

Extração de óleo do gérmen de trigo (*Triticum vulgare*) utilizando CO₂ supercrítico: Avaliação dos efeitos da temperatura e pressão no rendimento

Wheat germ (*Triticum vulgare*) oil extraction using supercritical CO₂: Evaluation of the effects of temperature and pressure on yield

**Extracción de aceite del germen de trigo (*Triticum vulgare*) utilizando CO₂ supercrítico:
Evaluación de los efectos de la temperatura y la presión sobre el rendimiento**

Recebido: 02/07/2025 | Revisado: 12/07/2025 | Aceitado: 13/07/2025 | Publicado: 15/07/2025

Guilherme de Souza Lopes¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7331-8173>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil

E-mail: guilherme.s.lopes@unesp.br

Marcos Antônio Avibar Ruzza¹

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7224-8095>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil

E-mail: marcos.ruzza@unesp.br

Kevin Azevedo Cardoso¹

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1933-9900>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil

E-mail: kevin.azevedo@unesp.br

Renivaldo José dos Santos²

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0079-6876>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil

E-mail: renivaldo.santos@unesp.br

Leandro Ferreira Pinto²

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0656-9471>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil

E-mail: leandro.f.pinto@unesp.br

Resumo

Esta pesquisa teve como objetivo, avaliar o rendimento dos extratos do conteúdo lipídico obtidos a partir do germe de trigo utilizando CO₂ supercrítico gerando uma curva cinética de extração, para avaliar os efeitos das variáveis do processo (pressão e temperatura), e comparar com o rendimento dos extratos utilizando o método convencional (extração com solvente orgânico). A extração de óleo a partir do germe de trigo (*Triticum vulgare*), que é um subproduto do trigo reconhecido por sua riqueza em compostos benéficos à saúde. É possível se obter o conteúdo lipídico presente no germe de trigo com a utilização de solventes orgânicos, como o etanol por exemplo. Além dos solventes orgânicos é possível obter os extratos de óleo com a utilização de CO₂ supercrítico. Os resultados obtidos mostram que a extração com CO₂ supercrítico supera a extração com solventes orgânicos, resultando em rendimentos consideravelmente mais altos em um período de tempo reduzido. Além disso, observou-se que variações nas condições de pressão e temperatura tiveram um impacto limitado nos resultados na extração com CO₂ supercrítico. Foi extraído cerca de 6 % do conteúdo lipídico do germe de trigo utilizando o CO₂ supercrítico em um período de 80 minutos. Já a extração com solvente orgânico obteve aproximadamente 1 % do conteúdo lipídico em um período de 420 minutos.

Palavras-chave: Germe de trigo; *Triticum vulgare*; Extração supercrítica; CO₂; Pressão; Temperatura.

Abstract

This study aimed to evaluate the yield of lipid content extracts obtained from wheat germ using supercritical CO₂, generating an extraction kinetic curve to assess the effects of process variables (pressure and temperature), and to compare the results with the yield of extracts obtained by the conventional method (organic solvent extraction). The extraction of oil from wheat germ (*Triticum vulgare*), a by-product of wheat processing known for its high content of health-promoting compounds, can be performed using organic solvents, such as ethanol. In addition to organic solvents, oil extracts can also be obtained using supercritical carbon dioxide. The results indicate that extraction with supercritical CO₂ is more efficient than extraction with organic solvents, yielding significantly higher amounts of oil in a considerably

¹ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Campus de Ilha Solteira, Brasil.

² Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Campus de Rosana, Brasil.

shorter time. Moreover, variations in pressure and temperature had a limited influence on the extraction efficiency using supercritical CO₂. Approximately 6% of the lipid content was extracted from wheat germ using supercritical CO₂ over 80 minutes, whereas extraction with an organic solvent achieved only about 1% over a period of 420 minutes.

Keywords: Wheat germ; *Triticum vulgare*; Supercritical extraction; CO₂; Pressure; Temperature.

