



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS - DECEN
CURSO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

MARIA EDUARDA DE PAIVA SÁ

Eficiência de solventes na recuperação de compostos fenólicos da casca do melão pele de sapo

PAU DOS FERROS

2025

MARIA EDUARDA DE PAIVA SÁ

Eficiência de solventes na recuperação de compostos fenólicos da casca do melão pele de sapo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharela Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientador: José Mariano da Silva Neto, Prof. Dr.

Coorientadora: Shirlene Kelly Santos Carmo, Profa. Dr^a.

PAU DOS FERROS

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S111e Sá, Maria Eduarda de Paiva.
Eficiência de solventes na recuperação de
compostos fenólicos da casca do melão pele de sapo
/ Maria Eduarda de Paiva Sá. - 2025.
55 f. : il.

Orientador: José Mariano da Silva Neto.
Coorientadora: Shirlene Kelly Santos Carmo.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2025.

1. Compostos fenólicos. 2. Extração. 3.
Subprodutos do melão. 4. Compactação dinâmica. I.
Neto, José Mariano da Silva , orient. II. Carmo,
Shirlene Kelly Santos , co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MARIA EDUARDA DE PAIVA SÁ

Eficiência de solventes na recuperação de compostos fenólicos da casca do melão pele de sapo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharela Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 29 / 07 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

José Mariano da Silva Neto, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Shirlene Kelly Santos Carmo, Profa. Dr^a. (UFERSA)
Membro Examinador

Wilza da Silva Lopes, Profa. Dr^a. (UFERSA)
Membro Examinador

Fernanda Siqueira Lima, Dr^a
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Começo agradecendo a Deus, que sempre me concedeu força e resiliência para enfrentar cada etapa desta jornada. Ter fé e acreditar que tudo vem Dele, do choro à alegria tornou esse processo muito mais leve de conduzir. Foi Ele meu sustento nos dias de cansaço, meu consolo nas noites silenciosas e minha luz quando tudo parecia escuro.

Cada passo foi guiado pelas Suas mãos, e se hoje chego ao fim dessa trajetória, é porque Sua graça me sustentou. A Ele, toda honra, toda glória e toda gratidão.

Ingressar no curso de Ciência e Tecnologia da UFRSA por meio do ENEM, logo após concluir o ensino médio, iniciar os estudos de forma remota em meio a uma pandemia e, posteriormente, sair da minha cidade para cursar a faculdade foram experiências que me fizeram amadurecer de forma rápida e intensa. Sempre existiu espaço para a saudade - de casa, da vida sem tantas preocupações e da escola - mas também uma enorme vontade de viver novas experiências, de correr atrás dos meus sonhos e de aproveitar as oportunidades que minha mãe, hoje, pode me proporcionar.

Dediquei o meu máximo no curso, não apenas por mim, mas porque compreendia o quanto essa jornada tinha um custo: de dinheiro, tempo, esforço e suor, que não eram só meus.

Sou imensamente grata a minha mãe, Sirléia Maria de Sá Bezerra, e ao meu padrasto, Marcelo Bezerra da Silva por me mostrarem que a gente sempre pode dar um jeito, por me ensinarem a importância da humildade e da educação e por investirem na minha formação com tanto vigor.

Meu agradecimento se estende também a minha família, vocês também fazem parte dessa vitória, tê-los em minha vida sempre foi motivo de gratidão. Por muitas vezes, quando a angústia, o cansaço, o medo e a incerteza me atormentavam, estar com vocês renovava minhas energias. Sinto o cuidado de Deus em cada um de vocês.

A minha afilhada, Maria Liz, que tantas vezes com uma simples foto enviada da mãe dela, me deu tanta força sem nem perceber, minha promessa do cuidado e de presença até o fim.

Ao meu namorado, Arquimedes Rodrigues, que me presenteou com a oportunidade de vivenciar um amor que começou no início da faculdade e que, até hoje, permanece firme. Obrigada por ser meu braço direito, meu companheiro e minha motivação. Sua presença e incentivo foram essenciais para a realização deste trabalho e para a concretização de sonhos que já se realizaram e outros que ainda virão. Agradeço por ser quem você é. Você me faz feliz, e eu te amo muito.

Agradeço também aos meus amigos que construí durante o curso, que são poucos, mas verdadeiros, partilhar dos mesmos problemas com vocês e conseguir rir no meio do caos foi essencial, ter vocês por perto me faz sentir gratidão a Deus por me permitir viver tudo isso sobre o seu cuidado, por ter colocado cada um de vocês no meio do meu percurso e por terem me ensinado tanto sobre a vida. Esses anos não teriam sido os mesmos sem a amizade de vocês.

Falando em amizade, meu agradecimento especial vai para Taisa Bezerra, amiga de longas datas, minha dupla da faculdade. Escolhemos o mesmo caminho e a mesma profissão e isso me enche de orgulho. Obrigada por partilhar cada etapa desta caminhada comigo, dividir toda essa rotina contigo tornou o caminho mais leve e divertido.

Aos meus professores, mestres que iluminaram minha jornada acadêmica, sou grata pelos ensinamentos, incentivos e por acreditarem no meu potencial. Em especial, ao meu orientador e co-orientadora: José Mariano e Shirlene Carmo, que despertaram em mim a paixão pela pesquisa e pela engenharia química. Ter vocês como professores e orientadores tornaram tudo mais especial e cativante, graças à dedicação de vocês e do amor evidente que tens pela profissão, obrigada pelo amparo, paciência e por toda orientação na escrita deste trabalho. Vocês foram fundamentais para a realização deste sonho.

Agradeço de forma especial ao GPAQ – meu grupo de pesquisa do coração - pela confiança depositada em meu trabalho e pela oportunidade de fazer parte de um espaço tão acolhedor, colaborativo e inspirador. Foi uma honra integrar esse grupo que tanto contribuiu para o meu crescimento acadêmico e pessoal. Levo comigo cada aprendizado, troca e incentivo recebido ao longo dessa caminhada.

Sou profundamente grata também à Wilza da Silva e a Fernanda Siqueira por aceitarem fazer parte da minha banca avaliadora.

Encerro essa etapa e levo comigo não apenas um diploma, mas uma bagagem repleta de aprendizados, memórias e pessoas que marcaram meu caminho. A jornada foi intensa, cheia de desafios e obstáculos, mas cada passo valeu a pena. A cada pessoa que, de alguma forma, fez parte deste processo, o meu muito obrigada. Esta realização não é apenas minha, mas de todos que estiveram comigo ao longo desta jornada.

Depois do medo, vem o mundo

Clarice Lispector

RESUMO

O Brasil, embora se destaque mundialmente pela sua ampla capacidade de produção de alimentos, enfrenta um sério problema estrutural: o elevado índice de desperdício alimentar. Essa contradição coloca o país entre os maiores geradores de descarte de alimentos no mundo. Diante disso, o reaproveitamento de resíduos agroindustriais, como as cascas de frutas, surge como uma alternativa sustentável para minimizar os impactos ambientais e agregar valor a esses subprodutos. Neste trabalho, investigou-se o potencial da casca do melão pele de sapo (*Cucumis melo L.*) como matéria-prima para a extração de compostos fenólicos, reconhecidos por sua atividade antioxidante e aplicações nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética. A metodologia do processo envolveu o auxílio de planejamentos experimentais sobre as extrações, variando parâmetros como temperatura, tempo e razão massa/volume. Para a caracterização físico-química da casca, foram realizadas análises de umidade, pH, cinzas, celulose, hemicelulose e lignina, visando compreender sua composição. Para a extração de compostos fenólicos, foram testados três solventes: água destilada, etanol e solvente eutético profundo (DES). A eficiência de cada extração foi avaliada com base na recuperação de compostos fenólicos totais (CFT) presentes na casca do melão pele de sapo. Os resultados indicaram que o tipo de solvente influencia diretamente na recuperação dos compostos extraídos. Os extratos obtidos foram analisados quanto ao teor de CFT, destacando-se o solvente eutético profundo (DES), que apresentou a maior concentração sob as condições de 30 minutos e 50 °C, alcançando 19.381,97 mgGAE/100 g. O etanol apresentou seu melhor desempenho na condição de 30 minutos e razão massa/volume de 1:20, com um teor de 18.578,99 mgGAE/100 g. Já a água destilada obteve seu maior rendimento sob as condições de 30 minutos e razão de 1:60, atingindo 15.627,88 mgGAE/100 g. Esses resultados evidenciam que a eficiência da extração de compostos fenólicos foi significativamente influenciada pela escolha do solvente. Além do desempenho técnico, tanto o DES quanto o etanol se destacam por serem alternativas sustentáveis, alinhadas aos princípios de processos químicos ambientalmente mais responsáveis.

Palavras-chave: compostos fenólicos; extração; subprodutos do melão; antioxidantes naturais.

ABSTRACT

Although Brazil stands out worldwide for its vast food production capacity, it faces a serious structural problem: its high rate of food waste. This contradiction places the country among the largest generators of food waste in the world. Therefore, the reuse of agro-industrial waste, such as fruit peels, emerges as a sustainable alternative to minimize environmental impacts and add value to these byproducts. This study investigated the potential of the peel of the *pele de sapo* melon (*Cucumis melo* L.) as a raw material for the extraction of phenolic compounds, recognized for their antioxidant activity and applications in the food, pharmaceutical, and cosmetic industries. The process methodology involved experimental design of the extractions, varying parameters such as temperature, time, and mass-to-volume ratio. For the physicochemical characterization of the peel, analyses of moisture, pH, ash, cellulose, hemicellulose, and lignin were performed to understand its composition. For the extraction of phenolic compounds, three solvents were tested: distilled water, ethanol, and deep eutectic solvent (DES). The efficiency of each extraction was evaluated based on the recovery of total phenolic compounds (TPC) present in the peel of the *pele de sapo* melon. The results indicated that the type of solvent directly influences the recovery of the extracted compounds. The extracts obtained were analyzed for TPC content, with deep eutectic solvent (DES) standing out, presenting the highest concentration under 30 minutes and 50°C, reaching 19,381.97 mgGAE/100 g. Ethanol performed best under 30 minutes and a mass-to-volume ratio of 1:20, with a content of 18,578.99 mgGAE/100 g. Distilled water obtained its highest yield under 30 minutes and a ratio of 1:60, reaching 15,627.88 mgGAE/100 g. These results demonstrate that the extraction efficiency of phenolic compounds was significantly influenced by the choice of solvent. In addition to their technical performance, both DES and ethanol stand out as sustainable alternatives, aligned with the principles of more environmentally responsible chemical processes.

Keywords: phenolic compounds; extraction; melon by-products; natural antioxidants.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Variedades comerciais de melão mais cultivadas no Brasil	7
Figura 2 - Fluxograma da pesquisa	15
Figura 3 - Fluxograma do processamento do pó	16
Figura 4 - Fluxograma da caracterização	17
Figura 5 - Fluxograma da extração de compostos fenólicos com DES	23
Figura 6 - Gráfico de Pareto com as variáveis dependentes	29
Figura 7 - Superfície de resposta	30
Figura 8 - Gráfico de Pareto com as variáveis dependentes	32
Figura 9 - Superfície de resposta	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo entre solventes utilizados na extração de compostos fenólicos	13
Tabela 2 - Níveis do planejamento experimental	19
Tabela 3 - Matriz do planejamento experimental	19
Tabela 4 - Níveis do planejamento experimental	20
Tabela 5 - Matriz do planejamento experimental	20
Tabela 6 - Níveis do planejamento experimental	22
Tabela 7 - Matriz do planejamento experimental	22
Tabela 8 - Caracterização lignocelulósica do pó da casca do melão pele de sapo	25
Tabela 9 - Teor de compostos fenólicos com água	28
Tabela 10 - ANOVA	30
Tabela 11 - Teor de compostos fenólicos com etanol	31
Tabela 12 - ANOVA	33
Tabela 13 - Teor de compostos fenólicos com DES	34
Tabela 14 - Comparativo entre solventes utilizados na extração de CFT	35

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Equação do Modelo - Água	29
Equação 2 - Equação do Modelo - Etanol	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo geral	18
2.2	Objetivo específicos	18
3	REVISÃO TEÓRICA	19
3.1	Aspectos gerais da cultura do melão.....	19
3.2	Compostos Fenólicos	23
3.3	Processos de extração de compostos fenólicos	24
3.4	Estabilidade química dos compostos fenólicos	27
4	MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1	Obtenção do pó da casca do melão pele de sapo.....	30
4.2	Caracterização físico-química do material	31
4.2.1	Umidade.....	31
4.2.2	Cinzas.....	32
4.2.3	Extrativos.....	32
4.2.4	Lignina.....	32
4.2.5	Holocelulose	32
4.2.6	Alfa-Celulose.....	32
4.2.7	Hemicelulose	32
4.3	Extração de compostos fenólicos com água	33
4.4	Extração de compostos fenólicos com etanol.....	34
4.5	Extração de compostos fenólicos com solvente eutético profundo (DES)	35
4.5.1	<i>Preparação dos solventes eutéticos profundos (DES)</i>	<i>35</i>
4.5.2	<i>Extração dos CFT com DES.....</i>	<i>36</i>
4.6	Quantificação dos compostos fenólicos totais	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
5.1	Caracterização físico-química da farinha da casca do melão pele de sapo	39
5.2	Extração de compostos fenólicos totais.....	41
6	CONCLUSÕES.....	51

6.1	Sugestões para trabalhos futuros	51
	REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é reconhecido mundialmente por sua abundância na produção de alimentos, contudo, essa posição de destaque na produção agrícola se contrapõe a um grave problema estrutural, o elevado índice de desperdício de alimentos que coloca o Brasil em 10º lugar entre os países com maior volume de descarte alimentar no mundo, de acordo com dados da Organização das Nações unidas (Onu). Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Ibge), de 2024, cerca de 30% de toda a produção nacional de alimentos é descartada, o que representa cerca de 46 milhões de toneladas por ano e aproximadamente 45 % dos resíduos sólidos urbanos brasileiros são compostos por matéria orgânica como restos de alimentos e podas, de acordo com dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (Seeg) relatados pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (Mma). Essa realidade evidencia um cenário preocupante de ineficiência na cadeia produtiva e de consumo, além de sérias implicações sociais, econômicas e ambientais.

