



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

ENGENHARIA QUÍMICA

**OBTENÇÃO, SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO DE EXTRATO DE ORA-PRO-
NÓBIS (PERESKIA GRANDIFOLIA HAW.)**

**CAROLINA ALVARENGA DOS SANTOS
MARTA GEITTENS PERPETUA**

Foz do Iguaçu
2025

**OBTENÇÃO, SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO DE CONCENTRADO PROTEICO
A PARTIR DE ORA-PRO-NÓBIS (PERESKIA GRANDIFOLIA HAW.)**

**CAROLINA ALVARENGA DOS SANTOS
MARTA GEITTENS PERPETUA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território (ILATIT) da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dra. Marlei Roling Scariot

Foz do Iguaçu
2025



1
2
3
4

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA
INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E TERRITÓRIO
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

ATA DE DEFESA DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ao(s) catorze dia(s) do mês de março do ano de 2025 realizou-se a apresentação pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso, intitulado: **Obtenção, Secagem e Caracterização do Extrato da Ora-Pro-Nobis (Pereskia Grandifolia Haw.)**, do curso de Engenharia Química. Os trabalhos foram iniciados às 14h00min, pelo(a) docente orientador(a) Marlei Roling Scariot presidente da banca examinadora, com o(a) docente Andreia Cristina Furtado, e o(a) docente Ivana Helena da Cruz.

Observações da Banca Examinadora:

O título original foi alterado para: Obtenção, Secagem e Caracterização do Extrato da Ora-Pro-Nobis (Pereskia Grandifolia Haw.)
--

A Banca Examinadora, ao término da apresentação oral e da arguição do acadêmico, encerrou os trabalhos às 16h15min. Os examinadores atribuíram as seguintes notas:

Marlei Roling Scariot	Nota final: 9,8	Média final: 9,8
Andreia Cristina Furtado	Nota final: 9,8	
Ivana Helena da Cruz	Nota final: 9,8	

Proclamado o resultado pelo presidente da banca examinadora, encerraram-se os trabalhos e, para constar, eu Marlei Roling Scariot lavrei a presente Ata que assino juntamente com os demais membros da banca.

Assinaturas:



Documento assinado digitalmente
MARLEI ROLING SCARIOT
Data: 15/03/2025 06:45:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Marlei Roling Scariot

Andreia Cristina Furtado



Documento assinado digitalmente
IVANA HELENA DA CRUZ
Data: 14/03/2025 22:13:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ivana Helena da Cruz

Foz do Iguaçu, 14 de março de 2025.



Documento assinado digitalmente
ANDREIA CRISTINA FURTADO
Data: 14/03/2025 17:03:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradecemos à Universidade Federal da Integração Latino-Americana e ao Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional pela acolhida e oportunidade de estudo.

À professora doutora Marlei Roling Scariot pela paciência por estes anos de orientação na iniciação científica e neste trabalho de conclusão de curso. Muito obrigada.

Aos nossos familiares, pelos ensinamentos de vida, amor, amizade, compreensão, incentivo e dedicação. Obrigado por ensinar os valores da família.

Aos nossos colegas de turma pelos ensinamentos, companheirismo e ajuda nas superações das dificuldades durante nossa jornada acadêmica.

A todos os professores do curso, que de uma forma ou de outra ajudaram no nosso crescimento pessoal e profissional.

Ao Professor Dr. Ilton José Baraldi da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Medianeira pelo apoio e utilização de equipamentos da universidade. Aos técnicos dos Laboratórios da UNILA, agradecemos pelos ensinamentos e acolhida, desde a nossa primeira aula prática, durante todo o curso de Engenharia Química e principalmente pela ajuda neste trabalho.

A todos que de certa forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica de uma metodologia proposta para a obtenção de isolado proteico a partir das folhas de ora-pro-nóbis. A metodologia baseou-se na extração alcalina das proteínas, seguida do uso de membranas em MCE (ésteres de celulose mistos) para a separação proteica. Posteriormente, foram investigados dois métodos de secagem da solução antes da filtração: liofilização e spray dryer. A pesquisa buscou não apenas verificar a eficiência de cada etapa, mas também explorar o potencial de obtenção de extratos proteicos, isolados ou não, como alternativa técnica e viável para o aproveitamento dessa planta. A filtração com membranas MCE apresentou uma eficiência de retenção proteica de 82,4%, evidenciando sua aplicabilidade na concentração de proteínas vegetais. A secagem por liofilização, com tempo ideal de 70 horas, resultou em um material com perda de umidade superior a 98% e estrutura lamelar, enquanto o spray drying gerou micropartículas esféricas e rugosas, indicando um potencial natural de encapsulamento devido à composição do extrato. A análise por FTIR confirmou a preservação das proteínas e polissacarídeos, com pequenas variações estruturais entre os métodos de secagem. Os resultados demonstram que a metodologia proposta é eficiente para obtenção e processamento de proteínas da ora-pro-nóbis, com potencial para aplicações na indústria de alimentos e biotecnologia.

Palavras-chave: extração alcalina, proteína vegetal, filtração, secagem.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the technical feasibility of a proposed methodology for obtaining a protein isolate from ora-pro-nóbis leaves. The methodology was based on the alkaline extraction of proteins, followed by the use of mixed cellulose ester (MCE) membranes for protein separation. Subsequently, two drying methods for the solution before filtration were investigated: lyophilization and spray drying. The research sought not only to verify the efficiency of each step but also to explore the potential for obtaining protein extracts, isolated or not, as a technically viable alternative for utilizing this plant. Filtration with MCE membranes showed a protein retention efficiency of 82.4%, highlighting its applicability in the concentration of plant proteins. Lyophilization, with an optimal time of 70 hours, resulted in a material with a moisture loss greater than 98% and a lamellar structure, while spray drying generated spherical and rough microparticles, indicating a natural encapsulation potential due to the composition of the extract. FTIR analysis confirmed the preservation of proteins and polysaccharides, with minor structural variations between the drying methods. The results demonstrate that the proposed methodology is efficient for the extraction and processing of ora-pro-nóbis proteins, with potential applications in the food and biotechnology industries.

Keywords: alkaline extraction, plant protein, filtration, drying.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	8
2. OBJETIVOS	11
2.1.OBJETIVO GERAL	11
2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1.PANORAMA GERAL E ESTUDOS APLICADOS SOBRE ORA-PRO-NÓBIS	12
3.2.CARACTERIZAÇÃO BOTÂNICA E NUTRICIONAL DA ORA-PRO-NÓBIS.....	15
3.2.1.Distribuição geográfica, ecologia e importância cultural.....	15
3.2.2.Composição química, valor nutricional e propriedades funcionais	17
3.3.TECNOLOGIAS DE SEPARAÇÃO E CONCENTRAÇÃO.....	19
3.3.1.Extração de proteínas por via úmida	19
3.3.2.Aplicação De Filtração Com Membranas: Membranas De Ésteres De Celulose Mistos (MCE) 21	
3.3.3.Métodos de secagem: Spray dryer e Liofilização	22
3.4.CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MORFOLÓGICA (MEV E FTIR)	25
3.4.1.Microscópio de varredura eletrônica (MEV)	25
3.4.2.Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)	27
4.MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1.MATÉRIA PRIMA	29
4.2.PREPARAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA	31
4.3.OBTENÇÃO DO CONCENTRADO PROTEICO	32
4.4.FILTRAÇÃO POR MEMBRANA.....	33
4.5.QUANTIFICAÇÃO DE PROTEÍNAS PELO MÉTODO DE BRADFORD	33
5.RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5.1.FILTRAÇÃO POR MEMBRANA MCE	36
5.2.SECAGEM POR LIOFILIZAÇÃO	38
5.3.SECAGEM POR SPRAY DRYING.....	40
5.4.MICROSCOPIA DE VARREDURA ELETRÔNICA (MEV).....	41
5.4.1.Avaliação da amostra liofilizada	41
5.4.2.Avaliação da amostra: Spray dryyng	42
5.5.ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR).....	45
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
REFERÊNCIAS	51

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A família *Cactaceae*, composta por aproximadamente 127 gêneros e 1816 espécies, é um grupo botânico fascinante, conhecido por sua adaptabilidade a ambientes áridos e semiáridos. Essas plantas, distribuídas em quatro subfamílias – *Cactoideae*, *Opuntioideae*, *Pereskioideae* e *Maihuenioideae* –, são exemplos notáveis de resiliência ecológica, capazes de sobreviver em condições extremas de escassez hídrica (Hunt, 2006). Dentro dessa família, o gênero *Pereskia* se destaca por suas características únicas, que desafiam a imagem tradicional dos cactos, apresentando folhas desenvolvidas e hábitos que lembram arbustos ou pequenas árvores (Edwards; Donoghue, 2006).

Entre as espécies do gênero *Pereskia*, a *Pereskia aculeata* e a *Pereskia grandifolia*, popularmente conhecidas como ora-pro-nóbis (OPN), ganham destaque não apenas por sua resistência, mas também por seu valor nutricional e potencial econômico. Essas plantas são consideradas verdadeiras "superalimentos", ricas em proteínas, fibras, vitaminas e minerais essenciais, como cálcio, ferro e magnésio (Almeida et al., 2014). Além disso, a presença de compostos bioativos, como flavonoides e carotenoides, confere a essas espécies propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, o que amplia seu potencial de aplicação na indústria farmacêutica e alimentícia (Nogueira et al., 2023).

A ora-pro-nóbis é classificada como uma Planta Alimentícia Não Convencional (PANC), categoria que inclui espécies subutilizadas, mas com grande potencial para complementar a dieta humana e animal (Kinupp, 2006). No Brasil, a OPN tem sido tradicionalmente consumida em comunidades rurais, onde é valorizada por seu sabor suave e versatilidade culinária. Suas folhas podem ser utilizadas em sopas, saladas, tortas e até mesmo em suplementos nutricionais, contribuindo para a segurança alimentar e nutricional de populações carentes (Silveira et al., 2020).

