



DANIELLE RIBEIRO DA SILVA HONORATO

**EXTRAÇÃO SEQUENCIAL DE ÓLEO E PROTEÍNAS DA
AMÊNDOA DO PEQUI (*Caryocar brasiliense* Camb.)
ASSISTIDA OU NÃO POR ULTRASSOM**

**LAVRAS-MG
2024**

DANIELLE RIBEIRO DA SILVA HONORATO

**EXTRAÇÃO SEQUENCIAL DE ÓLEO E PROTEÍNAS DA AMÊNDOA DO PEQUI
(*Caryocar brasiliense* Camb.) ASSISTIDA OU NÃO POR ULTRASSOM**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos para a obtenção do título de Mestre.

Profa. Dra. Fabiana Queiroz
Orientadora

Profa. Dra. Lizzy Ayra Alcântara Veríssimo
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2024**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA,
com dados informados pela própria autora.

Honorato, Danielle Ribeiro da Silva.

Extração Sequencial de Óleo e Proteínas da Amêndoa do Pequi
(*Caryocar brasiliense* Camb.) Assistida ou Não por Ultrassom/
Danielle Ribeiro da Silva Honorato. - 2024.

61 p. : il.

Orientador(a): Fabiana Queiroz.

Coorientador(a): Lizzy Ayra Alcântara Veríssimo.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2024.

Bibliografia.

1. Extração sequencial. 2. Pequi. 3. Etanol. I. Queiroz, Fabiana.
II. Veríssimo, Lizzy Ayra Alcântara. III. Título.

DANIELLE RIBEIRO DA SILVA HONORATO

**EXTRAÇÃO SEQUENCIAL DE ÓLEO E PROTEÍNAS DA AMÊNDOA DO PEQUI
(*Caryocar brasiliense* Camb.) ASSISTIDA OU NÃO POR ULTRASSOM**

**SEQUENTIAL EXTRACTION OF OIL AND PROTEINS FROM PEQUI ALMOND
(*Caryocar brasiliense* Camb.) ASSISTED OR NOT BY ULTRASOUND**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos para a obtenção do título de Mestre.

Profa. Dra. Fabiana Queiroz
Orientadora

Profa. Dra. Lizzy Ayra Alcântara Veríssimo
Coorientadora

APROVADA em 20 de março de 2024.

Profa. Dra. Fabiana Queiroz UFLA

Prof. Dr. José Guilherme Lembi Ferreira Alves UFLA

Prof. Dr. Evandro Galvão Tavares Menezes UFV

Profa. Dra. Fabiana Queiroz
Orientadora

**LAVRAS-MG
2024**

AGRADECIMENTOS

Aos colegas de laboratório, Beatriz, Hermann e, especialmente, Maria Luiza e os colegas do laboratório de pós-colheita Lorrane e Gilson. À Profa. Dra. Fabiana, pela orientação, Profa. Dra. Lizzy pela coorientação, e aos professores doutores examinadores da banca Dr. José Guilherme e Dr. Evandro.

À Capes, pela bolsa de estudos no programa de mestrado e Fapemig pelo apoio financeiro no desenvolvimento da pesquisa (FAPEMIG_CAG APQ 00149-22).

*À minha família, em especial aos meus pais José Valdir e Claudete,
minha irmã e melhor amiga Grazielle e minha tia Cleusa. Às
falecidas, mas vivas em meu coração, avós Maria Joana e Estefânia,
minha tia e madrinha Aparecida de Fátima e minha amiga Jéssica. Às
minhas pets Bella e Anastasia, que me recarregaram as energias
durante todo esse tempo com o amor puro e incondicional que
somente os animais podem nos oferecer. E à Deus por me carregar no
colo nos momentos difíceis.*

Dedico

RESUMO

O pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.), fruto nativo do cerrado brasileiro, apresenta um potencial de aproveitamento integral de todas as suas partes, incluindo casca, polpa e amêndoa, sendo esta última rica em lipídeos e proteínas. Considerando sua importância econômica, nutricional e a crescente demanda por produtos plant-based, o pequi em sua integralidade demonstra um alto potencial de exploração de seus compostos. Este projeto visa avaliar o uso de tecnologias mais sustentáveis para a extração sequencial de óleo e proteínas da amêndoa do pequi, utilizando solventes “verdes”, sem e com auxílio de ultrassom, na etapa de extração do óleo. A amêndoa do pequi foi submetida a dois processos de extração de óleo utilizando etanol: um com agitação, sem ultrassom, e outro com assistência de ultrassom. No tratamento com ultrassom, foram avaliados os efeitos da amplitude e do tempo de sonicação em relação ao rendimento extrativo do óleo e à concentração de proteínas obtida na extração sequencial do resíduo. O resíduo resultante da extração do óleo foi submetido à extração proteica utilizando dois solventes (água e solução tampão fosfato) em pH de 2 a 10. Os resultados mostraram que o ultrassom, com 27% de amplitude e 18 minutos, obteve o maior rendimento de óleo extraído (45,21%); sendo menor que o rendimento da extração de óleo com etanol (59,86%) e com hexano (97,78%) sem o uso do ultrassom. Na extração sequencial da proteína do resíduo, com o uso do ultrassom (na etapa de extração do óleo), obtiveram-se concentrações de proteínas menores comparadas com a extração da proteína dos resíduos obtidos da extração sem aplicação do ultrassom. A solução tampão fosfato no pH 7 foi a mais eficaz para extrair proteínas da amêndoa do pequi. A amêndoa do pequi é fonte de óleo, proteínas e valor energético, e o uso do ultrassom com etanol como solvente colabora para um processo de extração eficiente desses compostos. Concluiu-se que a extração sequencial de óleo e proteínas da amêndoa do pequi, assistida ou não por ultrassom, é promissora.

Palavras-chave: Pequi; Lipídios; Proteínas; Extração sequencial.

ABSTRACT

The pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.), a native fruit of the Brazilian cerrado, has the potential for full utilization of all its parts, including the peel, pulp, and kernel, the latter being rich in lipids and proteins. Considering its economic and nutritional importance, and the growing demand for plant-based products, the pequi in its entirety shows great potential for the exploitation of its compounds. This project aims to evaluate the use of more sustainable technologies for the sequential extraction of oil and proteins from the pequi kernel, using “green” solvents, with and without the aid of ultrasound, in the oil extraction step. The pequi kernel was subjected to two oil extraction processes using ethanol: one with agitation, without ultrasound, and the other with ultrasound assistance. In the ultrasound treatment, the effects of amplitude and sonication time on the oil extraction yield and the protein concentration obtained in the sequential extraction of the residue were evaluated. The residue resulting from the oil extraction was subjected to protein extraction using two solvents (water and phosphate buffer solution) at pH levels ranging from 2 to 10. The results showed that ultrasound, with 27% amplitude and 18 minutes, achieved the highest oil extraction yield (45.21%); lower than the oil extraction yield with ethanol (59.86%) and hexane (97.78%) without the use of ultrasound. In the sequential extraction of protein from the residue, the use of ultrasound (in the oil extraction step) resulted in lower protein concentrations compared to the protein extraction from residues obtained without the application of ultrasound. The phosphate buffer solution at pH 7 was the most effective for extracting proteins from the pequi kernel. The pequi kernel is a source of oil, proteins, and energy value, and the use of ultrasound with ethanol as a solvent contributes to an efficient extraction process of these compounds. It was concluded that the sequential extraction of oil and proteins from the pequi kernel, assisted or not by ultrasound, is promising.

Keywords: Pequi; Lipids; Proteins; Sequential Extraction.

INDICADORES DE IMPACTO

A extração sequencial de óleo e proteínas da amêndoa de pequi, assistida ou não por ultrassom utilizando o solvente etanol, tem um impacto na substituição total ou parcial de tecnologias agressivas ao meio ambiente por tecnologias mais sustentáveis. O uso do ultrassom maximiza a extração de compostos biológicos e, aliado ao uso do etanol como solvente, apresenta-se como uma alternativa promissora para substituir o uso do solvente convencional (hexano), que é agressivo ao meio ambiente, na extração de óleo. Outra vantagem ambiental é o aproveitamento da amêndoa do pequi, comumente descartada. O uso deste resíduo reduz o descarte gerado no processamento do pequi e permite explorar o potencial nutricional da amêndoa do pequi, obtendo óleo e proteínas vegetais de uma matéria-prima mais acessível. Além disso, o uso integral do pequi agrega valor aos frutos nativos do cerrado brasileiro, que são responsáveis por boa parte da renda de diversas famílias envolvidas no extrativismo do pequi. Isso não apenas melhora a sustentabilidade econômica das comunidades locais, mas também promove a conservação do bioma cerrado ao incentivar o uso responsável e sustentável de seus recursos naturais. Os resultados da pesquisa estão alinhados com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas (ONU), beneficiando a sociedade brasileira. Especificamente, contribuem para o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), ao promover o aproveitamento de resíduos para obtenção de óleo e proteínas, melhorando a segurança alimentar; ODS 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico), ao gerar tecnologia sustentável e acessível a pequenos produtores, gerando emprego e renda; ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), ao introduzir alternativas tecnológicas no processo de extração de óleo e proteínas da amêndoa do pequi; e ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ao incentivar o uso sustentável dos recursos naturais. Dessa forma, a pesquisa oferece, além de soluções ecológicas e sustentáveis para a extração de óleo e proteínas, também fomenta o desenvolvimento sustentável, a melhoria da qualidade de vida das populações locais e a preservação do bioma do cerrado, incentivando sua exploração sustentável.

IMPACT INDICATORS

The sequential extraction of oil and proteins from pequi kernels, assisted or not by ultrasound using ethanol as a solvent, has an impact on the total or partial replacement of environmentally harmful technologies with more sustainable ones. The use of ultrasound maximizes the extraction of biological compounds and combined with the use of ethanol as a solvent, presents itself as a promising alternative to replace the use of conventional solvent (hexane), which is harmful to the environment, in oil extraction. Another environmental advantage is the utilization of pequi kernels, which are commonly discarded. Using this residue reduces waste generated in pequi processing and allows the exploration of the nutritional potential of the pequi kernel, obtaining oil and vegetable proteins from a more accessible raw material. Additionally, the integral use of pequi adds value to native fruits of the Brazilian cerrado, which are responsible for a significant part of the income of many families involved in pequi extraction. This not only improves the economic sustainability of local communities but also promotes the conservation of the cerrado biome by encouraging the responsible and sustainable use of its natural resources. The research results align with the United Nations (UN) Sustainable Development Goals (SDGs), benefiting Brazilian society. Specifically, they contribute to SDG 2 (Zero Hunger and Sustainable Agriculture) by promoting the utilization of residues to obtain oil and proteins, improving food security; SDG 8 (Decent Work and Economic Growth) by generating sustainable and accessible technology for small producers, creating jobs and income; SDG 9 (Industry, Innovation, and Infrastructure) by introducing technological alternatives in the extraction process of oil and proteins from the pequi kernel; and SDG 12 (Responsible Consumption and Production) by encouraging the sustainable use of natural resources. Thus, the research offers not only ecological and sustainable solutions for oil and protein extraction but also fosters sustainable development, improves the quality of life for local populations, and preserves the cerrado biome by encouraging its sustainable exploitation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVO	12
2.1	Objetivos Gerais	12
2.2	Objetivos específicos.....	12
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
3.1	Pequi (<i>Caryocar brasiliensis</i> Camb.)	13
3.2	Métodos de extração de óleos	16
3.3	Métodos de extração de proteína	18
3.4	Extração assistida por ultrassom	20
3.5	Extração de compostos utilizando tecnologias verdes e emergentes.....	21
3.6	Extração de compostos na amêndoa e polpa do pequi	25
4	MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1	Composição centesimal e atividade antioxidante da amêndoa do pequi	28
4.1.1	DPPH	29
4.2	Extração do óleo	29
4.3	Extração da proteína.....	31
4.4	Delineamento experimental e Análise estatística.....	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1	Composição centesimal e atividade antioxidante da amêndoa do pequi	34
5.2	Extração de óleo das amêndoas de pequi com e sem assistência do ultrassom ...	36
5.2.1	Índice de peróxido e solução retida no refinado.....	40
5.3	Extração de proteínas da amêndoa do pequi.....	44
6	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS	49
	APÊNDICE A – Curva de ajuste solução de Bradford.....	61

1 INTRODUÇÃO

O Pequi (*Caryocar brasiliensis* Camb.) também conhecido como piqui, piquiá, pequerim e suarí pertence à família *Caryocaraceae*. É uma fruta nativa do cerrado brasileiro, de casca verde, com duas polpas, uma branca espessa e a polpa amarela que envolve a amêndoa, cheia de espinhos; tendo notável importância na economia de pequenos agricultores. A polpa amarela do pequi é utilizada na elaboração de diferentes pratos, como: arroz com pequi, feijão com pequi, frango com pequi, dentre outros. Já a amêndoa e a polpa branca do pequi não são consumidas e são descartadas, mas apresentam grande valor nutritivo, com elevados teores de lipídios e fibras alimentares, além de compostos fenólicos, carotenoides, vitaminas A e C e proteínas. A amêndoa, tornou-se atraente como matéria-prima para a extração de óleo e de proteínas vegetais. Este interesse crescente está alinhado com a tendência de mercado para produtos vegetarianos/veganos. Ao avaliar as tendências de proteínas vegetais, destaca-se o uso destas em produtos à base de plantas, como alternativas “cárneas”. Esse segmento tem uma projeção de crescimento significativo, prevendo atingir cerca de 7% a 23% do mercado global de carnes de origem animal até 2035, pelo crescimento do número de consumidores vegetarianos (6%), veganos (4%), e dos chamados flexitarianos (42%), que optam por reduzir o consumo de carne, mas não o eliminam completamente, onde os valores citados referem-se a dado do ano de 2020.

Os principais métodos de extração do óleo de sementes vegetais são prensagem a frio e extração por solventes, e processo misto de prensagem e extração por solventes. Já as principais técnicas de extração de proteínas são a extração alcalina, extração salina e a extração aquosa, além destas, tem-se a extração ácida, extração enzimática, extração com líquido pressurizado, extração fracionada com diferentes solventes. Processos de extração não convencionais que reduzem o impacto ambiental, como a extração assistida por ultrassom para biomoléculas vegetais, seja para óleos ou proteínas, tem sido estudado, alcançando altas taxas de extração. O processo assistido por ultrassom consiste numa extração onde a atuação das ondas ultrassônicas provocam o fenômeno de cavitação, onde um aumento de pressão local na parede celular da matriz causa um rompimento celular expondo os compostos de interesse ao meio que está o solvente extrator; esse método no geral sozinho ou combinado com outras técnicas promovem um aumento no rendimento extrativo, tanto de proteínas quanto óleos vegetais.

Devido ao fato de a amêndoa do pequi possuir grande quantidade de óleo e proteínas, faz-se necessário estudar técnicas de extração utilizando tecnologias ambientalmente corretas,

para que a exploração dessa parte do fruto seja integralmente aproveitada. Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a extração sequencial de óleo da amêndoa do pequi utilizando etanol, um solvente verde, com ou sem assistência de ultrassom, seguida pela extração das proteínas do resíduo. Serão avaliados o rendimento da extração do óleo e a concentração das proteínas na extração do resíduo

2 OBJETIVO

2.1 Objetivos Gerais

Estudar a extração sequencial de óleo e proteínas da amêndoa do pequi, utilizando solvente verde, sem e com aplicação de ultrassom na etapa de extração do óleo.

2.2 Objetivos específicos

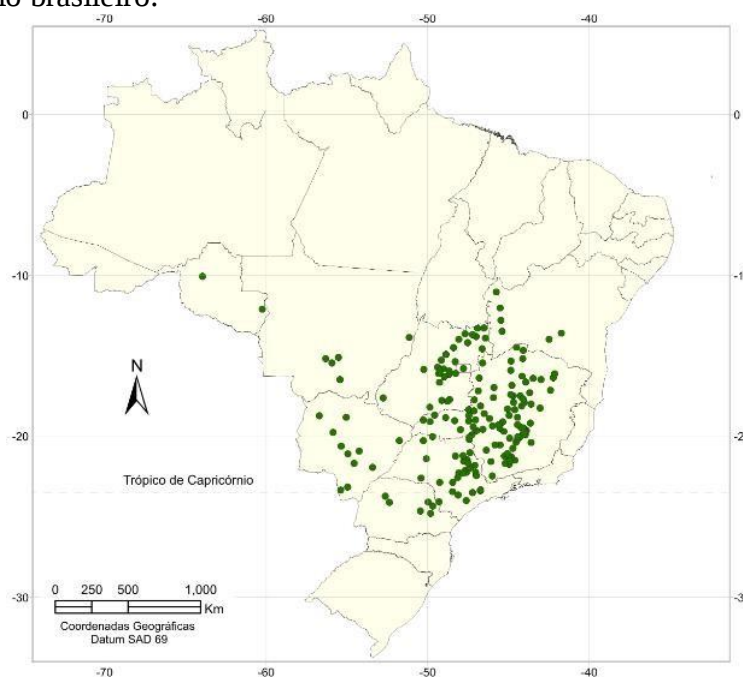
- Caracterização centesimal e antioxidante da amêndoa do pequi;
- Estudo da extração sequencial do óleo e proteína da amêndoa do pequi sem(incubadora)e com assistência do ultrassom na etapa de extração da fração oleosa;
- Na etapa de extração do óleo, estudo do efeito da amplitude e tempo do ultrassom no rendimento da extração do óleo, índice de peróxido do óleo e solução aderida no refinado e na etapa sequencial da extração das proteínas avaliação do efeito na concentração de proteínas extraídas;
- Avaliação do efeito do pH na extração das proteínas, utilizando água destilada e solução tampão fosfato como soluções de extração, para determinar o melhor pH e a solução extratora mais eficaz para a extração da proteína da amêndoa do pequi;
- Comparar o efeito da extração de óleo com etanol (sem e com assistência do ultrassom) com a extração convencional com hexano, avaliando os rendimentos da extração de óleo e concentração de proteínas na extração sequencial;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Pequi (*Caryocar brasiliensis* Camb.)