De acordo com dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, as frutas têm conquistado cada vez mais relevância no Brasil, tanto no mercado interno quanto no cenário internacional. Em 2023, de janeiro a maio, frutas brasileiras foram exportadas para 129 países, sendo os melões (*Cucumis melo L.*) e as mangas (*Mangifera indica*) os destaques nas exportações do período, com receitas de US\$ 68,1 milhões e US\$ 51,3 milhões, respectivamente. As projeções para a safra de 2032/2033 indicam um expressivo crescimento na produção de melão, estimado em 28,7%. Em 2023, a produção nacional atingiu 862.387 toneladas, cultivadas em uma área de 30.535 hectares. O estado do Rio Grande do Norte lidera a produção no país, sendo responsável por cerca de 70% do volume total, com destaque para o município de Mossoró, principal polo produtor estadual. Tendo em vista essa grande produção, presume-se a geração de um alto teor de resíduos pós-processamento e consumo habitual, como cascas e sementes, que não possuem um valor agregado.

Esses resíduos, frequentemente descartados e com pouco ou nenhum valor econômico agregado, representam uma oportunidade para aproveitamento sustentável. Em face disso, diversos estudos têm sido realizados com esse propósito, utilizando as cascas do melão para produção de farinhas funcionais, fabricação de doces, compotas e geleias, extração de compostos bioativos, uso como substrato para crescimento de micro-organismos e matéria-prima para biofilmes biodegradáveis. Já as sementes do melão vêm sendo aplicadas na produção de farinhas ricas em proteínas, extração de óleo vegetal, alimentação animal e como componentes funcionais em produtos alimentícios e cosméticos. Uma das principais

preocupações da população atual diz respeito à qualidade de vida garantida pela escolha de alimentos funcionais para a prevenção de doenças. Nesse sentido, frutas, vegetais e seus resíduos têm sido testados para a avaliação da eficiência da ingestão devido à presença de compostos bioativos, antioxidantes e fibras alimentares presentes nos mesmos (Maqsood *et al.*, 2020).

Diante disso, torna-se essencial compreender o papel dos compostos bioativos, que são definidos como substâncias essenciais e não essenciais encontradas na natureza e que integram a cadeia alimentar, como vitaminas ou compostos fenólicos. Esses compostos podem estar presentes em alimentos como frutas e vegetais, ou ainda serem produzidos sinteticamente (Biesalski, Hans-Konrad; *et al.* 2009). Em razão de seus efeitos benéficos à saúde, observa-se uma crescente tendência, tanto econômica quanto tecnológica, para que o mercado global valorize cada vez mais o uso de alimentos com propriedades bioativas. Essa tendência tem incentivado especialmente a indústria alimentícia a desenvolver novos produtos funcionais que incorporem essas características em suas formulações.

Uma alternativa viável para reduzir o desperdício de alimentos é o aproveitamento de partes que, comumente, são descartadas como subprodutos e não são consumidas pela população, como as cascas, talos e sementes. Essa prática, além de contribuir para a agregação de valor em novos produtos alimentícios ou industriais, também apresenta benefícios nutricionais relevantes. De acordo com Ajila *et al.* (2007), as cascas são os principais subprodutos obtidos durante o processamento de diversas frutas e foi demonstrado que elas contêm polifenóis (compostos fenólicos), carotenóides, tocoferóis e outros compostos bioativos que possuem vários efeitos benéficos à saúde humana.

Considerando sua relevância funcional e potencial de aproveitamento, os estudos têm utilizado técnicas para identificar métodos eficazes para a extração de compostos bioativos, especialmente os compostos fenólicos. Existem várias técnicas para a extração de compostos fenólicos, empregando diferentes equipamentos, como refluxo e Soxhlet, ultrassom, agitação em shaker e maceração (Souza, 2018). Diversos solventes são comumente empregados na extração de compostos bioativos, como etanol, metanol, acetona, solventes eutéticos profundos e soluções aquosas, os quais têm se mostrado eficazes na recuperação dessas substâncias. No entanto, não existe um solvente único capaz de extrair simultaneamente todas as classes de compostos bioativos. Por isso, torna-se essencial a realização de estudos que visem identificar a solução extratora mais adequada para os compostos de interesse (Ngo *et al.*, 2017; Magro; Castro, 2020).

Diante da crescente preocupação com o aproveitamento sustentável de resíduos agroindustriais e da valorização de fontes naturais de compostos bioativos, a casca do melão pele de sapo surge como uma matéria-prima promissora. Este trabalho teve como objetivo realizar a recuperação de compostos fenólicos presentes nesse resíduo, utilizando três diferentes solventes de extração: água, etanol e solventes eutéticos profundos (Des). Este estudo visa não apenas identificar o solvente mais eficiente em termos de rendimento, mas também contribuir para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis que agreguem valor a subprodutos agrícolas e favoreçam práticas mais ecológicas na indústria alimentícia e farmacêutica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar e comparar diferentes solventes de extração visando a recuperação de compostos fenólicos totais provenientes da casca do melão pele de sapo.

2.2 Objetivo específicos

- Caracterizar físico-quimicamente a casca do melão pele de sapo;
- Extrair os compostos fenólicos totais utilizando água, etanol e solvente eutético profundo (DES),
- Comparar a eficiência dos diferentes solventes estudados em termos de concentração de compostos fenólicos totais.

3 REVISÃO TEÓRICA

Nesta seção, abordam-se os principais aspectos do melão pele de sapo (*Cucumis melo* L.), matéria-prima utilizada no presente estudo, com ênfase em suas características básicas e na geração de resíduos ao longo da cadeia produtiva. Também se discutem os métodos de extração de compostos fenólicos, com destaque para sua estabilidade química e relevância funcional.

3.1 Aspectos gerais da cultura do melão

O melão, cujo nome científico é *Cucumis melo* L., pertence ao gênero *Cucumis*, dentro da família das cucurbitáceas. Acredita-se que sua origem esteja ligada ao continente africano. No Brasil, a introdução do cultivo se deu por imigrantes europeus, por volta da década de 1960, no estado do Rio Grande do Sul. Com o tempo, o cultivo se expandiu para São Paulo e, mais tarde, ganhou força nas regiões Norte e Nordeste, onde se destacou nas décadas de 1980 e 1990 como uma das principais culturas em termos de área plantada e produção (Araújo, 2008).

A família Cucurbitaceae é bastante diversificada, incluindo cerca de 130 gêneros e 800 taxonomias. Entre as mais relevantes do ponto de vista econômico, destacam-se o melão (*Cucumis melo* L.), o pepino (*Cucumis sativus* L.), a melancia (*Citrullus lanatus*) e a abóbora (*Cucurbita* spp.) (Jeffrey & De wilde, 2006; apud Madeira, 2017).

O melão é amplamente cultivado em diversas partes do mundo. É uma fruta muito apreciada, com crescente popularidade no Brasil e com forte presença nos mercados da Europa, Estados Unidos e Japão (Silva & Costa, 2003). Sendo uma das mais comuns cultivares do mundo e uma das espécies mais polimórficas que compreendem um extenso número de cultivares e genótipos, que podem ser agrupados de acordo com suas características.

A grande diversidade genética dos melões cultivados tem levado os botânicos a sugerirem diversas categorias. No ano de 1859, o botânico francês Charles Naudin, ao empregar as plantas cultivadas em seu jardim, no Museu de História Natural de Paris, apresentou o primeiro sistema de classificação do *Cucumis melo* L. Naudin, sendo essas espécies, divididas em dez grupos, os quais foram posteriormente revisados por botânicos, que sugeriram nomes trinominais. Em 2000, Petrati e sua equipe sugeriram uma classificação sintetizada, na qual reconheceram sinônimos para os tipos e identificaram dezesseis grupos, chamando-os de variedades. (Crisóstomo *et al.*, 2003).

Apesar de haver sete variedades botânicas de melão com relevância agrícola, no Brasil, somente duas são cultivadas em grande escala comercial: *Cucumis melo* var. *inodorus* e *Cucumis melo* var. *cantaloupensis* Naud. A variedade *inodorus* é reconhecida por gerar frutos de casca lisa, com cores que variam do amarelo, branco e verde-escuro. Trata-se de um fruto sem cheiro e que apresenta boa durabilidade após a colheita. A polpa, de coloração branca ou verde clara, apresenta uma espessura que varia entre 20 mm a 30 mm. O segundo tipo mais cultivado desse grupo é aquele que produz frutos de casca verde, também conhecido como pele de sapo. *Cucumis melo* var. *cantaloupensis* Naud. produz frutos aromáticos, que podem apresentar casca recoberta por um rendilhado corticoso (*reticulatus*), com coloração variando entre levemente amarela e esverdeada. Há também outros frutos com casca verde rugosa, que possuem gomos ou costelas bem definidas no sentido longitudinal. A polpa dos frutos rendilhados é de cor amarela a salmão. Os frutos dessa variedade apresentam baixa resistência ao transporte e curta vida pós-colheita, sendo normalmente conhecidos como melão cantaloupe (Aragão, 2011; apud Madeira, 2017).

Para simplificar a venda, os melões cultivados são organizados em uma classificação comercial por tipo com características parecidas, de fácil identificação e distinção entre um dos demais, levando em consideração a casca, a cor e a presença ou ausência de suturas quando estão maduros, cicatrizes, reticulação ou rendilhamento, formato do fruto e cor da polpa (Aragão, 2011; apud Madeira, 2017).

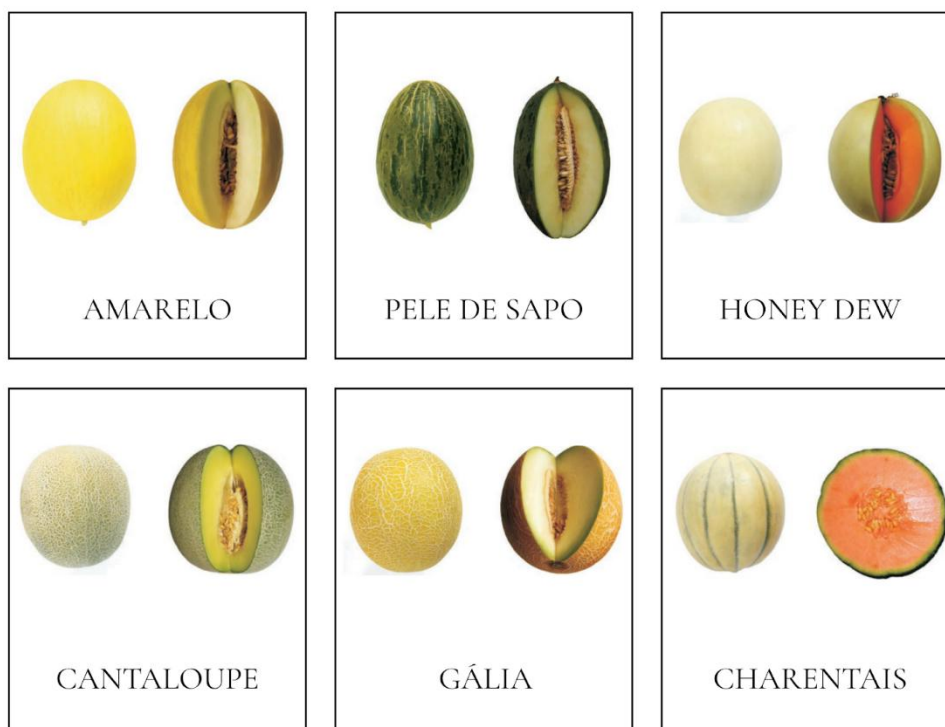
Para o mercado brasileiro, esta classificação comercial compreende, principalmente, os seis tipos:

- Melão Amarelo: introduzido da Espanha, sendo também referido como Melão Amarelo Espanhol ou Melão Amarelo Valenciano. É inodoro, possui casca amarela e polpa de cor branco-creme.
- Melão Pele de Sapo: também não possuem odor, apresentando casca e polpa verdes. Os melões Pele de Sapo, como o "Meloso", "Doncel" e "Sancho", possuem uma casca verde-claro com manchas verde-escuro, conhecida como "escriturada". Dentre os melões comercializados, é o tipo de maior tamanho, com polpa verde e textura firme.
- Melão Honey Dew: possui frutos firmes de tamanho médio a grande, com formato esférico e casca lisa, cuja cor varia do branco e o amarelo. A polpa pode ser verde, salmão ou branca.
- Melão Cantaloupe: são melões aromáticos de origem americana, sendo os mais cultivados globalmente. Possuem frutos de formato esférico, com ou sem suturas, polpa de coloração salmão e aroma bastante intenso.