Resumen

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el rendimiento de los extractos del contenido lipídico obtenido a partir del germe de trigo utilizando CO₂ supercrítico, generando una curva cinética de extracción para analizar los efectos de las variables del proceso (presión y temperatura), y comparar con el rendimiento de los extractos obtenidos mediante el método convencional (extracción con disolvente orgánico). La extracción de aceite a partir del germe de trigo (*Triticum vulgare*), un subproducto del procesamiento del trigo reconocido por su alto contenido de compuestos beneficiosos para la salud, puede realizarse mediante disolventes orgánicos, como el etanol. Además de los disolventes orgánicos, también es posible obtener extractos lipídicos utilizando dióxido de carbono supercrítico. Los resultados indican que la extracción con CO₂ supercrítico es más eficiente que la realizada con disolventes orgánicos, proporcionando rendimientos significativamente mayores en un tiempo considerablemente más corto. Asimismo, se observó que las variaciones en las condiciones de presión y temperatura tuvieron una influencia limitada en la eficiencia de extracción con CO₂ supercrítico. Aproximadamente el 6 % del contenido lipídico del germe de trigo fue extraído mediante CO₂ supercrítico en un período de 80 minutos, mientras que la extracción con disolvente orgánico alcanzó alrededor del 1 % en un período de 420 minutos.

Palabras clave: Germen de trigo; *Triticum vulgare*; Extracción supercrítica; CO₂; Presión; Temperatura.

1. Introdução

O germe de trigo (*Triticum vulgare*) é um subproduto do trigo que pode apresentar cerca de 2 a 3% da massa do germe de trigo (Weng et al., 2021). O germe de trigo pode ser obtido por meio da moagem da farinha de trigo e deve ser removido durante o processo de moagem, pois, sua presença interfere na vida útil e na qualidade da farinha (Lopes, 2023; Real Hernandez & Gonzalez de Mejia, 2019).

Em sua composição, o germe de trigo apresenta uma série de elementos nutritivos, como vitaminas, minerais, proteínas e componentes fisiológicos ativos. Ao longo dos anos o germe de trigo vem sendo muito reconhecido devido ao seu potencial à saúde humana, pois em seu interior estão presentes compostos bioativos responsáveis pela anti-fadiga, anti-hipertensivos, antioxidantes e antimicrobianos. É possível realizar a extração de óleo do germe de trigo com a finalidade na produção de cosméticos, antioxidantes, fármacos, entre outros (Gaiardo et al., 2016; Lopes, 2023; Weng et al., 2021).

Existem diversas técnicas de se realizar a extração de óleo a partir do germe de trigo. Um dos métodos mais comuns para se obter o óleo é por meio de soluentes orgânicos, no qual o solvante entra em contato com a amostra dissolvendo os lipídios ali presentes ao penetrar a parede celular da matéria. Um dos métodos mais utilizados para a obtenção de óleo consiste na aplicação de soluentes orgânicos, os quais entram em contato com a amostra e promovem a dissolução dos lipídios presentes ao atravessarem as paredes celulares do material vegetal. Para esse tipo de extração, o solvante deve apresentar características como insolubilidade em água, baixo ponto de ebulição e densidade distinta da água, de modo a facilitar a posterior separação entre o óleo extraído e o solvante utilizado (Brunner, 2005; Lopes, 2023).

A extração do conteúdo lipídico de amostras vegetais pode ser realizada por meio da utilização de fluidos supercríticos. Um fluido supercrítico é definido como uma substância que se encontra em condições de temperatura e pressão superiores aos seus respectivos valores críticos, apresentando simultaneamente propriedades típicas de gases e líquidos. Nessa condição, os fluidos supercríticos possuem menor viscosidade e maior difusividade quando comparados a determinados soluentes orgânicos, o que favorece a eficiência do processo de extração. (Ameer et al., 2017; Gallego et al., 2019; Lopes, 2023; Zhou et al., 2021).

A seleção de uma substância para ser utilizada como fluido supercrítico na extração de óleos a partir de matrizes vegetais deve considerar, prioritariamente, seus parâmetros críticos. O dióxido de carbono (CO₂) é amplamente empregado como fluido supercrítico na indústria alimentícia devido às suas diversas vantagens em relação a outros fluidos. Entre essas vantagens

destacam-se seus baixos valores de pressão e temperatura crítica (72,01 bar e 31,1 °C) (Zhou et al., 2021), sua não toxicidade, o baixo custo e a facilidade de separação do óleo extraído. (R. P. F. F. da Silva et al., 2016; Lopes, 2023; Pereira & Meireles, 2010).