Além de seu valor nutricional, a ora-pro-nóbis desempenha um papel importante na preservação da biodiversidade e das culturas tradicionais. Sua capacidade de crescer em solos pobres e climas adversos a torna uma alternativa viável para a agricultura familiar e para a recuperação de áreas degradadas (Lorenzi, 2001). Estudos recentes também destacam seu potencial como fonte de mucilagem, um polissacarídeo com aplicações na indústria alimentícia, especialmente na produção de alimentos com textura e estabilidade aprimoradas (Sikorski, 2001).

A composição nutricional da ora-pro-nóbis, que inclui até 25% de proteínas e uma variedade de vitaminas e minerais, a torna uma aliada no combate à desnutrição e na promoção de uma alimentação mais saudável e sustentável (TACO, 2011). Além disso, sua riqueza em compostos fenólicos e antioxidantes a coloca como uma candidata promissora para o desenvolvimento de alimentos funcionais, capazes de prevenir doenças crônicas e melhorar a qualidade de vida (Almeida, 2012).

Em um contexto global onde a segurança alimentar e a sustentabilidade são desafios urgentes, plantas como a ora-pro-nóbis representam uma oportunidade para diversificar a produção agrícola e reduzir a dependência de cultivos convencionais. Ao valorizar espécies como a OPN, não apenas promovemos a saúde humana, mas também contribuimos para a conservação da biodiversidade e para a resiliência dos ecossistemas.

Diante de preocupações referentes às mudanças climáticas e uso do solo, a busca por fontes proteicas sustentáveis e economicamente viáveis tem ganhado relevância, impulsionando o desenvolvimento de ingredientes proteicos vegetais aplicáveis na indústria de alimentos. As proteínas extraídas de vegetais podem ser incorporadas a alimentos para enriquecer seu valor nutricional, conferir propriedades tecnológicas específicas ou ser comercializadas diretamente como suplementos alimentares (Fontana et al., 2009).

Os concentrados proteicos em pó, amplamente utilizados em suplementos alimentares, produtos para atletas, fórmulas infantis e alimentos funcionais, desempenham um papel crucial na melhoria da saúde e nutrição global ao fornecer uma fonte concentrada de proteínas de alta qualidade, essenciais para a nutrição humana (Damodaran et al., 2008). Dessa forma, a obtenção desses concentrados configura uma estratégia eficaz para enriquecer a alimentação e atender às crescentes demandas nutricionais, promovendo o bem-estar e o desempenho em diferentes contextos de consumo. Esses concentrados podem ser obtidos por meio de processos tecnológicos avançados, como a liofilização e o spray drying, que garantem a preservação das propriedades nutricionais e funcionais das proteínas.

A liofilização é um método que remove a água por sublimação, mantendo a estrutura molecular das proteínas e sua solubilidade, sendo especialmente indicado para produtos termossensíveis (Fellows, 2009). Por outro lado, o spray drying é uma técnica mais rápida e econômica, na qual o líquido é atomizado em gotículas finas e

secas por contato com ar quente, resultando em um pó de fácil dissolução e longa vida útil, ideal para aplicações industriais (Schuck et al., 2016). A escolha do método de secagem é crucial, pois influencia diretamente a qualidade do produto final, a eficiência energética e a viabilidade econômica, destacando a importância dessas técnicas na engenharia de alimentos.

Assim, este estudo se propõe a desenvolver e otimizar uma metodologia para a obtenção e caracterização de concentrado proteico a partir de ora-pro-nóbis, utilizando extração alcalina, filtração por membranas MCE e técnicas de secagem (liofilização e spray drying), com o objetivo de determinar os parâmetros físico-químicos e nutricionais do produto final além de evidenciar seu potencial para aplicações em alimentos funcionais e suplementos nutricionais.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma metodologia eficiente para a obtenção de concentrado proteico a partir das folhas e caules de ora-pro-nóbis, aplicando conhecimentos de engenharia química adquiridos ao longo da graduação.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Extrair proteínas da mucilagem de folhas e caules de ora-pro-nóbis por via úmida, aplicando fundamentos de química orgânica para otimizar o processo de separação e purificação dos compostos proteicos.
- b) Secar e desidratar o concentrado proteico obtido, utilizando técnicas de operações unitárias para garantir a estabilidade e preservação das propriedades funcionais das proteínas.
- c) Quantificar o teor de proteínas no concentrado utilizando o método de Bradford via espectrofotometria, assegurando precisão e reprodutibilidade nos resultados analíticos.
- d) Avaliar a morfologia e as características microestruturais do concentrado proteico através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), correlacionando os parâmetros físico-químicos com a integridade e funcionalidade do produto final.
- e) Verificar a composição molecular e as ligações químicas presentes no concentrado proteico aplicando a técnica analítica de Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. PANORAMA GERAL E ESTUDOS APLICADOS SOBRE ORA-PRO-NÓBIS

A ora-pro-nóbis, nativa das Américas com forte presença no Brasil, tem uma longa história de uso tradicional, especialmente em Minas Gerais, onde é conhecida como "carne dos pobres" devido ao seu alto teor proteico. Esse uso tradicional, que remonta a séculos, foi o ponto de partida para o interesse científico pela planta, que começou a ganhar destaque nas últimas décadas.

O primeiro estudo científico sobre a ora-pro-nóbis data de 1951, focando nos efeitos cardiovasculares da *Pereskia grandifolia*. Somente em 1997 surgiram pesquisas específicas sobre a *Pereskia aculeata*, abordando a extração de proteínas e seu valor nutricional. A partir de 2009, observou-se um aumento expressivo nas investigações científicas, abrangendo desde o potencial nutricional até a caracterização química e bioatividade da planta. A figura 1 apresentada ilustra a evolução do número de publicações científicas relacionadas às espécies *Pereskia aculeata* e *Pereskia grandifolia*, utilizando dados extraídos da base de dados ScienceDirect desde 1977. Os pontos azuis representam artigos que mencionam *Pereskia aculeata*, enquanto os pontos vermelhos indicam publicações sobre *Pereskia grandifolia*. O eixo horizontal corresponde aos anos de publicação, enquanto o eixo vertical indica a quantidade de artigos publicados anualmente.

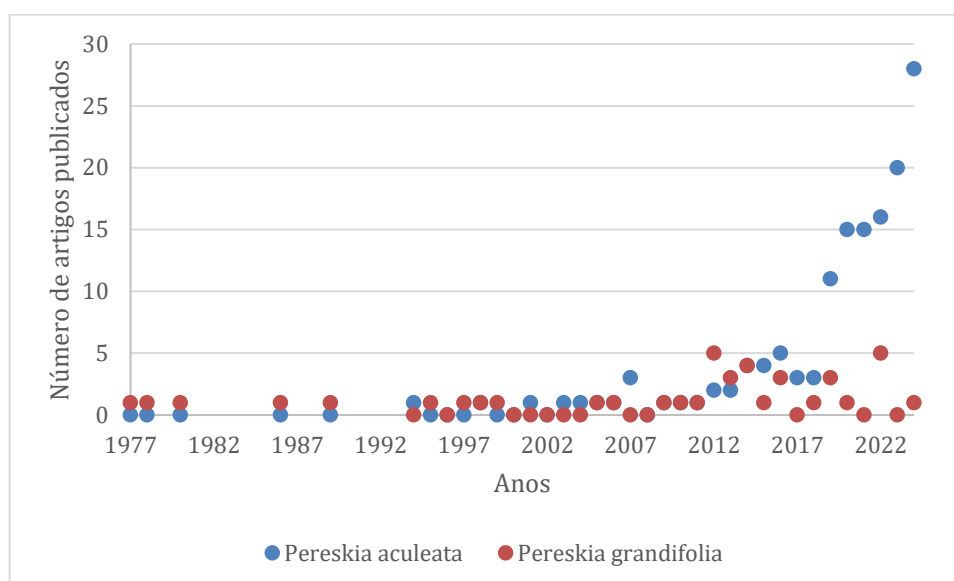


FIGURA 1 - Número de artigos publicados encontrados com as palavras-chave "Pereskia AND aculeata" ou "Pereskia AND grandifolia" por ano desde 1977 (ScienceDirect). Fonte: As autoras

A análise da figura revela que o interesse científico por *Pereskia aculeata* teve início em 1994, com a primeira publicação registrada, mas apresentou um crescimento significativo a partir de 2012, alcançando um aumento expressivo nos últimos anos e atingindo 28 publicações em 2024. Esse crescimento pode estar associado a novas descobertas sobre suas propriedades nutricionais, medicinais ou ecológicas, tornando-a um foco crescente de pesquisa. Em contraste, *Pereskia grandifolia* teve publicações desde 1977, mas sem um aumento consistente ao longo do tempo, apresentando apenas picos esporádicos de interesse, como em 2012 e 2022. Esse padrão sugere que, enquanto *P. aculeata* desperta um interesse crescente na comunidade científica, possivelmente devido à sua relevância nutricional e aplicações na indústria alimentícia, *P. grandifolia* mantém um volume de publicações consideravelmente menor, sem um crescimento tão expressivo ao longo dos anos.

No âmbito de aplicações, a versatilidade da ora-pro-nóbis tem sido explorada em diversas aplicações (Quadro 1). Estudos recentes indicam seu potencial na produção de farinhas funcionais e suplementos proteicos destinados a públicos vegetarianos e veganos (Xavier et al., 2022). Além disso, suas propriedades antioxidantes e bioativas, atribuídas à presença de compostos fenólicos, ampliam suas aplicações na indústria alimentícia e farmacêutica (Ciríaco et al, 2024).

De acordo com Almeida et al. (2014), a planta possui um teor de 28,99 g de proteína em 100 g de extrato seco das folhas de ora-pro-nóbis. Júnior et al. (2013), em seu estudo, destacam que as proteínas presentes na planta apresentam uma digestibilidade de 85%, indicando uma quantidade significativa de aminoácidos essenciais, com destaque para a lisina. Esses achados reforçam o potencial da ora-pro-nóbis como uma fonte proteica de alta qualidade, capaz de contribuir para a melhoria nutricional de dietas.