- Melão Gália: abrange melões reticulados, aromáticos e de origem israelense. Os frutos apresentam forma arredondada, casca verde quando início e casca amarela quando maduros. Possuem baixa reticulação e peso médio variando de 0,7 a 1,3 kg. A polpa tem coloração branco-esverdeada. O melão Gália foi criado por israelenses por volta da década de 1960. O primeiro híbrido simples originado de um programa de melhoramento em Israel é fruto do cruzamento de uma linhagem de melão Ogen com outra de melão Honey Dew (Odet, 1985). Os frutos de melão Gália têm formato esférico, são aromáticos, pesam de 1,0 a 1,5 kg, possuem polpa esverdeada e apresentam teor de sólidos solúveis variando entre 13% e 15% (Karchi, 2000).
- Melão Charentais: são melões aromáticos de origem francesa. Encontram-se cascas lisas, de forma arredondada e, às vezes, achatada, apresentando suturas ou costelas, com coloração verde-claro ou levemente cinza. Há duas variedades, uma com casca verde-escura e polpa salmão, e outra com casca bastante reticulada e costelas verde-escuras, de formato redondo ou semi oval, polpa salmão e muito aromática. Esses três tipos estão incluídos na variedade botânica cantalupensis.

A Figura 1 mostra as 6 variedades comerciais de melão cultivadas no Brasil.

Figura 1 - Variedades comerciais de melão mais cultivadas no Brasil



Fonte: Adaptado de Senar (2007).

As regiões do Baixo Assu no Rio Grande do Norte, Baixo Jaguaribe no Ceará e Chapada do Apodi em ambos os estados, são responsáveis pelas maiores áreas produtoras de melão no semiárido do Nordeste (Dias *et al.*, 1998).

No estado do Rio Grande do Norte, a área de Mossoró detém o maior número de plantações de melão. Sendo responsável por cerca de 70% da produção total no país. De acordo com dados divulgados pelo IBGE, em 2023, no estado do RN a produção atingiu 604.566 toneladas, cultivadas em uma área de 19.838 hectares. O sucesso da cultura no Nordeste se deve às condições ótimas de clima, tais como intensidade e duração da luminosidade, altas temperaturas e baixa precipitação pluviométrica (Silva *et al.*, 2002). O polo Mossoró-Açu está localizado na mesorregião Oeste potiguar. Abrange as cidades de Mossoró, Baraúna, Grossos, Tibau, Açu, Apodi, Governador Dix-Sept Rosado e Upanema, com uma extensão total de 8.107 km² (IBGE, 2010). As bacias Piranhas/Açu e Apodi/Mossoró cruzam a região, abrigando a Barragem de Santa Cruz do Apodi e a Barragem Armando Ribeiro Gonçalves, com capacidades de 600 milhões de m³ e 2,4 bilhões de m³ de água, respectivamente (Araújo *et al.*, 2008).

A grande produção de melão no Rio Grande do Norte, especialmente na região do polo Mossoró-Açu, resulta em uma quantidade significativa de resíduos agroindustriais, como cascas, sementes e polpa residual, que normalmente são descartados após o processamento e comercialização da fruta in natura. Isso gera poluição ambiental e, como consequência, aumenta os custos operacionais das empresas, devido à necessidade de tratar o que é descartado (Lima *et al.*, 2018). As indústrias de alimentos produzem grandes quantidades de subprodutos, como sementes, cascas e caroços, o que gera sérios problemas ambientais devido ao grande volume de lixo orgânico gerado. As cascas, sementes e sobras dos cortes do melão são os subprodutos mais significativos, representando aproximadamente 60% do fruto (Oliveira, 2020). Ademais, as cascas e sementes correspondem aproximadamente a 25% e 7%, respectivamente, em relação ao peso total do fruto (Gómez-García).

As cascas e sementes do melão têm sido bastante utilizadas, em diversas aplicações. As cascas têm sido empregadas na fabricação de farinhas funcionais para enriquecer pães, biscoitos, barras de cereais e bolos; na criação de doces, compotas e geleias; na extração de compostos bioativos com propriedades antioxidantes e antimicrobianas; como substrato para o crescimento de micro-organismos probióticos e produção de enzimas; além de serem utilizadas como matéria-prima na produção de biofilmes biodegradáveis, que podem ser usados em embalagens sustentáveis. As sementes, por sua vez, são utilizadas na produção de farinhas ricas em proteínas, na extração de óleo vegetal com propriedades nutricionais benéficas, na alimentação animal e como componentes funcionais em produtos alimentícios e cosméticos.

Esse amplo potencial de aproveitamento se justifica, em grande parte, pelas propriedades químicas e funcionais desses resíduos. A utilização de resíduos alimentares, de baixo valor, torna-se cada vez mais necessária por possuir excelentes propriedades antioxidantes naturais, que podem ser usadas como alternativa eficaz visando a substituição dos antioxidantes sintéticos, atuando como aceptores de radicais livres no atraso ou inibição da via de oxidação e garantia de alimentos mais saudáveis e funcionais. Conforme Champe, Harvey e Ferrier (2008) na composição do melão são encontrados componentes do metabolismo secundário, como os compostos fenólicos, os quais além de apresentarem benefícios fisiológicos a saúde por possuírem uma alta capacidade antioxidante, também contêm grande importância para o setor da indústria de alimentos como aditivos alimentares, visando a melhoria na qualidade dos alimentos em razão dessa capacidade.

3.2 Compostos Fenólicos

Compostos bioativos têm sido amplamente reconhecidos por seus efeitos benéficos à saúde humana, especialmente devido às suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, que podem contribuir para a prevenção de doenças como o câncer e enfermidades cardiovasculares, entre outros benefícios (Murador *et al.*, 2019).

Nos últimos anos, uma variedade de compostos bioativos vem sendo extraída de fontes naturais e classificados em diferentes grupos, como compostos fenólicos, vitaminas, carotenóides, alcalóides e compostos organossulfurados, sendo frequentemente encontrado em frutas, vegetais, óleos e grãos integrais (Chemat *et al.*, 2015; Araújo *et al.*, 2019; Arruda *et al.*, 2019; Meregalli *et al.*, 2020; Munekata *et al.*, 2020; Kalschne *et al.*, 2019). Conforme mencionado por Recharla *et al.* (2017), a aplicação desses compostos em produtos alimentícios comerciais ainda representa um desafio, devido à sua baixa estabilidade e elevada solubilidade.

Os compostos fenólicos têm sido os mais estudados dentre os compostos bioativos de maior destaque. Além de seus comprovados efeitos benéficos à saúde, esses compostos apresentam grande potencial de aplicação nas áreas de ciência e tecnologia de alimentos (Rashmi; Negi, 2020).

Os compostos fenólicos são metabólitos secundários amplamente distribuídos no reino vegetal, caracterizados por estruturas com anéis aromáticos contendo um ou mais grupos fenóis. Apesar da diversidade desses compostos na natureza, os principais representantes são os ácidos fenólicos, os flavonoides e os taninos (Haminiuk *et al.*, 2012). Segundo Nayak, Liu e Tang

(2015), o grande interesse por esses compostos se deve à sua destacada atividade antioxidante, comprovada em estudos *in vivo* e *in vitro* (Shahidi; Yeo, 2016).

Os subprodutos nos vegetais também se apresentam como fonte de compostos fenólicos. E desta forma, os mesmos exibem potencial de utilização e posterior aplicação. Dentre os subprodutos vegetais destacam-se as cascas (Gemechu, 2020).

3.3 Processos de extração de compostos fenólicos

A primeira etapa de qualquer estudo relacionado à obtenção de compostos bioativos a partir de vegetais é a extração (Azmir *et al.* 2013). Esse processo é utilizado para caracterizar e quantificar compostos presentes em uma determinada matriz ou recuperar determinado composto alvo para aplicação na ciência (Ameer; Shahbaz; Kwon, 2017).

Para Meregalli *et al.* (2020), a extração é uma operação unitária que envolve a transferência de massa, separando os compostos de interesse de uma matriz através de processos que podem ser físicos, químicos e mecânicos, sendo realizada em meio sólido-líquido, líquido-líquido ou gás-líquido.

Com o objetivo de facilitar a extração dos compostos bioativos presentes em alimentos e outras matrizes naturais. Utilizam-se diferentes técnicas, que podem ser classificadas em dois grandes grupos: os métodos convencionais e os não convencionais (Wijngaard *et al.*, 2012).

Segundo Saifullah *et al.* (2020) as técnicas aplicadas para extração de compostos fenólicos podem ser divididas em três grupos: (1) tradicional, (2) moderna e (3) uma combinação de moderna e tradicional ou de duas ou mais técnicas. A eficiência da extração de compostos fenólicos depende de vários parâmetros, incluindo método de extração, tempo, temperatura, tamanho de partícula, porosidade da matriz da amostra, tipo de solvente, concentração do solvente, *pH*, razão amostra-solvente e difusividade do solvente na amostra (Wang *et al.*, 2008 ; Irakli *et al.*, 2018 ; Goltz *et al.*, 2018). Portanto, para se obter a efetiva determinação da utilização e do potencial de compostos fenólicos provenientes de biomassas é necessário extraí-las de forma eficiente e seletiva.

Dentre os diferentes métodos de extração disponíveis, destaca-se a extração sólido-líquido, ou extração de uma matriz com solventes, que é um dos métodos mais empregados para obter extratos com elevada atividade antioxidante (Anwar *et al.* 2015). Esse procedimento envolve a separação de compostos pela transferência dos solutos de uma matriz sólida para um solvente adequado. Durante essa interação, há uma alteração na concentração dos solutos no

interior do sólido, indicando um estado não estacionário ou instável. Durante essa fase de contato entre a matriz e o solvente, ocorrem várias reações físicas e químicas, que são responsáveis por facilitar a separação dos compostos de interesse (Aguilera, 2003).

O processo de extração sólido-líquido se torna mais eficiente quando aliado ao uso da sonificação, principalmente devido a efeitos como lixiviação superficial, fragmentação das partículas, erosão e aumento da área de contato entre o sólido e o solvente. Um dos principais benefícios desse método é a redução do tamanho das partículas sólidas, o que é essencial, já que muitas reações químicas dependem diretamente da área de superfície disponível para ocorrerem de forma mais eficaz (Krug, F. J., 2003). Durante a aplicação do ultrassom, a formação e o colapso de microbolhas nos poros dos sólidos ou o impacto entre partículas provocam a expansão dessa área superficial. Além disso, bolhas que se formam próximas às partículas tornam-se assimétricas e, ao implodirem, geram microjatos de líquido que erodem e renovam a superfície do material. Esse processo favorece a interação entre o solvente e a amostra (Suslick K. S., 1990). Outro ponto importante é que a extração de compostos antioxidantes, como os fenólicos, deve ser feita em temperaturas moderadas, pois eles são sensíveis ao calor e podem perder suas propriedades funcionais quando expostos a altas temperaturas. Nesse sentido, o ultrassom se destaca, pois permite extrair de forma eficiente mesmo em temperaturas mais baixas do que as utilizadas nos métodos convencionais, preservando melhor a integridade dos compostos (Paniwnyk *et al.*, 2009).

O melhor solvente para extração de compostos bioativos está diretamente relacionado a uma série de fatores, incluindo sua seletividade, miscibilidade, densidade, custo, pressão de vapor, viscosidade, bem como sua estabilidade química e térmica (Mukhopadhyay, 2006; Prasad, Hassan *et al.*, 2011; Haminiuk, Maciel *et al.*, 2012; *apud* Cardinale, 2013). Dentre esses aspectos, a polaridade do solvente desempenha um papel importante na extração seletiva de diferentes antioxidantes. Por isso, é comum a utilização de água e os solventes orgânicos tais como metanol, etanol e acetona, bem como misturas aquosas dos mesmos (Murga, Ruiz *et al.*, 2000; Shahidi e Naczki, 2004; Sun e Ho, 2005; *apud* Cardinale, 2013). No entanto, devido a toxicidade do metanol e da acetona tem levado a um interesse da indústria alimentícia pelo etanol e pela água como solventes extratores.

A água destilada é um solvente seguro, de baixo custo, atóxica e de fácil acesso ideal para extrair compostos fenólicos hidrossolúveis. No entanto, sua eficiência é limitada em relação a compostos de menor polaridade, resultando em rendimentos menores (Anwar *et al.* 2015). A natureza exclusivamente aquosa pode exigir tempos de extração mais longos, maiores quantidades de biomassa ou métodos auxiliares para alcançar resultados adequados.

O etanol é amplamente utilizado na extração de compostos com atividade antioxidante a partir de fontes naturais, principalmente por apresentar baixa toxicidade quando comparado a outros solventes orgânicos, assim como o dióxido de carbono (CO₂). Além disso, destaca-se por sua eficiência na extração de compostos relativamente polares, como os ácidos fenólicos e flavonoides. Outra vantagem importante é sua fácil remoção do extrato final, podendo ser evaporado ou destilado com facilidade (Rawson et al, 2012), o que torna o processo mais seguro e viável, especialmente quando o produto se destina ao consumo humano ou à aplicação em alimentos e cosméticos.

A extração sólido-líquido com o uso de solventes alcoólicos como butanol, etanol e isopropanol, tanto em sua forma pura quanto diluída em água, é uma das práticas mais comuns na indústria de alimentos. Essa técnica é amplamente empregada para isolar moléculas bioativas que podem ser aplicadas como aditivos em formulações alimentares, agregando valor nutricional aos produtos (Pinelo *et al.*, 2006). No entanto, existe uma grande restrição ao uso de solventes orgânicos devido à sua toxicidade, já que a maior parte dos extratos são utilizados em produtos alimentícios, farmacêuticos e medicinais. Desta forma, tem-se procurado novas alternativas envolvendo os chamados “solventes verdes”.

