparente da extração foi calculado com base na diferença entre as massas inicial e final da amostra.

- $R(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} . 100$

Onde:

- R = rendimento mássico aparente da extração (%);
- m_i = massa inicial da amostra (g);
- m_f = massa final da amostra após a extração (g).

Fonte: Elaborada pelos autores com base em TREYBAL (1980)

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos durante os ensaios são apresentados na Tabela 1.

Para fins de comparação, também foram considerados resultados obtidos por outros grupos com o mesmo método, empregando diferentes matrizes sólidas: amendoim e semente de girassol. Para o amendoim, foram avaliados dois solventes, hexano e álcool isopropílico.

Tabela 1 - Resultados experimentais de extração sólido-líquido

Soluto	**Solvente**	**Massa inicial (g)**	**Massa final (g)**	**Rendimento mássico aparente (%)**
Amêndoas	Hexano	25,00	15,40	38,40
Amendoim	Álcool isopropílico	25,00	14,42	42,32
Semente de girassol	Hexano	25,02	18,81	24,82
Amendoim	Hexano	25,00	16,87	32,52

Fonte: Elaborado pelos autores.

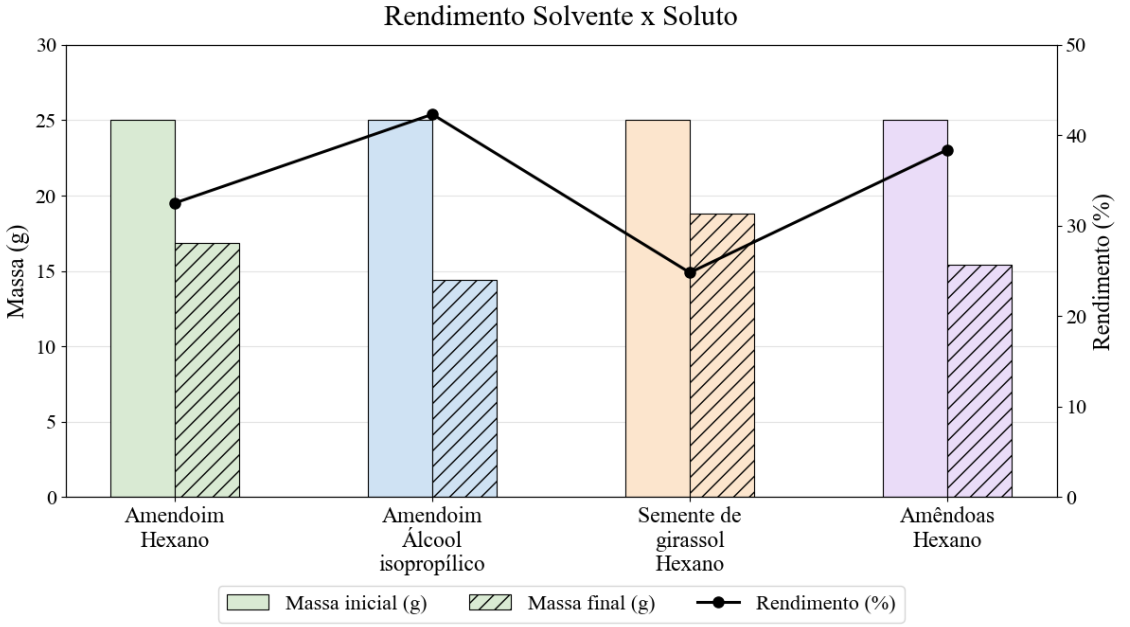


Figura 1 - Rendimento da extração em função da matriz sólida e do solvente

O ensaio de extração das amêndoas com hexano apresentou rendimento de **38,40%**, indicando expressiva remoção de material extraível da amostra. Esse resultado sugere que o método Soxhlet foi eficiente para promover a transferência de massa entre a matriz sólida e o solvente. Segundo Azmir et al. (2013), a combinação entre extração contínua e solventes apolares favorece a obtenção de elevados rendimentos em materiais ricos em óleo.

