

EXTRAÇÃO SUSTENTÁVEL DE ÓLEOS FIXOS DE SEMENTES OLEAGINOSAS: UMA REVISÃO ATUALIZADA

Greice Folis Dagostin Santinoni, Gabriela Fonsêca Leal, Romilda Ramos da Silva, Mariana Alencar da Macena, José Eduardo Bento de Oliveira, Geovana Marinho do Prado, Camila da Costa Gomes, Barbara Catarina Bastos De Freitas, Clarissa Damiani, Glêndara Aparecida de Souza Martins

RESUMO: Os óleos vegetais são importantes para a dieta humana, pois no geral são ricos em compostos bioativos, antioxidantes e ácidos graxos, que podem contribuir de maneira benéfica para a saúde quando ingeridos. Óleos de sementes oleaginosas são obtidos por prensagem mecânica ou por meio de extração com solventes orgânicos, sendo o uso de solventes associado a maiores tempos de extração e altas temperaturas, acarretando elevado consumo de energia e possível oxidação lipídica dos óleos. Esta revisão tem o intuito de destacar estudos recentes sobre novas técnicas de extração sustentáveis de óleos de semente oleaginosas que resultem em altos rendimentos e qualidade dos óleos extraídos, associado ao uso de menores volumes de solvente e baixos tempos de extração. Nesta revisão são abordados métodos como a utilização de solventes verdes, extração assistida com ultrassom e micro-ondas, utilização de fluido supercrítico, líquido pressurizado e extração enzimática aquosa. As técnicas aqui exploradas podem ser consideradas sustentáveis e promissoras na substituição dos métodos convencionais.

Palavras-chave: Óleo vegetal, sustentabilidade, química verde

INTRODUÇÃO

As sementes oleaginosas são amplamente utilizadas na indústria alimentícia, farmacêutica e cosmética. Os óleos vegetais extraídos das sementes oleaginosas fornecem quantidade suficiente de ácidos graxos e calorias significativas para o corpo humano e representam um dos grupos mais comuns de materiais utilizados nos produtos de cuidados pessoais da pele (HANDA, THAKUR, ARYA, 2021; KOZŁOWSKA *et al.*, 2016; PAVLAČKOVÁ *et al.*, 2018). Além disso, como os óleos vegetais têm alto conteúdo de energia também podem ser utilizados como matéria-prima de biodiesel como o óleo de soja e o de milho (HUANG *et al.*, 2020).

Inúmeras técnicas de extração de óleos vegetais foram desenvolvidas com base nos princípios de destilação e transferência de massa, utilizando processos como prensagem e extração por solventes (MEMARZADEH *et al.*, 2020; OLIVEIRA, DE, DAVANTEL DE BARROS E GIMENES, 2013). As limitações, associadas aos métodos convencionais de extração de óleos vegetais, incluem: longo período de extração, riscos ambientais e à saúde humana e animal, alto consumo de solventes orgânicos e possíveis alterações nas características do óleo vegetal extraído (STEVANATO E SILVA, da, 2019).

Nos últimos anos houve avanços importante no desenvolvimento, otimização e aplicação de técnicas de extração verde na indústria de alimentos (CASTEJÓN, LUNA, SEÑORÁNS, 2018). Muitos relatórios têm representado o pré-tratamento de sementes oleaginosas com vários métodos para amplificar a extração de componentes valiosos de sementes oleaginosas e acessibilidade a nutracêuticos favoráveis (FATHI-ACHACHLOUEI *et al.*, 2019). Pesquisadores têm feito muitos esforços para desenvolverem processos de extração de óleos mais rápidos, eficientes, ecológicos e econômicos (CASTEJÓN, LUNA, SEÑORÁNS, 2018; HUANG *et al.*, 2020; MEMARZADEH *et al.*, 2020; OLIVEIRA, DE, DAVANTEL DE BARROS, GIMENES, 2013; PANADARE, RATHOD, 2020; STEVANATO, SILVA, DA, 2019).

Esses processos incorporam principalmente uma combinação de ferramentas de intensificação e novos processos de extração (PANADARE, RATHOD, 2020). A extração assistida por ultrassom é amplamente utilizada em processos de extração de componentes de plantas (STEVANATO, SILVA, DA, 2019). A radiação produzida pelo micro-ondas em sementes foi introduzida como uma técnica impressionante para

umentar a eficiência de extração de óleo das sementes (FATHI-ACHACHLOUEI *et al.*, 2019). Tecnologias de altas pressões, incluindo extração com fluido sub e supercrítico, oferecem a oportunidade de obtenção de novos produtos com características interessantes que podem apresentar alta eficiência tanto quanto os métodos tradicionais na para a extração de oleaginosas (FETZER *et al.*, 2018).

Considerando estes aspectos, o objetivo da presente revisão foi apresentar de forma geral diferentes métodos para extrações de óleos de sementes oleaginosas, como: extração com solvente verde, extração assistida por ultrassom, extração assistida por micro-ondas, extração por fluido supercrítico com dióxido de carbono (CO₂), extração com líquido pressurizado e extração enzimática aquosa, destacando suas características, vantagens e desvantagens no aspecto nutricional, tecnológico e ambiental.

MÉTODOS DE EXTRAÇÃO SUSTENTÁVEL DE SEMENTES OLEAGINOSAS

As sementes oleaginosas são sementes que apresentam maior concentração de óleo em comparação com outras sementes. Possuem altas propriedades nutricionais e medicinais, como grandes quantidades de ácidos graxos (saturados e insaturados), que atuam como principal fonte de armazenamento de energia, tornando-as fontes de óleo vegetal (HANDA, THAKUR, ARYA, 2021). A principal oleaginosa cultivada mundialmente é a soja, seguida pela colza, girassol, amendoim, caroço de algodão, palmiste e copra (KADAM, KUMAR, KASARA, 2021). A interessante composição desses grãos tem despertado interesse por seus possíveis benefícios à saúde (LAMO, DE, GÓMEZ, 2018).

Os óleos fixos, ou também chamados de óleos vegetais, são fontes importantes de lipídios disponíveis para consumo humano. Em geral, esses óleos possuem, em sua composição, cadeias longas de triglicerídeos e são obtidos de frutos ou sementes, por meio de diferentes processos de extração (HERCULANO *et al.*, 2021). Os óleos vegetais comestíveis contêm variedade de substâncias bioativas e nutrientes, incluindo vitamina E, fosfolipídios, colina e ácidos graxos ômega-3 e ômega-6, bem como outras gorduras poliinsaturadas, monoinsaturadas e saturadas (HUANG *et al.*, 2020). No corpo humano, os ácidos graxos são essenciais para o desempenho das funções cerebrais, transmissão de

impulsos nervosos, transferência de oxigênio para o plasma sanguíneo, síntese de hemoglobina e divisão celular (HERCULANO *et al.*, 2021).

As cadeias de ácidos graxos em óleos vegetais estão entre o número de carbono C13 e C21, e seus pesos moleculares entre 220-350 g. mol⁻¹, possuindo volatilidade muito baixa (pontos de ebulição normais em torno de 250 – 450 °C) (LÓPEZ-PADILLA *et al.*, 2016). Diferente dos óleos essenciais, os quais são compostos complexos de metabolitos secundários, normalmente monoterpenos e sesquiterpenos (BHAVANIRAMYA *et al.*, 2019). Estes últimos possuem pontos de ebulição normais de 150 °C a 230 °C e pesos moleculares na faixa de 100-250 g mol⁻¹, sendo considerado óleos voláteis (LÓPEZ-PADILLA *et al.*, 2016).