Os extratos obtidos por solventes orgânicos exigem um controle de qualidade especial nas indústrias de alimentos e farmacêutica, devido a toxicidade. Além disso, muitas vezes esses solventes são explosivos, inflamáveis ou pouco biodegradáveis. É nesse cenário que surgem os solventes eutéticos profundos (DES), como uma proposta alinhada aos princípios da química verde, os DES se destacam por sua baixa ou nenhuma toxicidade, biodegradabilidade, fácil síntese e baixo custo. Além disso, os DES podem ser sintetizados com propriedades físico-químicas distintas, enquadrando-o no conceito de “solvent design” (solvente que pode ser dimensionado), permitindo que os DES possam ser desenvolvidos para as mais diversas aplicações e sistemas. (Dai, 2013). Um dos componentes receptores de hidrogênio mais comumente utilizado para formação dos DES é o cloreto de colina (ChCl), um sal de amônio quaternário atóxico (Yadav et al., 2014, apud Barbieri, 2018). Este sal é considerado um componente essencial para a dieta e funcionamento normal de todas as células, auxiliando em diversos mecanismos metabólicos. (Fu et al., 2017; Zeisel; Blusztajn, 1994, apud Barbieri, 2018). A principal desvantagem dos solventes eutéticos profundos (DES) frente aos solventes convencionais é a alta viscosidade, a qual dificulta a transferência de massa entre soluto-solvente (Dai, Y., Witkamp, G. J., Verpoorte, R., & Choi, Y., 2013).

Diante desse panorama, a escolha dos solventes utilizados neste trabalho, água destilada, etanol e DES foi baseada tanto em critérios técnicos quanto em princípios de sustentabilidade.

Avaliar a eficiência desses solventes na extração de compostos fenólicos a partir da casca do melão *Pele de Sapo* permite não apenas valorizar um subproduto agroindustrial, como também contribuir para o avanço de soluções mais seguras e ambientalmente responsáveis na recuperação de compostos bioativos.

Tabela 1 - Comparativo entre solventes utilizados na extração de compostos fenólicos

Solvente	Vantagens	Desvantagens
Água	Segura, barata e renovável	Baixa eficiência para compostos menos polares, precisa de mais tempo e biomassa
Etanol	Boa eficiência, seguro e fácil remoção	Mais caro, inflamável, exige remoção completa
DES	Alta seletividade, sustentabilidade, excelentes rendimentos	Viscosos, isolamento do extrato mais complexo

Fonte: Autoria própria (2025).

3.4 Estabilidade química dos compostos fenólicos

Os compostos fenólicos, importantes antioxidantes naturais, fazem parte da alimentação humana principalmente por meio do consumo de frutas, bebidas, geleias e xaropes. Esses polifenóis têm despertado grande interesse na área da saúde e da indústria de alimentos, pois são uma alternativa para a substituição de antioxidantes sintéticos visando contribuir para a prevenção de diversas doenças. No entanto, sua aplicação exige cuidados, já que esses compostos são instáveis a condições ambientais de luz, pH, temperatura e presença de oxigênio, caso não sejam armazenados ou processados adequadamente, sua estabilidade e funcionalidade podem ser comprometidas Neto (2021).

Diante dessa instabilidade, Jia *et al.*, (2016) utilizou o encapsulamento, podendo ser por processos de emulsão, spray drying, eletrofiação, coacervação e extrusão. Como tecnologia que auxiliem na estabilização dos compostos fenólicos. Tendo como principal objetivo aprisionar esses compostos dentro de outro material, formando pequenas partículas, que tenham a função de liberá-los a taxas controladas e sob condições específicas. Esse processo não apenas prolonga a vida útil dos bioativos, mas também potencializa sua eficácia em aplicações alimentícias, farmacêuticas e cosméticas.

Embora as técnicas de encapsulamento apresentem resultados promissores é importante considerar suas limitações. Apesar da boa eficiência, esses métodos exigem equipamentos sofisticados. De acordo com Munin e Edward-Lévy (2011), nesses procedimentos os antioxidantes naturais são expostos a temperaturas elevadas (acima de 100 °C), o que gera um alto custo devido à manutenção e operação de equipamentos. Arbeláez et al. (2019), buscando tecnologias alternativas, investigou a imobilização simples de compostos fenólicos em nanocelulose extraída do caule da bananeira. O nanocomplexo obtido demonstrou elevada atividade antioxidante, com capacidade de inibir a oxidação mediada por radicais peróxido de peptídeos contendo triptofano e a peroxidação lipídica em sistemas emulsificados de óleo, expostos a condições oxidativas aceleradas.

Dessa forma, fica evidente a necessidade de explorar novas estratégias tecnológicas que ofereçam maior estabilidade aos compostos fenólicos, aliando alta eficiência, baixo impacto ambiental e viabilidade econômica. O desenvolvimento de soluções inovadoras é fundamental para aumentar a vida útil do produto, protegendo os componentes bioativos contra a degradação durante o armazenamento e/ou processamento sem perder o seu potencial antioxidante e anti-inflamatório.

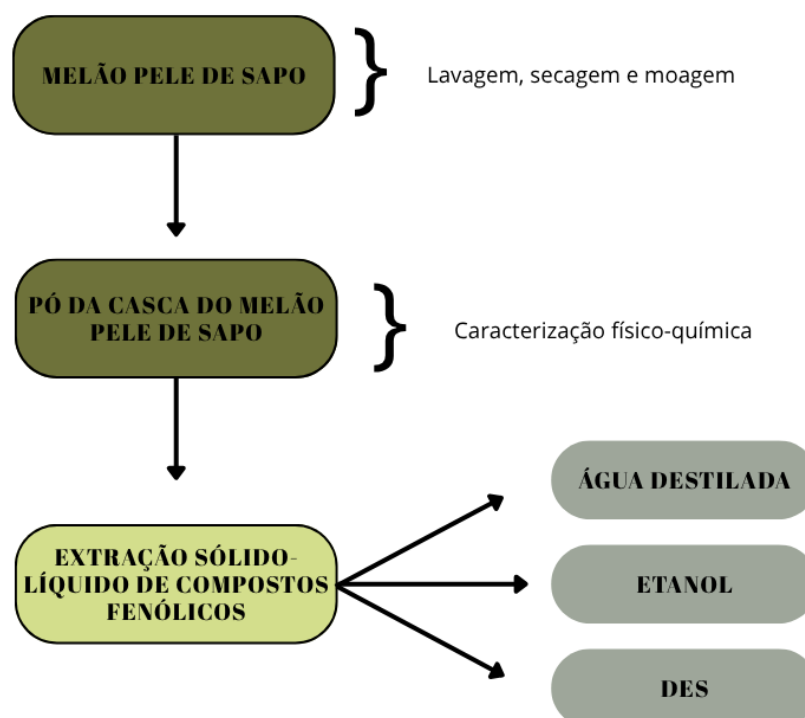
A promoção do consumo e da produção responsáveis, conforme preconizado pelo ODS 12, envolve a adoção de práticas que minimizem o desperdício de recursos naturais e incentivem o reaproveitamento de subprodutos. No contexto agroindustrial, isso significa reduzir perdas ao longo de toda a cadeia produtiva e valorizar resíduos, como cascas e sementes, transformando-os em matérias-primas para novos produtos. Essa abordagem não apenas diminui o impacto ambiental, mas também fortalece a economia circular, estimulando a eficiência no uso de insumos e contribuindo para um sistema alimentar mais sustentável e equilibrado.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho, foi realizada uma pesquisa de natureza aplicada, adotando-se uma abordagem quantitativa fundamentada em um procedimento experimental, baseada na caracterização, extração dos compostos fenólicos da casca do melão pele de sapo com o intuito de avaliar o seu potencial para geração de produtos de valor agregado.

A condução de experimentos foi realizada nos Laboratórios de Química e Geral e Aplicada da Universidade Federal Rural do Semi-Árido no Campus de Pau dos Ferros. Os dados foram tratados com o auxílio de ferramentas estatísticas, possibilitando assim, uma interpretação objetiva e robusta. A integração entre a análise quantitativa e a experimentação não apenas enriquece a qualidade dos dados coletados, mas também estabelece uma base sólida, contribuindo de maneira substancial, para a decisão sobre o progresso em pesquisas. O fluxograma da Figura 2 mostra o delineamento da pesquisa.

Figura 2 - Fluxograma da pesquisa



Fonte: Autoria própria (2025).

4.1 Obtenção do pó da casca do melão pele de sapo

O melão em estudo nesta pesquisa, foi cultivado na fazenda da Universidade Federal do Semi-Árido (Ufersa), localizada no município de Mossoró, Rio Grande do Norte, e adquirido por meio de doação. As cascas foram lavadas em uma solução contendo água corrente e hipoclorito de sódio na concentração de 2 % (v/v) para desinfecção e mantidas em imersão por 10 minutos, posteriormente, enxaguadas com água corrente da rede de abastecimento.

Para obtenção do pó, as cascas foram colocadas em bandejas de alumínio e submetidas ao processo de secagem em estufa com circulação e renovação de ar SL-102 - Solab à 70 °C, em seguida, trituradas em moinho de facas tipo willye, marca Fortinox, visando aumentar a área interfacial, assegurando melhor extração dos compostos bioativos, obtendo-se assim o pó da casca do melão. O pó foi então acondicionado em sacos plásticos e armazenadas para posterior realização da caracterização do material vegetal, descrito no item 4.2.

A Figura 3 apresenta o procedimento realizado para se obter o pó da casca do melão Cucumis Melo Santa Claus (Pele de Sapo).

Figura 3 - Fluxograma do processamento do pó



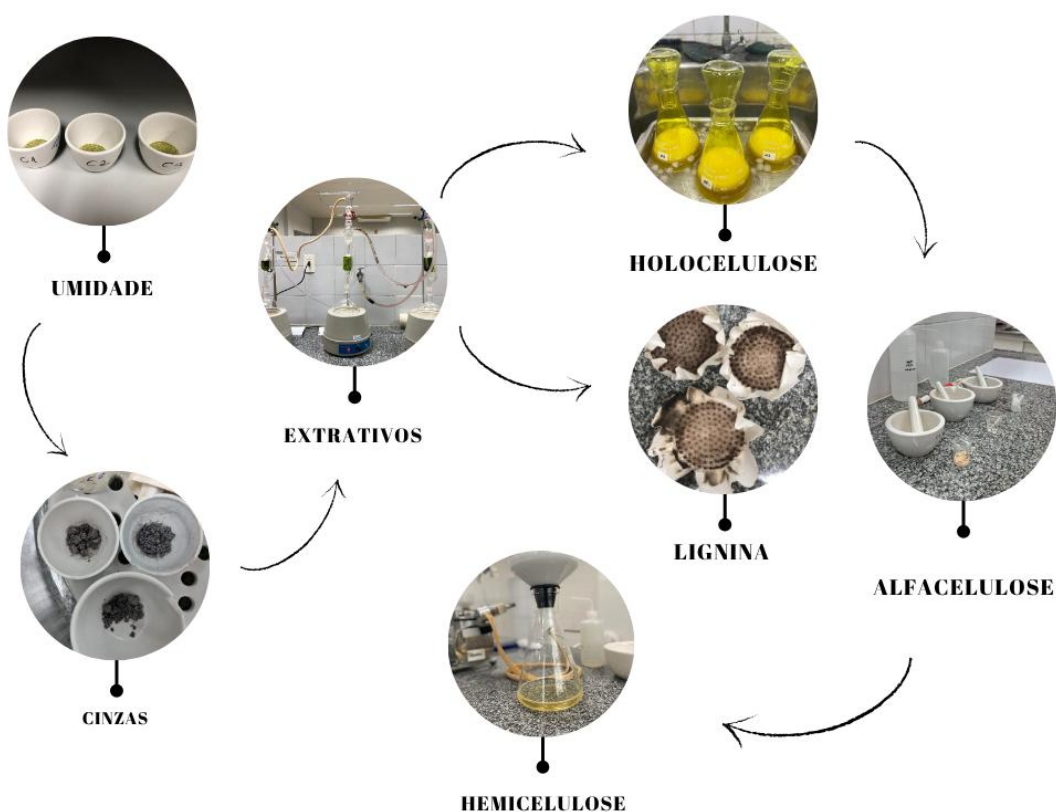
Fonte: Autoria própria (2025).

4.2 Caracterização físico-química do material

A caracterização é um procedimento de grande relevância para se entender as propriedades que a casca do melão possui, identificando seu potencial tecnológico de aplicação na produção de insumos químicos. A metodologia utilizada para as análises lignocelulósicas foi baseada nas normas TAPPI citadas por Moraes *et. al* (2010).

O fluxograma da Figura 4 mostra o delineamento da caracterização, destacando-se a umidade, cinzas, extrativos, holocelulose, alfa-celulose e hemicelulose.

Figura 4 - Fluxograma da caracterização



Fonte: Autoria Própria (2025).

4.2.1 Umidade

Determinada por secagem em estufa a 105 °C com circulação de ar até obtenção de massa constante por 24 horas.

4.2.2 Cinzas

Determinada através da incineração das amostras em mufla HMP-Digimec à temperatura de 600° por 6 horas.

4.2.3 Extrativos

Determinado por aquecimento e refluxo, via Soxhlet, conjunto balão-extrator, sob manta aquecedora HEATING MANTLES e conectado a condensador por 4 horas de extração.

4.2.4 Lignina

Determinada por digestão ácida da amostra, processada por Soxhlet e conjunto balão-extrator sob a manta aquecedora HEATING MANTLES, conectado a condensador por 4 horas de refluxo, filtrado com bomba a vácuo Eco-740 e mantido em estufa à 105 °C por 1 hora (método de Klason).

4.2.5 Holocelulose

Determinada com uso de conjunto erlenmeyer-reagentes em banho-maria, com a utilização de agitador magnético, com aquecimento Q261M23-Quimib à 70 °C e mantido sob agitação por 5 horas, o precipitado foi filtrado e seco em estufa a 105 °C por 2 horas até peso constante.