Pertencente à família *Caryocaraceae* ao gênero *Caryocar*, o pequi, espécie *Caryocar brasiliensis* Camb., é nativo do cerrado brasileiro. A etimologia do nome pequi vem do tupi, onde *py* (pele, casca) + *qui* (espinho), significando “casca espinhenta”, devido aos espinhos do endocarpo lenhoso ou caroço. O gênero *Caryocar* tem origem no grego, sendo *caryon* (núcleo ou noz) + *kara* (cabeça), significando “fruto globoso”. O pequi é prevalente nos estados da Bahia, Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rondônia, São Paulo e Tocantins (Figura 1) (CARVALHO, 2009).

Figura 1 – Prevalência natural do Pequizeiro da espécie *Caryocar brasiliense* Camb. no território brasileiro.



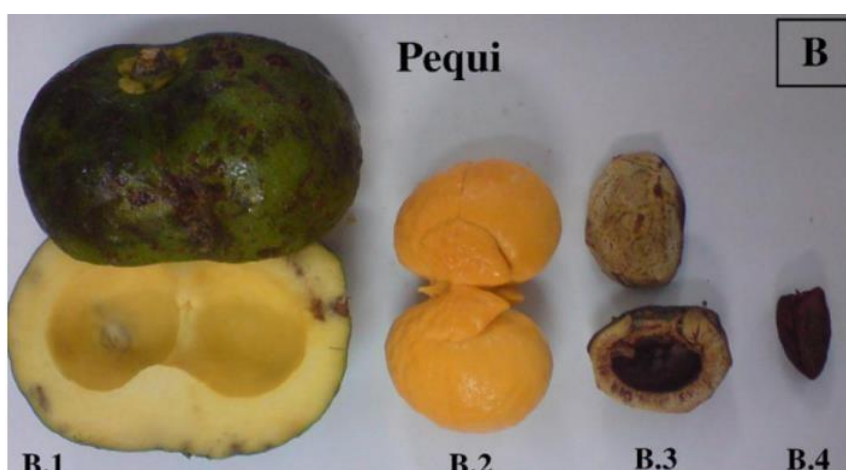
Fonte: Carvalho (2009).

O pequi tem se mostrado muito relevante para a economia dos agricultores do cerrado. Segundo a Emater-MG, na temporada 2020/2021, o fruto nativo movimentou cerca de R\$ 6 milhões de reais no município de Ribeirão Cascalheira, garantindo o sustento de centenas de famílias durante o restante do ano, graças ao beneficiamento e à comercialização de seus derivados (RIBEIRO, 2021). Enquanto a Emater estimou, em 2022, que a colheita do pequi poderia gerar uma renda de R\$ 600 mil reais para produtores rurais do Mato Grosso (PERSONA, 2022).

O fruto do pequi é uma drupa (frutos com caroço), tipicamente com duas sementes divididas em uma camada externa de cor branca e outra camada amarelada, com peso variando de 30 a 400 g e aproximadamente 12 cm de diâmetro (Figura 2). O endocarpo corresponde a cerca de um sexto do peso do fruto, e a semente possui aproximadamente 1,5g. O mesocarpo é carnoso, espesso e gorduroso, com forte sabor e cheiro. O endocarpo é lenhoso, coberto de pontas curtas e resistentes com uma superfície espinhosa por fora. As sementes têm formato semelhante a um rim e o embrião tem uma radícula reta e arqueada (CARVALHO, 2009; BARRADAS, 1972; HERINGER, 1984 apud ARAUJO, 1995).

O pequi tem um grande valor nutricional. A polpa amarela é rica em lipídios, compreendendo de 22 a 33,4% do seu conteúdo, além de 5,29 a 10,02% de fibra alimentar, e um baixo teor de proteínas (0,96% a 3%) conforme Tabela 1. Em comparação, na amêndoa são encontrados de 48,52% a 51,51% de lipídios e 25,27 a 33,3% de proteínas, conforme Tabela 2. A amêndoa pode ser utilizada na fabricação de paçoca e óleo, assim como ingrediente de farofas e doces, ou como petisco, na forma salgada ou doce considerada saborosa semelhante ao amendoim (DAMIANI *et al.*, 2013; ALVES *et al.*, 2014; CARVALHO, 2009). A casca do fruto (epicarpo + mesocarpo interno) – é utilizada na alimentação animal e para compostagem (LOPES, 2022), enquanto as flores, frutos e sementes são utilizados para produtos farmacêuticos (BARRADAS, 1973). A Tabela 1 traz trabalhos que demonstram a composição nutricional da polpa do pequi.

Figura 2 – Partes do pequi.



Legenda: B: Pequi; B.1: Exocarpo castanho-esverdeado e mesocarpo externo (polpa branca); B.2: Mesocarpo interno (polpa amarela); B.3: Endocarpo espinhoso (sem o mesocarpo interno) contendo a semente comestível; B.4: Semente comestível.

Fonte: Sousa *et al.* (2011).

A amêndoa do pequi possui um alto teor de óleo (48,52% a 51,51%) e proteínas (25,27% a 33,3%), seguidos de carboidratos (5,7% a 21,88%), cinzas (2,44% a 5,08%) e fibras (2,2% a 5,2%) (LIMA *et al.*, 2007; RAMOS; SOUZA, 2011; ARAÚJO *et al.*, 2018). A Tabela 2 sintetiza esses trabalhos com a composição centesimal da amêndoa do pequi.

Lima; Souza; Pinto (2020) obtiveram um concentrado proteico da amêndoa do pequi com um teor de proteínas de 88,8% utilizando precipitação ácida. Já Guimarães *et al.* (2022), extraíram o óleo bruto das sementes de pequi obtendo alto teor de ácidos graxos principalmente oleico (54,14%) e palmítico (36,71%), no processo de extração por solventes utilizando o etanol. Lima *et al.* (2007) também encontraram o valor de 43,76% para o ácido palmítico e 43,59% de ácido oleico no óleo da amêndoa do pequi.

No caso das sementes e do mesocarpo interno, estes são capazes de produzir um óleo, que é considerado por muitos, um bom substituto da manteiga e ótimo para cozinhar. Além dos pratos da culinária local como o arroz com pequi, a polpa deste fruto é utilizada na fabricação de óleo, licor alcoólico, doces, bolos, farinhas, temperos, sucos, sorvetes; e as frutas impróprias para cozinhar são utilizadas para produção de sabonetes caseiros (HERINGER, 1970; KAWANISHI; RAFFAUF; SCHULTES, 1986; LOPES, 2022)

Tabela 1–Composição nutricional da polpa do pequi.

Lipídios	Proteínas	Carboidratos	Fibras	Cinzas	Fonte
33,4%	3%	11,45%	10,02%	0,63%	Lima <i>et al.</i> (2007) b.u*
33,53%	3,28%	57,83%	5,29%	2,67%	Ramos e Souza (2011) ** b.s*
22%	0,96%	12,81%	-	0,79%	Leite <i>et al.</i> (2019) b.u*

Legenda: b.u* - Base úmida; b.s* - Base seca; ** Média dos frutos de diferentes regiões e espécies *Caryocar coriaceum*.

Fonte: Da Autora (2024).

Tabela 2–Composição nutricional da amêndoa do pequi.

Lipídios	Proteínas	Carboidratos	Fibras	Cinzas	Fonte
51,51%	25,27%	8,33%	2,20%	4,01%	Lima <i>et al.</i> (2007) b.u*
48,52%	27,12%	21,88%	2,85%	2,44%	Ramos e Souza (2011) ** b.s*
50,0%	33,3%	5,7%	5,2	5,8%	Araújo <i>et al.</i> (2018) b.s*

Legenda: b.u* - Base úmida; b.s* - Base seca; ** Média dos frutos de diferentes regiões e espécies *Caryocar coriaceum*.

Fonte: Da Autora (2024).

3.2 Métodos de extração de óleos

A extração de óleo vegetais ocorre, em sua maioria, por prensagem ou por solventes orgânicos, ou num processo misto. A prensagem a frio é um método de extração mecânica, utilizado para extrair óleo de diversas espécies, em especial na produção de óleo de oleaginosas, ocorrendo sem a necessidade de calor ou reações químicas, o que resulta em óleos de maior qualidade, principalmente em relação à fitoquímicos. A extração mecânica é viável economicamente apenas para espécies com elevado teor de óleo, pois a percentagem de óleo que permanece na torta da extração por prensagem varia de 8 a 15%. Esta extração consiste na colocação das sementes em uma prensa hidráulica, onde emulsão do óleo e torta são coletados, e a emulsão é separada nas frações de água e óleo por meio da decantação, centrifugação ou destilação fracionada (SIMÕES *et al.*, 2007; CAKALOGLU; OZYURT; OTLES, 2018). A Figura 3 mostra resumidamente, o esquema do processo de obtenção de óleo de sementes vegetais por prensagem.

Figura 3– Extração de óleo por prensagem à frio.



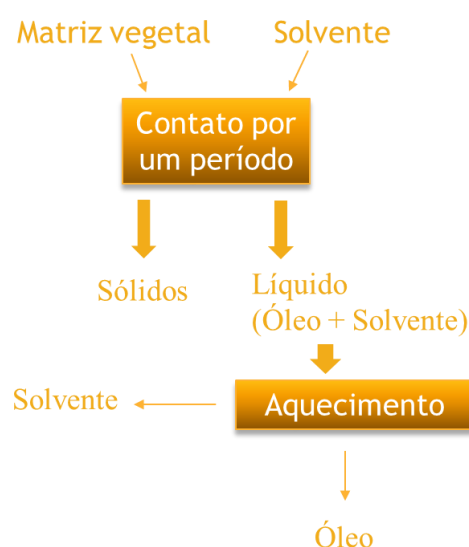
Fonte: Da Autora (2024).

Torres *et al.* (2016) realizaram a caracterização físico-química e a capacidade antioxidante de óleos da amêndoa de pequi extraídos artesanalmente, onde o óleo é obtido por meio de cozimento em água pré-aquecida a 60-70°C, e o óleo sobrenadante resultante do processo de cozimento é separado, aquecido para eliminação da água restante e filtrado, ou por prensagem a frio onde a amêndoa seca ao sol é esmagada para extração do óleo, concluindo que os dois métodos de extração dos óleos foram satisfatórios.

Na extração do óleo usando solvente orgânico adequado, a matriz vegetal previamente preparada entra em contato com o solvente por um período suficiente para a transferência dos

compostos presentes na planta. Após isso, ocorre a separação das fases sólida (refinado) e líquida (extrato), sendo que a fase extrato contém o óleo solubilizado, composto de interesse. O processo de separação entre o óleo e solvente pode ser realizado por meio da evaporação do solvente, especialmente se este tiver um calor latente de vaporização baixo (Figura 4). É importante ressaltar que o uso de solventes derivados do petróleo requer a remoção total do solvente do óleo ao final do processo devido aos seus efeitos nocivos à saúde humana e ao meio ambiente (STEFFANI, 2003; BAUMLER *et al.*, 2016; SARTOR, 2009).

Figura 4 – Extração de óleo por solventes.



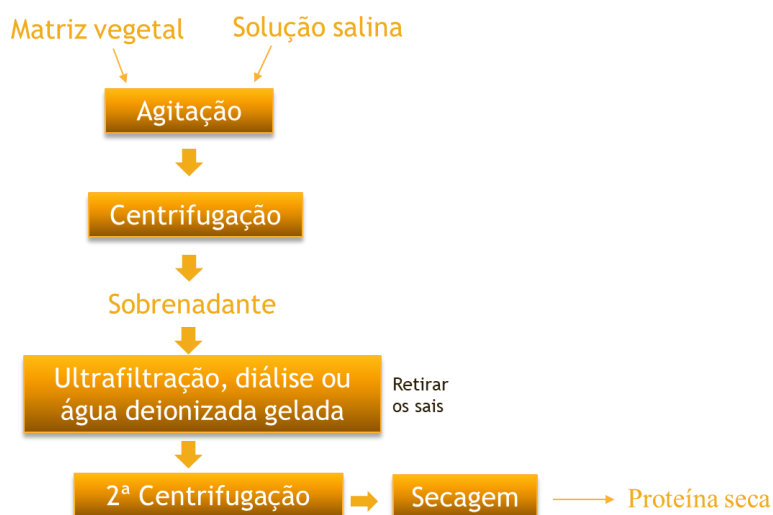
Fonte: Da Autora (2024).

A hexana, uma mistura de hidrocarbonetos onde o hexano é o principal solvente, é comumente utilizada para a extração de óleos vegetais, sendo considerada nociva à saúde (BAUMLER *et al.*, 2016). Assim, diversos estudos buscam substituir o hexano por solventes considerados “verdes”, como acetona, etanol e isopropanol por serem menos nocivos ao meio ambiente e à saúde humana (OLIVEIRA *et al.*, 2013). Exemplos de trabalhos bem-sucedidos neste sentido incluem de Castejón, Luna e Señoráns (2018), que extraíram óleo de sementes de *Echium plantagineum* L. utilizando como solventes acetato de etila, etanol, água e mistura etanol-água; Oliveira, Barros e Gimenes (2013) que extraíram óleo da semente de maracujá com acetona, etanol e isopropanol, empregando ultrassom, shaker e soxhlet; Guimarães *et al.* (2022) que utilizaram etanol para extrair óleo da amêndoa do pequi, obtendo 40,73% de óleo extraído, e Araújo *et al.* (2018) que extraíram óleo da amêndoa do pequi utilizando como solvente etanol, acetona e isopropanol.

3.3 Métodos de extração de proteína

A extração de proteínas vegetais pode ocorrer por extração salina, alcalina, ácida ou extração aquosa, com a precipitação salina, ou no ponto isoelétrico. No processo de extração salina, a farinha desengordurada proveniente da matéria vegetal é dispersa em uma solução aquosa salina por um período que varia entre 30 minutos e 2 horas, sob agitação. Em seguida, realiza-se a centrifugação para a separação do extrato proteico da fração insolúvel, sendo os sais removidos deste extrato por meio de ultrafiltração, diálise ou lavagem com água deionizada gelada. Posteriormente, a proteína, livre dos íons salinos, passa por uma nova centrifugação e é submetida a um processo de secagem, obtendo-se o concentrado proteico (HADNADEV *et al.*, 2017), como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Extração salina de proteína.

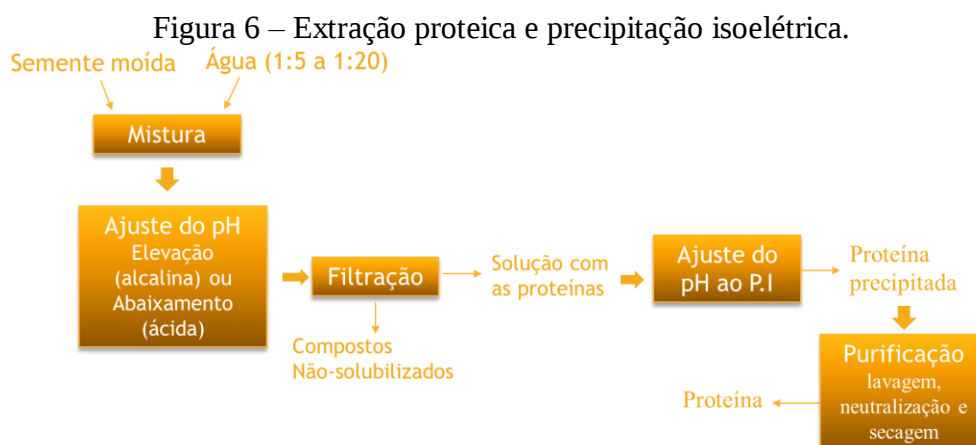


Fonte: Da Autora (2024).

A extração salina se baseia em dois fenômenos, o *salting-in* e o *salting-out*. No *salting-in*, os íons do sal em um meio aquoso são dissociados, e interagindo com as cargas superficiais das moléculas de proteína. Isso aumenta a solubilidade das proteínas no meio, pois reduz a interação proteína-proteína devido ao aumento da repulsão eletrostática e pela hidratação por pontes de hidrogênio. Já no *salting-out*, em concentrações mais altas do sal, as interações entre os íons do sal e as moléculas de água são favorecidas. As cargas superficiais proteicas ficam livres para interagir entre si, fortalecendo a interação proteína-proteína e diminuindo a solubilidade (GRANDE, 2016).