As sementes oleaginosas também podem ser utilizadas como matéria-prima para a fabricação de biodiesel. Os biocombustíveis alternativos oferecem inúmeras vantagens em comparação aos combustíveis fósseis, incluindo disponibilidade, biodegradabilidade, sustentabilidade e redução das emissões de gases de efeito estufa (RAJENDRAN, GURUNATHAN, 2021). As sementes oleaginosas não comestíveis podem ser aplicadas para a produção de biodiesel. Como é o caso da semente de rabanete, que possui um alto teor de óleo, mas esse óleo é considerado não comestível por conter ácido erúico (C22:1), que está associado à toxicidade. No entanto, esse ácido graxo, que é monoinsaturado e tem uma cadeia relativamente longa, pode conferir melhor estabilidade oxidativa ao óleo, uma vez que a alta massa molecular reduz a concentração de ligações duplas na molécula, tornando-o adequado para a síntese de biodiesel (STEVANATO, SILVA, 2019). As vantagens do desenvolvimento bem sucedido do processo de fabricação de biodiesel são a redução do custo de capital com menor impacto ambiental, podendo resultar em uma diminuição do custo do produto final (KUMAR, 2017).

Novas técnicas de extração de óleos vegetais vêm sendo testadas, como os métodos de extração ecológicos, que devem concentrar-se em ter as menores influências possíveis ao meio ambiente, com menos consumo de energia e solventes, garantindo ou melhorando a qualidade dos óleos extraídos (HU *et al.*, 2021). Métodos como extração por solventes verdes, extração assistida por ultrassom (EAU), extração assistida por micro-ondas (EAM), extração com fluido supercrítico (EFS) com CO₂, extração com líquido pressurizado (ELP) e extração enzimática aquosa (EEA) são alternativas sustentáveis e promissoras na extração de óleos. Na Tabela 1 estão discriminados alguns

trabalhos realizados com diversas espécies de sementes oleaginosas, utilizando diferentes métodos para extração de óleo vegetal.

Tabela 1. Extração de óleo vegetal de sementes oleaginosas

Sementes	Método de extração	Solvente utilizado	Referência
Baru (<i>Dipteryx alata</i> vogel)	Fluido supercrítico	Propano CO ₂ supercrítico com etanol (co-solvente)	(FETZER <i>et al.</i> , 2018)
	Soxhlet	Etanol Hexano	
Baru (<i>Dipteryx alata</i>)	Fluido supercrítico com e sem prensagem mecânica	CO ₂ supercrítico	(CHAÑI-PAUCAR <i>et al.</i> , 2021)
Beldroega (<i>Portulaca oleracea</i>)	Extração por solvente	Hexano	(DELFAN-HOSSEINI <i>et al.</i> , 2017)
	Prensagem a frio		
	Pré-tratamento por micro-ondas, seguido de prensagem a frio		
Cabeça de dragão (<i>Lallemantia iberica</i>)	Soxhlet	Éter dietílico Éter de petróleo n-hexano	(KOMARTIN <i>et al.</i> , 2021)
	Agitação mecânica	Éter de petróleo	
	Ultrassom		
Cambre (<i>Crambe abyssinica</i> H.)	Soxhlet	n-hexano Etanol Acetato de metila	(MELLO <i>et al.</i> , 2019)
	Líquido pressurizado	Acetato de metila	
Cambre (<i>Crambe abyssinica</i> H.)	Soxhlet	Carbonato de dimetila	(PORTILHO TRENTINI <i>et al.</i> , 2020)
	Líquido pressurizado		
Cambre	Soxhlet	Éter	(TAVARES <i>et al.</i> , 2017)
	Ultrassom	Mistura de <i>n</i> - hexano e acetato de metila	
Camélia (<i>Camellia oleifera</i> Abel.)	Pré-tratamento micro- ondas, seguido de prensagem a frio	-	(YE <i>et al.</i> , 2021)
Canola (<i>Brassica napus</i>)	Soxhlet	n-hexano	(SUN <i>et al.</i> , 2021)
	Fluido supercrítico	CO ₂ supercrítico com e sem etanol (co- solvente)	
Cardo mariano (<i>Silybum marianum</i> L.)	Solvente com pré- tratamento de micro- ondas	Hexano	(FATHI- ACHACHLOUEI <i>et al.</i> , 2019)
Cártamo (<i>Carthamus tinctorius</i> L.)	Líquido pressurizado	Etanol	(CONTE <i>et al.</i> , 2016)
	Soxhlet		
	Ultrassom		

Estudos em Ciências Agrárias no Brasil: Produções Multidisciplinares no Século XXI

Cereja (<i>Cerasus pseudocerasus</i> G. Don)	Soxhlet	n-hexano	(HU <i>et al.</i> , 2019)
	Extração enzimática aquosa assistida por micro-ondas ultrassônico	Água + enzimas	
Chia (<i>Salvia hispanica</i> L.)	Soxhlet	n-hexano	(ISHAK <i>et al.</i> , 2021)
	Fluido supercrítico	CO ₂ supercrítico	
Echium (<i>Echium plantagineum</i>)	Soxhlet	Acetato de etila	(CASTEJÓN, LUNA, SEÑORÁNS, 2018)
	Líquido pressurizado	Etanol	
	Ultrassom	Água e etanol	
	Micro-ondas	Hexano	
Favela (<i>Cnidocolus quercifolius</i>)	Soxhlet	Etanol	(SANTOS, SILVA, SILVA, 2021)
	Ultrassom		
Favela (<i>Cnidocolus quercifolius</i>)	Soxhlet	Etanol	(SANTOS <i>et al.</i> , 2021)
	Líquido pressurizado	Etanol	
Goiaba	Soxhlet	n-hexano	(KAPOOR <i>et al.</i> , 2020)
	Fluido supercrítico	CO ₂ supercrítico com etanol (co-solvente)	
Kenaf (<i>Hibiscus cannabinus</i> L.)	Ultrassom	Hexano	(ZHANG, XIE, CHE, 2020)
	Extração por solvente	Etanol	
	Soxhlet	Meio enzimático aquoso	
<i>Iberis amara</i>	Soxhlet	n-hexano	(LIU <i>et al.</i> , 2020)
	Pré-tratamento com Ultrassom	Etanol + CO ₂ supercrítico	
<i>Litsea cubeba</i> (Lour.) Pers.	Agitação magnética com aquecimento sob refluxo	Dimetil carbonato Éter ciclopentil metílico Etanol Isopropanol n-hexano	(ZHUANG <i>et al.</i> , 2018)
Mamona	Soxhlet	Éter de petróleo Água Hexano Etanol 5% de etanol em hexano	(IBRAHIM, Zaini, 2018)
	Micro-ondas	5% de etanol em hexano	
Maracujá (<i>Passiflora edulis f. flavicarpa</i>)	Soxhlet	Acetona	(OLIVEIRA, DAVANTEL BARROS, GIMENES, 2013)
	Agitação	Etanol	
	Ultrassom	Isopropanol Hexano	
Moringa (<i>Moringa oleífera</i>)	Soxhlet	Éter de petróleo	(ZHONG <i>et al.</i> , 2018)
	Agitação com aquecimento		