4.2.6 Alfa-Celulose

Determinada por meio do precipitado obtido na holocelulose seca, triturada com solução de NaOH a 17,5%, filtrada e mantida em estufa a 105 °C por 1 hora até a massa constante.

4.2.7 Hemicelulose

Determinada a partir de um cálculo da diferença entre os teores de holocelulose e alfacelulose obtidas das análises antecedentes.

4.3 Extração de compostos fenólicos com água

Empregou-se, neste estudo, o planejamento experimental 2^2 com cinco repetições no ponto central, resultando em um total de 9 experimentos conduzidos de maneira aleatória. O tempo de extração (minutos) e a razão entre a massa (m) e o volume do solvente (VS) foram as variáveis independentes analisadas. A Tabela 2 mostra os níveis estabelecidos para cada variável.

Tabela 2 - Níveis do planejamento experimental

	Níveis		
Fatores	-1	0	+1
m:Vs (g:mL)	1:20	1:40	1:60
Tempo (min)	30	60	90

Fonte: Autoria Própria (2025).

A Tabela 3 exhibe a matriz do planejamento experimental, com as codificações e os níveis correspondentes das variáveis.

Tabela 3 - Matriz do planejamento experimental

Ensaio	Tempo (min)	m:Vs (g:mL)
1	- (30)	- (1:20)
2	+ (90)	- (1:20)
3	- (30)	+ (1:60)
4	+ (90)	+ (1:60)
5	0 (60)	0 (1:40)
6	0 (60)	0 (1:40)
7	0 (60)	0 (1:40)
8	0 (60)	0 (1:40)
9	0 (60)	0 (1:40)

Fonte: Autoria Própria (2025).

Primeiramente, 0,2 g do material foram pesados em frascos de Erlenmeyer de 125 mL, utilizando-se uma balança analítica para assegurar a máxima precisão, e a massa exata de cada amostra foi registrada. Na sequência, utilizando pipetas graduadas, adicionou-se o volume

correspondente de solvente a cada amostra, conforme estabelecido pelas condições do planejamento. Em seguida, os Erlenmeyers foram colocados em um agitador magnético a 200 rpm, mantidos a uma temperatura ambiente e permaneceram sob agitação pelo período determinado para cada experimento, de acordo com o estabelecido.

4.4 Extração de compostos fenólicos com etanol

O modelo experimental adotado baseou-se em um planejamento experimental Box-Behnken, com três repetições no ponto central, o que resultou em um total de 15 experimentos realizados de forma aleatória. As variáveis independentes analisadas foram o tempo de extração (minutos), a concentração do solvente (% v.v⁻¹) e a razão entre a massa (m) e o volume do solvente (VS).

Os níveis determinados para cada variável estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Níveis do planejamento experimental

	Níveis		
Fatores	-1	0	+1
Concentração do solvente (v/v)	50	60	70
Razão massa/volume	1:60	1:40	1:20
Tempo (min)	30	60	90

Fonte: Autoria Própria (2025).

A matriz do planejamento experimental, com as codificações e níveis correspondentes das variáveis, é apresentada na Tabela 5. A análise dos dados foi conduzida usando o software Statistica 12.0.

Tabela 5 - Matriz do planejamento experimental

Ensaio	Concentração do solvente (v/v)	Razão massa/volume	Tempo (min)
1	- (50)	- (1:60)	0 (60)
2	+ (70)	- (1:60)	0 (60)
3	- (50)	+ (1:20)	0 (60)
4	+ (70)	+ (1:20)	0 (60)
5	- (50)	0 (1:40)	- (30)
6	+ (70)	0 (1:40)	- (30)
7	- (50)	0 (1:40)	+ (90)
8	+ (70)	0 (1:40)	+ (90)
9	0 (60)	- (1:60)	- (30)
10	0 (60)	+ (1:20)	- (30)
11	0 (60)	- (1:60)	+ (90)
12	0 (60)	+ (1:20)	+ (90)
13 PC	0 (60)	0 (1:40)	0 (60)
14 PC	0 (60)	0 (1:40)	0 (60)
15 PC	0 (60)	0 (1:40)	0 (60)

Fonte: Autoria Própria (2025).

4.5 Extração de compostos fenólicos com solvente eutético profundo (DES)

4.5.1 Preparação dos solventes eutéticos profundos (DES)

Os solventes eutéticos profundos (Des) foram preparados por meio do método de aquecimento direto, conforme descrito por Dai (2013). Para a formulação dos DES, utilizou-se o sal cloreto de colina (ChCl) como acceptor de hidrogênio (Hba), e ácido oxálico como doador de hidrogênio (Hbd).

O processo de preparação teve início com a pesagem precisa dos reagentes, seguindo as proporções molares previamente definidas (conforme apresentado na Tabela 6). Primeiramente, pesou-se o cloreto de colina, seguido do ácido oxálico. Em seguida, os dois componentes foram misturados manualmente com o auxílio de um bastão de vidro, para garantir uma homogeneização inicial adequada. Após essa pré-mistura, a solução foi transferida para um agitador magnético SL - 95 com aquecimento, mantido à temperatura constante de 50 °C e sob

agitação de 220 rpm. A agitação foi mantida até que a mistura apresentasse uma aparência líquida, transparente e homogênea, indicando a formação do DES.

Uma vez formado o solvente, foi adicionada uma quantidade definida de água destilada, correspondente a 10% da massa total da mistura, com o objetivo de ajustar a viscosidade e melhorar a eficiência da extração.

4.5.2 Extração dos CFT com DES

Neste estudo, empregou-se um planejamento experimental do tipo 2^2 para analisar como as variáveis independentes temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e tempo (minutos) influenciam o processo de extração. O planejamento incluiu cinco repetições no ponto central, totalizando nove experimentos realizados de forma aleatória.

Os níveis determinados para cada variável estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Níveis do planejamento experimental

	Níveis		
Fatores	-1	0	+1
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	30	40	50
Tempo (min)	30	60	90

Fonte: Autoria Própria (2025).

A matriz do planejamento experimental, com as codificações e níveis correspondentes das variáveis, é apresentada na Tabela 7. A análise dos dados foi conduzida usando o software Statistica 12.0.

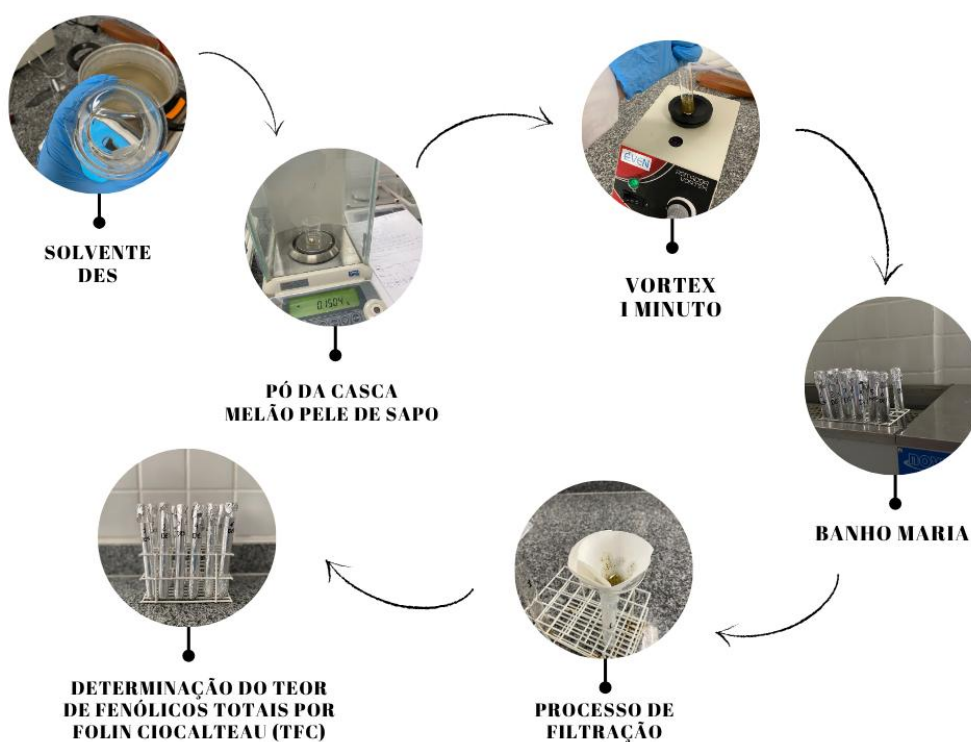
Tabela 7 - Matriz do planejamento experimental

Ensaio	T($^{\circ}\text{C}$)	Tempo (min)
1	30	30
2	50	30
3	30	90
4	50	90
5	40	60
6	40	60
7	40	60
8	40	60
9	40	60

Fonte: Autoria Própria (2025).

Para realização do processo de extração dos compostos fenólicos do resíduo da casca do melão pele de sapo, 0,6 g da casca do melão pele de sapo seco e moído foram pesadas e adicionadas a 12 mL do solvente (Des), relação 1:20 (m/v), em tubos de ensaio revestidos com papel alumínio. Além disso, afim de obter-se um melhor contato soluto-solvente, a mistura foi homogeneizada com auxílio de um vórtex por aproximadamente. Com o intuito de melhorar o processo de transferência de massa, os tubos de ensaio foram imersos em um banho maria com temperatura e o tempo controlada, de acordo com o planejamento experimental. A Figura 5 ilustra a metodologia adotada.

Figura 5 - Fluxograma da extração de compostos fenólicos com DES



Fonte: Autoria Própria (2025).

4.6 Quantificação dos compostos fenólicos totais

A quantificação dos compostos fenólicos totais (Cft) foi executada utilizando o método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, conforme descrito por Singleton e Rossi (1965). Usou-se tubos de ensaio com tampa, revestidos com papel-alumínio, para proteger as amostras da luz, em cada tubo, foram adicionados 75 µL da amostra, 2.050 µL de água destilada e 125 µL do

reagente Folin-Ciocalteu (Rfc) 2N. Em seguida, a mistura foi agitada em vortex por 30 segundos e mantida em repouso, protegida da luz, por 5 minutos.

Após esse tempo, foram adicionados 250 μL de solução de carbonato de sódio a 20%, seguidos de nova agitação em vortex. Em seguida, os tubos foram colocados em banho-maria a 40 °C por 30 minutos. Finalizado esse período, as amostras foram analisadas em um espectrofotômetro UV-Vis modelo T80+, marca PG Instruments Ltd, realizando-se as leituras das absorbâncias no comprimento de onda de 765 nm. Como controle, foi realizada uma prova em branco, composta por água destilada, reagente de Folin-Ciocalteu e solução de carbonato de sódio a 20%, sem a presença de amostra.

A curva de calibração foi construída utilizando soluções padrão de ácido gálico, em concentrações que variaram de 45 a 225 $\mu\text{g/mL}$. Os resultados de compostos fenólicos foram expressos em miligramas de equivalentes de ácido gálico por 100 gramas de pó de casca ($\text{mg EAG} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$). Todas as análises foram realizadas em triplicata, garantindo a precisão e confiabilidade dos dados obtidos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados obtidos ao longo da realização dos experimentos desenvolvidos neste trabalho. Inicialmente, foi realizada a caracterização físico-química da matéria-prima, avaliando parâmetros como umidade, teor de cinzas, extrativos, lignina, α -celulose, holocelulose e hemicelulose, com o objetivo de obter um entendimento mais aprofundado sobre suas propriedades e seu potencial de aproveitamento.

Em uma etapa posterior, foram conduzidos processos de extração sólido-líquido, visando a recuperação dos compostos fenólicos presentes no pó da casca do melão pele de sapo. Para isso, empregou-se três diferentes solventes: água destilada, etanol % e solvente eutético profundo (Des) à base de cloreto de colina (ChCl) para comparação. O processo de extração foi avaliado a partir da variação de parâmetros, como a proporção do soluto-solvente, o tempo e a temperatura. A eficiência da extração foi analisada com base no teor de compostos fenólicos totais.

5.1 Caracterização físico-química da farinha da casca do melão pele de sapo

Na Tabela 8 são apresentados os resultados da caracterização físico-química do pó obtidos a partir da casca do melão pele de sapo.

Tabela 8 - Caracterização lignocelulósica do pó da casca do melão pele de sapo

Material	(TU%)	(TC%)	(TE%)	(TL%)	(THO%)	(TA%)	(THE%)
Pele de Sapo	8,84±0,24	3,65±0,33	19,67±2,64	13,07±3,87	60,59±6,55	30,17±3,13	30,42±3,42
Cantaloupe¹	12,94±0,24	8,56±0,08	-	5,93 ± 1,87	-	19,01±1,71	9,24 ± 1,92
Milho²	-	3,47±0,17	12,82±0,06	9,84 ± 0,22	-	55,75±2,40	12,93±2,40
Café³	-	0,36	38,05	13,68	-	24,53	19,86

* **TU%**: TEOR DE UMIDADE; **TC%**: TEOR DE CINZAS; **TE%**: TEOR DE EXTRATIVOS; **TL%**: TEOR DE LIGNINA; **THO%**: TEOR DE HOLOCELULOSE; **TA%**: TEOR DE ALFA-CELULOSE; **THE%**: TEOR DE HEMICELULOSE. 1. MADEIRA. (2017). 2. ARRUDA. (2019). 3. Freitas. (2017).

Fonte: Autoria Própria (2025).