Esta pesquisa teve como objetivo, avaliar o rendimento dos extratos do conteúdo lipídico obtidos a partir do germe de trigo utilizando CO₂ supercrítico gerando uma curva cinética de extração, para avaliar os efeitos das variáveis do processo (pressão e temperatura), e comparar com o rendimento dos extratos utilizando o método convencional (extração com solvente orgânico).

2. Metodologia

2.1 Preparação

Realizou-se uma pesquisa mista experimental, com coletando material em campo no Município de Rosana - SP, e com extração e análises num estudo laboratorial e de natureza quantitativa (Gil, 2017; Pereira et al., 2018) com emprego de análise estatística (Bekman & Costa Neto, 2009). A amostra foi seca em uma estufa de circulação de ar por 72 h a uma temperatura de 60 °C. Após a secagem a amostra foi triturada para se obter uma granulometria próxima de 16 TY. O CO₂ foi adquirido da Air Liquid S.A (Brasil).

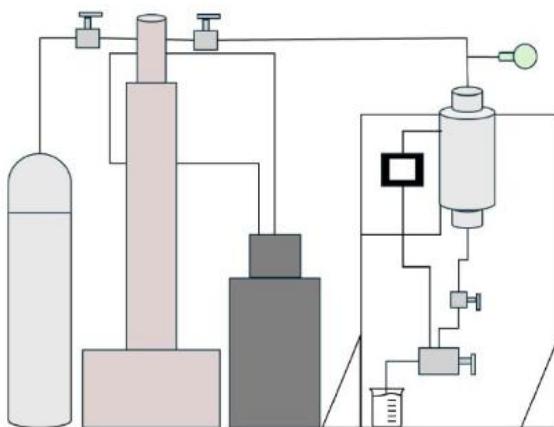
2.2 Extração com Soxhlet (Solvente Orgânico)

A extração utilizando solvente orgânico (etanol) foi realizada em duplicata, empregando-se um extrator do tipo Soxhlet. Para isso, aproximadamente 0,50 g de sementes de germe de trigo previamente trituradas foram acondicionadas em um cartucho de papel filtro e inseridas no extrator. Este, por sua vez, foi conectado a um balão contendo 300 mL de etanol. O processo de extração teve duração de 8 horas. Após esse período, o etanol foi removido do extrato por meio de evaporação rotativa, realizada em uma estufa mantida a 50 °C (Lopes, 2023).

2.3 Extração com CO₂ Supercrítico

As condições experimentais de pressão, vazão e temperatura foram previamente definidas com base em ensaios preliminares e em dados disponíveis na literatura científica (de Menezes Rodrigues et al., 2017; Garcia et al., 2012; Gonçalves et al., 2013; Lemos et al., 2012; Lopes et al., 2022; M. O. Silva et al., 2016). Os ensaios experimentais foram conduzidos em uma unidade de extração de bancada composta por um cilindro de CO₂, um banho termostatizado, uma bomba seringa (ISCO 260D, EUA), um vaso de extração com camisa térmica confeccionado em aço inoxidável 304 (com 1,90 cm de diâmetro e 16,8 cm de altura), além de um transdutor de pressão absoluta (Smar LD 301, Brasil), conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Bancada experimental de extração supercrítica.



Fonte: Autoria Própria.

Para a realização da extração do conteúdo lipídico do germe de trigo, o extrator foi carregado com 0,4 gramas da amostra, e o volume residual interno foi preenchido com esferas de vidro, formando um leito inerte. Assim, o CO₂ fornecido ao sistema atravessou primeiramente o leito inerte antes de entrar em contato com a semente moída. Após a estabilização da temperatura ideal para a extração, a bomba e o extrator foram pressurizados. Com a pressão operacional atingida, o sistema foi mantido em repouso por 30 minutos, a fim de estabelecer o equilíbrio e garantir a saturação do solvente no início do processo de extração (Lopes et al., 2022).

As extrações foram realizadas em condições de pressão de 200, 240 e 280 bar e temperaturas de 40 °C, 50 °C e 60 °C, com vazão de CO₂ fixada em 2,0 mL·min⁻¹, seguindo um planejamento fatorial 2² com triplicatas no ponto central, conforme descrito na Tabela 1. O controle da vazão do solvente foi feito por meio de uma válvula micrométrica (Parker Autoclave Engineers, EUA) mantida a 90 °C, uma vez que, devido à liberação do CO₂ para o ambiente no sistema utilizado, havia risco de congelamento da válvula. O extrato total do conteúdo lipídico do germe de trigo foi coletado em frascos de vidro e pesado em seis ciclos iniciais de 5 minutos, seguidos por cinco ciclos de 10 minutos, totalizando 80 minutos de experimento (Lopes et al., 2022).