Estudos em Ciências Agrárias no Brasil: Produções Multidisciplinares no Século XXI

	Micro-ondas		
	Ultrassom		
Moringa (<i>Moringa peregrina</i>)	Ultrassom	n-hexano	(MOHAMMADPOUR <i>et al.</i> , 2019)
	Soxhlet		
Munguba (<i>Pachira aquatica</i> Aubl.)	Soxhlet	Hexano	(TEIXEIRA <i>et al.</i> , 2021)
	Fluido supercrítico	CO ₂ supercrítico	
Perilla	Fluido supercrítico	CO ₂ supercrítico	(HAO <i>et al.</i> , 2021)
	Prensagem	-	
	Solvente	Éter de petróleo	
Pongamia pinnata	Extração mecânica	-	(KUMAR <i>et al.</i> , 2018)
	Micro-ondas	-	
Rabanete (<i>Raphanus sativus</i> L.)	Ultrassom	Etanol	(STEVANATO, SILVA, 2019)
	Soxhlet	Etanol n-hexano	
Romã (<i>Punica granatum</i> L.)	Soxhlet	n-hexano	(NATOLINO, PORTO, 2019)
	Fluido supercrítico	CO ₂ supercrítico	
Sacha inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.)	Soxhlet	n-hexano	(NGUYEN <i>et al.</i> , 2020)
	Extração enzimática aquosa	Água e enzimas	
<i>Sapindus mukorossi</i>	Soxhlet	n-hexano	(HU <i>et al.</i> , 2021)
	Micro-ondas	Solvente misto de n-hexano e etanol	
<i>Sapindus mukorossi</i>	Soxhlet	n-hexano	(LIU <i>et al.</i> , 2019)
	Ultrassom enzimático aquoso	Água e enzimas	
Soja	Soxhlet	Etanol Hexano	(RODRIGUES, CARDOZO-FILHO, SILVA, 2017)
	Líquido pressurizado	Etanol	
Umbu (<i>Spondias tuberosa</i>)	Fluido supercrítico	CO ₂ supercrítico	(DIAS <i>et al.</i> , 2019)
	Soxhlet	Etanol Hexano	
	Ultrassom	Etanol Hexano Mistura de etanol e água	
Uva (<i>Vitis vinifera</i> L.)	Líquido pressurizado	Etanol expandido de CO ₂	(LI <i>et al.</i> , 2020)
	Fluido supercrítico	CO ₂ supercrítico	
	Soxhlet	n-hexano	

A combinação de métodos, como mistura de solventes ou aplicações de pré-tratamento nas sementes antes da extração, tem sido muito utilizada nas pesquisas para aumentar o rendimento, diminuir o tempo e a quantidade de solvente utilizados. A combinação de métodos com o uso de solventes verdes, pode contribuir para o desenvolvimento de extrações sustentáveis, sem que haja alterações na composição dos óleos extraídos, como seus compostos bioativos e perfil de ácidos graxos, conforme

estudos demonstrados por Chañi-Paucar et al. (2021), Delfan-Hosseini et al. (2017), Ye et al. (2021), Fathi-Achachlouei et al. (2019), Hu et al. (2019), entre outros.

Extração utilizando solventes verdes

O conceito de extração verde é originado da química verde, baseada na descoberta e desenvolvimento de processos de extração que reduzem o consumo de energia, permitindo o uso de solventes alternativos e produtos naturais renováveis, garantindo ambiente seguro e extratos com produtos de alta qualidade (CHEMAT, VIAN, CRAVOTTO, 2012). Nesse sentido, solventes alternativos aos solventes petroquímicos tornaram-se tendência emergente do ponto de vista de segurança ambiental e econômico (ZHUANG *et al.*, 2018).

O solvente n-hexano é amplamente utilizado na extração de óleo, devido às propriedades apolares, alto rendimento, estabilidade, alta eficiência de extração e baixo custo energético. No entanto, o uso deste tipo de solvente pode ter impacto ambiental negativo e possíveis resíduos nos óleos após o refino, o que desperta preocupação quanto à poluição ambiental e à segurança alimentar para o consumo humano. Por esses motivos, têm-se levado a busca pelo uso de solventes com baixos níveis de toxicidade (CHEN *et al.*, 2020; NGUYEN *et al.*, 2020; STEVANATO, SILVA, 2019).

O pensamento verde tem como objetivo desenvolver processos “amigos” do meio ambiente, com redução ou eliminação simultânea de poluentes. Assim, os solventes renováveis são derivados de resíduos naturais ou agrícolas (biomassa) como o etanol, acetato de etila e isopropanol. Tais solventes têm grande potencial para substituir o n-hexano, que é um dos solventes orgânicos mais utilizados na indústria (Oliveira *et al.*, 2019).

Pesquisas tem relatado que a combinação de técnicas de extração avançadas com solventes verdes, proporcionam tempos de extração mais curtos, menores quantidades de solvente utilizado, além de diminuir o consumo de energia, tornando o processo de extração geral mais favorável ao meio ambiente (LI *et al.*, 2020; SANTOS *et al.*, 2021). Identificar maneiras de substituir ou reduzir o uso desses solventes orgânicos está se tornando prioridade na indústria de alimentos (CASTEJÓN, LUNA, SEÑORÁNS, 2018).

Santos et al. (2021), avaliaram o óleo extraído de sementes de favela (*Cnidoscopus quercifolius*), pelo método de Soxhlet, usando solventes como o etanol,

isopropanol, acetato de etila e *n*-hexano. O etanol forneceu o maior rendimento de óleo (49,6 %), maiores resultados de β -sitosterol (131,6 mg. 100 g⁻¹ de óleo), compostos fenólicos totais (197,4 mg GAE. kg⁻¹ de óleo) e atividade antioxidante (6,0 mmol Trolox. kg⁻¹ de óleo). Quando utilizado o *n*-hexano os resultados foram 47,0 % de rendimento, 123,5 mg. 100 g⁻¹ de óleo de β -sitosterol, 78,6 mg GAE. kg⁻¹ de composto fenólicos e 4,1 mmol Trolox. kg⁻¹ de atividade antioxidante.

No estudo realizado por Castejón et al. (2018) técnicas de extração avançada como ELP, EAM e EAU, foram avaliadas para extrair óleo rico em ômega-3 de sementes de *Echium* (*Echium plantagineum*) com uso associado de acetato de etila, etanol, água e etanol:água. Condições ótimas de ELP com etanol à 150 °C, durante 10 min, produziram rendimento de óleo muito semelhante (31,2 %) ao Soxhlet, quando usado hexano por 8h (31,3 %). A utilização de solventes verdes, mostrou bons rendimentos de extração com menor tempo, sem interferência nas composições de ácidos graxos dos óleos extraídos, que foram muito semelhantes em porcentagem, independentemente das técnicas utilizadas.

Estudo realizado por Li et al. (2020) mostrou a eficiência de etanol aplicado juntamente com a técnica de extração de líquido pressurizado com CO₂. O método foi empregado para extração de óleo de semente de uva, no qual o maior rendimento de óleo (13,6 %) foi obtido pela extração de etanol expandido com CO₂, resultado equivalente ou até superior, ao obtido pelos métodos convencionais, incluindo extração por solvente orgânico (12,7 %) e CO₂ supercrítico sozinho (10,3 %). Em particular, o teor de ácido linoléico foi de 75,5 % no óleo extraído com o etanol expandido com CO₂, superior ao óleo extraído com CO₂ supercrítico (72,2 %) e ao óleo extraído com *n*-hexano (72,4 %). Além de obter o maior rendimento, o método apresentou redução no consumo de solvente e no tempo de extração.