Um de seus principais atrativos para transformação de um material lignocelulósico em pó é a longa durabilidade, em comparação com a fruta *in natura*. Essa propriedade está ligada à baixa atividade da água, o que impede o desenvolvimento de micro-organismos causadores de deterioração. O parâmetro umidade desempenha um papel importante nos processos de secagem, uma vez que a aplicação na tecnologia de alimentos exige umidades relativamente

baixas. Isso visa criar produtos com maior vida útil e menor risco de contaminação microbiológica. Assim, observou-se que a casca do melão pele de sapo obteve um teor de umidade de 8,84% em base seca, comparando-se com Madeira (2017) ao realizar a caracterização físico-química da farinha da casca do melão cantaloupe, observa-se que o mesmo obteve um teor de umidade de 12,94%, valor este superior da casca do melão estudado.

Conforme a Resolução do Conselho Nacional de Normas e Padrões para Alimentos (Cnnpa) da ANVISA, os teores de umidade para as farinhas de amendoim, aveia, arroz e milho devem ser estabelecidos em 14%, 12%, 13% e 14%, respectivamente. O teor de umidade médio encontrado na farinha da casca do melão pele de sapo está abaixo do limite máximo estabelecido pela legislação vigente, que determina um teor de umidade máximo de 14% para todas as variedades de farinha. Portanto, a farinha produzida no processo atende aos padrões de umidade estabelecidos por Brasil (2005).

A quantidade de cinzas, que reflete o teor de minerais nos alimentos, apresentou um teor existente na casca do melão pele de sapo de 3,65%. Madeira, (2017) encontrou um teor de cinzas na casca do melão cantaloupe superior ao deste estudo, alcançando 8,56%, esta variação pode ser atribuída a diferentes graus de maturação do fruto, variações no clima, maturidade e cultivo. Arruda (2019) reportou um teor de cinzas de 3,47% na casca do milho, valor esse bem próximo ao do material estudado, já Freitas (2016) ao analisar a composição físico-química da casca do café reportou um teor inferior de cinzas (0,36%) quando comparado ao presente trabalho.

Como pode-se observar na Tabela 8, a farinha de resíduo de melão apresentou um teor de extrativos em torno de 19,67%. Ao se comparar com outros materiais lignocelulósicos, observa-se que esse resíduo apresenta um teor superior ao encontrado por Arruda (2019) para a farinha da casca do milho (12,82%), no entanto, inferior ao reportado por Freitas (2016), 38,05% na casca do café.

Com relação ao teor de lignina, Arruda (2019) reportou que na farinha do resíduo de casca do grão de soja um teor de lignina de 9,84%, foi obtido e Madeira (2017) encontrou um teor de 5,93%, valores esses inferiores se comparado com o teor de lignina deste estudo, que foi de 13,07%, no entanto, próximo ao encontrado por Freitas (2016) na casca do café (13,68%).

Analisando-se os dados da Tabela 8 observa-se que a casca do melão pele de sapo apresentou um teor de alfa-celulose de 30,17%. Madeira, (2017), obteve um teor inferior de 19,01% de celulose em seu estudo efetuado a partir da casca do melão cantaloupe, no entanto, Arruda (2019) obteve um percentual de celulose na casca do milho de 55,75% valor esse

superior ao encontrado no pó do melão em estudo. Freitas (2016) em seu estudo obteve um teor de celulose de (24,53%), inferior ao do reportado nesse estudo.

O percentual de hemicelulose encontrado na casca do melão utilizado foi de 30,42%, valor superior se comparado com os dados obtidos por Freitas (2016), Madeira (2017) e Arruda (2019) que encontraram teores de hemicelulose de 19,86%, 9,24%, 12,93% respectivamente.

É necessário considerar que as divergências observadas nos valores obtidos podem em relação a literatura podem estar associadas a diversos fatores, tais como o tipo de biomassa utilizada, diferentes métodos de análise, matriz da biomassa ou espécie utilizada.

5.2 Extração de compostos fenólicos totais

No presente estudo, avaliou-se a eficiência de diferentes solventes, água destilada, etanol e solvente eutético profundo (DES), na extração dos compostos fenólicos totais (CFT) da casca do melão Pele de Sapo (*Cucumis melo L.*). Para isso, foram adotadas diferentes condições experimentais, com variação de tempo, temperatura e proporção massa/volume, visando maximizar o rendimento da extração.

A Tabela 9 apresenta os resultados de teores de compostos fenólicos totais obtidos na extração com água.

Tabela 9 - Teor de compostos fenólicos com água

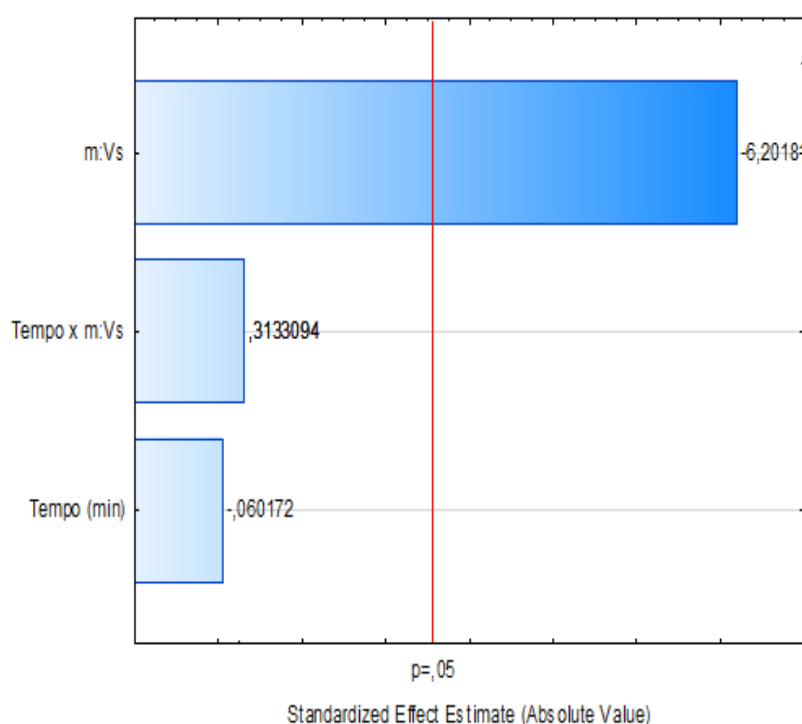
Ensaio	Tempo (min)	m:Vs (g:mL)	CFT (mgGAE/100g)
1	- (30)	- (1:20)	15.627,88
2	+ (90)	- (1:20)	15.010,20
3	- (30)	+ (1:60)	4.852,88
4	+ (90)	+ (1:60)	5.271,53
5	0 (60)	0 (1:40)	7.364,76
6	0 (60)	0 (1:40)	7.831,45
7	0 (60)	0 (1:40)	8.586,38
8	0 (60)	0 (1:40)	7.213,77
9	0 (60)	0 (1:40)	8.140,28

Fonte: Autoria Própria (2025).

O teor de compostos fenólicos obtido a partir da extração utilizando água destilada como solvente e maceração dinâmica sob as condições específicas de 30 minutos e razão de 1:20 apresentou maior recuperação de compostos fenólicos totais (15.627,88 mgGAE/100g). Já as condições de extração de 30 minutos e razão 1:60 apresentou menor teor de compostos fenólicos totais (4.855,88 mgGAE/100g) como apresentado na Tabela 9. Sá *et al.* (2024), identificaram maiores resultados para compostos fenólicos totais na biomassa da casca melosa do *Coffea arabica* L. com um teor variando entre 10.999,00 mg/100g e 38.789,00 mg/100g, valores estes superiores ao pó da casca do melão pele de sapo estudado. Neto (2021) e Filho *et al.* (2019), encontraram teores de CFT de 8.605,4 mgGAE/100g e 13,39 mgGAE/100g, teores esses inferiores quando se compara com o maior valor determinado para o presente trabalho. Essas diferenças podem estar associadas aos diferentes materiais utilizados, às diferentes regiões em que é cultivada, bem como o método de extração utilizada para a quantificação desses compostos.

Os resultados das análises estatísticas para determinar as variáveis significativas na extração de compostos fenólicos totais, foram representadas por meio de gráficos de Pareto, Figura 6.

Figura 6 - Gráfico de Pareto com as variáveis dependentes



Fonte: Autoria Própria (2025).

Os resultados das variáveis controladas sobre a variável respostas foram analisadas por meio do Diagrama de Pareto, apresentado na Figura 6, observa-se na análise, ao nível de 95% de confiança, a variável razão massa/volume apresentou influência estatisticamente significativa na extração dos compostos fenólicos totais. A Equação 1 apresenta o modelo da regressão dos dados experimentais do planejamento experimental 2² para a resposta de CFT.

$$\text{Conc. de compostos fenólicos totais} = 8877,7 - 99,5t - \mathbf{10256,8R} + 518,2tR \quad (1)$$

Os coeficientes destacados em negrito na equação de regressão correspondem aos termos estatisticamente significativos ao nível de 95% de confiança, sendo t o tempo e R a razão massa/volume. A análise de variância (ANOVA), Tabela 10, demonstrou que o modelo é estatisticamente significativo, já que a razão entre $F_{\text{calculado}}$ e F_{tabelado} é igual a 2,37, e está a cima de 1,0. Além disso, o coeficiente de determinação ($R^2 = 88,52\%$) também confirma que o modelo é adequado, uma vez que valores acima de 80% são considerados bons valores de coeficientes de determinação para esse tipo de variável resposta.

Tabela 10 - Análise de Variância (ANOVA)

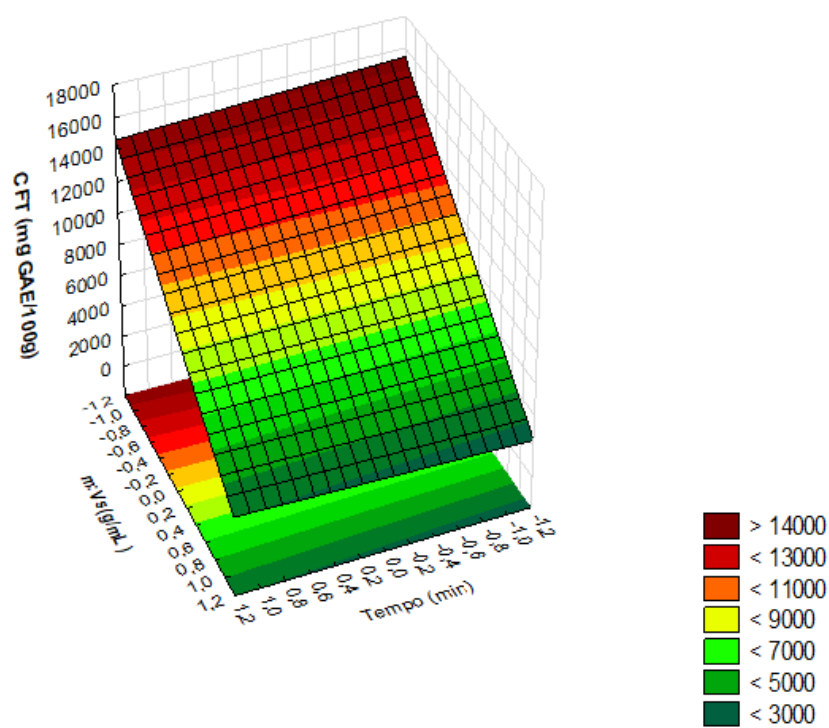
Fonte de Variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Média quadrática	$F_{\text{calculado}}$
Regressão	1054,81	3	351,6	12,8
Resíduo	136,76	5	27,4	
Total	1191,57	8		

$R^2 = 88,52 \%$; $F_{\text{tabelado}} = 5,409$

Fonte: Autoria Própria (2025).

A Figura 7 apresenta o gráfico de superfície de resposta referente à concentração de compostos fenólicos totais (Cft) extraídos com água, em função do tempo de extração (min) e da razão sólido/líquido m:Vs (g:mL). Observa-se uma clara tendência de aumento na extração dos compostos fenólicos à medida que se diminui a razão sólido/líquido m:Vs (g:mL), especialmente nas regiões superiores do gráfico, onde os valores de CFT ultrapassam 14.000 mg GAE/100g. Regiões com altas proporções da razão sólido/líquido m:Vs (g:mL) apresentaram menores rendimentos. Isso indica que, em condições menos intensas, a extração é significativamente limitada.

Figura 7 - Superfície de resposta



Fonte: Autoria Própria (2025).

A Tabela 11 apresenta os resultados de teores de compostos fenólicos totais obtidos na extração com etanol.