Um exemplo desse fenômeno é a precipitação de proteínas do soro de leite pelo método de *salting-out* utilizando $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Nesse caso, ocorre a ligação das moléculas de água aos íons SO_4^{2-} , reduzindo a quantidade de água livre na solução e favorecendo a precipitação das proteínas no meio (ROSENBERG, 2005 apud. LEIFELD, 2014). Segundo FONTANARI *et al.* (2007), as proteínas da semente da goiaba tiveram sua solubilidade reduzida com o aumento da concentração do sal NaCl.

A extração por precipitação isoelétrica se inicia com a dispersão da farinha desengordurada em água na proporção de 1:5 até 1:20, com o pH elevado (alcalino) ou reduzido (ácido). Esta mistura é mantida em temperatura elevada, cerca de 65°C, por intervalos de 30 a 180 minutos, visando a extração dos compostos solúveis e posteriormente submetida a centrifugação para separação dos sólidos insolúveis da solução. Em seguida, o pH da solução é ajustado ao ponto isoelétrico das proteínas em questão, o que resulta na precipitação das proteínas. Finaliza-se com a etapa de purificação, que inclui lavagem, neutralização e secagem (BOYE; ZARE; PLETCH, 2010), obtendo-se um isolado proteico conforme demonstrado na Figura 6.



Fonte: Da Autora (2024).

Silva *et al.* (2015) obtiveram isolados proteicos (IP's) da amêndoa da munguba, em pH alcalino (10,0) e ácido (2,0), demonstrando promissoras propriedades emulsificantes e solubilidade, principalmente para os IP's e rendimento obtidos da extração em pH 10. Para as proteínas da amêndoa da faveleira, também foram encontrados bons resultados para a solubilidade na extração em pH alcalino e posterior precipitação isoelétrica, e na capacidade de emulsificação de óleo do isolado proteico (CAVALCANTI; BORA; CARVAJAL, 2009).

A extração aquosa ocorre devido à solubilidade natural da maioria das proteínas em água (fração de albuminas), estas se concentram na solução aquosa de maneira distinta do

amido presente nos vegetais. Enquanto a parte do amido insolúvel permanece suspensa ou decantada, a fração solúvel, proteínas, fica dispersa na solução. O processo envolve a mistura e centrifugação de água e farinha, seguido pela remoção do sobrenadante para secagem. Outra abordagem inclui um segundo estágio de extração, com a adição de água, nova mistura, centrifugação e secagem do sobrenadante, conforme ilustrado na Figura 7 (OTTO; BAIK; CZUCHAJOWSKA, 1997).

Figura 7 – Extração aquosa de proteínas.



Fonte: Da Autora (2024).

3.4 Extração assistida por ultrassom

Quando as barreiras físicas da estrutura celular são rompidas, o conteúdo das células vegetais fica exposto, facilitando a extração. Essa ruptura celular pode ocorrer por meios mecânicos, químicos ou térmicos, sendo os meios de menor custo e impacto ambiental mais estudados (POJÍČ; MIŠAN; TIWARI, 2018). A tecnologia de ultrassom baseia-se na liberação de substâncias intracelulares causada pela ruptura dos tecidos devido à pressão local gerada pela implosão das bolhas. Essas bolhas são formadas pela propagação de ondas ultrassônicas e forças de cavitação resultantes (SHALMASHI *et al.*, 2009; SUSLICK; DOKTYCZ, 1990). O mecanismo de extração por ultrassom envolve dois fenômenos físicos: difusão através da parede celular, e lavagem do conteúdo nas paredes quebradas ou rompidas da célula (MASON; PANIWNKY; LORIMER, 1996). A energia resultante do ultrassom facilita a lixiviação de compostos orgânicos e inorgânicos da matriz vegetal, proporcionando uma mistura mais eficaz dos conteúdos, transferindo energia mais rapidamente, reduzindo gradientes térmicos e temperaturas de extração, além de aumentar a taxa dos processos. No

entanto, há desafios, como a desnaturação e alteração das estruturas de proteínas em intensidades elevadas, resultando na alteração de propriedades funcionais, e modificação de outros compostos no material (HERRERA; CASTRO, 2005; CHEMAT; TOMAO; VIROT, 2008; POJIĆ, MIŠAN; TIWARI, 2018). Na extração de óleo de sementes e amêndoas oleaginosas, o ultrassom atua na formação de bolhas decorrentes da cavitação, que se implodem, acelerando a transferência de massas dos solutos para o solvente devido a mudanças na temperatura e pressão. Técnicas convencionais de extração de óleo têm limitações, como alto consumo de energia e baixo rendimento, sendo um problema ambiental. A combinação de extrações “verdes” com ultrassom, utilizando solventes verdes, enzimas, micro-ondas e tecnologia supercrítica, aumenta o rendimento de extração de óleo vegetal, facilitando a entrada do solvente no interior da matriz celular, considerando o formato e tamanho das partículas (JUNAID *et al.*, 2022). No caso da extração proteica, o ultrassom causa pontos de baixa pressão no solvente formando bolhas que, ao colapsarem, liberam energia capaz de promover fissuras na matriz vegetal, facilitando a entrada do solvente e, conseqüentemente, a extração de proteínas presentes (OCHOA *et al.*, 2017).

3.5 Extração de compostos utilizando tecnologias verdes e emergentes

O termo “solvente verde” refere-se a um solvente menos agressivo ao meio ambiente em comparação com os solventes convencionalmente utilizados. Não há um solvente orgânico totalmente ‘verde’, não agressivo ambientalmente, e é essencial considerar sua competitividade em termos de preço e desempenho, além da necessidade de uso de cossolventes ou solubilizantes para tornar as moléculas hidrofóbicas solúveis em água, quando há presença da mesma na mistura dos solventes extratores. Uma questão é o fato de que a maioria destes cossolventes ou solubilizantes conhecidos (compostos que possibilitam a dissolução de algumas substâncias em água) não se encaixam nas regras para ser considerado uma substância química verde, e tanto solventes quanto os cossolventes ou solubilizantes, necessitam ser substâncias ecológicas e atóxicas para um processo ser considerado realmente verde (HACKL; KUNZ, 2018). Tecnologias emergentes como micro-ondas e ultrassom, têm sido empregues para potencializar a extração, rompendo a parede celular e expondo os compostos-alvo ao solvente extrator (POJIĆ; MIŠAN; TIWARI, 2018), facilitando assim o processo de extração. Alguns exemplos de extração utilizando amêndoas podem ser vistos como no trabalho Lima; Souza; Pinto (2020), onde avaliaram a obtenção de concentrado proteico da amêndoa do pequi utilizando precipitação ácida em diferentes pHs, concluindo

que a faixa de pH entre 3,5 e 5,0 é a mais adequada, resultando no teor extrativo de proteínas de 22,3%. De Souza, Dias, Koblitiz e Bell (2020) estudaram os efeitos da extração enzimática de óleo e proteína da torta de amêndoa com relação a propriedades físico-químicas e funcionais de extratos, avaliando dois tipos de extração: extração aquosa e extração aquosa enzimática. Na extração aquosa obtiveram rendimentos de 26,2% e 67,7% para óleo e proteínas, respectivamente, enquanto na extração aquosa enzimática os rendimentos foram de 29,1% e 70,2%, respectivamente. As desemulsificações químicas e enzimáticas do creme resultaram, respectivamente, em recuperações máximas de óleo de 98,7 e 62,8%, respectivamente. Concluíram que a hidrólise enzimática modificou as propriedades físico-químicas das proteínas, com a diminuição da hidrofobicidade superficial das proteínas, aumentando a solubilidade da proteína para 95,3%, mas reduzindo as propriedades de emulsificação e formação de espuma em comparação com o processo de extração aquoso sem enzimas. Na extração assistida por ultrassom de óleo da semente da romã utilizando hexano como solvente, Goula (2013) alcançou uma extração de 60% de óleo na temperatura de 20°C por 20 minutos, com a sonda de ultrassom a 130 W, 20 kHz, e nível de amplitude de 60%; razão entre solvente. As Tabelas 3 e 4 mostram parâmetros utilizados na extração de óleo e proteína de diversas sementes vegetais em alguns estudos.

Tabela 3 – Parâmetros utilizados para extração de óleo

Tipo de semente	Temperatura (°C)	Tempo de extração (min)	Solvente/Tecnologia para extração de óleo	Razão m:v*	Parâmetros do Ultrassom	Autores
Mamão-papaia	62,5	38,5	Hexano + Ultrassom	1:7	700W, 40 kHz	SAMARAM <i>et al.</i> , 2015
Romã	20	20	Hexano + Ultrassom	1:20	130W, 20 kHz	GOULA, 2013
Víbora roxa			Etanol	1:10	-	RINCON-CERVERA <i>et al.</i> , 2020
Pequi	Secagem a 40°C por 2 horas	240 (4h)	Soxhlet/éter de petróleo	-	-	FERREIRA <i>et al.</i> , 2011
Pequi	Ambiente	45	Prensa hidráulica; cozimento e separação do óleo no cozimento	-	-	TORRES <i>et al.</i> ; 2016
Pequi	100	300 (5h)	Etanol + 25% catalisador em peso	1:16	-	GUIMARÃES <i>et al.</i> , 2022
Pequi	60-90	27	Isopropanol pressurizado	-	-	CORNELIO-SANTIAGO <i>et al.</i> , 2022

*Relação massa da amostra/massa de solvente.
 Fonte: Da Autora (2024).

Tabela 4 – Parâmetros utilizados para extração de proteínas em diversas sementes/polpas vegetais

Semente/ polpa vegetal	Temperatura (°C)	Tempo de extração (min)	Solvente/Tecnologia para extração de proteína	Relação massa da amostra: solvente	pH	Autores
Romã	170	12min	Ultrassom + solventes eutéticos profundos naturais (NADES) e extração líquida pressurizada (PLE)	30mg/5ml	-	GUZMAN-LORITE; MARINA; GARCIA, 2022
Polpa de coco	4°C	2,5 min	Ultrassom + Precipitação ácida	1:5	4	MARTINEZ- PADILLA <i>et al.</i> , 2022
Chia	50 e 80 °C sem influência da temperatura no rendimento	60min	Precipitação com ajuste de pH + calor por Ultrassom (tipo sonda)	1:30	9	WANG; LU; KUO, 2022
Tomate		60min	Ultrassom por 2 min e 18 seg	1:52	-	OZYURT; TETIK; OTLES,2021
Maracujá	-	30min	Precipitação alcalina + Ultrassom (sonicação40kHz)	-	12	ESPINOSA- MURILLO <i>al.</i> ,2021
Amendoim	35°C	30 min	Ultrassom (intensidade de 3,17Wcm ⁻³)	-	-	SUN <i>etal.</i> ,2021
Feijões Ganxet	4°C	60 min	Precipitação alcalina seguida por ultrassom	1:10		NGUYEN; LE,2019

Fonte: Da Autora (2024).

3.6 Extração de compostos na amêndoa e polpa do pequi

Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária, a ANVISA, óleos e gorduras vegetais são definidos como:

“Óleos e gorduras são produtos constituídos principalmente de glicerídeos de ácidos graxos de espécie(s) vegetal(is). Podem conter pequenas quantidades de outros lipídeos como fosfolipídios, constituintes insaponificáveis e ácidos graxos livres naturalmente presentes no óleo ou na gordura (BRASIL, 2005).”

Os óleos extraídos da semente e da polpa do pequi são nutritivos, destacando-se por seu alto teor de ácidos graxos essenciais. Guimarães *et al.* (2022) encontraram um teor extrativo de óleo das sementes de pequi de 40,73%, utilizando etanol como solvente. O óleo obtido tinha um alto teor de ácidos graxos, principalmente ácido oleico (54,14%) e palmítico (36,71%). Embora o etanol seja um substituto viável do hexano por ser menos tóxico e renovável, conforme dito por Araújo *et al.* (2019), é crucial investigar co-solventes que melhorem a solubilidade do óleo no etanol e o rendimento da extração do óleo. Lima *et al.* (2020) utilizaram uma prensa hidráulica para a extração do óleo da amêndoa do pequi, obtendo um alto teor de lipídios (55,76%); Cornelio-Santiago *et al.* (2022) utilizando líquido pressurizado, encontraram no óleo da amêndoa de pequi 47,13% de ácido linolênico e 50,77% de oleico. A extração a frio realizada por Torres *et al.* (2016) revelou um perfil de ácidos graxos com significativa quantidade de ácido oleico (53,48 a 55,41%), palmítico (33,30 a 35,89%) e ácido linoleico (5,85 a 7,23%). Além disso, o óleo extraído da amêndoa do pequi apresentou atividade antibacteriana, compostos fenólicos (de 87,56 a 392,00 mg GAE/100 g), carotenóides (de 36,03 a 262,40 mg/100 g), alfa-tocoferol (52 a 67%) e estigmasterol (63 a 68%) (FERREIRA *et al.*, 2011; TORRES *et al.*, 2016), mostrando um conteúdo significativo de compostos bioativos. A amêndoa do pequi tem quantidades de proteínas superior a encontrada em sua polpa. Ramos e Souza (2011) e por Lima *et al.* (2007) identificaram teores de proteínas de 3,28 e 27,12%, e de 3 e 25,27%, na polpa e na amêndoa, respectivamente. Fagundes *et al.* (2019) analisaram os aminoácidos presentes na proteína da amêndoa do pequi, destacando a presença majoritária de lisina, além de valina, metionina e cistina, isoleucina, histidina, fenilalanina e tirosina. Em valores, segundo os autores, que superam até mesmo as recomendações da FAO de 1985 para os aminoácidos essenciais (histidina, isoleucina, lisina, metionina, fenilalanina e valina). Nas pesquisas realizadas, a extração proteica é realizada em matéria desengordurada devido à interferência dos lipídios na extração proteica. Fagundes *et al.* (2019) na extração de proteínas da amêndoa de pequi com 55,4% de óleo, obteve uma

extração de 25,3% de proteínas, já na extração de proteínas de farinha da amêndoa desengordurada com teor de lipídios de 3,0%, obtiveram uma extração de proteínas de 65,5%. O uso do ultrassom na extração de proteínas de sementes vegetais, tem vantagens no processo como observado por Sun *et al.* (2021) em relação à eficiência da extração, redução do tempo, e nas propriedades emulsificantes do isolado proteico de amendoim, quando comparado à extração alcalina. Na extração da mucilagem de sementes de chia, o uso do ultrassom proporcionou maior eficiência extrativa (WANG; LU; KUO, 2022). A Tabela 5 sintetiza os resultados dos trabalhos mais relevantes sobre extração de óleo e proteínas na polpa e amêndoa do pequi, onde os autores aplicam tecnologias “verdes” total ou parcialmente.

Tabela 5 –Tecnologias verdes na extração de óleos e proteínas na polpa e semente do pequi

Parte do Pequi	Pré-tratamento	Tecnologia verde empregada	Composto extraído	Autores
Amêndoa	-	Etanol	Óleo	GUIMARÃES <i>et al.</i> , 2022
Polpa	Secador de bandeja, 60°C	Tratamento enzimático e prensagem	Óleo	MARIANO; COURI; FREITAS, 2009
Amêndoa	Secagem em estufa a vácuo a 45°C, 48h e 16,8kPa	Etanol e co-solventes hexano e isopropanol	Óleo	ARAUJO <i>et al.</i> , 2019
Polpa	Incubada 40°C, 19 h	Incubadora-agitadora +acetona pura ou misturada com álcool etílico (melhor rendimento)	Óleo	AQUINO <i>et al.</i> , 2011
Polpa	Secagem estufa circulação 45°C, 24 h. congelado a -18°C, e a polpa seca foi moída	Fluido supercrítico CO ₂ (pureza >99,5%, MPa e tempo estático de 10min	Óleo	JOHNER <i>et al.</i> , 2018
Amêndoa	Secagem, estufa a vácuo, 45°C, 48h, 16,8 kPa	Etanol, hexano, acetona e isopropanol	Óleo	ARAUJO <i>et al.</i> , 2018
Amêndoa	-	Prensagem hidráulica	Óleo	LIMA <i>et al.</i> , 2020
Amêndoa	-	Isopropanol pressurizado	Óleo	CORNELIO-SANTIAGO <i>et al.</i> , 2022
Amêndoa	Secagem em estufa, 60°C, 24 h, extração soxhlet por 19 h-	Precipitação ácida utilizando HCl 0,5 M	Proteína	Lima <i>et al.</i> , 2020

Fonte: Da Autora (2024).

Em todas as partes do fruto do pequi podem ser encontrados compostos antioxidantes. Ao estudar as farinhas da casca do pequi, Cangussu *et al.* (2021) encontraram compostos fenólicos e carotenoides, destacando a presença predominante de luteína e β -caroteno, além de β -criptoxantina. Lima *et al.* (2007) constataram que a polpa do pequi possui valores elevados de compostos fenólicos totais (209 mg/100g), superando muitas polpas de frutas consumidas no Brasil, como açaí, goiaba, morango, abacaxi, graviola e maracujá, sendo o valor inferior apenas à polpa de acerola e manga, demonstrando sua elevada capacidade antioxidante.

Quanto à amêndoa, os mesmos autores constataram que esta possui um teor reduzido de fenólicos e de carotenoides totais (209 mg/100g e 7,25 mg/100g, respectivamente). Esses valores são similares aos encontrados em outras amêndoas típicas do cerrado brasileiro, como o baru, bocaiúva e caju.