Jesus e Reges (2019) realizaram um estudo no qual desenvolveram dez produtos alimentícios, utilizando diferentes partes da ora-pro-nóbis, como talos, folhas e farinha, para avaliar sua aceitação sensorial. Entre as preparações testadas, destacaram-se pratos salgados, como macarrão, arroz, frango, pão e polenta, além de opções doces, como bolo de chocolate, pudim, sorvete, brigadeiro e bolo tradicional. Os resultados demonstraram que a maioria dos produtos obteve um índice de aceitação superior a 70%.

QUADRO 1 - Produtos alimentícios enriquecidos com ora-pro-nóbis.

Produto Alimentício	Caracterização do Produto	Referências
Bebida à base de leite	Composição aproximada, fenólicos totais, atividade antioxidante, ensaio clínico (análise da microbiota fecal, sintomas gastrointestinais e parâmetros antropométricos).	(Vieira et al., 2020)
Massa de talharim	Análise sensorial (testes de aceitação e preferência) e composição aproximada.	(Rocha et al., 2008)
Pão	Composição aproximada e análise sensorial (teste de aceitação).	(Martinevski, et al. 2013)
Bolo	Teor de proteínas e avaliação sensorial (teste de aceitação).	(De Paula et al., 2016)
Pão e torta	Teste de aceitação sensorial.	(Izzo; Domene., 2021)
Pão	Teste de aceitação sensorial.	(Rover et al., 2013)
Torta	Teste de aceitação sensorial.	(Baroni et al., 2017)
Bolo	Composição aproximada.	(Rosa et al., 2020)
Salsicha	Composição aproximada, cor, pH, análise de perfil de textura e testes de aceitação sensorial.	(Sobrinho et al., 2015)
Snack de milho	Composição e análise sensorial (teste de aceitação).	(Francelin et al., 2021)
Hambúrguer vegetariano	Composição aproximada, cor e análise sensorial (teste de aceitação).	(Moro et al., 2019)
Barra de cereal	Teor de proteínas e avaliação sensorial (teste de aceitação).	(Faiom et al., 2021)
Paçoca (doce de amendoim)	Teste de aceitação sensorial.	(Patriota et al., 2020)
Bolinho de arroz	Composição aproximada e análise sensorial (teste de aceitação).	(De Silveira et al., 2021)

Fonte: Adaptado de Teixeira et al., 2023.

Esses dados sugerem que a ora-pro-nóbis pode ser incorporada em uma variedade de preparações culinárias, tanto doces quanto salgadas, sem comprometer a aceitação pelos consumidores. Devido ao seu elevado teor de proteínas e outros nutrientes benéficos, a planta é considerada uma alternativa viável para enriquecer e diversificar a alimentação, contribuindo para a melhoria da qualidade nutricional de diferentes pratos.

Pesquisas aplicadas têm demonstrado a eficácia da incorporação da ora-pro-nóbis em diversos produtos alimentícios. Por exemplo, a adição de suas folhas em produtos de panificação, como pães e bolos, não só enriquece o valor nutricional, mas também melhora as características sensoriais dos alimentos (Rover et al., 2013). A crescente demanda por alimentos funcionais e saudáveis posiciona a ora-pro-nóbis como uma alternativa viável para diversificar a dieta e promover a segurança

alimentar. Seu cultivo de baixo custo e adaptabilidade a diferentes regiões reforçam seu potencial como recurso alimentar sustentável. Portanto, investimentos em pesquisa e desenvolvimento de produtos à base de ora-pro-nóbis podem contribuir significativamente para a inovação na indústria alimentícia e para a promoção da saúde pública.

3.2. CARACTERIZAÇÃO BOTÂNICA E NUTRICIONAL DA ORA-PRO-NÓBIS

3.2.1. Distribuição geográfica, ecologia e importância cultural

A *ora-pro-nobis*, que no latim significa "rogai por nós", é uma planta que pertence ao reino *Plantae*, classe *Magnoliopsida*, ordem *Caryophyllales*, família *Cactaceae* e gênero *Pereskia*. *Ora-pro-nobis* é o nome popular das espécies *Pereskia aculeata* Miller e *Pereskia grandifolia* Haworth. Essas plantas são amplamente reconhecidas como fontes ricas em proteínas, fibras alimentares, vitaminas A, B e C, além de minerais essenciais, o que as torna importantes aliadas no combate às deficiências nutricionais (Almeida et al., 2014).

A *Pereskia grandifolia* Haworth (PGH) (Figura 2), é endêmica do Brasil, habitando florestas perenifólias e subperenifólias. A espécie ocorre nos Estados de Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Ceará e Maranhão (Zappi et al., 2012).

Embora seja classificada como cacto, apresenta-se na forma de arbusto ou árvore, atingindo de dois a cinco metros de altura, com tronco cinzento-amarronzado de até 20 cm de diâmetro (Oliveira et al., 2013).

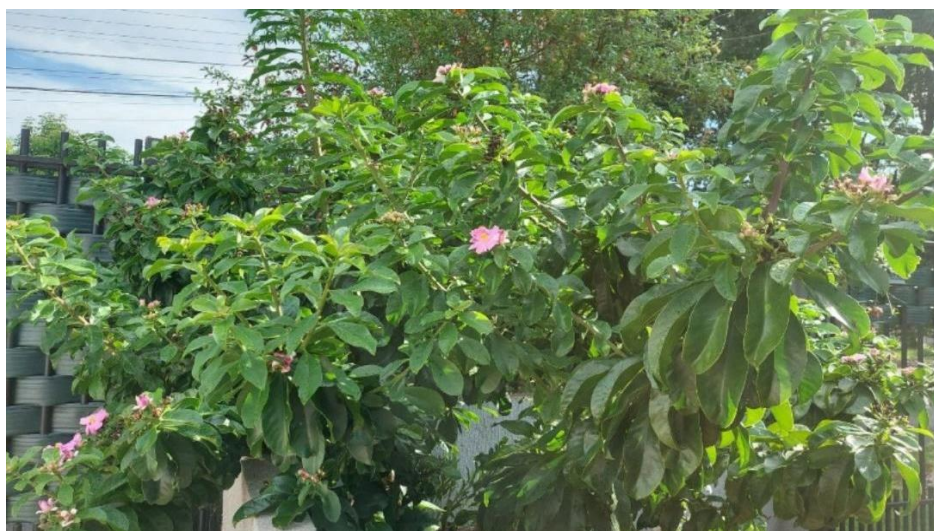


FIGURA 2 - Espécime adulta de *Pereskia grandifolia* Haworth (PGH). Fonte: As autoras, 2024.

A *Pereskia grandifolia* Haworth apresenta um caule com aréolas espinhosas e espinhos retos. Suas folhas possuem ápice agudo ou acuminado, podem apresentar formatos variados, incluindo elíptico, oblongo, obovado ou lanceolado e possuem mucilagem (“baba”) (Zappi et al., 2012).

Do ponto de vista agrônômico, a ora-pro-nóbis destaca-se pela facilidade de propagação, rápido crescimento e baixa suscetibilidade a pragas e doenças, além de apresentar alta adaptabilidade a diferentes condições climáticas e tipos de solo (Lorenzil; Souza, 2001). Essas características tornam a planta uma opção viável e promissora para o cultivo em larga escala, contribuindo significativamente para a segurança alimentar e o desenvolvimento de produtos nutricionais.

A ora-pro-nóbis é uma Planta Alimentícia Não-Convencional (PANC) (Kinupp, 2007) e também uma Hortaliza de Uso Tradicional (Madeira et al., 2013), destacando-se por seu alto valor nutritivo. Com cerca de 25% de proteína em sua composição, é amplamente utilizado em dietas vegetarianas e veganas, sendo popularmente conhecido como “carne dos pobres” devido ao elevado teor proteico e ao seu baixo custo.

Além das proteínas, a ora-pro-nóbis possui alta concentração de minerais essenciais, incluindo fósforo, ferro, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, zinco, boro e manganês, tornando-se uma excelente opção para suplementação alimentar. A presença significativa de fibras alimentares contribui para a saúde digestiva e o controle glicêmico, agregando valor funcional à sua utilização na alimentação humana (Trennepohl, 2016).

A OPN também se destaca por ser amplamente utilizada na medicina popular brasileira, com potencial anti-inflamatório, cicatrizante (Barros et al., 2009; Sartor et al., 2010) e no trato de anemia (Damasceno e Barbosa, 2007), por conter ferro e lisina. A ingestão de muitas folhas cruas pode promover efeito levemente laxante (Santos et al. 2012).

A planta possui potencial para aplicação na indústria alimentícia, podendo ser utilizada na produção de farinhas, suplementos proteicos, e alimentos funcionais. Estudos recentes sugerem que seus compostos bioativos, como flavonoides e compostos fenólicos, apresentam propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, o que pode ampliar ainda mais seu uso na indústria de alimentos funcionais e nutracêuticos (Santos et al., 2012).

Essa versatilidade de usos e benefícios nutricionais torna a ora-pro-nóbis uma alternativa promissora para a diversificação alimentar, além de contribuir para a sustentabilidade agrícola devido à sua baixa exigência de insumos e alta produtividade.

3.2.2. Composição química, valor nutricional e propriedades funcionais

Propriedades funcionais referem-se às características dos alimentos que, além de fornecerem nutrientes básicos, oferecem benefícios adicionais à saúde, como a prevenção de doenças e a promoção do bem-estar geral. A ora-pro-nóbis se destaca por suas propriedades funcionais significativas: Estudos indicam que suas folhas são ricas em proteínas de alta qualidade, fibras dietéticas, vitaminas e minerais essenciais, contribuindo para a saúde humana de diversas maneiras (Pagotto; Tessmann; De Oliveira Kuhn., 2021).

De acordo com Garcia et al. (2019), a mucilagem presente nas folhas da ora-pro-nóbis confere à planta propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, o que amplia seu potencial na prevenção de doenças crônicas. A análise do extrato seco das folhas orgânicas revelou a presença de dez compostos fenólicos, incluindo o ácido caftárico, que corresponde a mais de 49% do total e é o principal fenol identificado no extrato. Além disso, foram encontrados dois ácidos fenólicos derivados do ácido cafeico e oito flavonoides, sendo dois deles provenientes da quercetina.