Tabela 1 – Planejamento Fatorial 2².

Fatores	Símbolos	Unidades	Níveis		
			-1	0	+1
Temperatura	T	°C	40	50	60
Pressão	P	bar	200	240	280

Fonte: Autoria Própria.

2.4 Análise Estatística

Os resultados foram analisados estatisticamente com base em um planejamento fatorial 2², conforme descrito na Tabela 3. As análises foram realizadas utilizando o software Design Expert, versão 12, que possibilitou a identificação dos fatores que influenciaram o processo de extração, com destaque para as variáveis pressão e temperatura. Através da análise de variância (ANOVA), foi possível determinar a significância estatística dos resultados experimentais e, com isso, estabelecer uma equação preditiva para o cálculo do rendimento dos extratos, considerando o intervalo de pressão e temperatura apresentado na Tabela 4.

3. Resultados e Discussão

3.1 Extração com Solvente Orgânico (Etanol)

Na Tabela 2 verifica-se o rendimento de extração de óleo do germe de trigo utilizando etanol como solvente orgânico, com o auxílio do equipamento Soxhlet e o percentual de rendimento dos extratos obtidos a parir da utilização de CO₂ supercrítico. A utilização de solventes orgânicos para a extração do conteúdo lipídico foi realizada com o objetivo de estimar o percentual total de óleo presente na amostra, uma vez que o equipamento utilizado para a extração supercrítica não permite experimentos com longas durações. Além disso, o método de extração com solvente orgânico foi empregado como parâmetro comparativo entre os diferentes métodos avaliados. A extração utilizando etanol como solvente resultou em um rendimento de 0,95% do conteúdo lipídico do germe de trigo após 420 minutos de experimento.

Tabela 2 – Comparação Experimental do Rendimento de Extração de óleo do germe de trigo utilizando solvente orgânico e CO₂ supercrítico.

Solvente	Tempo (min)	Rendimento (%)
Etanol	420	0,95
CO ₂	80	6,64

Fonte: Autoria Própria.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 2 nota-se que existe uma diferença significativa no rendimento final entre os métodos de extração, pois a extração com CO₂ supercrítico apresentou rendimentos seis vezes maior do que a extração utilizando etanol. A partir da Tabela 2 nota-se que além do rendimento do CO₂ supercrítico ser superior, foi possível realizar a extração por um menor período, pois foram necessários apenas 80 minutos de extração para se obter 6 % do conteúdo lipídico do germe de trigo.

Essa diferença entre os métodos de extração ocorre em função das propriedades físico-químicas do CO₂ supercrítico, que apresenta elevada taxa de transferência de massa, alta difusividade, baixa viscosidade e reduzida tensão superficial. Essas características conferem ao CO₂ supercrítico um poder de solvatação superior ao dos solventes orgânicos convencionais, o que torna o processo de extração mais eficiente e significativamente mais rápido (Lopes, 2023).

3.2 Extração com Fluído Supercrítico (CO₂)

Os rendimentos obtidos na extração de óleo do germe de trigo utilizando CO₂ supercrítico variaram entre 6,08% e 6,64% ao longo de um período de 80 minutos. Os resultados correspondentes aos extratos obtidos sob diferentes condições de pressão e temperatura estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Condições experimentais e resultados de rendimento de extração para a obtenção de óleo do germe de trigo utilizando CO₂ supercrítico.