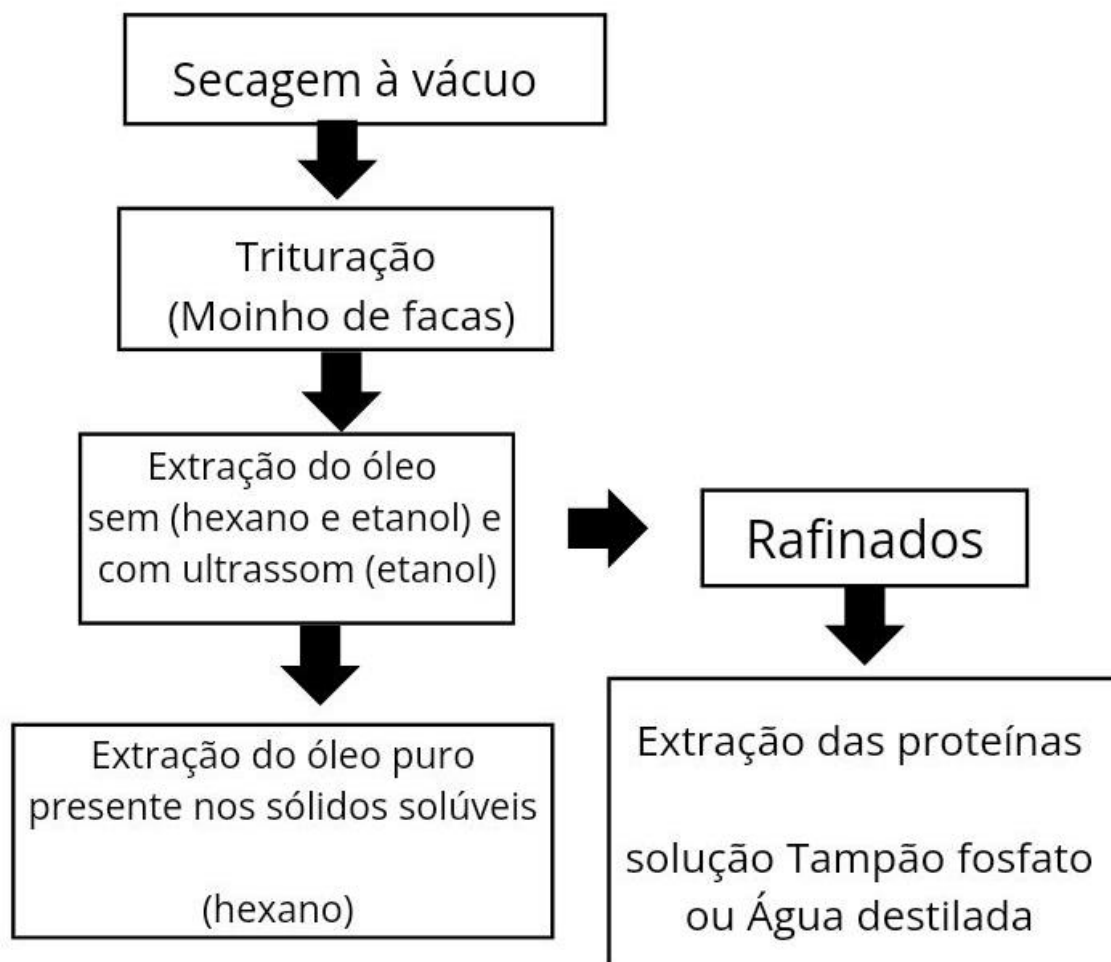
4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram caracterizados três lotes distintos da amêndoa do pequi provenientes do estado de Minas Gerais, que foram armazenados sob congelamento. Esses lotes correspondem, respectivamente, fruto inteiro in natura (lote 1; safra de fevereiro de 2022), mesocarpo interno com o caroço minimamente processado, sem a casca (lote 2; safra de 2023), e amêndoas secas ao sol embaladas à vácuo (lote 3; safra de dezembro de 2022 a fevereiro de 2023). Os mesocarpos internos dos dois primeiros lotes foram lavados com detergente neutro, sanitizados com cloro (50 mg/L), e as amêndoas separadas das polpas com guilhotina manual e armazenadas a -18°C , em sacos de poliestireno devidamente identificados até o uso. O terceiro lote das amêndoas foi armazenado a -18°C , até o uso. As análises foram realizadas nos Laboratórios de Engenharia de Alimentos, Embalagens, Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças e Química, Bioquímica e Análise de alimentos da Universidade Federal de Lavras.

Para a análise da composição centesimal dos antioxidantes, as amêndoas foram descongeladas a temperatura de refrigeração (4°C) e analisadas sem o processo de secagem prévio. O lote selecionado para a realização do estudo foi o lote 3, que, de acordo com os resultados da composição centesimal, continham o maior teor de óleo. Este lote passou pelo processo de extração utilizando etanol (solvente verde) como solvente de estudo, e hexano (solvente convencional) para fins comparativos, e extração por ultrassom com etanol.

Na Figura 8, encontra-se o fluxograma simplificado das etapas do preparo da matéria-prima até o processo de extração sequencial do óleo e da proteína.

Figura 8 – Fluxograma simplificado do processo de extração.



Fonte: Da Autora (2024).

4.1 Composição centesimal e atividade antioxidante da amêndoa do pequi

A composição centesimal: umidade (método nº 967.08), extrato etéreo (método nº 2003.06), proteína bruta (método nº 988.05), fibra bruta (método nº 958.06), cinzas (método nº 923.03) e carboidratos por diferença $100 - (\text{umidade} + \text{lipídio} + \text{proteína} + \text{cinza} + \text{fibra bruta})$, foram avaliados de acordo com as normas da AOAC (2005); e o valor energético total do material foi calculado utilizando os fatores de conversão de 4 kcal/g para proteínas e carboidratos e 9 kcal/g para lipídios (MERRIL; WATT, 1973). A atividade antioxidante da farinha da amêndoa foi determinada pelo método DPPH.

4.1.1 DPPH

A determinação da atividade antioxidante pelo ensaio de captura dos radicais DPPH por antioxidantes presentes nos extratos das amêndoas foi realizada conforme descrito por Brand-Williams *et al.* (1995) com adaptações. A mistura reacional foi composta por 0,1 mL de extrato vegetal e 3,9 mL de solução etanólica de DPPH (6×10^{-2} mM). Após 30 minutos de repouso e proteção da luz, as leituras foram realizadas em um leitor de microplacas (EZ Read 2000) a 515 nm. A capacidade de reduzir o radical DPPH (% Redução) foi calculada utilizando a seguinte Equação 1, onde Abs é a absorbância a 515 nm.

$$\%Redução = \frac{Abs,controle - Abs,amostra}{Abs,controle} * 100 \quad (1)$$

4.2 Extração do óleo

As amêndoas do lote 3, com as maiores quantidades de lipídeo e proteínas, foram descongeladas em temperatura refrigerada, secas em estufa à vácuo a 45 °C por 48 horas e sob uma pressão de 16,8 kPa, tempo determinado por Araújo *et al.* (2018) como necessário para que as amostras das amêndoas de pequi atingissem massa constante. Em seguida, as amêndoas foram trituradas em moinho de facas (Tecnal R-TE-650/1) e armazenadas em dessecadores para evitar a absorção de umidade até a extração dos compostos-alvo (óleo e proteínas). Foram avaliados dois métodos de extração do óleo da amêndoa do pequi: extração em incubadora (Marconi MA830/A) e extração assistida por ultrassom de sonda (Branson Digital Sonifier, Modelo 450), ambos utilizando etanol como solvente. Na extração assistida por ultrassom investigou-se o efeito do tempo e amplitude da sonicação, utilizando um planejamento experimental DCCR. Nestas extrações foram avaliados os efeitos no rendimento do óleo e índice de peróxido. Além disso, foi investigado o efeito desses tratamentos na extração sequencial das proteínas.

Na extração do óleo na incubadora, foi utilizado o procedimento adaptado de Araújo *et al.*, (2018). As amêndoas do pequi foram trituradas e pesadas juntamente com os solventes em balança analítica, e adicionadas à erlenmeyers de 125 mL, dentro de um cesto de organza conectada com o exterior por um fio de nylon, tampados com rolha de borracha para evitar a

perda do solvente para o ambiente. A razão mássica semente-solvente foi de 1:5, sob agitação de 120 rpm por um período de 16 horas na temperatura de 55°C. Após 16 horas de extração, a organza foi erguida pelo fio para separar as fases (sobrenadante e insolúvel/refinado), e permitir o escoamento do excesso da solução aderida na fase refinado, por 1 hora, mantendo o Erlenmeyer na incubadora, na temperatura de extração. Posteriormente, uma amostra da fase extrato (2 mL) e da fase refinado na organza foram transferidos para placas de Petri e secos em a estufa à vácuo 60°C e 16,8 kPa, para determinação da fração mássica de solvente nestas. O restante do extrato com o solvente foi transferido para uma outra placa de Petri com o intuito de se calcular a massa de óleo; massa total de solvente na fase extrato e da fase refinado foram obtidas por meio da evaporação até massa constante em estufa a vácuo. Após a secagem do extrato contendo o óleo em conjunto com outros sólidos solúveis, a fração oleosa da amostra da fase extrato seca foi extraída dos demais compostos com hexano (10 mL) como solvente. A mistura óleo e hexano foi adicionada a placa de Petri, o solvente evaporado por 8 horas em capela de exaustão, e seca em estufa a 105°C por 1h; a placa contendo apenas o óleo foi pesada, para o cálculo da fração de massa de óleo extraída.

As variáveis calculadas por gravimetria foram a massa da fase extrato, massa da fase refinado, a massa do solvente (2) na fase extrato (M_{FE}), a massa de solvente na fase refinado (M_{FR}), solução aderida na fase refinado e a fração mássica de óleo (1) na fase extrato ($w_{1,FE}$), sendo a fração mássica do óleo na fase refinado ($w_{1,FR}$) determinada por balanço de massa. O balanço de massa global e para os componentes de interesse no sistema é dado pelas seguintes Equações 2 e 3; onde M é a massa, w a fração mássica, FE a fase extrato, e FR a fase refinado.

$$M_{mistura} = M_{semente} + M_{solvente} = M_{FE} + M_{FR} \quad (2)$$

$$w_{1,mistura} * M_{mistura} = w_{1,FE} * M_{FE} + w_{1,FR} * M_{FR} \quad (3)$$

Na extração assistida por ultrassom, avaliaram-se os efeitos do tempo e amplitude no rendimento extrativo de óleo na temperatura ambiente (18°C), frequência de 20kHz e potência de 400W (100% de amplitude), e o impacto na etapa de extração sequencial no rendimento da extração de proteínas. Na extração assistida por ultrassom (EAU) do óleo, as massas da farinha de amêndoas e solvente (etanol) foram colocadas num béquer de 100 mL coberto com parafilm para evitar perda de solvente durante a extração. Foi feito um orifício no parafilm com o diâmetro correspondente à sonda do ultrassom. Após a extração, o béquer foi pesado e determinada a perda de massa do solvente, corrigindo a massa de solvente utilizada na

extração.

Em seguida, retirou-se uma amostra de 2 mL de extrato, que foi levada a estufa à vácuo 60°C e 16,8 kPa, para determinar a fração do solvente da fase extrato submetida ao ultrassom. Em seguida, o sistema foi centrifugado a 5.000 rpm por 1 minuto para a separação das fases extrato e refinado. O restante do extrato foi aquecido em banho-maria a 90°C para evaporar o solvente. Posteriormente, os sólidos solúveis obtidos desta fração do extrato, após removido o solvente (etanol), foram lavados com 10 mL de hexano para extração do óleo. As etapas de quantificação deste óleo foram as mesmas descritas na extração utilizando a incubadora, sendo a massa da fase extrato e da fase refinado determinadas por balanço de massa. No refinado após a centrifugação, uma amostra também foi levada a estufa à vácuo para evaporação do solvente e cálculo da solução aderida. As equações do balanço de massa global e para o óleo extraído (equações 2 e 3), são as mesmas que foram utilizadas na extração usando incubadora, citadas anteriormente.

O rendimento de óleo (RODRIGUES; OLIVEIRA, 2010) foi determinado pela Equação 4, tanto para o tratamento em incubadora quanto em ultrassom; onde M é a massa; w a fração mássica; o índice 1 representa o óleo, e FE a fase extrato.

$$R(\%) = 100 * \frac{w_{1,FE} * M_{FE}}{w_{1,amêndoa} * M_{amêndoa}} \quad (4)$$

Para a avaliação do efeito do ultrassom na qualidade do óleo, foi avaliado o índice de peróxido segundo AOCS (1993).

4.3 Extração da proteína

A metodologia de extração das proteínas da amêndoa do pequi foi baseada em Grande (2016) e Anastácio *et al.* (2021), com algumas adaptações; o refinado seco proveniente da extração do óleo foi adicionado a tubos Falcon na proporção 1:20 (m/v) refinado/solvente, e levado para incubadora por 1h a temperatura ambiente (24°C) e agitação de 60 x g. O solvente utilizado foi determinado num estudo da extração de proteínas com água destilada e tampão fosfato 0,01M, ambos com pHs ajustados de 2 a 10 utilizando NaOH 0,01N e HCl 0,1N; com o intuito de avaliar qual melhor solução extratora de proteína e seu respectivo valor de pH.

Foi construída uma curva de calibração para o reagente Bradford, segundo a metodologia descrita por Bradford (1976). A solução de Bradford foi obtida a partir da

diluição de 100 mg de Coomassie Brilliant Blue G-250 em 50 mL de etanol seguida da adição de 100mL de ácido fosfórico 85%. A solução teve seu volume completado para 1L com água destilada, sendo filtrada em papel filtro e armazenada na geladeira. As soluções-padrão foram preparadas em tampão acetato de sódio 0,05M em pH 4,8, adicionado de NaCl 0,15M. A solução-mãe de albumina bovina (padrão) foi preparada no tampão salino e, a partir da solução-mãe, foram feitas cinco diluições com as concentrações: 4,2 ug/mL, 20,8 ug/mL, 52,0 ug/mL, 104,0 ug/mL e 208,0 ug/mL. Em tubos de ensaio, foram adicionados 1 mL do reagente de Bradford e 0,1mL de cada uma destas diluições da solução-mãe, e em seguida, realizado as leituras das absorbâncias a 595 nm em espectrofotômetro (EZ Read 2000) substituindo a solução-padrão por água destilada para o branco. Assim foi gerada a Curva de calibração de absorbância a 595 nm *versus* concentração de albumina de soro bovina (Apêndice A).

Após o tempo de extração na incubadora (1h), os tubos foram centrifugados a 10.000 rpm por 30 minutos para separação do refinado e sobrenadante (extrato) contendo as proteínas extraídas. Posteriormente, foram pipetados 50 microlitros do extrato contendo as proteínas juntamente com 200 microlitros da solução de Bradford, aguardando os cinco minutos de reação antes da leitura de absorbância a 595 nm e num espectrofotômetro leitor de microplacas (EZ Read2000, Biochrom®) determinando a concentração proteica do extrato em cada valor de pH. A concentração de proteínas foi determinada por ajuste linear da curva absorbância *versus* concentração da proteína (curva de calibração- Apêndice A), para cada um dos solventes (água destilada e tampão fosfato). Os refinados utilizados para a extração de proteínas foram oriundos do processo de extração do óleo utilizando incubadora (etanol e hexano como solventes) e ultrassom (etanol como solvente) para cada um dos 12 tratamentos (item 4.4). O resultado da extração das proteínas foi expresso por sua concentração na solução extratora ($\mu\text{g}/\mu\text{L}$), com a finalidade de comparação dos tratamentos no ultrassom e da extração convencional com hexano e etanol (ultrassom e incubadora).

4.4 Delineamento experimental e Análise estatística

O estudo do efeito da extração com etanol assistida com ultrassom, foi realizado com um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), 2^2 , com 4 repetições no ponto central e 4 pontos axiais, totalizando 12 tratamentos. Os efeitos dos parâmetros amplitude e tempo de extração no ultrassom (variáveis independentes) foram avaliados no rendimento do óleo, índice de peróxido do óleo e concentração da proteína extraída no extrato da extração

sequencial. As extrações que ocorreram na incubadora foram realizadas em triplicata com os solventes etanol e hexano. A análise estatística entre os tratamentos do ultrassom foi realizada pelo delineamento composto central rotacional (DCCR) e análise da variância (ANOVA) à 5% ou 10% de significância no software Statistica versão 8.0, e posteriormente, foi realizada a comparação entre os tratamentos utilizando incubadora e o melhor tratamento com ultrassom.

Os resultados obtidos experimentalmente do DCCR foram submetidos à análise de variância e de regressão linear múltipla a fim de verificar a influência das variáveis independentes tempo e amplitude sobre as variáveis respostas rendimento de extração de óleo das amêndoas de pequi. Os coeficientes de regressão e as superfícies de respostas foram geradas somente considerando os termos significativos. Na Tabela 6 tem-se a matriz codificada e decodificada utilizada no experimento.

Tabela 6 – Matriz codificada e real utilizada no experimento.