Ademais, o extrato da planta demonstrou elevada atividade antioxidante, além de ação antimicrobiana contra bactérias gram-positivas e gram-negativas, sugerindo a presença de fitoquímicos com propriedades antibióticas. Outro aspecto relevante é que não foram detectados indícios de hepatotoxicidade no extrato, reforçando sua segurança para consumo (Garcia et al., 2019).

A ora-pro-nóbis é amplamente reconhecida por sua composição nutricional rica em proteínas, fibras e minerais, sendo uma alternativa alimentar promissora, especialmente em dietas que buscam fontes vegetais de proteína. Estudos apontam que suas folhas possuem teores significativos de macronutrientes e micronutrientes essenciais, o que reforça seu potencial para aplicações alimentícias e industriais (Takeiti et al., 2009; De Almeida et al., 2014). Dados referentes à composição nutricional das espécies de OPN podem ser verificados na Tabela 1.

TABELA 1 - Composição aproximada das espécies ora-pro-nóbis.

Espécie e Amostra de Ora-Pro-Nóbis	Umidade (%)	Proteínas Totais (%)	Cinzas (%)	Fibra Alimentar Total (%)	Referências
<i>P. aculeata</i> folhas frescas	89,5 ± 0,2	28,4 ± 0,4	16,1 ± 0,1	39,1	(Takeiti et al., 2009)
<i>P. aculeata</i> (base seca) folhas	8,3	23	16,6	30,2	(Egea et al., 2021)
<i>P. aculeata</i> (base seca) folhas	12,46 ± 0,47	28,99 ± 0,59	14,81 ± 0,18	21,60 ± 0,82	(De Almeida et al., 2014)
<i>P. grandifolia</i> (base seca) folhas	10,94 ± 0,78	32,02 ± 0,46	18,8 ± 0,92	18,82 ± 0,92	(De Almeida et al., 2014)
<i>P. grandifolia</i> folhas frescas	86,50 ± 0,13	14,64 ± 0,87	nd.	nd.	(Torres et al., 2022)
<i>P. aculeata</i> fruto	87,37 ± 0,26	---	0,93 ± 0,01	nd.	(Queiroz et al., 2011)

Fonte: Adaptado de Teixeira et al., 2023. **Nota:** Resultados médios de vários estudos; nd.: não determinado.

A tabela apresenta a composição aproximada de diferentes amostras de ora-pro-nóbis, destacando variações entre folhas frescas, folhas em base seca e frutos. Observa-se que as folhas frescas de *P. aculeata* possuem um teor de umidade elevado (89,5%), o que influencia a concentração dos demais nutrientes. Quando analisadas em base seca, a quantidade de proteínas aumenta expressivamente, atingindo valores de até 32,02% em *P. grandifolia* e 28,99% em *P. aculeata*, demonstrando seu potencial como fonte proteica vegetal. Além disso, os teores de cinzas variam entre 14,81% e 18,92%, evidenciando a presença de minerais importantes. A fibra alimentar total, relevante para a saúde digestiva, apresenta teores que variam de 18,82% a 39,1%, sendo particularmente elevada nas folhas frescas de *P. aculeata*.

Já as folhas frescas de *P. grandifolia* apresentam um menor teor proteico (14,64%) e umidade mais elevada (86,50%) em comparação com *P. aculeata*. O fruto de *P. aculeata*, por sua vez, apresenta alta umidade (87,37%) e um teor reduzido de cinzas (0,93%), sem informações disponíveis sobre proteínas e fibras. Esses dados ressaltam as diferenças nutricionais entre as espécies e formas de processamento da ora-pro-nóbis, indicando que a secagem das folhas potencializa a concentração de nutrientes e reforça sua aplicação como ingrediente para formulações alimentícias enriquecidas (Takeiti et al., 2009; De Almeida et al., 2014; Torres et al., 2022; Queiroz

et al., 2011).

Essas características tornam a ora-pro-nóbis uma opção promissora para enriquecer dietas e desenvolver novos produtos alimentícios funcionais. Além de seu valor nutricional, seus extratos bioativos possuem propriedades antioxidantes que podem substituir aditivos sintéticos, auxiliando na prevenção de doenças relacionadas ao estresse oxidativo, como câncer, doenças cardiovasculares e diabetes mellitus. A presença de fitoquímicos com atividade antimicrobiana também contribui para inibir ou retardar o crescimento de microrganismos patogênicos e produtores de toxinas em alimentos, reduzindo riscos à saúde e prolongando a vida útil dos produtos (Corrêa et al., 2017). Assim, tanto os extratos vegetais quanto compostos bioativos isolados podem desempenhar um duplo papel na indústria alimentícia, atuando tanto como conservantes naturais quanto como agentes funcionalizantes, promovendo maior estabilidade e agregando valor nutricional aos alimentos (Gonçalves et al., 2019).

3.3. TECNOLOGIAS DE SEPARAÇÃO E CONCENTRAÇÃO

3.3.1. Extração de proteínas por via úmida

As proteínas são moléculas essenciais para a vida, desempenhando uma ampla gama de funções vitais em organismos vivos, desde a estrutura celular até a catálise de reações bioquímicas, podendo destacar a estruturação molecular, a regulação de processos fisiológicos e a atividade imunológica (Zeng et al., 2021).

Devido à sua importância, o desenvolvimento de técnicas eficientes de extração e purificação de proteínas é crucial para avanços nos campos de engenharia, biologia molecular e medicina. Existem diversos métodos de obtenção de proteínas, entre as técnicas mais estabelecidas estão: *air classification*, extração alcalina, extração salina (Zeng et al., 2021).

Uma das abordagens promissoras para a extração de proteínas é a utilização de métodos alcalinos, que podem facilitar a solubilização e separação dessas biomoléculas a partir de diversas fontes, como plantas, animais e micro-organismos. (Sierra et al., 2018).

A extração alcalina de proteínas envolve a utilização de soluções com elevado pH para promover a solubilização das proteínas presentes em uma amostra. Nesse

processo, o pH da solução é ajustado a valores acima do ponto isoelétrico (pI) das proteínas de interesse, o que aumenta a carga negativa líquida dessas moléculas e, conseqüentemente, sua solubilidade em meio aquoso. (Evans et al., 2009).

Posteriormente, realiza-se a centrifugação para eliminar os materiais insolúveis, compostos por moléculas não proteicas. Em seguida, as proteínas solubilizadas são precipitadas ajustando o pH do extrato ao pI, onde a proteína atinge uma carga líquida zero. A precipitação das proteínas no ponto isoelétrico ocorre devido à interação das moléculas de água com as cargas elétricas presentes nas proteínas. Quando o pH do meio é inferior ao ponto isoelétrico, as proteínas apresentam cargas positivas, pois os grupos funcionais tendem a estar protonados (captam íons H^+). Em contrapartida, quando o pH é superior ao ponto isoelétrico, as proteínas adquirem cargas negativas, uma vez que os grupos funcionais se encontram desprotonados (perdem íons H^+). O ponto isoelétrico corresponde ao pH de menor solubilidade proteica, geralmente situado entre 3,5 e 6,5, embora possa variar conforme a natureza da matéria-prima utilizada (Bedin et al., 2018).

Nesse ponto específico, as proteínas apresentam carga elétrica nula, devido ao equilíbrio entre as cargas positivas e negativas nas moléculas. Isso ocorre porque o número de radicais ácidos desprotonados ($-COO^-$) é igual ao número de radicais básicos protonados ($-NH_3^+$). Como resultado, as interações proteína-proteína aumentam significativamente, uma vez que as forças eletrostáticas moleculares estão em um mínimo. Esse fenômeno reduz a interação das proteínas com as moléculas de água, criando uma condição favorável à aproximação e agregação das proteínas, culminando na formação de precipitados (Bedin et al., 2018).

Essa estratégia é especialmente vantajosa para a extração de proteínas a partir de fontes como vegetais e subprodutos agroindustriais, que muitas vezes apresentam elevado teor de compostos insolúveis, como fibras e polissacarídeos. A extração alcalina de proteínas destaca-se pela simplicidade e fácil acesso aos reagentes necessários. No entanto, embora seja amplamente utilizada, essa técnica enfrenta desafios ligados às condições de processamento, como temperatura e pH. Em meio alcalino, há um maior risco de racemização e degradação dos aminoácidos, o que pode resultar na formação de compostos que modificam as características nutricionais e funcionais das proteínas (Sgarbiri., 1996).

3.3.2. Aplicação De Filtração Com Membranas: Membranas De Ésteres De Celulose Mistos (MCE)

A filtração é uma etapa crucial no processamento de proteínas vegetais, desempenhando um papel fundamental na purificação, concentração e separação de compostos de interesse. No contexto da obtenção de concentrados ou isolados proteicos, a filtração permite a remoção de impurezas, como fibras, carboidratos e outros componentes indesejados, resultando em um produto final com maior pureza e valor nutricional. Dentre os métodos de filtração disponíveis, a utilização de membranas filtrantes tem ganhado destaque devido à sua eficiência, versatilidade e capacidade de operar em condições suaves, preservando as propriedades funcionais e nutricionais das proteínas (Cheryan, 1998).

As membranas filtrantes são classificadas de acordo com o tamanho de poro, que determina a seletividade do processo. Para proteínas vegetais, as técnicas mais comuns incluem microfiltração, ultrafiltração e nanofiltração. A microfiltração, com poros na faixa de 0,1 a 10 μm , é frequentemente utilizada para a remoção de partículas maiores e microrganismos, enquanto a ultrafiltração, com poros entre 0,001 e 0,1 μm , é ideal para a concentração e purificação de proteínas, retendo macromoléculas e permitindo a passagem de sais e água (Cuartas-Uribe et al., 2007). Já a nanofiltração, com poros ainda menores, é empregada para a desmineralização e concentração de soluções proteicas, sendo especialmente útil na remoção de compostos de baixo peso molecular (Van Der Bruggen et al., 2003).