Experimento	Temperatura (°C)	Pressão (bar)	Rendimento (%)
			(%)
1	40	280	6,64
2	60	280	6,45
3	40	200	6,43
4	60	200	6,08
5	50	240	5,90
6	50	240	6,20
7	50	240	6,15

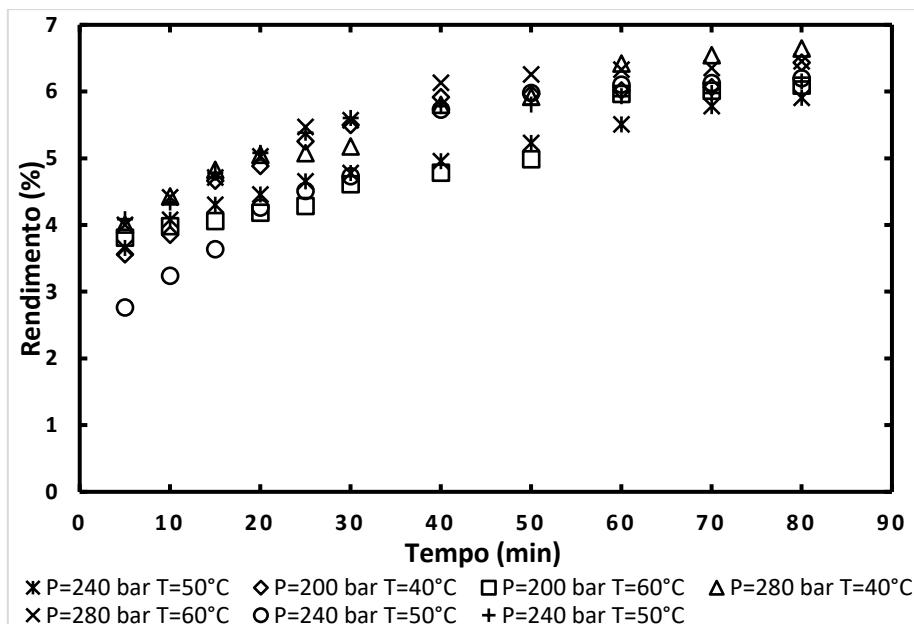
Fonte: Autoria Própria.

De acordo com a Tabela 3, observa-se que os rendimentos de extração não demonstraram variações significativas entre si, pois, CO₂ supercrítico exerce uma solvatação uniforme, independentemente dos parâmetros estabelecidos para a extração de óleo do germe de trigo. No entanto, é importante ressaltar que o experimento 1 alcançou o rendimento mais elevado, enquanto o experimento 5 registrou o menor rendimento final.

É possível analisar o comportamento de extração em cada um dos experimentos em um intervalo de tempo, a partir de uma curva cinética. A partir da Figura 2, nota-se que grande parte dos extratos foram obtidos a partir de 35 minutos de extração, e após este período observa-se uma mudança na inclinação da cinética, ou seja a partir de 40 minutos o processo de extração atinge o segundo estágio de extração. Nota-se que o experimento 4 apresenta um comportamento diferente dos demais, pois, a partir de 50 minutos existe uma elevação na curvatura, indicando o aumento do rendimento dos extratos obtidos.

A redução do rendimento ao longo do tempo nas extrações com CO₂ supercrítico pode ser explicada pela dinâmica do processo, que envolve dois estágios principais de transferência de massa e três fases distintas de extração. Na primeira fase, ocorre a remoção do óleo mais facilmente acessível, cuja extração é predominantemente determinada pela solubilidade do soluto na fase fluida, resultando em uma curva de extração linear com inclinação próxima ao valor de solubilidade. Em seguida, observa-se uma queda na taxa de extração, correspondente à segunda fase, na qual o óleo restante é de mais difícil acesso e sua remoção é limitada por mecanismos de difusão interna. Por fim, a terceira fase apresenta novamente um comportamento linear, mas com uma taxa de extração significativamente inferior à observada no primeiro estágio. (Lopes, 2023; Lopes et al., 2022).

Figura 2 – Curvas cinéticas experimentais e modeladas para as extrações de Óleo do germe de trigo utilizando CO₂ supercrítico.

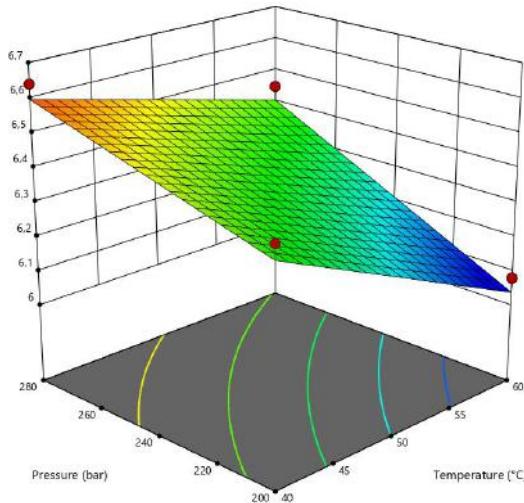


Fonte: Autoria Própria.