Extração assistida com ultrassom

A EAU de óleo é um método simples e eficaz que trabalha em baixas temperaturas, reduzindo os danos térmicos e preservando a estrutura molecular do óleo extraído. Os diferentes parâmetros que influenciam esta técnica incluem a potência, a temperatura, o tempo e o volume de solvente (RAJENDRAN, GURUNATHAN, 2021). O mecanismo do ultrassom está relacionado ao impacto da cavitação, que é responsável pela formação de microbolhas, criadas em fase líquida, levando à rachadura da parede

celular do tecido vegetal da matriz sólida, além de intensificar a turbulência e promover a penetração do solvente. Isso libera o conteúdo celular, levando ao aumento na taxa de transferência de massa do solvente dentro da matriz (MOHAMMADPOUR *et al.*, 2019; RAJENDRAN, GURUNATHAN, 2021; SICAIRE *et al.*, 2016).

Quando o ultrassom é usado em meio líquido inúmeras bolhas são produzidas. Essas bolhas crescem e por fim, entrarão em colapso. Como resultado, o ultrassom aumenta a turbulência na fase líquida podendo o processo de extração ser implementado em temperaturas mais baixas minimizando os danos térmicos aos extratos (LIU *et al.*, 2020; MOHAMMADPOUR *et al.*, 2019).

O solvente de extração desempenha papel importante que afeta a capacidade antioxidante e o conteúdo fenólico total em materiais alimentares. Algumas classes de fenóis são seletivamente solúveis em diferentes solventes. Nesse sentido, a polaridade do solvente desempenha papel fundamental no aumento da solubilidade do fenol, afetando diretamente a recuperação de compostos fenólicos após extração. Sendo assim, o efeito mecânico do processamento do ultrassom, proporciona a penetração de solventes nas células vegetais, melhorando a liberação de compostos intracelulares (CARVALHO *et al.*, 2020; CASTEJÓN, LUNA, SEÑORÁNS, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2019; SICAIRE *et al.*, 2016).

A utilização do ultrassom como pré-tratamento associado a outros métodos de extração de óleo, vem se mostrando alternativa promissora. Estudo realizado por *et al.* (2020), avaliou o rendimento do óleo extraído das sementes de *Iberis amara*, com e sem o tratamento do ultrassom. O rendimento máximo de óleo ($25,28 \pm 0,39$ %, p/p, base seca) foi adquirido pelo método de CO₂ supercrítico das sementes tratadas com ultrassom, sendo 28% maior do que o obtido com as sementes não tratadas. Os resultados mostraram que o óleo das sementes tratadas com ultrassom, resultou em óleo de melhor qualidade, aumentando ligeiramente a seletividade dos ácidos graxos monoinsaturado, bem como a melhora no conteúdo de fitocompostos e atividade antioxidante das amostras, quando comparada com as técnicas tradicionais.

Estudo realizado por Santos, Silva e Silva (2021), mostrou a eficiência da extração de óleo de semente de Favela (*Cnidocolus quercifolius*), usando ultrassom e etanol como solvente (49,6 %). Os autores obtiveram resultados de rendimento semelhantes a extração por Soxhlet (46,9 %), sem diferença estatisticamente significativa ($p > 0,05$). Além disso,

ocorreu redução do tempo de extração (360 min vs. 5 min) e do consumo de solvente (40 ml por g de sementes vs. 15 ml por g de sementes). Essa condição resultou nos maiores rendimentos de tocoferóis totais e compostos bioativos β -sitosterol (11,01 e 53,41 mg por 100 g de sementes, respectivamente).

Dias et al. (2019) avaliaram diferentes técnicas de extração de óleo da semente de umbu (*Spondias tuberosa*). As técnicas de extração utilizadas foram EFS com CO₂, realizada a 40 °C e pressões de 15 a 30 Mpa e diferentes solventes para as técnicas de extração com Soxhlet e EAU. Os maiores rendimentos foram obtidos pelos métodos de Soxhlet com etanol (9,1 %) e EAU, utilizando mistura de etanol e água, combinados com a EFS (10,9 %). Já pelo método de Soxhlet, utilizando n-hexano, o rendimento foi inferior (8,4 %). Além disso, os métodos de extração assistida por ultrassom foram mais adequados para a obtenção de extratos com maior teor fenólico e atividade antioxidante. Este estudo mostrou a eficiência do solvente verde (etanol) e a combinação do método de ultrassom com outras técnicas de extração.

Extração assistida por micro-ondas

O processo de EAM ocorre como resultado de mudanças na estrutura celular, causadas por ondas eletromagnéticas. O EAM pode trabalhar sob pressão em vasos fechados. Esta técnica tem sido usada para extração de diferentes materiais vegetais incluindo sementes (CASTEJÓN, LUNA, SEÑORÁNS, 2018; RODRIGUES *et al.*, 2020).

Os lipídios têm baixo calor específico, portanto eles tornam-se suscetíveis a radiação emitida pelo micro-ondas, levando a formação de poros permanentes nas sementes, resultando em maiores rendimentos (KUMAR *et al.*, 2018). As vantagens da radiação de micro-ondas são a redução do tempo de processamento e do consumo de energia, uma vez que a energia é transportada instantaneamente por todo o volume dos materiais, resultando na geração de calor por todo o material que atinge um tratamento térmico rápido e uniforme mesmo em materiais relativamente espessos (FATHI-ACHACHLOUEI *et al.*, 2019). Além disso, a EAM é considerada um método relativamente econômico, e a redução associada a esta técnica no tempo evita a degradação de diferentes compostos (KUMAR *et al.*, 2018).

Segundo estudo realizado por Ibrahim e Zaini (2018), o óleo de semente de mamona extraído com 5 % de etanol em hexano, utilizando extração assistida por micro-

ondas apresentou rendimento (36,98 %) superior ao método de Soxhlet (17,41 %). A densidade, índice de refração, propriedades dielétricas e estabilidade à oxidação dos óleos não foram afetados pelos métodos de extração utilizados.

O estudo, realizado por Hu et al. (2021), teve o método de EAM empregado para separar o óleo da semente de *Sapindus mukorossi* e foi comparado com a extração por Soxhlet. A condição ótima de EAM foi o solvente misto de n-hexano e etanol (4: 1, v/v), potência de micro-ondas 460 W, relação solvente/material de 8 mL. g⁻¹, temperatura de extração de 72 °C e tempo de 42 min. Em condições ótimas foi alcançado rendimento de óleo de 40,12 % que foi semelhante ao 40,63 % do método Soxhlet. Todos os óleos mostraram perfis de ácidos graxos, perfis de triglicerídeos e comportamento térmico semelhantes para ambas as técnicas empregadas. O óleo extraído por EAM teve melhor qualidade do que o óleo extraído pelo Soxhlet especialmente em relação ao baixo valor de ácido e de peróxido. O valor do ácido e o valor do peróxido são índices importantes que manifestam a qualidade do óleo. Além disso, a relação solvente/material, o tempo de extração, o consumo de energia e a emissão de dióxido de carbono da EAM foram menores do que os do Soxhlet.