No cenário específico da filtração de proteínas vegetais, as membranas de ésteres mistos de celulose (MCE) têm se mostrado uma opção vantajosa devido às suas propriedades físico-químicas. As membranas MCE são conhecidas por sua alta biocompatibilidade, baixa adsorção de proteínas e resistência a solventes orgânicos, o que as torna adequadas para aplicações em processos de separação de biomoléculas (Millipore, 2021). Além disso, sua estrutura porosa uniforme e capacidade de retenção de partículas na faixa de 0,1 a 10 μm as tornam ideais para a microfiltração de extratos proteicos vegetais, garantindo a remoção eficiente de impurezas sem comprometer a integridade das proteínas (Zandoná et al., 2015).

A aplicação de membranas MCE na filtração de proteínas vegetais também é favorecida pela sua capacidade de operar em condições moderadas de temperatura e pH, o que é essencial para preservar a funcionalidade e a qualidade nutricional das

proteínas. Estudos demonstram que a utilização de membranas MCE em processos de purificação de proteínas vegetais, como as obtidas de fontes como soja e ervilha, resulta em produtos com maior pureza e rendimento, além de reduzir a perda de compostos bioativos durante o processo (Schneider et al., 2016). Essa característica é particularmente relevante no desenvolvimento de alimentos funcionais e suplementos proteicos, onde a preservação das propriedades nutricionais é crítica.

Além disso, as membranas MCE são amplamente utilizadas em pesquisas científicas e processos industriais devido à sua relação custo-benefício favorável e facilidade de manuseio. Sua aplicação pode ser combinada com outras técnicas de separação, como a ultrafiltração, para otimizar a obtenção de isolados proteicos de alta qualidade. Por exemplo, em um estudo realizado por Zandona et al. (2015), a combinação de microfiltração com membranas MCE e ultrafiltração permitiu a obtenção de um concentrado proteico de ora-pro-nóbis com teor proteico superior a 80%, destacando o potencial dessas membranas no processamento de proteínas vegetais.

Nesse contexto, a filtração com membranas MCE representa uma tecnologia eficiente e sustentável para o processamento de proteínas vegetais, alinhando-se às demandas por métodos de produção mais limpos e eficazes. Sua capacidade de purificar e concentrar proteínas sem comprometer suas propriedades funcionais e nutricionais faz dela uma ferramenta valiosa tanto para a indústria alimentícia quanto para a pesquisa científica. A escolha adequada do tipo de membrana e das condições operacionais é essencial para maximizar o rendimento e a qualidade do produto final, contribuindo para o desenvolvimento de alimentos inovadores e acessíveis.

3.3.3. Métodos de secagem: Spray dryer e Liofilização

A secagem é uma operação unitária fundamental no processamento de alimentos, desempenhando um papel crítico na preservação, estabilização e comercialização de produtos perecíveis. Essa técnica consiste na remoção de água dos materiais, reduzindo a atividade de água e, conseqüentemente, inibindo o crescimento microbiano e as reações enzimáticas que podem comprometer a qualidade do produto. No contexto global, a secagem é amplamente utilizada em diversas indústrias, desde a alimentícia até a farmacêutica, sendo essencial para a

produção de ingredientes em pó, como concentrados e isolados proteicos, que são cada vez mais demandados devido ao crescimento populacional, à busca por fontes alternativas de proteínas e à necessidade de alimentos duráveis e de fácil transporte (Andrade et al., 2020).

Embora esse termo possa ser aplicado à operação de evaporação, que se refere à concentração de soluções líquidas, é importante esclarecer que se trata de dois procedimentos distintos (Celestino, 2010). Com frequência, ocorrem equívocos no tratamento desses conceitos. As diferenças fundamentais entre essas operações unitárias são apresentadas no Quadro 2.

QUADRO 2 - Diferenças entre secagem e evaporação.

SECAGEM	EVAPORAÇÃO
Remoção de líquido de um material sólido.	Remoção de líquido de uma solução líquida.
Remoção do líquido por centrifugação ou por vaporização	Remoção do líquido somente por vaporização.
A vaporização ocorre em uma temperatura inferior à temperatura de ebulição do líquido o qual deseja-se retirar do material sólido	A vaporização ocorre na temperatura de ebulição do líquido o qual se deseja retirar da solução líquida com o objetivo de aumentar a concentração da solução.

Fonte: Adaptado de Celestino, 2010.

No panorama mundial, a produção de concentrados proteicos em pó tem ganhado destaque, especialmente com o aumento do interesse por fontes vegetais de proteínas, como soja, ervilha, canola e feijão. Esses produtos são valorizados por sua versatilidade, podendo ser incorporados em uma variedade de alimentos, como suplementos nutricionais, bebidas, barras proteicas e produtos de panificação. A secagem é uma etapa crucial nesse processo, pois determina não apenas a estabilidade e a vida útil do produto, mas também suas propriedades funcionais, como solubilidade, capacidade de emulsificação e retenção de nutrientes (Schutyser et al., 2015).

Dentre os métodos de secagem disponíveis, a liofilização e o spray dryer são os mais utilizados para a obtenção de concentrados proteicos em pó. A liofilização, também conhecida como secagem por *freeze-drying*, é um processo que envolve a sublimação da água congelada do material, transformando-a diretamente do estado sólido para o gasoso, sob condições de vácuo. Esse método é altamente eficaz para preservar a estrutura molecular das proteínas, mantendo suas propriedades funcionais e nutricionais. Além disso, a liofilização resulta em um produto final de alta

qualidade, com baixa densidade e excelente reconstituição em água. No entanto, o processo é energeticamente intensivo e de alto custo, o que limita sua aplicação em larga escala (Caparino et al., 2012).

Segundo Caparino et al. (2012), a liofilização é um método que mantém a integridade estrutural e as propriedades funcionais do produto, resultando em um material com alta porosidade e facilidade de reidratação. Além disso, estudos de Ratti (2001) destacam que o produto seco por liofilização apresenta maior estabilidade durante o armazenamento, devido à remoção eficiente da água, o que inibe reações de degradação e prolonga a vida útil do material. Esse método é amplamente utilizado em alimentos, fármacos e biológicos, pois evita danos térmicos e garante a preservação das características sensoriais, nutricionais e funcionais da amostra.

A secagem via spray dryer, por sua vez, é amplamente utilizada na indústria devido à sua eficiência e capacidade de produção em grande escala. Nesse método, uma solução ou suspensão é atomizada em pequenas gotículas, que são secas rapidamente em contato com ar quente, resultando em partículas finas e uniformes. O spray dryer é particularmente vantajoso para a produção de pós proteicos, pois permite um controle preciso das condições de secagem, como temperatura e velocidade do ar, o que pode ser ajustado para minimizar a desnaturação das proteínas. Além disso, o processo é mais rápido e econômico em comparação à liofilização, por vários motivos, incluindo consumo energético, tempo de processamento e custo de equipamentos. No entanto, o uso de altas temperaturas pode comprometer a funcionalidade das proteínas, especialmente aquelas mais sensíveis ao calor, e o produto final pode apresentar menor solubilidade em comparação ao obtido por liofilização (Gharsallaoui et al., 2007).

A escolha entre liofilização e *spray drying* depende de diversos fatores, incluindo o tipo de proteína, as propriedades desejadas no produto final e os custos envolvidos. Para proteínas termossensíveis, como aquelas presentes na ora-pro-nóbis, a liofilização pode ser preferível devido à sua capacidade de preservar a integridade molecular. Já para aplicações que demandam maior escala e custo-benefício, o spray dryer é frequentemente a opção mais viável. Estudos comparativos têm demonstrado que, embora a liofilização resulte em pós com maior qualidade nutricional e funcional, seu elevado custo operacional torna o spray dryer uma alternativa de custo-benefício mais viável, e é uma alternativa eficiente para a

produção de concentrados proteicos com propriedades adequadas para a maioria das aplicações industriais (Andrade et al., 2020; Schutyser et al., 2015).

A secagem por spray drying é amplamente utilizada na indústria alimentícia para a produção de pós devido à sua eficiência e capacidade de preservar as propriedades nutricionais dos ingredientes. No caso do ora-pro-nóbis, essa técnica permite a obtenção de um produto com alto teor proteico e boa solubilidade, facilitando seu uso em diversas aplicações culinárias e industriais.

Comparativamente, estudos sobre a secagem de folhas de ora-pro-nóbis (*Pereskia grandifolia* Haw.) indicam que diferentes métodos de desidratação podem influenciar significativamente as características finais do produto. Por exemplo, a secagem em estufa, realizada a temperaturas entre 50°C e 70°C, tende a resultar em uma coloração mais escura do pó devido à degradação térmica de pigmentos clorofílicos, conforme observado por Silva et al. (2018). Por outro lado, a liofilização, que opera em baixas temperaturas e pressões, preserva a tonalidade verde vibrante das folhas, mantendo melhor as propriedades nutricionais e sensoriais (Costa et al., 2020). Já a secagem por spray drying, embora menos explorada em estudos específicos sobre ora-pro-nóbis, é amplamente reconhecida por produzir pós com boa qualidade microbiológica, estabilidade e solubilidade, além de manter características sensoriais adequadas para consumo, como destacado por Schuck et al. (2016) em pesquisas sobre secagem de extratos vegetais.

3.4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MORFOLÓGICA (MEV E FTIR)

3.4.1. Microscópio de varredura eletrônica (MEV)

O Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) é um dos instrumentos mais versáteis utilizados para a observação e análise de microestruturas em materiais sólidos. O conceito de MEV foi descrito pela primeira vez por Knoll em 1935 (Knoll, 1935). Posteriormente, em 1938, Von Ardenne desenvolveu um microscópio eletrônico que combinava as funcionalidades de varredura e transmissão (STEM), realizando adaptações em um microscópio eletrônico de transmissão com a inclusão de bobinas de varredura (Von Ardenne, 1938).