As extrações de óleo do germe de trigo utilizando CO₂ supercrítico não atingiram o platô máximo, ou seja, não foi possível recuperar a totalidade do conteúdo lipídico presente na amostra. O experimento 5 (240 bar e 50 °C) apresentou, inicialmente, a maior taxa de extração em um curto intervalo de tempo, sendo possível obter aproximadamente 4% do extrato nos primeiros 5 minutos de operação. A influência das variáveis pressão e temperatura sobre o rendimento da extração pode ser visualizada por meio da superfície de resposta apresentada na Figura 3.

A visualização da influência de pressão e temperatura sobre o rendimento de extração pode ser observada através do gráfico de superfície de resposta do rendimento, conforme é apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Gráfico de superfície de resposta referente ao rendimento da extração de óleo do germe de trigo em função dos níveis de temperatura e pressão com vazão constante de $2,0 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$.

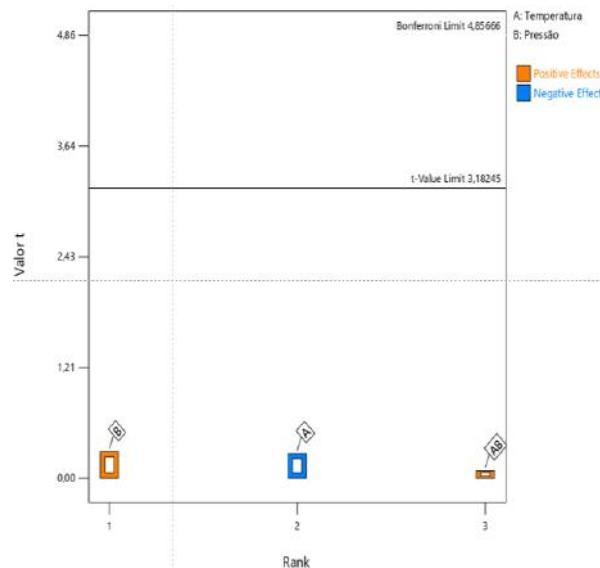


Fonte: Autoria Própria.

O gráfico de superfície de resposta (Figura 3) indica que a pressão e a temperatura são fatores importantes nos rendimentos de extração do óleo do germe de trigo. Nota-se que as regiões de maior pressão e menor temperatura possuem rendimentos elevados, em contrapartida, as regiões de menor pressão e menor temperatura possuem os menores rendimentos, porém, não houve variação significativa dos rendimentos finais dos experimentos realizados.

Com o objetivo de verificar a existência de variáveis estatisticamente significativas no processo de extração, utilizou-se o gráfico de Pareto (Figura 4). Observa-se que as variáveis pressão e temperatura não apresentaram efeitos significativos sobre o rendimento da extração, indicando que suas variações não foram responsáveis pelas diferenças nos resultados obtidos entre os experimentos.

Figura 4 – Gráfico de Pareto: Estimativa dos efeitos lineares das variáveis.



Fonte: Autoria Própria.

A partir do Gráfico de Pareto, é possível identificar quais variáveis influenciam positiva ou negativamente o processo de extração. A análise da Figura 4 indica que a pressão exerce um efeito positivo sobre os rendimentos de extração, enquanto a temperatura apresenta um efeito negativo.

A análise estatística conduzida resultou em um modelo linear significativo, conforme apresentado na Tabela 4, a partir do qual foi possível obter uma equação preditiva (Equação 1) para estimar os rendimentos de extração de óleo do germe de trigo dentro do intervalo de pressão e temperatura especificado na Tabela 1 (200 a 280 bar e 40 a 60 °C). Utilizando a Equação 1, é possível prever o rendimento do extrato lipídico substituindo os valores de T e P, sendo T a temperatura e P a pressão. Os valores de rendimento obtidos por meio dessa equação são expressos em porcentagem.

$$\text{Rendimento} = 6,36 - 0,1350 \cdot T + 0,1450 \cdot P + 0,0400 \cdot T \cdot P \quad (1)$$

A Tabela 4 apresenta os resultados da análise estatística (ANOVA) aplicada aos dados obtidos a partir do planejamento fatorial 2² estabelecido na Tabela 1. A análise verificou a significância estatística dos fatores de pressão (P) e temperatura (T) no rendimento da extração de óleo do germe de trigo utilizando CO₂ supercrítico.