Ensaio	Variáveis codificadas		Variáveis reais	
	x1	x2	Tempo(min.)	Amplitude (%)
1	1	1	18,5	27,0
2	1	-1	18,5	13,0
3	-1	1	11,5	27,0
4	-1	-1	11,5	13,0
5	-1,41	0	10	20
6	1,41	0	20	20
7	0	-1,41	15	10
8	0	1,41	15	30
9	0	0	15	20
10	0	0	15	20
11	0	0	15	20
12	0	0	15	20

Fonte: Da Autora (2024).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Composição centesimal e atividade antioxidante da amêndoa do pequi

Na Tabela 7, tem-se as médias das triplicatas obtidas nas análises da composição centesimal, extrato etéreo, cinzas, proteína, fibra e carboidratos em base seca, e umidade na matéria integral, para os três lotes das amêndoas de pequi. As amêndoas secas ao sol e embaladas à vácuo (lote 3) apresentaram o maior teor de óleo e proteínas na matéria seca, sendo este o lote selecionado para as análises de fibras, cinzas, carboidratos e compostos antioxidantes, e usado nos experimentos de extração sequenciais de óleo e proteínas.

Tabela 7 – Composição centesimal da amêndoa do pequi dos três lotes analisados.

Lote	Umidade (%)	Extrato etéreo	Proteínas	Fibras	Cinzas	Carboidratos
	M.I	(%) M.S	(%) M.S	(%) M.S	(%) M.S	(%) M.S
1	37,00	27,82	26,46	nd	nd	nd
2	42,89	29,56	28,21	nd	nd	nd
3	7,00	50,56	30,63	2,72	4,20	11,89

Legenda: Lotes 1: Carço in natura; 2: Carço minimamente processado; 3: Amêndoas secas ao sol. M.I – matéria integral; M.S – matéria seca. nd: não determinado

Fonte: Da Autora (2024).

O Lote 3 de amêndoas secas ao sol, obteve o menor teor de umidade (7,00%) entre os três lotes analisados, devido ao pré-tratamento de secagem. O teor de proteínas teve uma menor variação entre os lotes. A faixa do teor proteico nos lotes analisados (26,46% - 30,63%) se aproximou dos resultados de outros autores que estudaram a amêndoa do pequi, assim como o teor de resíduo mineral fixo (cinzas) (ARAÚJO *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2007; SOUSA *et al.*, 2011).

Os resultados indicam que a amêndoa de pequi (lote 3) é uma fonte rica em lipídeos (50,56%). Valores próximos foram obtidos por Araújo *et al.* (2018), Lima *et al.* (2007), Ramos e Souza (2011), e Sousa *et al.* (2011) que relataram 50,08%, 51,51%, 48,52% e 50% de extrato etéreo em amêndoa de pequi, respectivamente. Esses valores são superiores ao encontrados em outras amêndoas de frutos do cerrado como jatobá (5,20%), baru (36,54%),

araticum (27,23%) e buriti (3,58%) (LUZIA, 2012).

Como descrito por Yu, Haley e Perret (2002), a composição química centesimal dos frutos pode ser alterada devido a fatores como a variedade, cultivar, as condições climáticas e geográficas de produção, o processamento e a estocagem, dentre outros. A porcentagem de fibras (2,72%) foi próxima à encontrada por Lima *et al.* (2007) e Ramos e Souza (2011) (2,2, e 2,85%, respectivamente), e discrepante em relação a Sousa *et. al* (2011) (10,99%). Outras amêndoas de frutos do cerrado como jenipapo, jatobá, sapoti e buriti, apresentaram teores de fibras muito superiores em comparação com a amêndoa do pequi (50,11, 66,80, 54,91 e 70,66%, respectivamente) (LUZIA, 2012). O teor de carboidratos (fração glicídica) foi de 11,89%, valor próximo ao encontrado nos trabalhos citados na Tabela 8, com exceção dos resultados de Ramos e Souza (2011), que encontraram 21,88% e Sousa *et al.* (2011), um teor de 4,59%.

O valor energético encontrado para as amêndoas do pequi do lote 3 foi de 625,12 kcal/100g, próximo ao encontrado por Araújo *et al.* (2018) (606,72 kcal/100 g), Lima *et al.* (2007) (598,3 kcal/100 g), e Sousa *et. al* (2011) (570,20 kcal/100 g). Esse valor é considerado elevado quando equiparado a amêndoas de baru (505 kcal/100 g), araticum (360 kcal/100 g), e murici (356,83 kcal/100 g) (LUZIA, 2012; ARAÚJO *et al.*, 2018). Assim, é possível verificar que a amêndoa do pequi possui alto valor energético devido a seu valor calórico, bem como, potencial de emprego para fins tecnológicos, em decorrência de sua quantidade considerável de lipídeos e proteínas.

Segundo Scherer; Godoy (2009), amostras de matriz vegetal em análise apresentam atividade antioxidante pobre quando o valor for menor que 0,5, atividade antioxidante moderada quando estiver entre 0,5 e 1,0, atividade antioxidante forte quando estiver entre 1,0 e 2,0, e atividade antioxidante muito forte quando for maior que 2,0. O índice de redução pelo método de DPPH de 0,68 (68%) das amêndoas do lote escolhido (lote 3), mostrou-se adequado para a interpretação dos resultados da capacidade antioxidante de extratos de plantas, sendo este valor considerado uma atividade antioxidante moderada; Araújo *et al.* (2018) encontraram um valor de atividade antioxidante para amêndoas de *pequi in natura* utilizando o método DPPH de 74,4%, valor um pouco superior ao obtido neste trabalho.

Tabela 8 – Composição centesimal da amêndoa do pequi.

Autor	Extrato etéreo	Proteínas	Carboidratos	Fibras	Cinzas
Lima <i>et al.</i> (2007)	51,51%	25,27%	8,33%	2,2%	4,01%
Ramos e Souza (2011)	48,52%	27,12%	21,88%	2,85%	2,44%
Souza <i>et al.</i> (2011)	50,0%	29,65%	4,59%	10,99%	4,77%
Araújo <i>et al.</i> (2018)	50,0%	33,3%	5,7%	5,0%	5,8%
Autora (2024)	50,56%	30,63%	11,89%	2,72%	4,20%

Fonte: Da Autora (2024).

5.2 Extração de óleo das amêndoas de pequi com e sem assistência do ultrassom

Na Tabela 9 tem-se os resultados das extrações de óleo das amêndoas de pequi, com etanol e hexano como solventes em incubadora, a 55°C e 16 horas sob agitação (60 x g); e das extrações com etanol assistida com ultrassom (ensaios 1 a 12), conforme o delineamento DCCR. Nas extrações com o solvente etanol e hexano foi utilizado uma razão mássica de 1:5 de farinha de amêndoa de pequi:solvente.

Tabela 9 - Resultados do delineamento composto central para as extrações assistidas com ultrassom e das extrações com etanol e hexano em incubadora.

Ensaio	Variáveis reais			Variáveis respostas		
	Tempo (min.)	Amplitude (%)	Rendimento Óleo(%)	Conc. proteínas extraídas (µg/µL)	Índice de peróxido (meq O ₂ /kg)	Solução aderida no refinado(g de solvente/g raf.)
1	18,54	27,07	45,21	186,92	442,88	2,78
2	18,54	12,93	14,19	176,82	255,60	2,73
3	11,46	27,07	21,58	174,88	501,47	2,59
4	11,46	12,93	13,25	184,74	292,16	2,48
5	10,00	20,00	12,76	189,91	205,30	2,09
6	20,00	20,00	25,47	178,01	236,89	2,19
7	15,00	10,00	11,44	186,24	495,14	1,71
8	15,00	30,00	16,19	179,10	881,37	2,40
9	15,00	20,00	14,13	179,50	365,42	2,21
10	15,00	20,00	17,46	186,31	381,94	1,98
11	15,00	20,00	28,08	187,12	336,50	2,19
12	15,00	20,00	20,28	183,86	322,82	2,50
Etanol*	-	-	59,86	199,23	198,80	2,65
Hexano*	-	-	97,78	211,48	190,64	3,28

Legenda: * Extrações com etanol (55°C) e hexano (55°C) realizadas em incubadora com agitação (sem aplicação de ultrassom).

Fonte: Da Autora (2024).

Na Tabela 9, verifica-se que o maior rendimento de extração de óleo das amêndoas de pequi como solvente verde, etanol, ocorreu com o uso da incubadora na temperatura de 55°C por 16 horas, atingindo um valor de transferência de óleo de 59,86%, o que significa que foram extraídos 30,26 g de óleo/100 g de amêndoas secas. O menor rendimento ocorreu utilizando o ultrassom na temperatura ambiente (18°C), na amplitude de 10% e tempo de 15 minutos, cuja transferência de óleo foi de 11,44% (5,78 g de óleo/100 g de amêndoa seca). Considerando somente os tratamentos submetidos ao ultrassom, o maior rendimento foi obtido com o emprego de 18 minutos e amplitude de 27%, alcançando uma transferência de óleo de 45,21% (ou seja, extração de 22,86 g de óleo/100 g de amêndoas secas). Uma explicação para o maior rendimento da incubadora é que a solubilidade de óleos em solventes alcoólicos é influenciada pela temperatura, umidade e composição da matéria-prima, assim como o método de extração (ERICK, 1980; HRON; KOLTUN, 1984), onde o aumento da

solubilidade está relacionado ao aumento da temperatura, resultando em uma maior capacidade extrativa, além do tempo de extração ser suficiente para o sistema alcançar um equilíbrio prático. Isso pode ser observado no trabalho de Meziane e Kadi (2008), onde estudaram a extração de óleo da torta resultante da extração de azeite de azeitona por prensagem e observaram que o aumento da temperatura de 20°C para 50°C resultou em maiores rendimentos de extrações, os quais foram ocasionados pelo aumento da solubilidade e diminuição na viscosidade das soluções. Sawada (2012) também verificou maiores rendimentos (acima de 80%) em temperaturas de 60°C a 90°C, em comparação à de 40°C, na extração do óleo de farelo de soja na razão mássica 1:3 de farelo/solvente, utilizando etanol como solvente.

Na extração de óleo de sementes e amêndoas oleaginosas, as ondas de ultrassom são propagadas gerando forças de cavitação, ocorrendo assim a formação de bolhas decorrentes dessa cavitação que ao implodir causa uma pressão local na parede celular do material que se rompe, acelerando a transferência de massa do soluto (óleo) para o solvente (JUNAID *et al.*, 2022; SHALMASHI *et al.*, 2009; SUSLICK; DOKTYCZ, 1990). Mohammad *et al.* (2019) realizaram extração em banho ultrassônico e por soxhlet utilizando n-hexano como solvente, constatando que o método de ultrassom (rendimento de 53%) foi mais eficiente na extração de óleo de semente de moringa do que o método soxhlet (rendimento de 43%), utilizando o mínimo de solvente e tempo. Na extração de óleo de sementes de cânhamo, Lin *et al.* (2012) constataram que a extração assistida por ultrassom demandou menos solvente (n-hexano) e tempo de extração em comparação com a extração por solvente. No presente estudo extraíndo-se óleo da amêndoa do pequi, não se observou um maior rendimento com ultrassom em comparação à extração na incubadora. Isso pode ter ocorrido devido ao fato do equipamento ultrassônico utilizado não controlar a temperatura, fazendo assim que a extração de óleo ocorresse em temperatura ambiente (18°C) enquanto na incubadora a extração foi realizada a 55°C. Na extração utilizando etanol como solvente, temperatura ambiente (18°C), amplitude 27% e tempo de 18 minutos, o rendimento extrativo de óleo da amêndoa do pequi (45,21%) foi superior ao de alguns grãos e sementes encontrados na literatura. Zhang *et al.* (2019) conseguiram um rendimento de 32,27% em 20 minutos de operação e 250 W, na extração de óleo da semente de mamão com n-hexano; Tian *et al.* (2013) obtiveram um rendimento de 25,11% em 36 minutos, 140W e temperatura de 40°C, na extração de óleo da semente de romã utilizando éter de petróleo como solvente; na extração de óleo de canola, Jaliliet *al.* (2018) obtiveram um rendimento de 30,66% na potência de 800 W, 69,5 minutos e 55°C, utilizando hexano-isopropanol 3:2 como solvente; na extração de óleo de semente de

romã, houve um rendimento de 27,99%(165 W, 20 min., 60°C, hexano como solvente), e semente de maracujá 20,96% (165 W, 60 min., 60°C, solvente etanol), Barizão *et al.* (2015) e Pereira *et al.* (2017), respectivamente, onde o rendimento é expresso em percentagem de óleo em 100g de amostra.

No caso do uso do hexano como solvente comparado ao etanol, a extração de óleo da amêndoa do pequi utilizando hexano proporcionou uma extração superior, 97,78% (Tabela 9), em relação aos outros dois tratamentos (incubadora com solvente etanol, extração com etanol assistida por ultrassom). Demonstra-se, portanto, que mesmo alcançando um rendimento extrativo inferior à extração na incubadora, o ultrassom utilizou significativamente menor tempo de extração (18,54 minutos), enquanto na incubadora o período de extração foi de 16 horas.

Os dados experimentais do rendimento de óleo da amêndoa do pequi, obtidos do DCCR, foram submetidos a estimativa dos efeitos com intuito de se verificar a influência das variáveis estudadas (tempo e amplitude). Na Tabela10, encontram-se os resultados da estimativa dos efeitos das variáveis independentes para a transferência de óleo das amêndoas de pequi a 10% de significância.

Tabela 10 – Estimativa dos efeitos das variáveis independentes no rendimento de extração do óleo (% g de óleo extraído/100 g de óleo da amêndoa do pequi)

	Regressão	Std.Err.	t(6)	P	-90,%	+90,%
Mean/Interc.	19,99	3,79	5,269593	0,001884	12,61785	27,35971
(1) Tempo (min) (L)	5,32	2,68	1,982849	0,094649	0,10640	10,53047
Tempo(min) (Q)	1,33	3,00	0,445034	0,671900	-4,49266	7,16180
(2) Amplitude (%) (L)	5,76	2,68	2,147442	0,075372	0,54788	10,97194
Amplitude (%) (Q)	-1,31	3,00	-0,438075	0,676663	-7,14094	4,51353
1L x2L	5,67	3,79	1,495767	0,185347	-1,69714	13,04472

Legenda: Regr. Coefficients; Var.: Rend (%); R-sqr = 0,65254; Adj: 36298.

Fonte: Da Autora (2024).

A análise dos efeitos das variáveis independentes realizada está apresentada na Tabela 10 para os resultados experimentais do DCCR. Observa-se que de acordo com os dados, as variáveis X_1 (tempo) e X_2 (amplitude) tiveram efeito linear significativo no rendimento de óleo e positivos, indicando que um aumento na amplitude e no tempo de extração no ultrassom resulta em um aumento do rendimento de extração de óleo das amêndoas de pequi. Por outro lado, os efeitos quadráticos e de interação das variáveis X_1 e X_2 não foram significativos a 10% de significância.

Não foram geradas curvas de contorno nem equação para o rendimento de óleo, visto que o R^2 foi inferior a 0,7 (Tabela 10), indicando que o modelo não se ajusta o suficiente.

5.2.1 Índice de peróxido e solução retida no refinado

Neste estudo, o índice de peróxido foi utilizado para avaliar a oxidação do óleo em diferentes tratamentos de ultrassom. Todos os tratamentos foram submetidos às mesmas condições de separação do óleo dos sólidos solúveis extraídos, processo realizado em temperaturas e tempos elevados que pode contribuir para a oxidação do óleo. O óleo extraído foi submetido a dois processos de evaporação do etanol do extrato e do hexano na etapa de recuperação do óleo dos sólidos solúveis, estes processos foram realizados numa capela de

exaustão contínua por aproximadamente 10 horas, seguido por uma exposição à temperatura de 105°C (estufa) até completa remoção do solvente. No entanto, como todos os óleos provenientes dos tratamentos foram submetidos às mesmas condições, a finalidade desta análise foi comparar o efeito dos tratamentos entre si em relação ao índice de peróxido.

O tratamento 8 do ultrassom (amplitude 30% e 15 minutos), foi onde o óleo obteve o maior índice de peróxido (881,37 meq O₂/kg), indicando maior degradação lipídica na extração, enquanto o tratamento 13 (média das três repetições do tratamento na incubadora) apresentou o menor valor para o mesmo (198,80 meq O₂/kg). Considerando apenas os tratamentos submetidos ao ultrassom, o menor valor de índice de peróxido (205,30 meq O₂/kg) ocorreu no tratamento 5 (10 minutos e 20% de amplitude). No tratamento com maior rendimento de extração de óleo (tratamento 1, amplitude de 27% e 18 minutos) o índice de peróxido teve valor intermediário (442,88 meq O₂/kg).

O índice de peróxido mede a degradação lipídica inicial sendo um importante indicador de qualidade para se avaliar óleos, pois permite ter uma visão do quanto alterada está a composição dos ácidos graxos livres devido a fatores como temperatura, oxigênio etc. (ANTONIASSI, 2001); portanto quanto menor o valor deste parâmetro melhor. Observa-se que pela estimativa dos efeitos à 5% de significância (Tabela 11) e análise das curvas de contorno do DCCR (Figura 9), os maiores índices de peróxido do óleo ocorreram na maior amplitude e com tendência a aumentar nos extremos de valores desta mesma variável, de forma positiva, o que pode-se inferir que o aumento da amplitude no ultrassom pode aumentar o índice de peróxido do óleo da amêndoa do pequi. Em contrapartida, os menores índices de peróxido ocorreram em valores de amplitude intermediários; e em valores de tempo extremos tendem a sofrer uma influência negativa. O tempo não teve efeito linear significativo no valor do índice de peróxido do óleo extraído da amêndoa do pequi utilizando ultrassom. As curvas de contorno foram geradas após ANOVA e análise da regressão à 5% de significância (Tabelas 12 e 13).