Além da utilização do micro-ondas como método de extração de óleos, seu uso como pré-tratamento também, vem sendo estudado. Ye et al. (2021), avaliaram a aplicação do pré-tratamento com micro-ondas em semente de Camélia (*Camellia oleifera* Abel.), para otimização da extração de óleo por prensagem a frio. A amostra controle (sem pré-tratamento) apresentou rendimento de 72,82 %, enquanto a amostra submetida ao pré-tratamento, apresentou resultado superior, com rendimento de 75,35 %, sendo ambas as amostras pertencentes ao mesmo grupo, com teores de umidade entre 5-6 %.

Extração por fluido supercrítico com CO₂

A EFS usa CO₂ e possui condições críticas baixas como temperatura e pressão. A temperatura crítica do dióxido de carbono supercrítico (SC-CO₂) é baixa, evitando que os compostos sensíveis ao calor sejam degradados e eliminados completamente. A eficácia do SC-CO₂ é influenciada por várias condições de extração, incluindo pressão, tempo, temperatura e tamanho de partícula da amostra (FETZER *et al.*, 2018; ISHAK *et al.*, 2021; SUN *et al.*, 2021). A extração supercrítica de CO₂ é considerada técnica de separação atrativa no campo de aplicações alimentícias e nutracêuticas, pois elimina algumas desvantagens da extração por solvente convencional, como a degradação de

compostos sensíveis ao calor e resíduos de solventes tóxicos nos produtos (SUN *et al.*, 2021).

A EFS é uma tecnologia ambientalmente correta, que tem sido usada com sucesso para extrair óleo de várias sementes (LIU *et al.*, 2020). Fluidos supercríticos têm alta difusividade, baixa viscosidade e tensão superficial e pequenas mudanças na pressão ou temperatura resultam em grandes mudanças na densidade. Além disso, o dióxido de carbono é inerte, não tóxico, não inflamável, podendo ser recuperado como subproduto de muitos processos (NATOLINO, PORTO, 2019).

Estudo comparando o método de extração de fluido supercrítico com a extração com líquido pressurizado e Soxhlet com hexano foi realizado por Teixeira et al. (2021), para extração de óleo de sementes de munguba (*Pachira aquatica* Aubl.). Dentre os métodos estudados, a extração com fluido supercrítico, utilizando CO₂ a 30 MPa / 60 ° C /120 min, foi a melhor condição para extração do óleo (52 g. 100 g⁻¹), proporcionando 95% de eficiência na extração, em comparação ao Soxhlet com *n*-hexano (54,45 g. 100 g⁻¹).

Natolino e Porto (2019) demonstraram os efeitos positivos do dióxido de carbono na extração de óleo de semente de romã (*Punica granatum* L.), utilizando o método SC-CO₂, cujo rendimento foi de 0,18 ± 0,01 g óleo. g⁻¹ sólido insolúvel, sendo semelhante ao rendimento obtido com o método Soxhlet (0,19 ± 0,01 g óleo/g sólido insolúvel). No entanto, a extração de SC-CO₂ foi mais rápida do que Soxhlet, que precisou de 8 horas versus 2 horas de SC-CO₂, para atingir o rendimento de extração assintótica. Além disso, a estabilidade à oxidação do extrato de SC-CO₂ foi maior (3,5 ± 0,6 mg α_{-toc}/mL de óleo) do que o do Soxhlet (1,5 ± 0,1mg α_{-toc}/mL de óleo), devido ao fato de a extração de SC-CO₂, possuir atmosfera não oxidante e temperaturas amenas, evitando a degradação térmica dos compostos bioativos e prevenindo sua oxidação.

O óleo da semente de Perila (*Perilla frutescens*) foi extraído com SC-CO₂ por Hao et al. (2021). Comparando os métodos de extração por SC-CO₂, extração por prensagem (PO), extração por éter de petróleo (PEO) e extração comestível comercial (CO), o óleo de semente de perila obtido por SC-CO₂, apresentou mais fenólicos totais (130,4 mg. 100 g⁻¹) e flavonoides (35,3 mg. 100 g⁻¹), com atividade antibacteriana de amplo espectro, atividade antioxidante e estabilidade de armazenamento superiores aos demais tratamentos.

Extração com líquido pressurizado

Dentre as técnicas avançadas de extração, a ELP destaca-se por apresentar maior seletividade e permitir a extração de produtos naturais com menor volume de solvente e menor tempo de extração que o método convencional de Soxhlet. É uma técnica que combina alta temperatura e alta pressão, mantendo os solventes no estado líquido acima de seu ponto de ebulição (SANTOS *et al.*, 2021). A viscosidade e a tensão superficial do solvente são reduzidas, sob as condições de pressão e temperatura aplicadas, facilitando a penetração na matriz e conseqüentemente a remoção dos compostos localizados nos poros, reduzindo significativamente a quantidade de solvente necessária no processo (MELLO *et al.*, 2019).

Mello et al. (2019), avaliaram o efeito da extração de óleo de cambre (*Crambe abyssinica* H.) utilizando acetato de metila como solvente pressurizado. O estudo mostrou a eficiência do método obtendo maiores teores de fitosteróis (501,87 mg. 100 g⁻¹ de óleo) a temperatura de 180 °C. Este valor foi superior ao óleo obtido pela extração com Soxhlet (319,34 mg. 100g⁻¹ de óleo) e do óleo adquirido comercialmente (72,40 mg. 100 g⁻¹ de óleo). O mesmo ocorreu com γ - tocoferol, onde o óleo obtido com ELP em altas temperaturas (180 °C), apresentou resultados superiores (214,55 mg de γ - tocoferol. 100 g⁻¹ de óleo) em relação ao óleo obtido com o Soxhlet (83,15 mg de γ - tocoferol. 100 g⁻¹ de óleo). Em relação ao tempo de oxidação, o óleo obtido com ELP a 160 °C apresentou tempo de indução maior (300 min) quando comparado à amostra obtida a 180 °C (215 min), demonstrando que em temperaturas mais baixas o ELP resulta em óleo de crambe resistente aos processos de oxidação. Em comparação com o óleo extraído pelo método de Soxhlet (85 min) foi possível verificar que as amostras extraídas por extração pressurizada apresentaram maiores tempos de indução à oxidação, oferecendo um óleo mais resistente e estável a oxidação.

Portilho Trentini *et al.* (2020), também avaliaram o óleo extraído da semente de cambre, investigando a eficiência do carbonato de dimetila como solvente na ELP. Os resultados mostraram maior extração de óleo das sementes sob condições pressurizadas, atingindo rendimento de aproximadamente 45 %, que foi superior ao rendimento obtido com a extração de Soxhlet (31,7 %). A composição de ácidos graxos e acilgliceróis dos extratos obtidos com os dois métodos foram semelhantes. No entanto, os teores de fitosteróis e tocoferóis do óleo obtido por ELP foram em torno de 62 % e 574 % maiores

respectivamente, em comparação com o óleo da extração de Soxhlet, comprovando as vantagens da técnica de extração.