O Microscópio de Varredura Eletrônica é uma ferramenta de imageamento poderosa e versátil que tem transformado diversas áreas da ciência e tecnologia,

permitindo a visualização detalhada de estruturas e superfícies em escalas nanoscópicas. Nele, um feixe de elétrons varre a amostra, interagindo com sua superfície e gerando diferentes tipos de sinais que são coletados e processados para formar uma imagem de alta resolução (Stadtländer, 2005) (Williams & Carter, 2009).

O microscópio óptico e o microscópio eletrônico de varredura (MEV) são ferramentas essenciais para análise microestrutural, porém possuem princípios de funcionamento e capacidades distintas. O microscópio óptico utiliza luz visível para ampliar amostras, permitindo a visualização de estruturas em escala micrométrica com resolução limitada pela difração da luz, geralmente até cerca de 200 nm (Murphy et al., 2021). Já o MEV emprega um feixe de elétrons para gerar imagens de alta resolução, alcançando ampliações superiores e resolução na ordem de nanômetros, o que permite a análise detalhada da superfície de materiais, incluindo sua topografia e composição elementar (Goldstein et al., 2017). Uma comparação entre microscópio óptico e microscópio de varredura pode ser verificada na Figura 3.

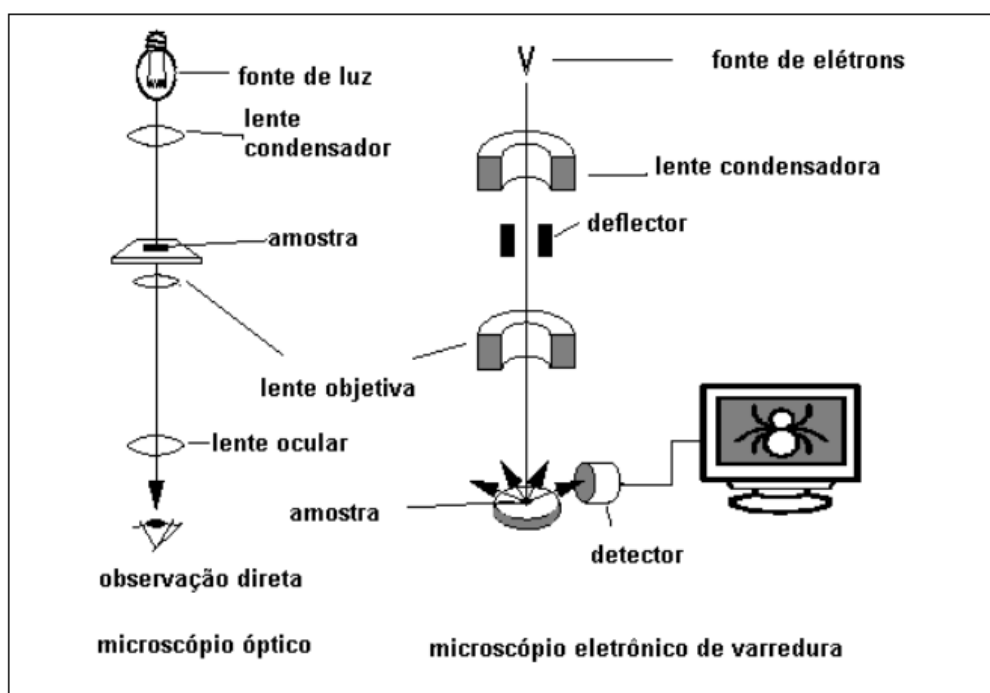


FIGURA 3 - Comparação entre microscópio óptico e microscópio de varredura. Fonte: (RIBEIRO; MAZZARO; SILVA, 2021)

As principais vantagens desta tecnologia incluem sua capacidade de obter imagens com alto nível de detalhamento, bem como a possibilidade de combiná-la com outras técnicas analíticas, como a espectroscopia de energia dispersiva de raios-

X, para realizar análises químicas e composicionais. Isso a torna uma ferramenta essencial para o estudo e caracterização de uma ampla gama de materiais, desde semicondutores até tecidos biológicos (Reeves, 1994).

A Microscopia Eletrônica de Varredura é amplamente utilizada em diversas aplicações, como no desenvolvimento de circuitos integrados (Reeves, 1994), na investigação de defeitos em dispositivos eletrônicos (Postek et al., 2001) e na análise de ultraestruturas em amostras biológicas (Stadtländer, 2005).

3.4.2. Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Existem diversas metodologias que possibilitam a obtenção de dados sobre a composição molecular e as ligações químicas presentes em substâncias. Uma dessas técnicas é a espectroscopia no infravermelho (IV), que analisa a interação entre a radiação eletromagnética e a matéria, com o propósito principal de identificar moléculas (Penner, 2017).

Essa abordagem tem sido amplamente empregada para estudar compostos orgânicos e inorgânicos, fornecendo informações relevantes sobre os grupos funcionais presentes nas amostras, conforme suas características. A absorção de radiação na faixa do infravermelho ocorre devido aos movimentos rotacionais e vibracionais dos grupos moleculares e das ligações químicas e quando a radiação infravermelha é absorvida, há um aumento na amplitude das vibrações moleculares (Ismail et al., 1997).

A Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) é uma técnica analítica amplamente utilizada para identificar e caracterizar materiais com base em suas interações com a radiação infravermelha. Ela se destaca por sua capacidade de fornecer informações detalhadas sobre a composição molecular de amostras nos estados sólido, líquido ou gasoso (Cozzolino, 2015). O espectro de infravermelho de uma amostra é essencialmente uma impressão digital que revela os modos vibracionais de suas moléculas constituintes. A técnica mede a absorção de radiação na faixa do infravermelho médio, tipicamente de 4000 a 400 cm^{-1} , o que corresponde às vibrações moleculares e subestados rotacionais (Smith, 2011; Workman, 2024).

Nesse contexto, a FTIR baseia-se na criação de um interferograma, utilizando

um interferômetro do tipo Michelson ou uma configuração semelhante, que inclui um espelho fixo, um espelho móvel e um divisor de feixe. A radiação que passa pelo divisor é dividida, sendo parte direcionada ao espelho fixo e parte ao espelho móvel. Após a reflexão, a radiação retorna ao divisor de feixe, onde é recombinada. Um filme semi-refletor divide o plano entre os dois espelhos (*beam splitter*). Os espectros são gerados por meio da transformada de Fourier (Silverstein et al., 2000).

Assim, a radiação infravermelha atravessa a amostra em análise, e a radiação transmitida é comparada com aquela obtida na ausência da amostra. O espectrômetro registra o resultado na forma de bandas de absorção, que indicam a presença de diversos grupos funcionais na estrutura orgânica, devido à interação das moléculas ou átomos com a radiação eletromagnética durante o processo de vibração molecular. A radiação infravermelha induz átomos e grupos de átomos em compostos orgânicos a vibrarem com maior amplitude ao redor das ligações covalentes que os conectam (Silverstein, 2000).

Embora o processo seja quantizado, o espectro vibracional geralmente aparece como uma série de bandas, pois cada mudança no nível de energia vibracional corresponde a uma série de alterações nos níveis de energia rotacional. Dessa forma, as linhas se sobrepõem, resultando nas bandas observadas no espectro. As posições dessas bandas podem ser expressas em números de onda, utilizando a unidade de centímetro inverso ($4000-400\text{ cm}^{-1}$), ou em micrômetros ($2,5-16\text{ }\mu\text{m}$) (Workman, 2024).

As vantagens da FTIR em relação aos métodos dispersivos tradicionais incluem uma melhor relação sinal-ruído e maior precisão na determinação de frequências de absorção. Esses benefícios decorrem da capacidade de coletar múltiplos espectros em um curto período, permitindo a média dos dados e a redução de ruídos aleatórios. A espectroscopia FTIR é uma técnica versátil aplicável a uma ampla gama de amostras, incluindo sólidos, líquidos e gases (Workman, 2024).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades experimentais dividiram-se em três objetivos principais: a obtenção de um concentrado proteico proveniente das folhas da ora-pro-nóbis, avaliação da filtração por membrana de MCE (ésteres de celulose mistos) no isolamento das proteínas e avaliação dos processos de secagem - spray dryer e liofilização - na obtenção do produto final.

Na Figura 4 estão detalhadas as etapas para produção de concentrado proteico de ora-pro-nóbis, escolhida como matéria-prima por apresentar naturalmente alto teor de proteínas.

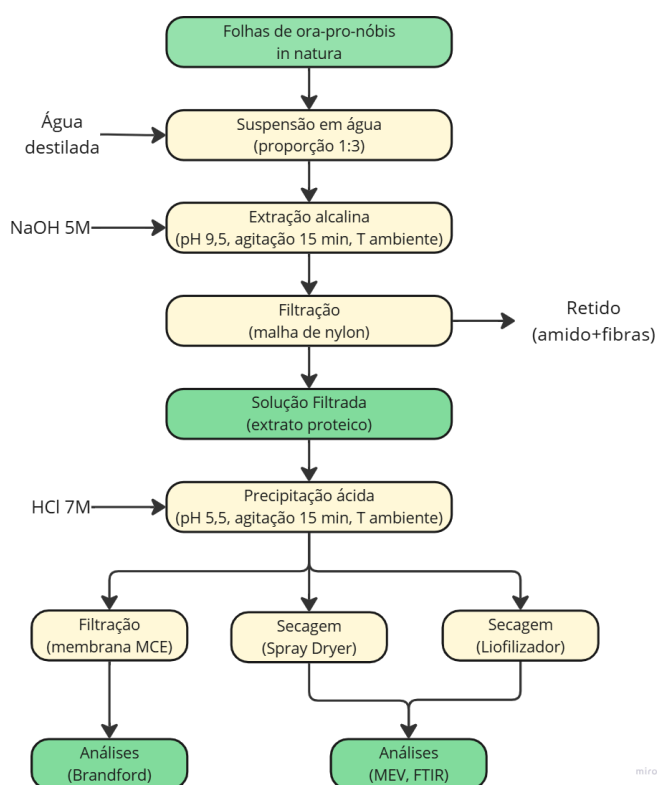


FIGURA 4 - Fluxograma de obtenção do concentrado proteico de ora-pro-nóbis por via úmida. Fonte: As autoras, 2024.