A coluna “Soma dos quadrados” representa a variabilidade atribuída a cada fator ou interação, enquanto os “Graus de liberdade” indicam a quantidade de valores independentes utilizados no cálculo. Os “Quadrados médios” são obtidos dividindo-se a soma dos quadrados pelos respectivos graus de liberdade.

O valor de F (F-valor) é utilizado para testar a hipótese nula, indicando se o fator possui ou não efeito significativo sobre o rendimento. Já o valor de p (p-valor) mostra o nível de significância estatística: valores inferiores a 0,05 (ou 5%) indicam que o fator analisado tem influência estatisticamente significativa.

Tabela 4 - Dados de análise de variância para os extratos obtidos utilizando planejamento fatorial 2² para extrações com dióxido de carbono do germe de trigo.

Termos	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F-valor	p-valor	R ²
Semente do Germe de Trigo						
Modelo	0,1634	3	0,0545	9,53	0,0482	
T	0,0729	1	0,0729	12,76	0,0375	
P	0,0841	1	0,0841	14,72	0,0312	
T.P	0,0064	1	0,0064	1,12	0,3676	0,9050
Erro Puro	0,00	2	0,00			
Cor Total	0,1850	6				

T = Temperatura; P = Pressão.

Fonte: Autoria Própria.

O modelo estatístico utilizado (Tabela 4) apresentou valores de P abaixo do limite de significância de 5% para as variáveis de pressão e temperatura, indicando que as duas variáveis influenciaram significativamente o rendimento dos extratos obtidos. Conforme discutido na Figura 4, a temperatura demonstrou um efeito estatisticamente significativo, porém negativo ($P = 0,0375$), já a pressão apresentou efeito estatisticamente significativo e positivo ($P = 0,0312$) sobre o rendimento do óleo.

Por outro lado, a interação entre temperatura e pressão (T·P) não foi estatisticamente significativa ($P = 0,3676$), indicando que a variação simultânea desses dois parâmetros não afetou de forma relevante a eficácia do processo de extração. O modelo alcançou um coeficiente de determinação (R^2) de 0,9050, o que indica que os dados obtidos experimentalmente possuem uma confiabilidade 90,50%.

4. Conclusão

Os experimentos conduzidos com etanol como solvente orgânico apresentaram rendimento de 1%, obtido após um período de 420 minutos (8 horas) de extração. Por sua vez, a extração realizada com CO₂ supercrítico alcançou rendimento de 6% em apenas 80 minutos. Observou-se uma variação de 0,6% entre os sete experimentos realizados com CO₂. A maior parte dos extratos foi obtida durante os primeiros 35 minutos de extração.

A variação da pressão e temperatura não apresentou influência significativa ao processo de extração com CO₂ supercrítico, pois os resultados dos experimentos foram muito próximos. O aumento da temperatura se torna prejudicial para rendimento final, já o aumento da pressão se faz benéfico para a obtenção do conteúdo lipídico.

Os 80 minutos de extração não foram suficientes para atingir o platô máximo de extração da amostra, porém chegou-se muito próximo. A partir dos resultados obtidos, verifica-se que o rendimento da extração supercrítica utilizando CO₂ obteve resultados superiores em relação a utilização de etanol como solvente orgânico, além disso, o período de extração com CO₂ supercrítico foi menor do que a extração com etanol.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) Código de Financiamento 001, e LF-P agradece o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), por meio da concessão do auxílio 2018/23063-1.