O rendimento obtido também evidencia a elevada afinidade do hexano pelos compostos lipídicos presentes nas amêndoas. Devido à sua baixa polaridade, esse solvente apresenta elevada seletividade para triglicerídeos, reduzindo a extração de compostos indesejáveis. Conforme descrito por Özcan et al. (2020), essas características justificam o amplo emprego do hexano em processos laboratoriais e industriais de obtenção de óleos vegetais.

Além da natureza do solvente, as características da matéria-prima influenciam diretamente o rendimento da extração. A estrutura celular das amêndoas, associada à distribuição dos lipídios no tecido vegetal, favorece a difusão do óleo durante os ciclos sucessivos de refluxo do Soxhlet. De acordo com Lavenburg, Nde e Udenigwe (2021), a composição química e a organização estrutural da matriz vegetal são fatores determinantes para a eficiência da recuperação do óleo.

O rendimento de 38,40% obtido para as amêndoas indica que as condições experimentais adotadas permitiram a extração de parcela relevante do material solúvel em hexano. Como não foram apresentadas réplicas nem análise estatística, o resultado deve ser interpretado como evidência experimental descritiva. Dessa forma, os

dadosobtidos reforçam a aplicabilidade do Soxhlet como método de referência para extrações em escala laboratorial.

Quando comparadas à semente de girassol extraída com o mesmo solvente, as amêndoas apresentaram rendimento superior, de 38,40% contra 24,82%. Como os dados foram obtidos por grupos distintos, a diferença observada pode estar associada às características intrínsecas de cada matriz vegetal, mas também a variações experimentais não controladas. Segundo Lavenburg, Nde e Udenigwe (2021), o teor lipídico e a estrutura do material exercem influência direta sobre a eficiência da extração.

Em relação ao amendoim extraído com hexano, as amêndoas também apresentaram maior rendimento mássico aparente nas condições relatadas. Esse comportamento reforça que o desempenho do processo depende não apenas do solvente utilizado, mas também da composição química e da disponibilidade do óleo na matriz vegetal, conforme discutido porAzmir et al. (2013).

Embora o maior rendimento tenha sido observado para o amendoim extraído com álcool isopropílico (42,32%), esse resultado deve ser interpretado com cautela. Conforme relatado por Özcanet al. (2020), solventes mais polares podem promover a extração simultânea de outros constituintes da amostra, aumentando o rendimento global. Assim, os rendimentos mássicos, isoladamente, não permitem concluir qual condição apresentou maior seletividade para a fração lipídica.



Conclusão

O método Soxhlet permitiu a extração sólido-líquida do óleo de amêndoas com hexano, alcançando rendimento mássico aparente de 38,40% nas condições avaliadas. A análise comparativa indicou que o rendimento pode ser influenciado pela natureza da matéria-prima e pelas propriedades físico-químicas do solvente.

O ensaio com amendoim e álcool isopropílico apresentou o maior rendimento mássico aparente (42,32%), o que pode estar relacionado à coextração de outros compostos da matriz vegetal. Em contrapartida, a semente de girassol com hexano apresentou o menor rendimento (24,82%). De forma geral, os resultados sustentam a aplicabilidade do método Soxhlet e reforçam a importância da seleção criteriosa do binômio matriz-solvente. As comparações, contudo, devem ser interpretadas de forma descritiva, devido à ausência de réplicas e análise estatística.

Referências

AOAC INTERNATIONAL. Official methods of analysis of AOAC International. 22. ed. Rockville: **AOAC International**, 2023.

AZMIR, J. et al. Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: a review. ***Journal of Food Engineering***, v. 117, n. 4, p. 426-436, 2013.

CHEMAT, F. et al. Green extraction of natural products: concept and principles. ***International Journal of Molecular Sciences***, v. 20, n. 11, p. 1-24, 2019.

JENSEN, W. B. The origin of the Soxhlet extractor. ***Journal of Chemical Education***, v. 84, n. 12, p. 1913-1914, 2007.

LAVENBURG, V. M.; NDE, D. B.; UDENIGWE, C. C. Green and sustainable extraction of bioactive compounds from plant materials: a review. ***Food Chemistry***, 2021.

ÖZCAN, M. M. et al. Extraction methods and quality characteristics of vegetable oils. ***Journal of Food Science and Technology***, 2020.

TREYBAL, R. E. **Mass-transfer operations**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1980.