Tabela 11 - Teor de compostos fenólicos com etanol

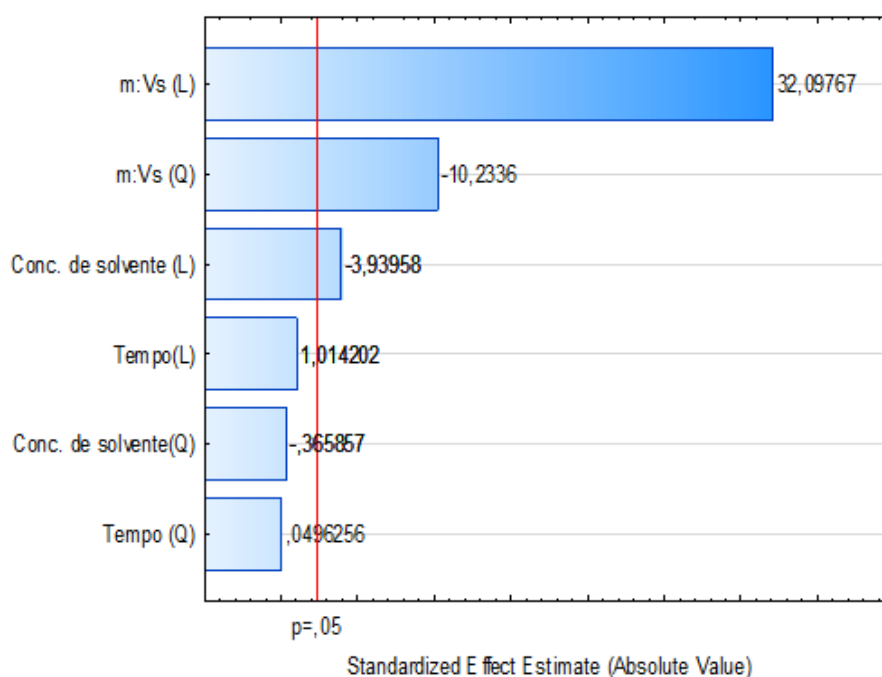
Ensaio	Concentração do solvente (v/v)	Tempo (min)	m:Vs (g:mL)	CFT (mgGAE/100g)
1	- (50)	- (30)	- (1:20)	6.836,30
2	+ (70)	+ (90)	- (1:20)	5.937,24
3	- (50)	- (30)	+ (1:60)	18.578,99
4	+ (70)	+ (90)	+ (1:60)	16.170,06
5	- (50)	0 (60)	0 (1:40)	9.595,25
6	+ (70)	0 (60)	0 (1:40)	8.401,08
7	- (50)	0 (60)	0 (1:40)	10.068,80
8	+ (70)	0 (60)	0 (1:40)	9.265,82
9	0 (60)	0 (60)	0 (1:40)	6.287,26
10	0 (60)	0 (60)	+ (1:20)	17.254,42
11	0 (60)	0 (60)	- (1:60)	6.644,14
12	0 (60)	0 (60)	+ (1:20)	16.924,99
13 PC	0 (60)	0 (60)	0 (1:40)	9.204,06
14 PC	0 (60)	0 (60)	0 (1:40)	9.821,73
15 PC	0 (60)	0 (60)	0 (1:40)	8.737,37

Fonte: Autoria Própria (2025).

Como apresentado na Tabela 11, a utilização de etanol como solvente e a maceração dinâmica sob as condições específicas de 30 minutos e razão de 1:60 para a extração dos compostos fenólicos totais do pó da casca do melão pele de sapo resultou no maior teor de compostos fenólicos totais (18.578,99 mgGAE/100g), esse valor é superior ao reportado por Barbieri (2018) 1.688 mgGAE/100g para o pó do alecrim. Por outro lado, as condições de extração de 90 minutos e razão 1:20 resultou em um menor teor de compostos fenólicos totais (5.937,24 mgGAE/100g). O valor obtido no presente trabalho é superior se comparado ao valor reportado por Neto (2021), que encontrou um valor de CFT 8.536,6 mgGAE/100g para o pó da casca da jaboticaba e Filho *et al.* (2019) com um teor de 12,74 mgGAE/100g para a farinha da casca do fruto jatobá-do-cerrado.

A Figura 8 apresenta o gráfico de Pareto em que é possível observar as variáveis que foram estatisticamente significativas ao nível de 95% de confiança, sendo elas, a razão massa do pó e volume do solvente e a concentração utilizada.

Figura 8 - Gráfico de Pareto com as variáveis dependentes



Fonte: Autoria Própria (2025).

A Equação 2 apresenta o modelo da regressão dos dados experimentais do planejamento Box-Behnken para a resposta de CFT.

$$\text{Conc. de compostos fenólicos totais} = 10997,0 - \mathbf{1326,3R} - 90,65R^2 + \mathbf{10805,9t} - \mathbf{2535,6t^2} + 341,4C + 12,3C^2 \quad (2)$$

Os coeficientes apresentados na regressão em negrito são os estatisticamente significativos ao nível de 95% de confiança, onde t representa o tempo e R é a razão massa/volume. Os resultados da ANOVA mostram um valor F_{tabelado} de 2,39 e o $F_{\text{calculado}}$ 191,8, a razão de $F_{\text{calculado}}$ por F_{tabelado} é maior que 1 revelando que o modelo é significativo. O valor do coeficiente de determinação ($R^2 = 99,3\%$) também confirma que o modelo é representativo.

Tabela 12 - Análise de Variância (ANOVA) para a extração utilizando-se o etanol como solvente

Fonte de Variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Média quadrática	F_{calculado}
Regressão	2612,14	6	435,36	191,8
Resíduo	18,13	8	2,27	
Total	2630,27	14		

$R^2 = 99,3 \%$; $F_{\text{tabelado}} = 2,39$

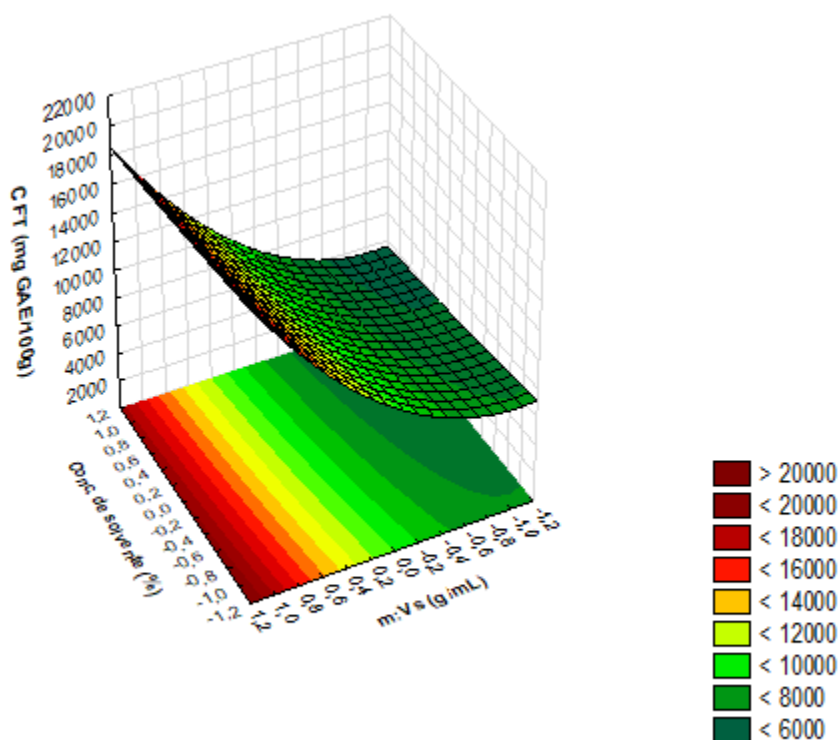
Fonte: Autoria Própria (2025).

A Figura 9 apresenta o gráfico de superfície de resposta referente à extração de compostos fenólicos totais (CFT) utilizando o solvente etanol. Observa-se na figura o comportamento da extração em função da razão sólido/líquido m:Vs (g:mL) e da concentração do solvente.

É notável que os maiores rendimentos de CFT ocorrem nas condições em que há menor concentração de etanol associada a uma menor razão sólido/líquido, destacadas nas regiões em vermelho do gráfico, com concentrações que ultrapassam 18.000 mg GAE/100g. Isso indica que a presença de uma menor concentração de etanol, em comparação ao sólido, favorece a solubilização e difusão dos compostos fenólicos, otimizando o processo de extração.

Por outro lado, nas áreas representadas em verde, observa-se uma queda significativa no rendimento, valores abaixo de 6.000 mg GAE/100g, especialmente quando se utiliza maior concentração de etanol e maior proporção de sólido, o que pode dificultar o acesso do solvente na matriz vegetal e, conseqüentemente, reduzir a recuperação dos compostos bioativos.

Figura 9 - Superfície de resposta



Fonte: Autoria Própria (2025).

A Tabela 13 apresenta os resultados de teores de compostos fenólicos totais obtidos na extração com DES.

Tabela 13 - Teor de compostos fenólicos com DES

Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (min)	CFT (mgGAE/100g)
1	30	30	11.105,12
2	50	30	19.381,97
3	30	90	6.740,22
4	50	90	19.258,43
5	40	60	18.338,78
6	40	60	18.230,98
7	40	60	18.517,22
8	40	60	19.230,98
9	40	60	18.476,04

Fonte: Autoria Própria (2025).

Apesar da extração com DES não ter apresentado significância estatística ao nível de 95% de confiança, optou-se por realizar uma análise pontual dos resultados obtidos para melhor compreender o comportamento do sistema.

Nessa análise, observou-se que a maior concentração de compostos fenólicos totais (19.381,97 mgGAE/100g) foi obtida sob a condição específica 30 minutos e temperatura de 50°C. Por outro lado, as condições de extração de 90 minutos e 30°C resultaram menor teor de compostos fenólicos totais (6.740,22 mgGAE/100g).

Barbieri (2018) encontrou nas temperaturas de 25 °C, 40 °C e 60 °C teores de CFT em torno de 1.461 mgGAE/100g, 5.760 mgGAE/100g e 9.562,2 mgGAE/100g, respectivamente, para o pó do alecrim. Valores estes inferiores se comparados ao maior teor de compostos fenólicos encontrado nesse estudo.

A Tabela 14 apresenta o comparativo entre as máximas concentrações de compostos fenólicos totais, dentro das condições estudadas, obtidas para cada tipo de solvente estudado.

Tabela 14 - Comparativo entre solventes utilizados na extração de CFT

Solvente	Condições do processo	CFT (mgGAE/100g)
Água	Tempo: 30 (min) Razão: 1:20 (m/v)	15.627,88
Etanol	Tempo: 30 (min) Razão: 1:60 (m/v)	18.578,99
DES	Tempo: 30 (min) Razão: 1:20 (m/v) Temperatura: 50°C	19.381,97

Fonte: Autoria Própria (2025).

Na Tabela 14 é possível observar que o DES apresentou o maior valor de CFT entre todos os solventes, atingindo uma concentração de 19.381,97 mgGAE/100g, o que reforça sua alta eficiência como meio extrator. Por outro lado, os menores valores de extração foram observados nas extrações realizadas com água destilada, o etanol, por sua vez, apresentou desempenho intermediário, com um resultado expressivo, mas ainda inferior ao alcançado com DES.

Estes dados reforçam a eficácia dos solventes eutéticos profundos como alternativa sustentável e eficiente para a extração de compostos bioativos. De acordo com Barbieri, (2018), os DES são compostos obtidos pela combinação de dois ou mais componentes (geralmente um doador e um aceptor de prótons), o que permite ajustar suas propriedades físico-químicas, como

polaridade e viscosidade. Essa flexibilidade é essencial para otimizar a solubilidade de compostos fenólicos e melhorar a eficiência de extração, o que contribui para um aproveitamento mais abrangente e seletivo dos compostos bioativos presentes na biomassa vegetal.

Além disso, os DES se alinham aos princípios da química verde, pois são geralmente compostos por matéria-prima natural e se destacam por sua baixa toxicidade, biodegradabilidade, facilidade de preparo e custo acessível, características que os tornam uma alternativa segura e ambientalmente amigável, sobretudo quando comparados aos solventes orgânicos convencionais (Barbieri, 2018). Sua versatilidade de formulação ainda permite que sejam adaptados a diferentes tipos de matrizes e objetivos de extração.

Assim, os dados obtidos não apenas confirmam o potencial técnico dos DES, como também ressaltam sua contribuição para práticas sustentáveis no aproveitamento de resíduos agroindustriais, evidenciando seu valor para futuras aplicações em alimentos, cosméticos e produtos farmacêuticos.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho evidenciou o potencial da casca do melão pele de sapo como uma fonte viável e sustentável de compostos fenólicos, reconhecidos por suas propriedades antioxidantes e suas amplas aplicações nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética.

A caracterização físico-química do pó casca permitiu compreender melhor sua composição, destacando-se como uma biomassa rica em celulose, hemicelulose e lignina.

A aplicação de diferentes solventes, água destilada, etanol e solventes eutéticos profundos (Des) demonstrou que a escolha do solvente e as condições operacionais (tempo, temperatura e razão massa/volume) exercem influência significativa sobre o rendimento da extração.

Com base nos resultados obtidos, é possível concluir que os solventes DES e o etanol foram os mais eficientes na extração de compostos fenólicos a partir do pó da casca do melão pele de sapo, apresentando valores bastante próximos em termos de rendimento. Embora o DES tenha alcançado a maior concentração de compostos fenólicos totais, o etanol também demonstrou um desempenho expressivo, confirmando sua eficácia como solvente extrator.

Ambos os solventes se destacam não apenas pela eficiência, mas também por estarem alinhados aos princípios da química verde, uma vez que são menos tóxicos, mais seguros e com menor impacto ambiental do que os solventes orgânicos convencionais. O etanol, por ser um álcool de baixo custo, de fácil remoção e já amplamente aceito pela indústria de alimentos e cosméticos, se mostra uma alternativa prática. Já os DES Biodegradável, por sua vez, representam uma tendência inovadora, oferecendo flexibilidade de formulação e baixa toxicidade, o que os torna especialmente promissores para aplicações sustentáveis e de alto valor agregado.

Além dos resultados experimentais, esta pesquisa reafirma a relevância de se investir em alternativas tecnológicas sustentáveis, que promovam o reaproveitamento de resíduos agrícolas e contribuam para a redução do desperdício de alimentos no Brasil.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros recomenda-se:

- Explorar a aplicação funcional dos extratos obtidos em formulações alimentícias ou cosméticas;

- Avaliar a estabilidade desses compostos em diferentes sistemas;
- Investigar o uso de outros tipos de solventes verdes e a expansibilidade do processo.