Rodrigues, Cardozo-Filho e Silva (2017), investigaram a extração de óleo de soja com etanol sob condições pressurizadas juntamente com a extração com o método Soxhlet, utilizando etanol e *n*-hexano como solventes. O rendimento máximo obtido com ELP foi de 24,42 %, o que representa aproximadamente 94 % do valor obtido pelo rendimento com a extração com Soxhlet. Os ácidos linoléico e oleico foram os principais ácidos graxos identificados no óleo de soja, representando 76% da composição dos ácidos graxos, que não foi influenciada pelo método de extração ou temperatura utilizada no ELP, mostrando a possível substituição de métodos convencionais por novas técnicas de extração.

Extração enzimática aquosa

A EEA utiliza água com adição de enzimas para hidrolisar a parede celular da semente oleaginosa para obtenção de óleo, é proposta como alternativa ecologicamente correta para extração de óleos. As enzimas desempenham papel importante na ruptura celular ao hidrolisar os componentes das paredes das células vegetais e a estrutura da membrana dos corpos oleosos, melhorando a permeabilidade estrutural e aumentando a liberação do óleo na água durante a extração. Como vantagem, além de ser um processo de operação simples, possui a facilidade de separação do óleo da fase aquosa. Apesar de suas vantagens, a baixa recuperação de óleo e o longo tempo de processamento são os principais gargalos no EEA, porém este método pode ser combinado com outras técnicas de extração para alcançar melhores rendimentos (HU *et al.*, 2020; NGUYEN *et al.*, 2020).

Nguyen *et al.* (2020) estudaram um processo de extração enzimática aquosa para extração ecológica de óleo de semente de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.). Entre as enzimas testadas a papaína exibiu a maior atividade de extração (28,45 %), nas seguintes condições de extração: carga de enzima de 4,46 %; proporção de água para amostra de 4,45 mL. g⁻¹; tempo de extração de 4,95 h e temperatura de 38,9 °C. Em condições ideais de extração a papaína pode ser reutilizada para extração, mostrando ser uma protease em potencial para um processo ecologicamente correto e eficiente na extração de óleo de sementes de sacha inchi.

Estudos utilizando a extração enzimática aquosa associados a métodos de pré-tratamento mostraram-se eficientes na extração de óleos de sementes. Hu *et al.* (2019)

avaliaram a extração enzimática aquosa assistida por micro-ondas ultrassônico para extrair o óleo de semente de cereja. Nas condições ótimas de extração com uma concentração de 2,7 % de coquetel de enzimas, potência ultrassônica de 560 W, potência de micro-ondas de 323 W, tempo de extração de 38 min, temperatura de extração de 40 °C, temperatura de enzimólise de 40 °C, pH de 3,5, razão líquido-sólido de 12 mL. g⁻¹, tempo de enzimólise de 240 min e tamanho de partícula menor que 0,425 mm, a recuperação do óleo extraído foi de 83,85 % contra 100 % na extração convencional com Soxhlet. Porém o óleo obtido por meio da técnica estudada apresentou melhores propriedades físico-químicas e maior teor de constituintes bioativos, quando comparadas ao método convencional. Também mostrou ser mais vantajoso, por não utilizar solventes orgânicos, apresentar menor tempo de extração, ser eficiente e não tóxico ao meio ambiente.

Liu *et al.* (2019) estudaram a extração de óleo de grão de semente de *Sapindus mukorossi* para a produção de biodiesel, utilizando a técnica de extração por ultrassom enzimático aquoso. As condições ideais da técnica estudada, como tempo de incubação de 8 h, quantidade de 4%, pH de 7, temperatura de incubação de 60 ° C, velocidade de agitação de 600 rpm, proporção de água sólida de 16 mL. g⁻¹, tempo ultrassônico de 56 min e potência ultrassônica de 240 W, apresentaram um rendimento (82,67 %) maior, em relação ao método de Soxhlet (42,92 % - 45,94 %). Além disso, o óleo de sementes de *S.mukorossi*, usando a técnica de extração por ultrassom enzimático aquoso, exibiu valor de acidez (4,12 ± 0,08 mg KOH. g⁻¹) inferior e índice de iodo (113,15 ± 3,01 g I₂. 100g⁻¹ de óleo) superior do que aquele adquirido pelo método de Soxhlet (Acidez: 4,45 ± 0,15 mg KOH/g e Iodo: 107,39 ± 2,64 g I₂. 100 g⁻¹ de óleo). Todos os óleos mostraram perfis de ácidos graxos semelhantes, independentemente do método de extração.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas ao longo dos anos para extração de óleo fixo de semente oleaginosas. Uma série de questões técnicas devem ser abordadas antes da extração de óleo para definição do melhor método a ser aplicado. Fatores como a quantidade de óleo presente nas sementes, temperatura e pressão do processo, quantidade de solvente utilizada, aplicação de pré-tratamento e definição dos seus parâmetros, bem como o tempo de extração. A combinação desses fatores pode

proporcionar uma extração sustentável que seja eficiente, resultando em um óleo de qualidade com menor tempo de extração.

Dentre as técnicas apresentadas a utilização de solventes verdes aplicado a outras técnicas de extração ou pré-tratamentos vem ganhando destaque. A química verde está cada vez mais presente na indústria e sua aplicação associada a outros métodos de extração, se mostraram eficazes no aumento do rendimento, na redução do tempo de extração e no aumento da qualidade do óleo extraído. As técnicas sustentáveis de extração de óleo de sementes oleaginosas apresentadas nesta revisão são eficientes quando comparadas as técnicas convencionais, apresentando vantagens para o meio ambiente e na qualidade do óleo extraído.

REFÊRENCIAS

BHAVANIRAMYA, S.; VISHNUPRIYA, S.; AL-ABOODY, M. S.; VIJAYAKUMAR, R.; BASKARAN, D. Role of essential oils in food safety: Antimicrobial and antioxidant applications. **Grain & Oil Science and Technology**, v. 2, n. 2, p. 49–55, 2019.

CARVALHO, L. M. DE S.; LEMOS, M. C. M.; SANCHES, E. A.; SILVA, L. S. DA; ARAÚJO BEZERRA, J. DE; AGUIAR, J. P. L.; CHAGAS DO AMARAL SOUZA, F. DAS; ALVES FILHO, E. G.; CAMPELO, P. H. Improvement of the bioaccessibility of bioactive compounds from Amazon fruits treated using high energy ultrasound. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 67, n. April, p. 105148, 2020.

CASTEJÓN, N.; LUNA, P.; SEÑORÁNS, F. J. Alternative oil extraction methods from *Echium plantagineum* L. seeds using advanced techniques and green solvents. **Food Chemistry**, v. 244, n. September 2017, p. 75–82, 2018.

CHAÑI-PAUCAR, L. O.; OSORIO-TOBÓN, J. F.; JOHNER, J. C. F.; MEIRELES, M. A. A. A comparative and economic study of the extraction of oil from Baru (*Dipteryx alata*) seeds by supercritical CO₂ with and without mechanical pressing. **Heliyon**, v. 7, n. 1, 2021.

CHEMAT, F.; VIAN, M. A.; CRAVOTTO, G. Green extraction of natural products: Concept and principles. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 13, n. 7, p. 8615–8627, 2012.

CHEN, Q.; DONG, W.; WEI, C.; HU, R.; LONG, Y. Combining integrated ultrasonic-microwave technique with ethanol to maximise extraction of green coffee oil from Arabica coffee beans. **Industrial Crops and Products**, v. 151, n. April, p. 112405, 2020.