Tabela 11 – Estimativa dos efeitos variáveis independentes para o índice de peróxido do óleo extraído das amêndoas de pequi a 5% de significância.

	Regressão	Std.Err.	t(6)	p	-95,%	+95,%
Mean/Interc.	351,67	29,40	11,96245	0,000021	279,738	423,6071
(1) Tempo (min)(L)	-6,31	20,79	-0,30348	0,771773	-57,174	44,5567
Tempo (min)(Q)	-85,70	23,24	-3,68743	0,010240	-142,569	-28,8311
(2) Amplit.(%)(L)	117,85	20,79	5,66930	0,001296	66,986	168,7161
Amplitude(%) (Q)	147,88	23,24	6,36280	0,000707	91,010	204,7483
1L x2L	-5,51	29,40	-0,18733	0,857574	-77,442	66,4272

Legenda: Regr. Coefficients; Var.: Índice de peróxido (meqO₂)/kg); Std.Err.: t(6); p: -95,%;+95,%. R-sqr=0,94252; Adj: 0,89462

Fonte: Da Autora (2024).

Tabela 12 – ANOVA para índice de peróxido do óleo extraído.

	SS	df	MS	F	p
(1)Tempo (min)(L)	318,4	1	318,4	0,09210	0,771773
Tempo (min)(Q)	47005,0	1	47005,0	13,59714	0,010240
(2)Amplitude(%) (L)	111110,5	1	111110,5	32,14093	0,001296
Amplitude(%) (Q)	139956,7	1	139956,7	40,48526	0,000707
1Lby2L	121,3	1	121,3	0,03509	0,857574
Erro	20741,9	6	3457,0		
TotalSS	360839,2	11			

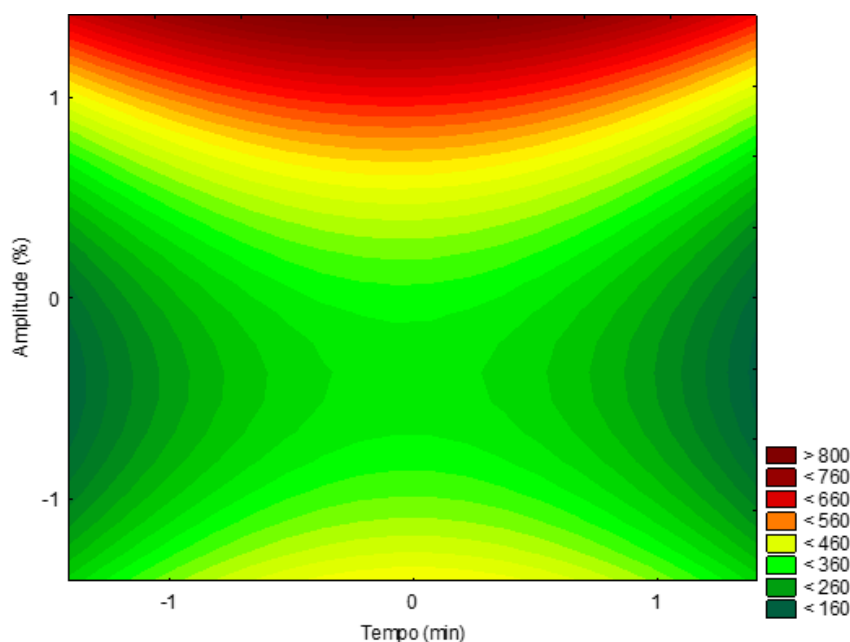
Fonte: Da Autora (2024).

Tabela 13 – Análise da regressão a 5% de significância.

Fonte de variação	SS	df	MS	F	P
Regressão	340097,4	5	68019,47469	19,67598876	0,00117
Erro	20741,9	6		3457,0	
Total SS	360839,2	11			

Fonte: Da Autora (2024).

Figura 9 – Curvas de contorno para a variável resposta índice de peróxido do óleoextraído.



Fonte: Da Autora (2024).

Na Equação 5 é apresentado o modelo completo para o Índice de peróxido:

$$IP \left(\text{meq} \frac{\text{O}_2}{\text{kg}} \right) = 351,67 - 6,31 x_1 - 85,70 x_1^2 + 117,85 x_2 + 147,88 x_2^2 - 5,51 x_1 x_2 \quad (5)$$

Em relação aos efeitos na solução aderida ao refinado (Tabela 14), o modelo não se ajustou aos dados ($R^2 = 0,24793$) e nenhum termo foi significativo.

Tabela 14 – Estimativa dos efeitos na variável resposta solução aderida ao refinado a 5% de significância.

	Regressn	Std.Err.	t(6)	p	-95,%	+95,%
Mean/Interc.	2,220	0,186	11,92784	0,000021	1,764675	2,675557
1)Tempo (min)(L)	0,074	0,132	0,56320	0,593707	-0,247921	0,396169
Tempo(min)(Q)	0,097	0,147	0,65819	0,534838	-0,263206	0,456909
2)Amplitude (%) (L)	0,142	0,132	1,07708	0,322832	-0,180287	0,463803
Amplitude (%) (Q)	0,054	0,147	0,37002	0,724074	-0,305609	0,414506
1Lby2L	-0,0170	0,186	-0,09123	0,930278	-0,472422	0,438460

Legenda: Regr.Coefficients; Var.: Solução aderida (g); R-sqr=,024793; Adj:0

Fonte: Da Autora (2024).

5.3 Extração de proteínas da amêndoa do pequi

A condição a ser utilizada no processo de extração das proteínas dos refinados provenientes da extração lipídica com os 12 tratamentos de ultrassom e incubadora, foi determinada avaliando-se o efeito de dois solventes extratores (água destilada e solução tampão-fosfato) e do pH na extração do refinado obtido com hexano na temperatura de 55°C, com agitação. Nas Figuras 10 e 11 tem-se o efeito do pH na absorbância utilizando a solução tampão e água na etapa de extração das proteínas, respectivamente.

Figura 10 – Curva absorbância *versus* pH solução extratora tampão fosfato.

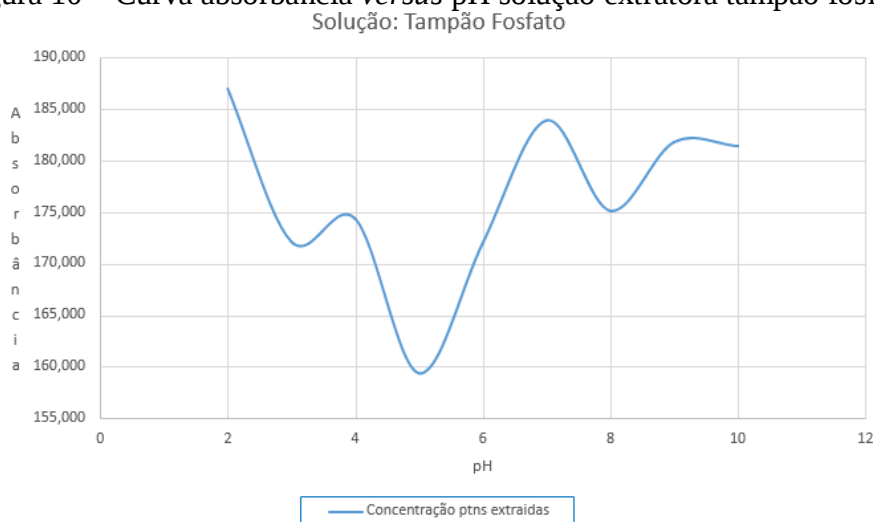


Figura 11 – Curva absorbância *versus* pH solução extratora água destilada.



Como pode ser observado, a solução tampão foi mais eficiente na extração das proteínas das amêndoas de pequi (refinados desengordurados pela extração por hexano). Os valores de pH nos quais ocorreram as maiores extrações foram o pH 2, seguido do 7 e 9, conforme mostrado na Figura 10.

Para se determinar qual foi o melhor pH no presente estudo, foi desconsiderado os valores de pH acima de 8, pois embora a maioria de proteínas vegetais provenientes de amêndoas possuam maior solubilidade em valores de pH alcalinos, valores extremos podem causar desnaturação da proteína com o rompimento das ligações de hidrogênio e mudança estrutural da mesma, como ocorreu na extração de proteína assistida por ultrassom de resíduos de amêndoa, onde a proteína apresentou máxima solubilidade em meio alcalino, porém ocorreu alterações indesejáveis com aumento do pH; e proteínas da farinha de canola, onde em pH de 10 a 12 duplicou sua taxa de extração proteica com o uso do ultrassom, mas em pH 12 houve alteração em suas propriedades funcionais (GERZHOVA *et al.*, 2016; ZHANG *et al.*, 2010).

Diversos trabalhos na literatura utilizaram pHs alcalinos para extração de proteínas de sementes obtendo altos rendimentos, corroborando com o resultado da pesquisa que indicou que um dos maiores rendimentos extrativos obtidos foi em solução tampão-fosfato em pH 9. Exemplos desses estudos incluem o trabalho de Zhang *et al.* (2019) que extraiu proteínas do resíduo de amêndoas a uma temperatura de extração 37°C, pH 10,1 e relação sólido-líquido 1:29; proteínas do farelo de arroz que foram extraídas à uma temperatura de 30°C e pH 10, da semente de melancia em pH 9 na proporção sólido-líquido 1:50, e da farinha de amendoim com a relação farinha: água de 1:10 em pH 9 (BERNARDI *et al.*, 2020; GADALKAR; RATHOD, 2020; OCHOA-RIVAS *et al.*, 2017, respectivamente). No entanto, embora os pHs alcalinos possam resultar em altos rendimentos em pHs alcalinos, em valores de pHs extremos (< 3 e > 10) há desnaturação de proteínas (WILSON; WALKER, 2010), e estes níveis de pH podem causar alterações físico-químicas nas proteínas. Em contrapartida, em pHs de 6 a 7 foi observado melhores propriedades tecnológicas (solubilidade, capacidade emulsificante, formação de espuma e estabilidade) de proteínas em relação a pHs menores que 6 (LUPKI *et al.*, 2019). Observa-se também no estudo (Figura 10) que o pH 2 resultou em uma alta concentração de proteínas extraídas, o que não é usualmente encontrado em proteínas vegetais como exemplificado anteriormente pois a grande maioria destas são solúveis em pHs alcalinos. Assim, os melhores pH e solução extratora de proteínas, dentro da faixa de pH aceitável, foram a solução tampão fosfato no pH 7, e o pH de menor solubilidade destas proteínas é o pH 5. A concentração de proteínas extraídas no pH ótimo (7) foi de 184

$\mu\text{g}/\mu\text{L}$ (0,184 g/mL de solução tampão), não muito inferior ao encontrado por Roselló-Soto *et al.* (2015), que avaliaram a extração de proteínas da semente de azeitona com ultrassom utilizando como solvente extrator etanol na concentração de 25%, também em pH 7, por 20 minutos e obtendo um rendimento de 0,225mg de proteínas por mL de solução extratora tampão-fosfato.

Após determinar o melhor pH e solução extratora, foi realizada uma nova extração com o tampão fosfato no pH 7 para cada refinado desengordurado provenientes dos 12 tratamentos do ultrassom e para incubadora utilizando etanol. Na Tabela 9 tem-se a quantidade de proteínas extraídas dos refinados resultantes do processo de extração do óleo com o ultrassom, usando como solvente a solução tampão-fosfato e pH de 7.

A concentração de proteínas extraídas para cada tratamento do ultrassom e da incubadora foi determinada através da curva de calibração do reagente Bradford (Apêndice A), utilizando a equação $y = 0,0049x - 0,0319$, onde y é a absorbância das proteínas extraídas em solução-tampão fosfato em pH 7, e x a concentração de proteínas em $\mu\text{g}/\mu\text{L}$. Ao analisar as concentrações proteicas obtidas em cada tratamento (Tabela 9) nas extrações realizadas com tampão fosfato em pH 7, observa-se que a maior concentração foi observada no tratamento 5, realizado com o tempo de 10 minutos e amplitude de 20%. Este tratamento resultou em uma concentração de 189,9 μg de proteínas extraídas por μL de solução tampão fosfato. Os tratamentos utilizando incubadora, seja com etanol (199,23 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$) ou hexano (211,48 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$) como solvente, tiveram uma concentração de proteínas um pouco mais elevadas que os tratamentos utilizando o ultrassom.

Assim como avaliados neste estudo, amplitude e tempo são parâmetros importantes, assim como potência, na extração com o uso do ultrassom, interferindo no rendimento e até mesmo nas propriedades tecnológicas das proteínas. Por exemplo Jahan *et al.* (2022) constataram que frequências mais baixas e maior potência são os parâmetros importantes para obtenção de um maior rendimento proteico na extração assistida por ultrassom. Embora aplicação de ultrassom de alta intensidade tenha aumentado a solubilidade do isolado de proteína de semente de guamuchil de até 115,5% para 400 W/15 min e pelo menos 18,9% para 600 W/15 min, em comparação com o controle, 0 W (FLORES-JIMENEZ *et al.*, 2022), as propriedades tecnológicas de proteína isolada de grão de bico, interrompendo as interações entre proteínas e decompondo-as em partículas menores, afetando a absorção de proteínas para a interface ar-água, óleo-água, propriedade de calor e gelificação, aumento da hidrofobicidade por torná-la mais fácil de ser absorvida pelo ar, água e óleo, quando expôs mais sulfidril e regiões hidrofóbicas das superfícies das proteínas (WANG *et al.*, 2020),

estudos com bons resultados utilizando menores potencias podem ser encontrados.

Trabalhos na literatura utilizando amplitude de 20% e tempo em torno de 18 minutos, valores estes correspondentes ao maior rendimento de óleo utilizando ultrassom, obtiveram bons rendimentos. Alguns exemplos são: a proteína de farelo de arroz foi extraída por 22 minutos, com 15W/g/ e 20kHz (LY *et al.*, 2018); houve elevação no rendimento de proteína de sementes de perilla quando aumentado o tempo de 8 para 12 minutos na extração por ultrassom (ZHU; FU, 2012); na extração da proteína de ervilha obteve-se um rendimento máximo de proteína (83,6%) com 33,7% de amplitude do ultrassom por 13,5 min e pH 9,6 (WANG *et al.*, 2020); extração da proteína de soja com amplitude de 20% e 20 minutos (ARZENI *et al.*, 2012), e extração da proteína da ervilha em amplitude de 20% por 5 minutos de operação (JIANG *et al.*, 2017).

Na Tabela 15, tem-se os resultados da análise dos efeitos na extração das proteínas por ultrassom. Os efeitos das variáveis independentes foram avaliados ao nível de significância de 10%. Apenas a interação entre as variáveis tempo (X_1) e amplitude (X_2) teve efeito significativo e positivo. Isso indica que o efeito da amplitude é diferente nos diferentes níveis de tempo e vice-versa, entretanto as variáveis tempo e amplitude não foram significativas, podendo inferir que não há interferência da amplitude e tempo no ultrassom na concentração de proteínas extraídas da amêndoa de pequi. O modelo não se ajustou bem aos dados ($R^2 = 0,5575$), não sendo geradas curvas de contorno e equação do modelo.

Tabela 15 – Estimativa dos efeitos variáveis independentes para a concentração de proteínas no extrato obtido do refinado a 10% de significância

	Regressão	Std.Err.	t(6)	p	-90,%	+90,%
Mean/Interc.	184,20	2,19	83,91680	0,000000	179,9320	188,4626
(1)Tempo(min)(L)	-1,59	1,55	-1,02444	0,345144	-4,6060	1,4260
Tempo(min)(Q)	-0,74	1,73	-0,42510	0,685589	-4,1097	2,6343
(2)Amplitude(%)(L)	-1,23	1,55	-0,79436	0,457244	-4,2489	1,7831
Amplitude(%)(Q)	-1,38	1,73	-0,79752	0,455545	-4,7559	1,9881
1Lby2L	4,99	2,19	2,27403	0,063316	0,7262	9,2568

Legenda: Regr. Coefficients; Var.: ConcProt (ug/ul) ConcProt (ug/ul); R-sqr=0,55756; Adj.,18886
Fonte: Da Autora (2024).

6 CONCLUSÃO

Amêndoas embaladas a vácuo (lote 3) apresentaram teores mais elevados de lipídios e proteínas em comparação com os outros lotes analisados, sendo este o escolhido para a realização das extrações sequenciais. Os maiores rendimentos da extração de óleo da amêndoa do pequi foram obtidos na extração convencional (incubadora por 16 horas a 55°C) com o uso de hexano e etanol, obtendo-se rendimentos de 97,78% e 59,86%, respectivamente. Os menores e maiores rendimentos extrativos de óleo utilizando o ultrassom (potência máxima de 100% - 400W, temperatura ambiente de 18°C) para as amêndoas de pequi foram observados nas amplitudes de 10% e 27%, e tempos de 15 e 18 minutos, respectivamente.