4.1. MATÉRIA-PRIMA

As folhas de ora-pro-nóbis utilizadas no estudo foram colhidas em residência particular na cidade de Foz do Iguaçu, no Paraná. O material foi previamente higienizado em água corrente, seco com folhas de papel toalha e reservado em sacos plásticos sob temperatura de 4°C em geladeira doméstica até o início do estudo

(período inferior a 24 horas).

Como etapa inicial foi determinado o peso seco de 100 g de folhas. Para isso, as folhas foram coletadas, higienizadas com água destilada e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada, mantida a uma temperatura controlada entre 65 e 70°C. O material foi retirado da estufa em intervalos de 1 hora para pesagem, até que o peso se estabilizasse, conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

Já em ambiente laboratorial, as folhas de ora-pro-nóbis foram submetidas a um processo de higienização, seguindo as diretrizes estabelecidas pelo Ministério da Saúde do Brasil, a fim de garantir a segurança microbiológica e a qualidade do material vegetal. O procedimento consistiu na imersão das folhas em uma solução de hipoclorito de sódio a 200 ppm (partes por milhão) por um período de 15 minutos (Figura 5), conforme recomendado pela legislação brasileira para a higienização de hortaliças e vegetais folhosos (BRASIL, 2004).



FIGURA 5 - Higienização da matéria prima. Fonte: As autoras, 2024.

Após a imersão, as folhas foram lavadas abundantemente em água potável para a remoção completa dos resíduos de cloro, evitando assim qualquer alteração indesejada nas características sensoriais e nutricionais do produto. Esse método de higienização é amplamente reconhecido por sua eficácia na redução da carga microbiana, incluindo bactérias, vírus e outros microrganismos patogênicos, garantindo a segurança alimentar e a adequação do material para processamento e consumo humano (BRASIL, 2004).

4.2. PREPARAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

Posteriormente à higienização do material, as folhas foram secas à temperatura ambiente. Ao fim da secagem, pesou-se 100 gramas para dar continuidade a metodologia. A higienização e a pesagem podem ser visualizadas na Figura 6.



FIGURA 6 - Higienização e pesagem das folhas colhidas. Fonte: As autoras, 2024.

Utilizando a quantia pesada de folhas, foi preparado um “suco” das folhas e água destilada na proporção de 1:3. A mistura foi preparada com o auxílio de um liquidificador, submetendo-a ao processamento por aproximadamente 5 minutos a fim de garantir-se a completa homogeneização (Figura 7).



FIGURA 7 - Processo de mistura/trituração com auxílio do liquidificador. Fonte: As autoras, 2024.

Posteriormente, a mistura do produto foi submetida à filtração via peneiramento com o objetivo de separar as fibras que não foram solubilizadas no processo de

trituração. A solução resultante foi denominada Solução 0, para fins de organização (Figuras 8)



FIGURA 8 - Respectivamente:(A) Mistura retirada do liquidificador após peneiramento e retirada da amostra; (B)Pesagem do material peneirado; (C) Amostra retirada Fonte: As autoras, 2024.

4.3. OBTENÇÃO DO CONCENTRADO PROTEICO

Na etapa de solubilização das proteínas por extração alcalina, o pH da solução foi ajustado para 9,5 utilizando uma solução de NaOH (hidróxido de sódio) com concentração molar de $5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Em seguida, a solução foi submetida à agitação com agitador magnético por 15 minutos, com o objetivo de promover a separação do extrato proteico dos demais componentes. Após esse processo, a mistura passou por uma filtração em malha de nylon, descartando-se o resíduo retido (constituído por fibras e amido) e reservando-se o líquido filtrado (Figura 9).



FIGURA 9 - a) Processo de agitação magnética. b) Solução após filtração. Fonte: As autoras, 2024.

Na etapa de precipitação ácida das proteínas, o pH do líquido filtrado foi ajustado para 5,5 com o auxílio de uma solução de HCl (ácido clorídrico) com concentração de $7 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Em seguida, a solução foi mantida sob agitação em agitador magnético por 30 minutos.

4.4. FILTRAÇÃO POR MEMBRANA

A partir do material obtido, uma alíquota de 20 mL foi separada para filtração por membrana MCE, utilizando uma bomba a vácuo, com o objetivo de avaliar a eficiência da membrana na separação das proteínas. O material retido nas membranas foi armazenado para análise quantitativa de proteínas presentes na amostra.

4.5. QUANTIFICAÇÃO DE PROTEÍNAS PELO MÉTODO DE BRADFORD

Para essa análise, foi empregada a metodologia de quantificação de proteínas no filtrado e no resíduo por meio do método de Bradford, com análise realizada em espectrofotômetro. Esse processo exigiu a construção de uma curva de calibração utilizando albumina bovina (BSA), conforme apresentado na Tabela 2. Além disso, visando a comparação dos dados em base seca, foi elaborada uma curva de secagem

em estufa sob temperatura de 70 °C, a fim de determinar o peso seco correspondente a 100 g de folhas de ora-pro-nóbis *in natura*.

TABELA 2 - Proporção de componentes a serem distribuídos em tubos de ensaio para determinação da curva padrão

Tubos	1	2	3	4	5	6
Água destilada (µL)	100	90	80	70	60	50
BSA (µL)	0	10	20	30	40	50
Reagente de Bradford (mL)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

O restante do material foi dividido para a comparação entre dois métodos de secagem: secagem em spray dryer e liofilização. Para a etapa de secagem em spray dryer (Figura 10), o material foi processado utilizando o equipamento disponível na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Medianeira. Durante o procedimento, a solução foi submetida a uma temperatura de secagem de aproximadamente 130°C, com temperatura de saída média de 60°C.



FIGURA 10 - Equipamento spray dryer e material seco obtido. Fonte: As autoras 2024.

O material destinado à etapa de liofilização foi submetido à secagem em um equipamento pertencente ao patrimônio da Universidade Federal da Integração Latino-Americana (Unila) (Figura 11).



FIGURA 11 - Equipamento liofilizador e material submetido à liofilização. Fonte: As autoras, 2025.

Para essa etapa, foram separadas nove alíquotas de 20 mL, que inicialmente passaram por congelamento em ultrafreezer a -160°C , seguido de secagem em triplicata durante períodos de 22, 44 e 70 horas, visando a obtenção de uma curva de secagem do material. Após o processo, os materiais secos em ambos os métodos foram armazenados em embalagens herméticas para posterior análise por FTIR (Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier), com o objetivo de identificar e caracterizar os compostos presentes no produto final. As amostras obtidas também foram submetidas à análise via microscópio eletrônico de varredura (MEV), um equipamento que gera imagens de alta resolução da superfície de amostras.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados deste estudo foram organizados em etapas correspondentes às diferentes fases do processo de obtenção do isolado proteico de ora-pro-nóbis. O valor obtido para o peso seco referente à uma alíquota de 100 gramas de folhas in natura foi de aproximadamente 14,76 gramas, ou seja, 14,75g de matéria seca/100g de folha.

Na sequência são apresentados os dados referentes à filtração por membranas de ésteres mistos de celulose (MCE), abordando a eficiência na separação das proteínas. Em seguida, são discutidos os efeitos das técnicas de secagem, comparando os métodos de liofilização e spray drying, considerando suas influências na umidade residual, estrutura morfológica e propriedades físicas do material obtido. Posteriormente, os resultados das análises por microscopia eletrônica de varredura (MEV) são detalhados, destacando as diferenças estruturais das amostras secas por ambos os processos. Por fim, a caracterização química das amostras é discutida com base na espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), permitindo avaliar a preservação de grupos funcionais e compostos bioativos após as etapas de processamento.

5.1. FILTRAÇÃO POR MEMBRANA MCE

A etapa subsequente consistiu na avaliação da eficiência das membranas de MCE na filtração e separação das proteínas, para a qual foi necessário elaborar a curva de calibração conforme a metodologia estabelecida. Os dados foram obtidos por meio de espectrofotometria, utilizando o método de Bradford para quantificação proteica, amplamente reconhecido por sua sensibilidade e precisão na detecção de proteínas (Bradford, 1976). Os resultados, apresentados na Tabela 3, foram utilizados na construção da curva representada na Figura 12.

TABELA 3 - Valores obtidos na leitura de espectrofotômetro para construção da curva de calibração.

Tubos	1	2	3	4	5	6
ABS₅₉₅	0,464±0,002	0,502±0,001	0,562±0,001	0,605±0,0025	0,625±0,025	0,643±0,001

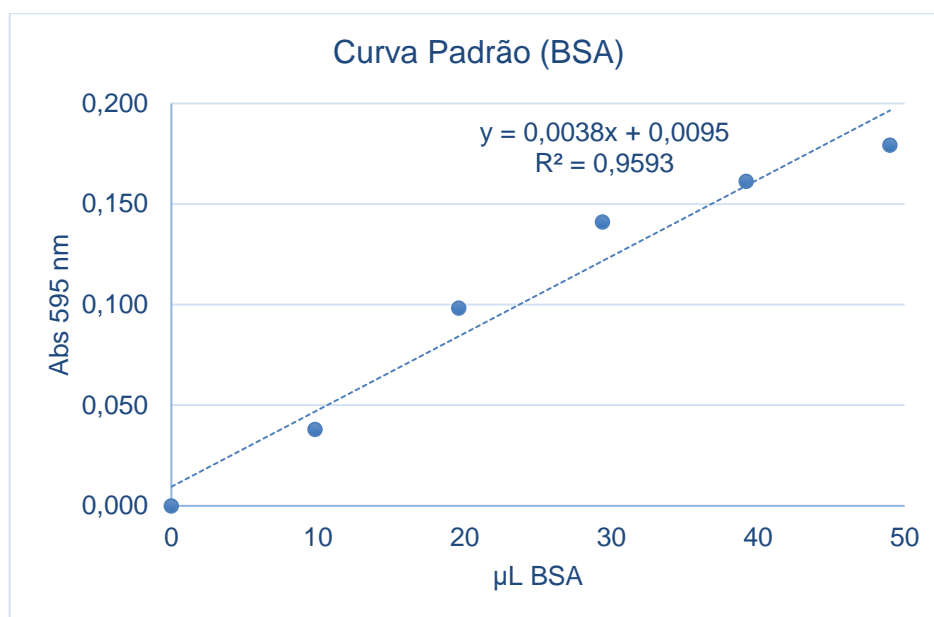


FIGURA 12 - Curva de calibração para determinação de concentração proteica das amostras.