CONTE, R.; GULLICH, L. M. D.; BILIBIO, D.; ZANELLA, O.; BENDER, J. P.; CARNIEL, N.; PRIAMO, W. L. Pressurized liquid extraction and chemical characterization of safflower oil: A comparison between methods. **Food Chemistry**, v.

213, p. 425–430, 2016.

DE MELLO, B. T. F.; IWASSA, I. J.; CUCO, R. P.; GARCIA, V. A. DOS S.; SILVA, C. DA. Methyl acetate as solvent in pressurized liquid extraction of crambe seed oil. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 145, n. November 2018, p. 66–73, 2019.

DELFIN-HOSSEINI, S.; NAYEBZADEH, K.; MIRMOGHHTADAIE, L.; KAVOSI, M.; HOSSEINI, S. M. Effect of extraction process on composition, oxidative stability and rheological properties of purslane seed oil. **Food Chemistry**, v. 222, p. 61–66, 2017.

DIAS, J. L.; MAZZUTTI, S.; SOUZA, J. A. L. DE; FERREIRA, S. R. S.; SOARES, L. A. L.; STRAGEVITCH, L.; DANIELSKI, L. Extraction of umbu (*Spondias tuberosa*) seed oil using CO₂, ultrasound and conventional methods: Evaluations of composition profiles and antioxidant activities. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 145, n. November 2018, p. 10–18, 2019.

FATHI-ACHACHLOUEI, B.; AZADMARD-DAMIRCHI, S.; ZAHEDI, Y.; SHADDEL, R. Microwave pretreatment as a promising strategy for increment of nutraceutical content and extraction yield of oil from milk thistle seed. **Industrial Crops and Products**, v. 128, n. September 2018, p. 527–533, 2019.

FETZER, D. L.; CRUZ, P. N.; HAMERSKI, F.; CORAZZA, M. L. Extraction of baru (*Dipteryx alata vogel*) seed oil using compressed solvents technology. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 137, n. March, p. 23–33, 2018.

HANDA, V.; THAKUR, K.; ARYA, S. K. Exploit of oxalate and phytate from the oilseeds with phytase treated seeds for dietary improvement. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 37, n. September, p. 102168, 2021.

HAO, L.; LV, C.; CUI, X.; YI, F.; SU, C. Study on biological activity of perilla seed oil extracted by supercritical carbon dioxide. **LWT - Food Science and Technology**, v. 146, n. October 2020, p. 111457, 2021.

HERCULANO, L. S.; LUKASIEWICZ, G. V. B.; SEHN, E.; TORQUATO, A. S.; BELANÇON, M. P.; SAVI, E.; KIMURA, N. M.; MALACARNE, L. C.; BAISSO, M. L.; ASTRATH, N. G. C. The correlation of physicochemical properties of edible vegetable oils by chemometric analysis of spectroscopic data. **Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 245, p. 118877, 2021.

HU, B.; WANG, H.; HE, L.; LI, Y.; LI, C.; ZHANG, Z.; LIU, Y.; ZHOU, K.; ZHANG, Q.; LIU, A.; LIU, S.; ZHU, Y.; LUO, Q. A method for extracting oil from cherry seed by ultrasonic-microwave assisted aqueous enzymatic process and evaluation of its quality. **Journal of Chromatography A**, v. 1587, p. 50–60, 2019.

HU, B.; LI, Y.; SONG, J.; LI, H.; ZHOU, Q.; LI, C.; ZHANG, Z.; LIU, Y.; LIU, A.; ZHANG, Q.; LIU, S.; LUO, Q. Oil extraction from tiger nut (*Cyperus esculentus* L.) using the combination of microwave-ultrasonic assisted aqueous enzymatic method - design, optimization and quality evaluation. **Journal of Chromatography A**, v. 1627, 2020.

HU, B.; XI, X.; LI, H.; QIN, Y.; LI, C.; ZHANG, Z.; LIU, Y.; ZHANG, Q.; LIU, A.; LIU, S.; LUO, Q. A comparison of extraction yield, quality and thermal properties from *Sapindus mukorossi* seed oil between microwave assisted extraction and Soxhlet extraction. **Industrial Crops and Products**, v. 161, n. August 2020, p. 113185, 2021.

HUANG, W. C.; LI, B.; QI, X.; MAO, X. New type of green extractant for oil production: Citric acid/citric acid sodium extraction system. **Food Chemistry**, v. 310, n. October 2019, p. 125815, 2020.

IBRAHIM, N. A.; ZAINI, M. A. A. Microwave-assisted solvent extraction of castor oil from castor seeds. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 26, n. 12, p. 2516–2522, 2018.

ISHAK, I.; HUSSAIN, N.; COOREY, R.; GHANI, M. A. Optimization and characterization of chia seed (*Salvia hispanica* L.) oil extraction using supercritical carbon dioxide. **Journal of CO2 Utilization**, v. 45, n. July 2020, p. 101430, 2021.

KADAM, D. M.; KUMAR, M.; KASARA, A. Application of high energy electromagnetic radiations in elimination of anti-nutritional factors from oilseeds. **LWT - Food Science and Technology**, v. 151, n. June, p. 112085, 2021.

KAPOOR, S.; GANDHI, N.; TYAGI, S. K.; KAUR, A.; MAHAJAN, B. V. C. Extraction and characterization of guava seed oil: A novel industrial byproduct. **LWT - Food Science and Technology**, v. 132, n. May, p. 109882, 2020.

KOMARTIN, R. S.; STROESCU, M.; CHIRA, N.; STAN, R.; STOICA-GUZUN, A. Optimization of oil extraction from *Lallemantia iberica* seeds using ultrasound-assisted extraction. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 15, n. 2, p. 2010–2020, 2021.

KOZŁOWSKA, M.; GRUCZYŃSKA, E.; ŚCIBISZ, I.; RUDZIŃSKA, M. Fatty acids and sterols composition, and antioxidant activity of oils extracted from plant seeds. **Food Chemistry**, v. 213, p. 450–456, 2016.

KUMAR, G. Ultrasonic-assisted reactive-extraction is a fast and easy method for biodiesel production from *Jatropha curcas* oilseeds. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 37, p. 634–639, 2017.

KUMAR, R. C.; BENAL, M. M.; PRASAD, B. D.; KRUPASHANKARA, M. S.; KULKARNI, R. S.; SIDDALIGASWAMY, N. H. Microwave assisted extraction of oil from *Pongamia pinnata* seeds. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, n. 1, p. 2960–2964, 2018.

LAMO, B. DE; GÓMEZ, M. Bread enrichment with oilseeds. A review. **Foods**, v. 7, n. 11, 2018.

LI, H.; FU, X.; DENG, G.; DAVID, A.; HUANG, L. Extraction of oil from grape seeds (*Vitis vinifera* L.) using recyclable CO₂-expanded ethanol. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, v. 157, n. September, p. 108147, 2020.

LIU, H. M.; YAO, Y. G.; MA, Y. X.; WANG, X. DE. Ultrasound-assisted desolventizing of fragrant oil from red pepper seed by subcritical propane extraction. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 63, n. December 2019, p. 104943, 2020.

LIU, X.; OU, H.; XIANG, Z.; GREGERSEN, H. Ultrasound pretreatment combined with supercritical CO₂ extraction of Iberis amara seed oil. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 18, n. July, p. 100265, 2020.