Na extração de proteínas provenientes dos resíduos da extração de óleo com hexano, observou-se que o uso da solução tampão fosfato no pH 2, seguido pelo pH 7, resultou nos maiores valores de proteínas extraídas da amêndoa do pequi, enquanto a solubilidade foi menor no pH 5. Pela análise estatística, concluiu-se que o aumento da amplitude e do tempo de extração na extração assistida por ultrassom resulta em um efeito positivo no rendimento de óleo extraído. Também foi observado que os maiores índices de peróxido do óleo ocorreram com a elevação da amplitude, sugerindo que essa condição pode prejudicar a qualidade deste óleo.

Em relação à extração proteica sequencial, as variáveis tempo e amplitude não foram significativas. Embora os rendimentos/concentrações da extração de óleo e da extração sequencial das proteínas tenham sido maiores utilizando a extração convencional com hexano (incubadora), as diferenças na concentração das proteínas extraídas do resíduo foram pequenas. No entanto, a ausência de controle da temperatura no equipamento ultrassônico utilizado pode ter interferido no rendimento extrativo de óleo, visto que a temperatura é um parâmetro essencial para este tipo de processo, o que sugere a necessidade de investigação em pesquisas futuras. O uso do ultrassom com etanol como solvente mostrou-se uma alternativa promissora para a extração de óleo das amêndoas de pequi e o aproveitamento do resíduo para a extração sequencial das proteínas.

REFERÊNCIAS

- ALVES, A. M. *et al.* Características físicas e nutricionais de pequis oriundos dos estados de Tocantins, Goiás e Minas Gerais. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 3, p. 198-203, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjft/a/fQvYJLXZhnLPkDPtPHK7rgr/>. Acesso em: 06 set. 2022
- AMERICAN CHEMISTS' SOCIETY. **Official and tentative methods**. Champaign, AOCS, 1993.
- ANASTACIO, T. O. *et al.* Extraction of proteins from Cucurbita maxima seeds and pulp: an experimental analysis. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.6, p. 63252-63264 jun. 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/31917>. Acesso em: 21 out. 2022
- ANTONIASSI, R. Métodos de avaliação da estabilidade oxidativa de óleos e gorduras. EMBRAPA - Agroindústria de Alimentos. **B. CEPPA**, Curitiba, v. 19, n. 2, jul./dez. 2001. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/414061/metodos-de-avaliacao-da-estabilidade-oxidativa-de-oleos-e-gorduras>. Acesso em: 07 ago. 2022
- AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of analysis of AOAC International**. 18. ed. Washington: AOAC, 2005.
- AQUINO, L. P. *et al.* Extraction of oil from pequi fruit (Caryocar Brasiliense, Camb.) using several solvents and their mixtures. **Grasas Y Aceites**, 62, n. 3, p. 245-252, 2011. Article. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/894606/extraction-of-oil-from-pequi-fruit-caryocar-brasiliense-camb-using-several-solvents-and-their-mixtures>. Acesso em: 15 set. 2022.
- ARAÚJO, A. C. M. A. *et al.* Bioactive compounds and chemical composition of Brazilian Cerrado fruits' wastes: pequi almonds, murici, and sweet passionfruit seeds. **Food Science and Technology**, v. 38, suppl. 1, p. 203-214, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/33394>. Acesso em: 11 set. 2022.
- ARAUJO, A. *et al.* Solvent effect on the extraction of soluble solids from murici and pequi seeds. **Journal of Food Process Engineering**, v. 41, n. 6, p. 10, Oct 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/33397>. Acesso em: 12 set. 2022.
- ARAUJO, A. *et al.* Modeling of cosolvent and temperature effects on ethanolic extraction of pequi and murici seeds. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, 31, n. 3, p. 153-163, Mar 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/33397>. Acesso em: 16 nov. 2022.
- ARAUJO, F. D. A review of caryocar brasiliense (caryocaraceae) – an economically valuable species of the central brazilian cerrados. **Economic Botany**, v. 49, n. 1, p. 40-48, 1995.

ARZENI, C. *et al.* Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality. *Journal of Food Engineering*, 108, n. 3, p. 463-472, Feb 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877411004638>. Acesso em: 17 nov. 2023.

BARIZÃO, E. O. *et al.* Application of response surface methodology for the optimization of ultrasound-assisted extraction of pomegranate (*Punica granatum* L.) seed oil. *Food Analytical Methods*, 8(9), 2392–2400, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12161-015-0135-5>. Acesso em: 18 dez. 2022.

BARRADAS, M. M. Informações sobre floração, frutificação e dispersão do piqui, *Caryocar brasiliense* Camb. (Caryocaraceae). *Ciência e Cultura*, 24:1063-1068, 1972.

BARRADAS, M. M. Morfologia do fruto e da semente de *Caryocar brasiliense* (piqui), em várias fases de desenvolvimento. *Revista de Biologia* 9:69-84, 1973.

BAUMLER, E. R.; CARRÍN, M. E.; CARELLI, A. A. Extraction of sunflower oil using ethanol as solvent. *Journal of food engineering*, 178, 458-463, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877416300206>. Acesso em: 20 dez. 2022.

BERNARDI S., KALSCHNE D.L., MENEGOTTO A.L.L. Feasibility of ultrasound- assisted optimized process of high purity rice bran protein extraction. *Cienc Rural* 50:1–13, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/hWDcHDycVGb5gC7ckRfwj8N/>. Acesso em: 17 nov. 2023.

BOYE, J.; ZARE, F.; PLETCH, A. Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food Research International*, v. 43, p. 414 - 431, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996909002683>. Acesso em: 21 set. 2023

BRADFORD, M. *Analytical Biochemistry*. 72, 248-254, 1976.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity., *LWT - Food Science and Technology* v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643895800085>. Acesso em: 20 set. 2022.

BRASIL. Resolução ANVS/MS nº270, de 22 de setembro de 2005. **Regulamento técnico para óleos vegetais, gorduras vegetais e creme vegetal**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 set. 2005.

CAKALOGLU, B.; OZYURT, V. H.; OTLES, S. Cold press in oil extraction. A review. *Ukrainian food journal*, n. 7, v. 4, p. 640-654, 2018.

CANGUSSU, L. B. *et al.* Profile of bioactive compounds in pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) peel flours. *Food Chemistry*, v. 350, p. 1 2021. Article. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814621002259>. Acesso em: 12 set.

2022.

CARVALHO, P. E. R. Pequizeiro Caryocar brasiliense. **EMBRAPA**. Comunicado técnico 230, ISSN 1517-5030. Colombo, PR., julho, 2009. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/578664/1/CT230.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2022.

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, p. 75-82, 2018. Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814617316436>. Acesso em: 08 nov. 2022.

CAVALCANTI, M. T., BORA, P. S. E CARVAJAL, J. C. L. Propriedades funcionais das proteínas de amêndoas da faveleira (*Cnidocylusphyllacanthus*) com e sem espinhos. **Food Science and Technology [online]**, v. 29, n. 3, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612009000300022>. Acesso em: 07 nov. 2022.

CHEMAT, F., TOMAO, V., e VIROT, M. In: Otles, S. (Ed.), Handbook of Food Analysis Instruments. **Ultrasound-Assisted Extraction in Food Analysis**. CRC Press, pp. 85–94, 2008.

CORNELIO-SANTIAGO, H. P. *et al.* Oil extraction from pequi (*Caryocar brasiliensis* Camb.) and sachainchi (*Plukenetiahuayllabambana* sp. Nov.) almonds by pressurized liquid with intermittent purge: The effects of variables on oil yield and composition. **Journal of Supercritical Fluids**, 182, Mar 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/357798308_Oil_extraction_from_pequi_Caryocar_brasiliensis_Camb_and_sacha_inchi_Plukenetia_huayllabambana_sp_Nov_almonds_by_pressurized_liquid_with_intermittent_purge_The_effects_of_variables_on_oil_yield_and_co. Acesso em: 17 out. 2022.

CZUCHAJOWSKA, Z.. Wet Fractionation of Garbanzo Bean and Pea Flours. **Cereal Chemistry**, v. 74, n. 2, p. 141-146, 1997. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1094/CCHEM.1997.74.2.141>. Acesso em: 23 out. 2022

DAMIANI, C. *et al.* Perfil de ácidos graxos e fatores antinutricionais de amêndoas de pequi crua e torrada. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 43, n. 1, p. 71-78, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/LHCw8PV6PkcpPvSJstr9rFp/#:~:text=Os%20%C3%A1cidos%20graxos%20que%20apresentaram,%2C45%25%20para%20a%20torrada>. Acesso em: 11 nov. 2022.

DE LIMA, A. *et al.* Chemical composition and bioactive compounds in the pulp and almond of pequi fruit. **Revista Brasileira De Fruticultura**, 29, n. 3, p. 695-698, Dec 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/RJJtmQ3hxCVJW4x7M5MLfYz/abstract/?lang=en>. Acesso em: 12 set. 2022.

DE SOUZA, T. S. P. *et al.* Effects of enzymatic extraction of oil and protein from almond cake on the physicochemical and functional properties of protein extracts. **Food and Bioproducts Processing**, 122, p. 280-290, Jul 2020. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960308520304375>. Acesso em: 14 out. 2022.

ERICK, D. R. Handbook of soy oil processing and utilization. **Champaign: AOCS/ASA**, 1980. 598 p.

ESPINOSA-MURILLO, N. D. *et al.* Impact of high-intensity ultrasound on the physicochemical and functional properties of a protein isolate from passion fruit (*Passiflora edulis*) seeds. **International Journal of Food Engineering**, 17, n. 8, p. 609-618, Aug 2021. Disponível em: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/ijfe-2021-0050/html>. Acesso em: 14 nov. 2022.

FAGUNDES, M. M. D. *et al.* Evaluation of the biological quality of defatted pequi (*Caryocar Brasiliense* Cambess) seed flour protein supplemented with lysine to rats (*Rattus norvegicus*). **Revista De Nutricao - Brazilian Journal of Nutrition**, 32, p. 14, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rn/a/ty3sftMZFmpf4TdLw5SxSMM/?lang=en>. Acesso em: 05 set. 2022.

FERREIRA, B. S. *et al.* Comparative Properties of Amazonian Oils Obtained by Different Extraction Methods. **Molecules**, 16, n. 7, p. 5875-5885, Jul 2011. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/16/7/5875>. Acesso em: 12 set. 2022.

FLORES-JIMENEZ, N. T. *et al.* Influence of high-intensity ultrasound on physicochemical and functional properties of a guamuchil *Pithecellobium dulce* (Roxb.) seed protein isolate. **Ultrasonics Sonochemistry**, 84, Mar 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417722000694>. Acesso em: 16 nov. 2022.

FONTANARI, G. G; *et al.* Isolado protéico de semente de goiaba (*Psidium guajava*): caracterização de propriedades funcionais. **Food Science and Technology [online]**, v. 27, p. 73-79, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000500013>>. Epub 05 Set 2008. ISSN 1678-457X. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000500013>. Acesso em: 30 ago. 2022.

GADALKAR, S. M.; RATHOD, V. K. Extraction of watermelon seed proteins with enhanced functional properties using ultrasound. Preparative. **Biochemistry & Biotechnology**, v. 50, n. 2, p. 133-140, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31702437/>. Acesso em: 20 nov. 2022.

GERZHOVA, A. *et al.* Study of total dry matter and protein extraction from canola meal as affected by the pH, salt addition and use of zeta-potential/turbidimetry analysis to optimize the extraction conditions. **Food Chemistry**, v. 201, p. 243-252, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814616300747>. Acesso em: 16 nov. 2022.

GOULA, M.A. Ultrasound-assisted extraction of pomegranate seed oil -Kinetic modeling. **J. Food Eng.**, 117 (4) (2013), pp. 492-498. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877412004657>. Acesso em: 14 out. 2022.

GRANDE, S. C. **Estudo da extração das proteínas dos farelos de oleaginosas através de métodos químico e enzimático**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, outubro de 2016.

GUIMARAES, M. *et al.* Extraction and Characterization of Pequi Seed Oil for Biodiesel Production: A Green Management of Waste to Biofuel Using Ethanol and Heterogeneous Catalysis. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, 33, n. 4, p. 327-339, Apr 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbchs/a/5rC3sTSWFCVnWvyBh3YvWDH/>. Acesso em: 23 ago. 2023.

GUZMAN-LORITE, M.; MARINA, M. L.; GARCIA, M. C. Successive extraction using natural deep eutectic solvents and pressurized liquids for a greener and holistic recovery of proteins from pomegranate seeds. **Food Research International**, v. 161, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996922009206>. Acesso em: 25 out. 2022.

HACKL, K.; KUNZ, W. Some aspects of green solvents. **Comptes Rendus Chimie**, v. 21, n. 6, p. 572-580, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631074818301000> Acesso em: 23 set. 2022.

HADNADEV, S.; HADNADEV, T. R. D.; POJIC, M. M. Progress in vegetable proteins isolation techniques: a review. **Food and Feed Research**, v. 44, n. 1, p. 11 - 21, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/318423690_Progress_in_vegetable_proteins_isolation_techniques_A_review. Acesso em: 20 set. 2023.

HERINGER, E. P. Diagnose dos frutos de duas espécies do cerrado: Caryocar brasiliense Camb. e Passiflora cerradensis Sacco. **Mimeo**, 1984.

HERINGER, E. P. O pequi (Caryocar brasiliense, Cambess.). **Brasil Florestal** 1:28- 31, 1970.

HERRERA, M.C.; LUQUE DE CASTRO, M.D. Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from strawberries prior to liquid chromatographic separation and photodiode array ultraviolet detection. **Journal of Chromatography**, 1100 (1), p. 1-7, 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021967305018297?via%3Dihub>. Acesso em: 14 ago. 2023.

HRON, R. J.; KOLTUN, S. P. An aqueous ethanol extraction process for cottonseed oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 6, n. 9, p. 1457-1460, 1984. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02636363>. Acesso em: 11 out. 2023.

JAHAN, K. *et al.* A review of the effects of ultrasound-assisted extraction factors on plant protein yield and functional properties. **Journal of Food Measurement and Characterization**, 16, n. 4, p. 2875-2883, Aug 2022. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/050a751eea3a8eb239a1925f6194b3f5/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2044295>. Acesso em: 11 out. 2023.

JALILI, F. *et al.* Optimization of ultrasound-assisted extraction of oil from canola seeds with

the use of response surface methodology. **Food Analytical Methods**, v. 11, n. 2, p. 598–612, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319255497_Optimization_of_Ultrasound-Assisted_Extraction_of_Oil_from_Canola_Seeds_with_the_Use_of_Response_Surface_Methodology. Acesso em: 13 jul. 2023.

JIANG, S. S. *et al.* Modifying the physicochemical properties of pea protein by pH- shifting and ultrasound combined treatments. **Ultrasonics Sonochemistry**, n. 38, p. 835-842, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350417717301475>. Acesso em: 02 set. 2023

JOHNER, J. C. F. *et al.* Kinetic behavior and economic evaluation of supercritical fluid extraction of oil from pequi (*Caryocar brasiliense*) for various grinding times and solvent flow rates. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 140, p. 188-195, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0896844618303644>. Acesso em: 13 nov. 2022.

JUNAID, P. M. *et al.* Advances in seed oil extraction using ultrasound assisted technology: A comprehensive review. **Journal of Food Process Engineering**, 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfpe.14192>. Acesso em: 02 nov. 2022.

KAWANISHI, K., R. F.; RAFFAUF, R. E.; SCHULTES. The *Caryocaraceae* as a source of fish poisons in the Northwest Amazon. **Harvard University, Botanical Museum Leaflets** 30:247-253, 1986. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/41762874>. Acesso em: 17 out. 2023

LEIFELD, V. **Tratamentos clássicos de precipitação de proteínas aplicados a soro de leite visando decréscimo do potencial contaminante do efluente**. 91 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2014.

LEITE, J. N. *et al.* Caracterização físico-química de polpa de pequi (*Caryocar brasiliensis* Camb.) in natura coletada na baixada cuiabana. In: **ANAIS DO 13º Simpósio latino-americano de ciência de alimentos**, 2019, Campinas. Anais eletrônicos... Campinas, Galoá, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/slaca/slaca-2019/trabalhos/caracterizacao-fisico-quimica-de-polpa-de-pequi-caryocar-brasiliensis-camb-in-na?lang=pt-br>. Acesso em: 12 nov. 2022.

LIMA A. *et al* Composição química e compostos bioativos presentes na polpa e na amêndoa do pequi (*Caryocar brasiliense*, Camb.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 3, p. 695-698, 2007. Disponível em: [https://www.scielo.br/j/rbf/a/RJJtmQ3hxCVJW4x7M5MLfYz/?lang=pt#:~:text=Os%20quatro%20componentes%20majorit%C3%A1rios%20da,pelas%20cinzas%20\(Tabela%201\)](https://www.scielo.br/j/rbf/a/RJJtmQ3hxCVJW4x7M5MLfYz/?lang=pt#:~:text=Os%20quatro%20componentes%20majorit%C3%A1rios%20da,pelas%20cinzas%20(Tabela%201).). Acesso em: 22 set. 2022.

LIMA, J. R.; DE SOUZA *et al.* Pequi kernel oil extraction by hydraulic pressing and its characterization. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 42, n. 5, p. 6, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1124783/pequi-kernel-oil-extraction-by-hydraulic-pressing-and-its-characterization>. Acesso em: 22 set. 2022.

LIMA, J. R.; SOUZA, A. C. R. de; PINTO, C. O. Obtenção de Concentrado Proteico da

Amêndoa de Pequi. Rio de Janeiro: **Embrapa Agroindústria de Alimentos**, 2020.