Referências

- Ameer, K., Shahbaz, H. M. & Kwon, J. H. (2017). Green Extraction Methods for Polyphenols from Plant Matrices and Their Byproducts: A Review. In Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safet. 16(2), 295–315). <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12253>.
- Bekman, O. R. & Costa Neto, P. L. O. (2009). Análise Estatística da Decisão (2a). Editora Edgard Blucher Ltda.
- Brunner, G. (2005). Supercritical fluids: Technology and application to food processing. Journal of Food Engineering. 67(1–2), 21–33. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.060>.
- da Silva, R. P. F. F., Rocha-Santos, T. A. P. & Duarte, A. C. (2016). Supercritical fluid extraction of bioactive compounds. In TrAC - Trends in Analytical Chemistry. 76, 40–51). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.11.013>.
- de Menezes Rodrigues, G., Cardozo-Filho, L. & da Silva, C. (2017). Pressurized liquid extraction of oil from soybean seeds. The Canadian Journal of Chemical Engineering. 95(12), 2383–9. <https://doi.org/10.1002/cjce.22922>.
- Gaiardo, G., Rossini, K., Letícia Bernardi, T. & Bilibio, D. (2016). Aproveitamento do subproduto gérmen de trigo no desenvolvimento de produtos alimentícios. In: An. Semin. Iniciaç. Cient. Tecnol. Gallego, R., Bueno, M. & Herrero, M. (2019). Sub-and supercritical fluid extraction of bioactive compounds from plants, food-by-2 products, seaweeds and microalgae-an update. Science Direct. TrAC Trends in Analytical Chemistry. 116, 198-213. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.04.030>.
- Garcia, V. A. S., Cabral, V. F., Zanoelo, É. F., da Silva, C. & Filho, L. C. (2012). Extraction of Mucuna seed oil using supercritical carbon dioxide to increase the concentration of l-Dopa in the defatted meal. The Journal of Supercritical Fluids. 69, 75–81. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2012.05.007>.
- Gil, A. C. (2017). Como Elaborar Projetos de Pesquisa (6th ed.). Atlas S.A. Gonçalves, R., Lemos, C., Leal, I., Nakamura, C., Cortez, D., da Silva, E., Cabral, V. & Cardozo-Filho, L. (2013). Comparing Conventional and Supercritical Extraction of (-)-Mammea A/BB and the Antioxidant Activity of Calophyllum brasiliense Extracts. Molecules. 18(6), 6215–29. <https://doi.org/10.3390/molecules18066215>
- Lemos, C. O. T., Garcia, V. A. dos S., Gonçalves, R. M., Leal, I. C. R., Siqueira, V. L. D., Filho, L. C. & Cabral, V. F. (2012). Supercritical extraction of neolignans from Piper regnelli var. pallescens. The Journal of Supercritical Fluids. 71, 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2012.07.003>.
- Lopes, G. de S. (2023). Extração de óleo essenciais de matrizes vegetais a partir de fluidos supercrítico. Repositório Institucional UNESP. <http://hdl.handle.net/11449/250739>.
- Lopes, G. de S., Araujo, P. C. C. de, Silva, M. J. da, Paim, L. L., Oliveira, K. R. de, Valarini Junior, O., Favareto, R., Parizi, M. P. S., & Ferreira-Pinto, L. (2022). Kinetic study of peanut seed oil extraction with supercritical CO₂. Research, Society and Development. 11(4), e15511427098. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i4.27098>.
- Pereira, C. G. & Meireles, M. A. A. (2010). Supercritical fluid extraction of bioactive compounds: Fundamentals, applications and economic perspectives. In Food and Bioprocess Technology. 3(3), 340–72. <https://doi.org/10.1007/s11947-009-0263-2>.

Real Hernandez, L. M. & Gonzalez de Mejia, E. (2019). Enzymatic Production, Bioactivity, and Bitterness of Chickpea (*Cicer arietinum*) Peptides. In Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 18(6), 1913–46). <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12504>.

Silva, M. O., Camacho, F. P., Ferreira-Pinto, L., Giufrida, W. M., Vieira, A. M. S., Visentaine, J. V., Vedoy, D. R. L. & Cardozo-Filho, L. (2016). Extraction and phase behaviour of *Moringa oleifera* seed oil using compressed propane. The Canadian Journal of Chemical Engineering. 94(11), 2195–201. <https://doi.org/10.1002/cjce.22614>.

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J. & Shitsuka, R. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [free ebook]. Ed. UFSM. Weng, Z., Chen, Y., Liang, T., Lin, Y., Cao, H., Song, H., Xiong, L., Wang, F., Shen, X. & Xiao, J. (2021). A review on processing methods and functions of wheat germ-derived bioactive peptides. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.2021139>.

Zhou, J., Gullón, B., Wang, M., Gullón, P., Lorenzo, J. M., & Barba, F. J. (2021). The application of supercritical fluids technology to recover healthy valuable compounds from marine and agricultural food processing by-products: A review. Processes. 9(2), 1–23). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/pr9020357>.