REFERÊNCIAS

- AGUILERA, J. M.; TZIA, C.; LIADAKIS, G. **Solid**–Liquid Extraction Optimization in Food Engineering. 4. ed. New York, 2003.
- Ajila, C. M., Naidu, K. A., Bhat, S. G. e Rao, U. J. S. P. (2007). Bioactive compounds and antioxidant potential of mango peel extract. *Food Chemistry*.105: 982–988
- AMEER, K.; SHAHBAZ,H.M.; KWON, J. Green Extraction Methods for Polyphenols from Plant Matrices and Their Byproducts: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2017 doi: 10.1111/1541-4337.12253
- ANWAR, K. et al. Effects of Solvent / Solid Ratio and Temperature on the Kinetics of Vitamin C Extraction from *Musa acuminata*. *Journal of Applied Science & Process Engineering*, v. 2, n. 2, p. 107–115, 2015.
- ARAGÃO, C. A. Qualidade de mudas de melão produzidas em diferentes substratos. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 209-214, 2011.
- ARAÚJO, J. L. P.; ASSIS, J. S.; COSTA, N. D.; PINTO, J. M.; DIAS, R. de C. S.; SILVA, C. M. J. Produção integrada de melão no Vale do São Francisco: manejo e aspectos socioeconômicos. In: BRAGA SOBRINHO, R.; GUIMARÃES, J. A.; FREITAS, J. A. D.; TERAPO, D. (Ed.). *Produção integrada de melão*. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical: Banco do Nordeste do Brasil, 2008. cap. 3, p. 43-50.
- ARAÚJO, N.M.P.; PEREIRA, G.A.; ARRUDA, H.S.; PRADO, L.G.; RUIZ, A.L.T.G.; EBERLIN, M.N.; CASTRO, R.J.S.; PASTORE, G.M. Enzymatic treatment improves the antioxidant and antiproliferative activities of *Adenanthera pavonina* L. seeds. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 18, p. e101002, 2019.
- ARRUDA, H.S.; SILVA, E.K.; PEREIRA, G.A.; ANGOLINI, C.F.F.; EBERLIN, M.N.; MEIRELES, M.A.A.; PASTORE, G.M. Effects of high-intensity ultrasound process parameters on the phenolic compounds recovery from araticum peel. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 50, p. 82-95, 2019.
- AZMIR, J.; ZAIDUL, I.S.M.; RAHMAN, M.M.; SHARIF, K.M.; MOHAMED, A.; SAHENA, F.; JAHURUL, M.H.A.; GHAFOR, K.; NORULAINI, N.A.N.; OAR, A.K.M. Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of Food Engineering*, v. 117, n. 4, p. 426–436, 2013.
- BARBIERI, J. B. Aplicação de solventes eutéticos profundos (DES) na extração sólido-líquido de compostos fenólicos presentes no alecrim (*Rosmarinus Officinalis*). **Handle.net**, 2018.
- Biesalski HK,et al. Bioactive compounds: safety and efficacy. *Nutrition*. 2009 Nov-Dec;25(11-12):1206-11. doi: 10.1016/j.nut.2009.06.014. Epub 2009 Aug 8. PMID: 19665872.
- BRIJWANI K, OBEROI HS, VADLANI PV. Production of a cellulolytic enzyme system in

CARDINALE, A. Extração de compostos fenólicos de subprodutos do processamento de sementes de girassol. 2013.

CARLOS, A.; FREDERICO, C. Avaliação de diferentes solventes na extração de compostos fenólicos totais em extratos farináceos do fruto de *Hymenaea stigonocarpa* L. *Brazilian Journal of Food Research*, v. 10, n. 2, p. 158–169, 2019.

CHEMAT, F.; FABIANO-TIXIER, A.S.; VIAN, M.A.; ALLAF, T.; VOROBIEV, C. Solvent-free extraction of food and natural products. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, v. 71, p. 157-168, 2015.

Chen, Junliang & Song, Yanhong & Wei, Xinyu & Duan, Xu & Liu, Ke & Weiwei, Cao & Li, Linlin & Ren, Guangyue. (2025). Ultrasonic and Deep Eutectic Solvent for Efficient Extraction of Phenolics from *Eucommia ulmoides* Leaves. *Foods*. 14. 972. 10.3390/foods14060972.

COMEXLAND COMEXLAND. Principais frutas brasileiras exportadas - PGL Brasil. Disponível em: <<https://pglbr.com.br/principais-frutas-brasileiras-exportadas/>>. Acesso em: 19 jul. 2025.

CRISÓSTOMO, L. A.; SANTOS, A. A.; RAIJ, B. van.; FARIA, C. M. B.; SILVA, D. J.; FERNANDES, F. A. M.; SANTOS, F. J. S.; CRISÓSTOMO, J. R.; FREITAS, J. A. D.; HOLANDA, J. S.; CARDOSO, J. W.; COSTA, N. D. Adubação, irrigação, híbridos e práticas culturais para o meloeiro no Nordeste. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2003. 20 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Circular Técnica, 14).

DA CNN. Brasil descarta 30% dos alimentos produzidos, diz ONU. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/brasil-descarta-30-dos-alimentos-produzidos-diz-onu/>>.

DAI, Y. et al. Natural deep eutectic solvents as new potential media for green technology. *Analytica Chimica Acta*, v. 766, p. 61–68, mar. 2013.

DE. Maior produtor de melão no Brasil, Rio Grande do Norte colhe sete vezes mais que segundo estado em ranking. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/2024/09/16/maior-produtor-de-melao-no-brasil-rio-grande-do-norte-colhe-sete-vezes-mais-que-segundo-estado-em-ranking.ghtml>>.

EMBRAPA. A cultura do melão. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

GEMECHU, F.G. Embracing nutritional qualities, biological activities and technological properties of coffee byproducts in functional food formulation. *Trends in Food Science & Technology*, v. 104, p. 235-261, 2020.

Gómez-García R, Campos DA, Aguilar CN, Madureira AR, Pintado M. Valorization of melon fruit (*Cucumis melo* L.) by-products: Phytochemical and Biofunctional properties with Emphasis on Recent Trends and Advances. *Trends Food Sci Technol*. 2020 May;99:507–19.

GOVERNO. Governo abre consulta sobre plano para resíduos orgânicos urbanos. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/meio-ambiente/noticia/2025-02/governo-abre-consulta-sobre-plano-para-residuos-organicos-urbanos>>.

HAMINIUK, C. W. I.; MACIEL, G.M.; PLATA-OVIEDO, M.S.V.; PERALTA, R.M. Phenolic compounds in fruits - an overview. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 47, n. 10, p. 2023–2044, 2012.

ILOKI-ASSANGA, S. B. et al. Solvent effects on phytochemical constituent profiles and antioxidant activities, using four different extraction formulations for analysis of *Bucida buceras* L. and *Phoradendron californicum*. *BMC Research Notes*, v. 8, n. 1, 1 set. 2015.

Jeffrey, C. 2005. A new system of Cucurbitaceae. *Bot. Zhurn.* 90: 332-335.

JEFFREY, C., DE WILDE, W.J.J.O, A review of the subtribe Thladianthinae (Cucurbitaceae).

KALSCHNE, D.L.; VIEGAS, M.C.; CONTI, A.J.; CORSO, M.P.; BENASSI, M. T. Effect of steam treatment on the profile of bioactive compounds and antioxidant activity of defective roasted coffee (*Coffea canephora*). *LWT - Food Science and Technology*, v. 99, p. 364-370, 2019.

KRUG, F. J., "Methods of Sample De- composition", In: IV Workshop on Sample Preparation, 2003.

Lima PCC, Souza BS, Santini AT, Oliveira DC de. Aproveitamento agroindustrial de resíduos de mamão 'formosa' minimamente processados. *Rev. Agrogeoambiental*. 2018;10(3):59-74. <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n320181128>

MAGRO, A.E.A.; CASTRO, R.J.S. Effects of solid-state fermentation and extraction solvents on the antioxidant properties of lentils. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 28, p. 101753, 2020.

MAQSOOD, S., ADIAMO, O., AHMAD, M., MUDGIL, P. Bioactive compounds from date fruit and seed as potential nutraceutical and functional food ingredients. *Food Chemistry*, v. 308, p. 125522, 2020.

MENEZES, J.B.; CHITARRA, A.D.B.; CHITARRA, M.I.F.; CARVALHO, E.A. Caracterização pós-colheita do melão amarelo “Agroflora 646”. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 13, n. 2, p. 150-153, 1996.

MEREGALLI, M.M.; PUTON, B.M.S.; CAMERA, F.D.; AMARAL, A.U.; ZENI, J.; CANSIAN, R.L.; MIGNONI, M.L.; BACKES, G.T. Conventional and ultrasound-assisted methods for extraction of bioactive compounds from red araçá peel (*Psidium cattleianum* Sabine). *Arabian Journal of Chemistry*, v. 13, p. 5800-5809, 2020.

mixed-culture solid-state fermentation of soybean hulls supplemented with wheat bran. *Process Biochem.* v.45, p.120–128, 2010.

Morais, J.P.S.; Rosa, M.F.; Marconcini, J.M. Documentos 236—Procedimentos para Análise Lignocelulósica. [Procedures for Lignocellulosic Analysis]. Embrapa Algodão—Campina Grande/PB. Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP). 1st ed., 2010, pp. 10–58. Available online:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/883400/1/DOC236.pdf>. ISSN 0103-0205.

MUKHOPADHYAY, S., LUTHRIA, D. L. E ROBBINS, R. J. Optimization of extraction process for phenolic acids from black cohosh (*cimicifuga racemosa*) by pressurized liquid extraction.: Journal of the Science of Food and Agriculture. 86: 156-162 p. 2006.

MUNEKATA, P.E.S.; ALCÁNTARA, C.; ŽUGČIĆ, T.; ABDELKEBIR, R.; COLLADO, M.C.; GARCÍA-PÉREZ, J.V.; JAMBRAK, A.R.; GAVAHIAN, M.; BARBA, F.J.; LORENZO, J.M. Impact of ultrasound-assisted extraction and solvent composition on bioactive compounds and in vitro biological activities of thyme and rosemary. Food Research International, v. 134, p. e109242, 2020.

MURADOR, D. C.; MESQUITA, L., M., de S. VANNUCHI N.; BRAGA A. R. C.; ROSSO V. V. Bioavailability and biological effects of bioactive compounds extracted with natural deep eutectic solvents and ionic liquids: advantages over conventional organic solvents, Current Opinion in Food Science, v. 26, p. 25-34, 2019.

MURGA, R. et al. Extraction of natural complex phenols and tannins from grape seeds by using supercritical mixtures of carbon dioxide and alcohol. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 48: 3408-3412 p. 2000.

NAYAK, B.; LIU, R. H.; TANG, J. Effect of processing on phenolic antioxidants of fruits, vegetables, and grains—A Review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 55, n. 7, p. 887–918, 2015.

NGO, T.V.; SCARLETT, C.J.; BOWYER, M.C.; NGO, P.D.; VUONG, Q.V. Impact of Different Extraction Solvents on Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity from the Root of *Salacia chinensis* L. Journal of Food Quality. doi.org/10.1155/2017/9305047.

Oliveira MCF. Pandolfi MAC. Estudo bibliográfico: aproveitamento integral na elaboração de subprodutos na indústria alimentícia. Revista Interface Tecnológica. 2020; 17(1):797 806. <http://dx.doi.org/10.31510/infa.v17i1.841>

PANIWNYK, L.; CAI, H.; ALBU, S.; MASON, T. J.; COLE, R. Ultrasonics Sonochemistry The enhancement and scale up of the extraction of anti-oxidants from *Rosmarinus officinalis* using ultrasound q. Ultrasonics - Sonochemistry, v. 16, n. 2, p. 287–292, 2009. Elsevier B.V.

Produção Agropecuária | IBGE 2024. Disponível em:

<<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/melao/br>>.

RASHMI, H.B.; NEGI, P.S. Phenolic acids from vegetables: A review on processing stability and health benefits. Food Research International, v. 136, p. e109298, 2020.

RAWSON A., TIWARI B. K. , BRUNTON N., BRENNAN C., CULLEN P. J., O'DONNELL P. Application of Supercritical Carbon Dioxide to Fruit and Vegetables: Extraction, Processing, and Preservation. *Food Reviews International*, v.28, p.253–276, 2012.

RECHARLA, N.; RIAZ, M.; KO, S.; PARK, S. Novel Technologies to enhance solubility of food-derived bioactive compounds: A review. *Journal of Functional Foods*, v. 39, p. 63-73, 2017.

SAIFULLAH, M. et al. Comparison of conventional extraction technique with ultrasound assisted extraction on recovery of phenolic compounds from lemon scented tea tree (*Leptospermum petersonii*) leaves. *Heliyon*, v. 6, n. 4, p. e03666, abr. 2020.

SAIFULLAH, M., MCCULLUM, R., MCCLUSKEY, A., VUONG, Q. Comparison of conventional extraction technique with ultrasound assisted extraction on recovery of phenolic compounds from lemon scented tea tree(*leptospermum petersonii*) leaves. *Heliyon*, V. 6, N. 4, P. 1-12, 2020.

Setor de fruticultura se destaca nas exportações brasileiras. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/setor-de-fruticultura-se-destaca-nas-exportacoes-brasileiras>>.

SHAHIDI, F.; YEO, J. D. Insoluble-bound phenolics in food. *Molecules*, v. 21, n. 9, p. 1216, 2016.

SILVA, H. R.; COSTA, N. D. (Ed.); *Melão: Produção aspectos técnicos*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Embrapa Hortaliças; Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2003. 144 p. il. (Frutas do Brasil, 33).

SOUSA, Jonas Rogério de Melo. Extração de composto fenólicos da casca do café por diferentes métodos. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2018.

WIJNGAARD, H.; HOSSAIN, M.B.; RAI, D.K.; BRUNTON, N. Techniques to extract bioactive compounds from food byproducts of plant origin. *Food Research International*, v. 46, n. 2, p. 505–513, 2012.