Disponível em: [https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1125099/obtencao-de-concentrado-proteico-da-amendoeira-de-pequi#:~:text=O%20processo%20de%20precipita%C3%A7%C3%A3o%20resultou,possibilidade%20de%20valoriza%C3%A7%C3%A3o%20desse%20subproduto](https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1125099/obtencao-de-concentrado-proteico-da-amendoeira-de-pequi#:~:text=O%20processo%20de%20precipita%C3%A7%C3%A3o%20resultou,possibilidade%20de%20valoriza%C3%A7%C3%A3o%20desse%20subproduto. Acesso em: 22 set. 2022.). Acesso em: 22 set. 2022.

pequi#:~:text=O%20processo%20de%20precipita%C3%A7%C3%A3o%20resultou,possibilidade%20de%20valoriza%C3%A7%C3%A3o%20desse%20subproduto. Acesso em: 22 set. 2022.

2022.

LIN, J.-Y. *et al.* Ultrasonic extraction of hempseed oil. **Journal of Food Process Engineering**, v. 35, n. 1, p. 76–90, 2012. Disponível em:

[https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9292751/#:~:text=Under%20the%20conditions%20evaluated%2C%20the,control%20\(untreated%20press%20cake\)](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9292751/#:~:text=Under%20the%20conditions%20evaluated%2C%20the,control%20(untreated%20press%20cake). Acesso em: 23 set. 2022.). Acesso em: 23 set. 2022.

LOPES, P. S. N. *et al.* **Plantas para o futuro região centro-oeste Caryocar brasiliense pequi**, 2022. Disponível em:

<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/41754/2/Caryocar%20brasiliense%20pequi.pdf>. Acesso em: 29 out. 2022.

LUPKI, F. B.; DIAS, P. A.; SILVA, M. R.; MORAIS, H. A. Efeito do PH nas propriedades tecnológicas de concentrado proteico de soro de leite / Effects of PH on functional properties of whey protein concentrate. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 23036–23059, 2019. Disponível em:

<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/4304>. Acesso em: 13 dez. 2023.

LUZIA, D. M. M. **Propriedades funcionais de óleos extraídos de sementes de frutos do Cerrado brasileiro**. 221 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2012.

MARIANO, R. G. D.; COURI, S.; FREITAS, S. P. Enzymatic Technology to Improve Oil Extraction from Caryocar brasiliense CAMB (Pequi) Pulp. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 637-643, 2009. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbf/a/966HTpvNz9Vk3dmmT5CthWd/>. Acesso em: 04 out. 2022.

MARTINEZ-PADILLA, L. P. *et al.* Novel application of ultrasound and microwave- assisted methods for aqueous extraction of coconut oil and proteins. **Journal of Food Science and Technology-Mysore**, v. 59, n. 10, p. 3857-3866, 2022. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-022-05409-0>. Acesso em: 04 out. 2022

MASON, T.J.; L.; PANIWNKY, L.; LORIMER J.P. The uses of ultrasound in food technology. **Ultrasonics Sonochemistry**, 3 (3), p. 253-260, 1996. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S135041779600034X>. Acesso em: 14 nov. 2022.

MERRIL, A. L. e WATT, B. K. *Energy value of foods: basis and derivation*. Washington: **United States Department of Agriculture**. 1973.

MEZIANE, S.; KADI, H. Kinetics and thermodynamics of oil extraction from olive cake. **Journal of the American Oil Chemists Society**, Chicago, v. 85, n. 4, p. 391-396. 2008.

Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11746-008-1205-2>. Acesso em: 09

out. 2023.

MOHAMMADPOUR; SADRAMELI; ESLAMI; ASOODEH. Optimization of ultrasound-assisted extraction of Moringa peregrina oil with response surface methodology and comparison with Soxhlet method. **Industrial Crops and Products**, v. 131, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669019300378>. Acesso em: 09 out. 2023

NGUYEN, T. H.; LE, V. V. M. Effects of technological parameters of ultrasonic treatment on the protein extraction yield from defatted peanut meal. **International Food Research Journal**, 26, n. 3, p. 1079-1085, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/335015975_Effects_of_technological_parameters_of_ultrasonic_treatment_on_the_protein_extraction_yield_from_defatted_peanut_meal. Acesso em: 14 nov. 2022.

OCHOA-RIVAS, A. *et al.* Microwave and Ultrasound to Enhance Protein Extraction from Peanut Flour under Alkaline Conditions: Effects in Yield and Functional Properties of Protein Isolate. **Food and Bioprocess Technology**, v. 10, n. 3, p. 543 – 555, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/311441399_Microwave_and_Ultrasound_to_Enhance_Protein_Extraction_from_Peanut_Flour_under_Alkaline_Conditions_Effects_in_Yield_and_Functional_Properties_of_Protein_Isolates. Acesso em: 15 nov. 2022.

OLIVEIRA, R. C.; BARROS, S. T. D.; GIMENES, M. L. The extraction of passion fruit oil with green solvents. *Journal of Food Engineering*, v. 117, n. 4, p. 458-463, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877412005882>. Acesso em: 11 out. 2022.

OTTO, T.; BAIK, B-K; CZUCHAJOWSKA, S. Microstructure of seed, flours and starches of legumes. **Cereal Chem**, v. 4, n. 74, 1997. Disponível em: https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/1997/July/Pages/74_4_445.aspx. Acesso em: 12 out. 2023.

OTTO, T. *et al.* Influence of process conditions on ultrasound- assisted protein extraction from cold pressed tomato seed waste. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n. 12, 2021. Disponível em: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfpp.16079>. Acesso em: 11 out. 2022.

OZYURT; TETIK; OTLES. Influence of process conditions on ultrasound-assisted protein extraction from cold pressed tomato seed waste. **Food Processing and Preservation**, v. 23, 2021. Disponível em: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfpp.16079>. Acesso em: 11 out. 2023.

PEREIRA, M. G. *et al.* Assessment of subcritical propane, ultrasound-assisted and Soxhlet extraction of oil from sweet passion fruit (*Passiflora alata* Curtis) seeds. **The Journal of Supercritical Fluids**, v.128, p. 338–348, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S089684461730044X>. Acesso em: 12 out. 2022.

PERSONA, R. “Colheita do pequi pode gerar renda de R\$ 600 mil para produtores rurais”. **Empaer – Empresa mato-grossense de pesquisa, assistência e extensão rural**, 15 de out.

2022. Disponível em: https://www.empaer.mt.gov.br/-/22774238-colheita-do-pequi-pode-gerar-renda-de-r-600-mil-para-produtores-rurais?p_l_back_url=https%3A%2F%2Fwww.empaer.mt.gov.br%2Fnoticias%3Fp_p_id%3Dcom_liferay_portal_search_web_portlet_SearchPortlet%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dmaximized%26p_p_mode%3Dview%26_com_liferay_portal_search_web_portlet_SearchPortlet_redirect%3Dhttps%253A%252F%252Fwww.empaer.mt.gov.br%252Fnoticias%253Fp_p_id%253Dcom_liferay_portal_search_web_portlet_SearchPortlet%2526p_p_lifecycle%253D0%2526p_p_state%253Dnormal%2526p_p_mode%253Dview%26_com_liferay_portal_search_web_portlet_SearchPortlet_mvcPath%3D%252Fsearch.jsp%26_com_liferay_portal_search_web_portlet_SearchPortlet_keywords%3Dpequi%26_com_liferay_portal_search_web_portlet_SearchPortlet_formDate%3D1715116650717%26_com_liferay_portal_search_web_portlet_SearchPortlet_scope%3Dthis-site. Acesso em: 30 abr. 2024.

POJICA, M.; MIŠANA, A.; TIWARI, B. Eco-innovative technologies for extraction of proteins for human consumption from renewable protein sources of plant origin. **Trends in Food Science & Technology**, e. 75, p. 93-104, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224417306854>. Acesso em: 17 nov. 2022.

RAMOS, K. M. C.; SOUZA, V. A. B. Características físicas e químico-nutricionais de frutos de pequi (Caryocar coriaceum Wittm.) em populações naturais da região meio-norte do Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 2, p. 500-508, 2011. Disponível: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/914057/caracteristicas-fisicas-e-quimico-nutricionais-de-frutos-de-pequi-caryocar-coriaceum-wittm-em-populacoes-naturais-da-regiao-meio-norte-do-brasil>. Acesso em: 02 dez. 2022.

RIBEIRO, L. “Pequi: Minas, Goiás e Tocantins disputam patrimônio do 'ouro do cerrado’”. **Estado de Minas**, 12 de set. 2021. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2021/09/12/internas_economia,1304765/pequi-minas-goias-e-tocantins-disputam-patrimonio-do-ouro-do-cerrado.shtml. Acesso em: 30 abr. 2024.

RINCÓN-CERVERA, M. A *et al.* Fatty Acid Profile and Bioactive Compound Extraction in Purple Viper's Bugloss Seed Oil Extracted with Green Solvents. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. v. 97, n. 3, 2020. Disponível em: <https://aocs.onlinelibrary.wiley.com/journal/1558933>. Acesso em: 07 nov. 2022.

RODRIGUES, C. E. C.; OLIVEIRA, R. Response surface methodology applied to the analysis of rice bran oil extraction process with ethanol. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 45, n. 4, p.813-820, 2010. Disponível em: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.2010.02202.x>. Acesso em:20 set. 2023.

ROSELLÓ-SOTO, E. *et al.* High voltage electrical discharges, pulsed electric field, and ultrasound assisted extraction of protein and phenolic compounds from olive kernel. **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, p. 885-894, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-014-1456-x>. Acesso em: 20 set. 2023.

ROSENBERG, I. M. **Protein Analysis and Purification**. Boston Birkhauser, ed. 2, p. 520, 2005. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4612-2056-5>. Acesso em:

15 nov. 2022.

SAMARAM, S. *et al.* Optimization of ultrasound-assisted extraction of oil from papaya seed by response surface methodology: oil recovery, radical scavenging antioxidant activity, and oxidation stability. **Food Chem.**, v. 172, p. 7-17, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814614012928>. Acesso em: 09 nov. 2022.

SARTOR, R. B. **Modelagem, Simulação e Otimização de uma Unidade Industrial de Extração de Óleos Essenciais por Arraste a Vapor**. Dissertação (Mestrado em Pesquisa e Desenvolvimento de Processos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

SAWADA, M. M. **Estudo da viabilidade técnica da substituição de hexano por etanol no processo de extração de óleo de soja: cinética de extração e índices de qualidade**. 129 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia de Alimentos) - Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2012.

SCHERER, R.; GODOY, H. T. Antioxidant activity index (AAI) by the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl method. **Food Chemistry** v. 112, n. 3, p. 654-658, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814608007218>. Acesso em: 17 out. 2023.

SHALMASHI A. Ultrasound assisted extraction of oil from tea seeds. **J. Food Lip.** v. 16: p. 465-474, 2009. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1745-4522.2009.01159.x> Acesso em: 17 nov. 2023.

SILVA, B. L. A.; AZEVEDO, C. C.; AZEVEDO, F. L. A.; ARAÚJO. Propriedades funcionais das proteínas de amêndoas da munguba (*Pachira aquática* Aubl.). **Revista Brasileira de Fruticultura**. 2015, v. 37, n. 1, p. 193-200, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/txWq4XZqVXTK6rGY6xNwnFt/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 18 out. 2022.

SIMÕES, C. M. O. *et al.* **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. Porto Alegre: UFRGS. 821p., 2007. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=uo5vDQAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 10 out. 2022.

SOUSA, A. G.O. *et al.* Nutritional quality and protein value of exotic almonds and nut from the Brazilian Savanna compared to peanut. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2319-2325, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996911001001>. Acesso em: 13 set. 2022.

STEFFANI, E. **Modelagem matemática do processo de extração supercrítica de óleo essencial de Ho-Sho (*Cinnamomum camphora* Nees & Eberm var. *linaloolífera* Fujita) utilizando CO₂**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

SUN, X. Y. *et al.* Effect of ultrasound-assisted extraction on the structure and emulsifying properties of peanut protein isolate. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.101,

n. 3, p. 1150-1160, 2021. Disponível em:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jsfa.10726>. Acesso em: 02 out. 2023.

SUSLICK, K.S., DOKTYCZ, S.J. The effects of ultrasound on solids. In: Mason, T.J. (Ed.), **Advances in Sonochemistry**, v. 1, p. 197–230, 1990. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0041624X87900138?via%3Dihub>.
 Acesso em: 07 nov. 2023.

TIAN, Y. *et al.* Optimization of ultrasonic-assisted extraction of pomegranate (*Punica granatum* L.) seed oil. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 20, n. 1, p. 202–208, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350417712001496>. Acesso em: 02 out. 2023.

TORRES, L. R. O. *et al.* Physicochemical and antioxidant properties of the pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) almond oil obtained by handmade and cold-pressed processes. **International Food Research Journal**, v. 23, n. 4, p. 1541-1551, 2016. Disponível em:
<https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1049137/physicochemical-and-antioxidant-properties-of-the-pequi-caryocar-brasiliense-camb-almond-oil-obtained-by-handmade-and-cold-pressed-processes>. Acesso em: 04 out. 2022.

WANG, F. *et al.* An efficient ultrasound-assisted extraction method of pea protein and its effect on protein functional properties and biological activities. **Lwt**, v. 127, p. 109348, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643820303376>. Acesso em: 12 nov. 2022.

WANG, W. H.; LU, C. P.; KUO, M. I. Combination of Ultrasound and Heat in the Extraction of Chia Seed (*Salvia hispanica* L.) Mucilage: Impact on Yield and Technological Properties. **Processes**, v. 10, n. 3, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-9717/10/3/519>. Acesso em: 18 ago. 2022.

WANG, Y. T. *et al.* Effect of high intensity ultrasound on physicochemical, interfacial and gel properties of chickpea protein isolate. **Lwt-Food Science and Technology**, v. 129, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643820305521>. Acesso em: 02 out. 2022.

WILSON, K; WALKER J. **Principles and Techniques of Biochemistry and Molecular Biology**. ed.7. Cambridge University Press; 2010. Disponível em:
https://www.academia.edu/37563118/wilson_walker_principals_and_techiniques_of_biochemistry_and_molecular_biology_7th_ed_pdf. Acesso em: 13 dez. 2023.

YU, L. *et al.* Free radical scavenging properties of wheat extracts. **J Agric Food Chem**, v. 50, p. 1619–1624. 2002. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11879046/>. Acesso em: 16 nov. 2022.

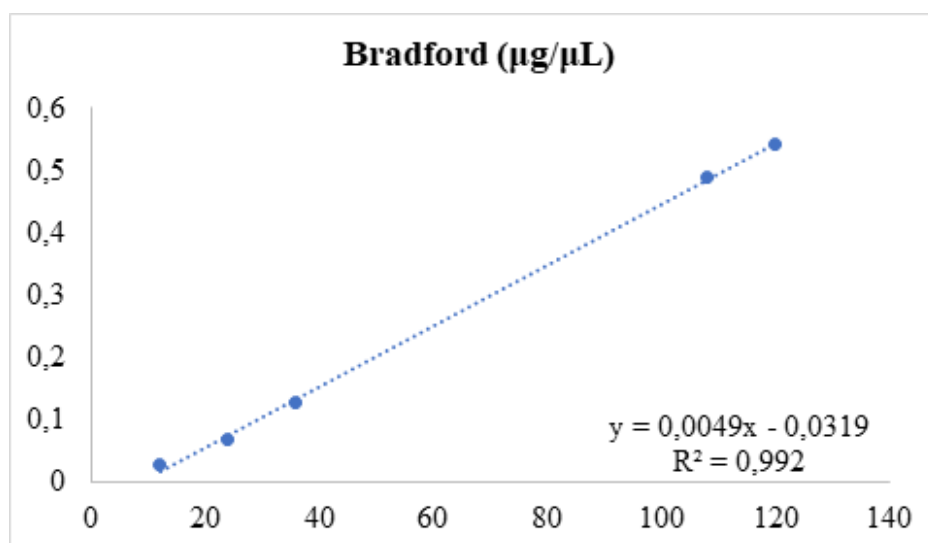
ZHANG, W. *et al.* Optimized ultrasonic-assisted extraction of papaya seed oil from Hainan/Eksotika variety. **Food Science & Nutrition**, v. 7, n. 8, p. 2692–2701, 2019. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6694413/>. Acesso em: 15 nov. 2022.

ZHANG, Z. *et al.* An ultrasound-assisted extraction technology of almond dregs protein.

Frontiers of Agriculture in China, v. 4, p. 69-73, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/226851536_An_ultrasound-assisted_extraction_technology_of_almond_dregs_protein. Acesso em: 13 out. 2023.

ZHONG, J. et. al. The application of ultrasound and microwave to increase oil extraction from *Moringa oleifera* seeds. **Industrial Crops and Products**, v. 120, p. 1–10, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092666901830339X>. Acesso em: 20 out. 2023.

ZHU, J.; FU, Q. Optimization of ultrasound-assisted extraction process of perilla seed meal proteins. **Food Science and Biotechnology**, v. 21, p. 1701-1706, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10068-012-0226-7>. Acesso em: 17 nov. 2023.

APÊNDICE A – Curva de ajuste solução de Bradford.

Fonte: Da Autora (2024)