LIU, Z.; GUI, M.; XU, T.; ZHANG, L.; KONG, L.; QIN, L.; ZOU, Z. Efficient aqueous enzymatic-ultrasonication extraction of oil from Sapindus mukorossi seed kernels. **Industrial Crops and Products**, v. 134, n. April, p. 124–133, 2019.

LÓPEZ-PADILLA, A.; RUIZ-RODRIGUEZ, A.; REGLERO, G.; FORNARI, T. Study of the diffusion coefficient of solute-type extracts in supercritical carbon dioxide: Volatile oils, fatty acids and fixed oils. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 109, p. 148–156, 2016.

MEMARZADEH, S. M.; GHOLAMI, A.; PIRBALOUTI, A. G.; MASOUM, S. Bakhtiari savory (*Satureja bachtiarica* Bunge.) essential oil and its chemical profile, antioxidant activities, and leaf micromorphology under green and conventional extraction techniques. **Industrial Crops and Products**, v. 154, n. July, p. 112719, 2020.

MOHAMMADPOUR, H.; SADRAMELI, S. M.; ESLAMI, F.; ASOODEH, A. Optimization of ultrasound-assisted extraction of *Moringa peregrina* oil with response surface methodology and comparison with Soxhlet method. **Industrial Crops and Products**, v. 131, n. January, p. 106–116, 2019.

NATOLINO, A.; PORTO, C. DA. Supercritical carbon dioxide extraction of pomegranate (*Punica granatum* L.) seed oil: Kinetic modelling and solubility evaluation. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 151, p. 30–39, 2019.

NGUYEN, H. C.; VUONG, D. P.; NGUYEN, N. T. T.; NGUYEN, N. P.; SU, C. H.; WANG, F. M.; JUAN, H. Y. Aqueous enzymatic extraction of polyunsaturated fatty acid-rich sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seed oil: An eco-friendly approach. **LWT - Food Science and Technology**, v. 133, n. July, p. 109992, 2020.

OLIVEIRA, É. R.; SILVA, R. F.; SANTOS, P. R.; QUEIROZ, F. Potential of alternative solvents to extract biologically active compounds from green coffee beans and its residue from the oil industry. **Food and Bioproducts Processing**, v. 115, p. 47–58, 2019.

OLIVEIRA, R. C. DE; DAVANTEL DE BARROS, S. T.; GIMENES, M. L. The extraction of passion fruit oil with green solvents. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 4, p. 458–463, 2013.

PANADARE, D. C.; RATHOD, V. K. Process intensification of Three Phase Partition for extraction of custard apple seed oil using Microwave Pretreatment. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, v. 157, 2020.

PAVLAČKOVÁ, J.; KOVACSOVÁ, K.; RADIMĚŘSKÝ, P.; EGNER, P.; SEDLAŘÍKOVÁ, J.; MOKREJŠ, P. Stability and in vivo efficiency of natural cosmetic emulsion systems with the addition of vegetable oils. **Brazilian Journal of**

Pharmaceutical Sciences, v. 54, n. 3, p. 1–11, 2018.

PORTILHO TRENTINI, C.; MELLO, B. T. F. DE; FERREIRA CABRAL, V.; SILVA, C. DA. Crambe seed oil: Extraction and reaction with dimethyl carbonate under pressurized conditions. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 159, p. 104780, 2020.

RAJENDRAN, N.; GURUNATHAN, B.; I., A. E. S. Optimization and technoeconomic analysis of biooil extraction from *Calophyllum inophyllum* L. seeds by ultrasonic assisted solvent oil extraction. **Industrial Crops and Products**, v. 162, n. January, p. 113273, 2021.

RODRIGUES, G. DE M.; CARDOZO-FILHO, L.; SILVA, C. DA. Pressurized liquid extraction of oil from soybean seeds. **Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 95, n. 12, p. 2383–2389, 2017.

RODRIGUES, R. D. P.; SILVA, A. S. E.; CARLOS, T. A. V.; BASTOS, A. K. P.; SANTIAGO-AGUIAR, R. S. DE; ROCHA, M. V. P. Application of protic ionic liquids in the microwave-assisted extraction of phycobiliproteins from *Arthrospira platensis* with antioxidant activity. **Separation and Purification Technology**, v. 252, p. 117448, 2020.

SANTOS, K. A.; AGUIAR, C. M. DE; SILVA, E. A. DA; SILVA, C. DA. Evaluation of favela seed oil extraction with alternative solvents and pressurized-liquid ethanol. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 169, n. November, 2021.

SANTOS, K. A.; SILVA, E. A. DA; SILVA, C. DA. Ultrasound-assisted extraction of favela (*Cnidocolus quercifolius*) seed oil using ethanol as a solvent. **Journal of Food Processing and Preservation**, 2021.

SICAIRE, A. G.; VIAN, M. A.; FINE, F.; CARRÉ, P.; TOSTAIN, S.; CHEMAT, F. Ultrasound induced green solvent extraction of oil from oleaginous seeds. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 31, p. 319–329, 2016.

STEVANATO, N.; SILVA, C. DA. Radish seed oil: Ultrasound-assisted extraction using ethanol as solvent and assessment of its potential for ester production. **Industrial Crops and Products**, v. 132, n. February, p. 283–291, 2019.

SUN, Q.; SHI, J.; SCANLON, M.; XUE, S. J.; LU, J. Optimization of Supercritical-CO₂ Process for Extraction of Tocopherol-Rich Oil from Canola Seeds. **LWT - Food Science and Technology**, v. 145, n. March, p. 111435, 2021.

TAVARES, G. R.; MASSA, T. B.; GONÇALVES, J. E.; SILVA, C. DA; SANTOS, W. D. DOS. Assessment of ultrasound-assisted extraction of crambe seed oil for biodiesel synthesis by in situ interesterification. **Renewable Energy**, v. 111, p. 659–665, 2017.

TEIXEIRA, G. L.; MACIEL, L. G.; MAZZUTTI, S.; TUROLA BARBI, R. C.; RIBANI, R. H.; SALVADOR FERREIRA, S. R.; BLOCK, J. M. Sequential green extractions based on supercritical carbon dioxide and pressurized ethanol for the recovery of lipids and phenolics from *Pachira aquatica* seeds. **Journal of Cleaner Production**, v. 306, p. 127223, 2021.

YE, M.; ZHOU, H.; HAO, J.; CHEN, T.; HE, Z.; WU, F.; LIU, X. Microwave pretreatment on microstructure, characteristic compounds and oxidative stability of Camellia seeds. **Industrial Crops and Products**, v. 161, n. May 2020, p. 113193, 2021.

ZHANG, Z. SHAN; XIE, Q. FANG; CHE, L. Synergistic effects of ultrasound and extraction solvent on the bioactive compound in kenaf seed oil. **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 6, p. 2118–2128, 2020.

ZHONG, J.; WANG, Y.; YANG, R.; LIU, X.; YANG, Q.; QIN, X. The application of ultrasound and microwave to increase oil extraction from Moringa oleifera seeds. **Industrial Crops and Products**, v. 120, n. December 2017, p. 1–10, 2018.

ZHUANG, X.; ZHANG, Z.; WANG, Y.; LI, Y. The effect of alternative solvents to n-hexane on the green extraction of Litsea cubeba kernel oils as new oil sources. **Industrial Crops and Products**, v. 126, n. June, p. 340–346, 2018.