Fonte: As autoras, 2025.

A partir dos dados obtidos na construção da curva de calibração, foi possível encontrar a equação (Equação 1), que permite a determinação rápida e precisa da concentração proteica (em g/L) tanto no filtrado quanto no líquido retido pela filtração por membranas de ésteres de celulose mistos.

EQUAÇÃO 1 - Concentração proteica em função da absorbância

$$\text{Concentração}_p = \frac{(\text{Absorbância} - 0,0095)}{0,038}$$

Com base na equação derivada, procedeu-se à análise das amostras obtidas por filtração com membranas de ésteres de celulose mistos (MCE). Foram realizadas medições espectrofotométricas tanto no material retido quanto no líquido filtrado, com o intuito de quantificar a eficiência de retenção proteica da membrana utilizada. Os valores médios e os respectivos desvios padrão, obtidos por meio da conversão dos dados de absorbância utilizando a Equação 1, estão apresentados na Tabela 4, evidenciando a precisão do método empregado.

TABELA 4 - Valores obtidos na leitura de espectrofotômetro e conversão para concentração proteica

Tubos	Abs₅₉₅	Concentração Proteica (g/L)	Proteína relativa (%)
Filtrado	0,630 ± 0,028	45,544 ± 7,445	82,403
Resíduo	0,502 ± 0,007	9,035 ± 1,752	17,597

Os valores de proteína relativa apresentados na tabela foram determinados considerando-se que a soma das concentrações proteicas no filtrado e no resíduo corresponde a 100%, assumindo-se a ausência de perdas proteicas durante o processo.

Dessa forma, os resultados obtidos demonstram que a filtração por membrana de ésteres mistos de celulose (MCE) foi eficiente na retenção de 82,48% das proteínas presentes na solução filtrada, enquanto o resíduo (líquido resultante da filtração) apresentou 17,52% das proteínas remanescentes. Comparando esses resultados com estudos anteriores, observa-se que a eficiência de retenção de proteínas por membranas MCE está alinhada com os achados de Zandona et al. (2015), que relataram retenções superiores a 80% no processamento de proteínas vegetais, como as extraídas de ora-pro-nóbis.

Além disso, a presença de proteínas no resíduo filtrado pode ser atribuída à fração de proteínas de menor peso molecular ou àquelas que não foram completamente retidas devido às características de porosidade da membrana, um fenômeno também observado por Cuartas-Urbe et al. (2007) em processos de microfiltração. Esses resultados reforçam a viabilidade do uso de membranas MCE para a concentração e purificação da proteína vegetal da OPN, destacando seu potencial tanto para aplicações industriais quanto com objetivos científicos.

5.2. SECAGEM POR LIOFILIZAÇÃO

Para avaliar a eficiência da secagem por liofilização, amostras foram submetidas a diferentes períodos de secagem, 22, 44 e 70 horas, e os resultados obtidos por meio de pesagem foram compilados na Tabela 5.

TABELA 5 - Resultados de perda de umidade obtidos para diferentes períodos de secagem.

Tempo de secagem (h)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Perda de umidade (%)
22	20,017 ± 0,018	3,822 ± 0,048	80,902 ± 0,0242
44	20,021 ± 0,012	0,382 ± 0,047	98,091 ± 0,235
70	20,059 ± 0,014	0,278 ± 0,041	98,614 ± 0,203

Verificou-se que o processo de secagem referente ao período de 22 não foi eficaz para obter um material completamente seco, uma vez que foi perceptível a presença de umidade residual. Além disso, após um curto período de tempo, observou-se a reidratação do material, resultando em um aspecto líquido e demonstrando que não houve uma secagem completa.

Ademais, os materiais resultantes das secagens de 44 e 70 horas em liofilizador obtiveram perda de umidade superior a 98%. No entanto, a amostra submetida a 44 horas de liofilização se destaca como a condição mais eficiente, uma vez que atinge um teor residual de umidade comparável ao da secagem por 70 horas, mas em um tempo significativamente menor. Essa otimização do processo é vantajosa tanto do ponto de vista energético quanto operacional, reduzindo o consumo de insumos e o tempo de processamento sem comprometer a qualidade do material final. As amostras secas de forma eficiente foram utilizadas nas análises posteriores (Figura 13).



FIGURA 13 - Material obtido por secagem em liofilizador. Fonte: As autoras, 2025.

Visualmente, o material apresentou uma coloração verde intensa e vibrante,

característica das folhas frescas desta planta. A textura é composta por flocos e fragmentos de aparência leve e crocante, sugerindo uma estrutura porosa e delicada, comum em produtos liofilizados devido à remoção do conteúdo de água sem danificar as estruturas celulares. Os fragmentos variam em tamanho e forma, com bordas irregulares e uma aparência quebradiça, indicando o processo de sublimação da água presente na amostra inicial.

5.3. SECAGEM POR SPRAY DRYING

Nesta etapa, uma alíquota de 2 litros foi submetida à secagem por spray drying por aproximadamente 2,5 horas, até a completa remoção da umidade. O processo foi realizado em um spray dryer da fabricante LABMAQ, modelo MSD 1.0, um equipamento projetado para secagem rápida, com capacidade de até 1,0 L/h. Durante o procedimento, a temperatura do ar de secagem foi mantida em 130°C, enquanto a temperatura de saída, registrada pelo próprio equipamento, foi de 60°C. Como resultado, foi obtido o concentrado proteico de ora-pro-nóbis por meio da secagem por spray drying (Figura 14).



FIGURA 14 - Material obtido por secagem em spray dryer. Fonte: As autoras, 2025.

O material apresentou-se, visualmente, como um pó fino e homogêneo, com coloração que pode variar do verde claro ao verde amarelado. A textura do pó é suave ao tato, indicando uma granulometria uniforme, característica desejável para facilitar sua incorporação em diversas formulações alimentícias.

5.4. MICROSCOPIA DE VARREDURA ELETRÔNICA (MEV)

5.4.1. Avaliação da amostra liofilizada

A Figura 15 apresenta o isolado proteico de ora-pro-nóbis (*Pereskia grandifolia*) submetido ao processo de liofilização (para o tempo de secagem de 70h) avaliado por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). A análise revelou características estruturais importantes da amostra.

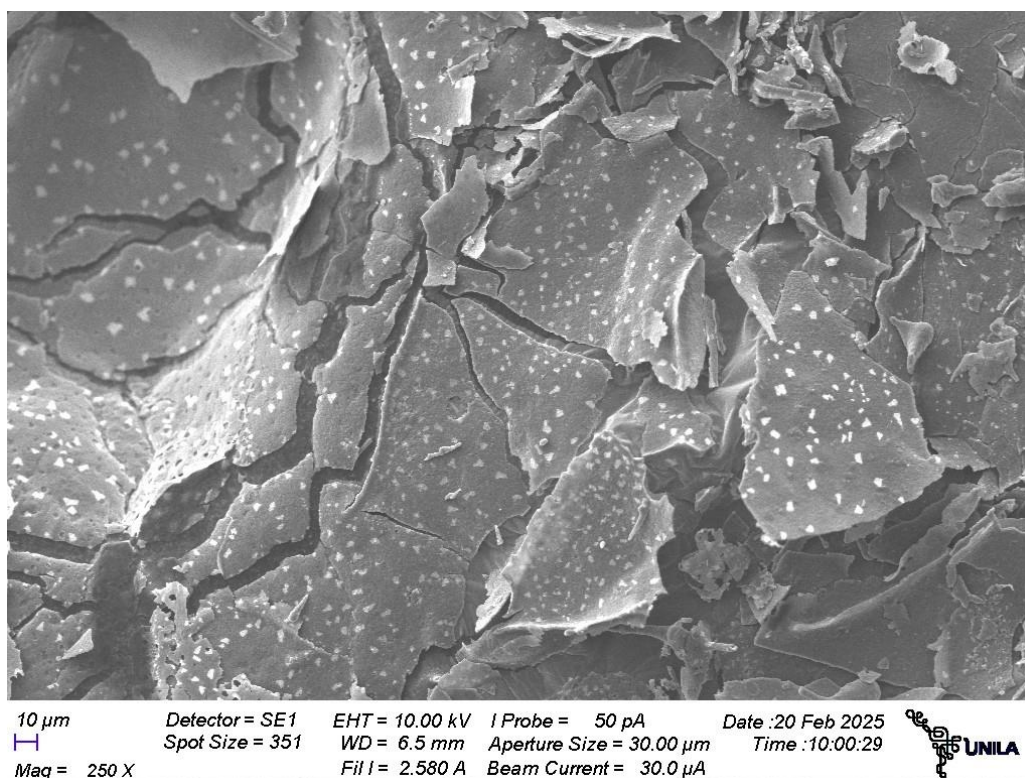


FIGURA 15 - Imagem obtida com o MEV da amostra seca por liofilização. Fonte: As autoras, 2025.

A imagem permite constatar que a superfície apresenta placas sobrepostas com fissuras bem definidas, uma estrutura predominantemente lamelar e fragmentada, o que pode indicar que o material sofreu um colapso parcial durante o processo de secagem. A presença de fissuras sugere uma fragilidade mecânica, provavelmente resultante da remoção da água e do rearranjo das proteínas na ausência de um suporte hídrico.

De acordo com Tattini et al. (2006), durante o processo de liofilização ocorre uma reorganização das cadeias polipeptídicas, frequentemente promovendo a formação de ligações intermoleculares, como pontes de hidrogênio, esse fenômeno pode resultar em um aumento da rigidez do material, tornando-o mais propenso à formação de fissuras.

Pequenos pontos brancos dispersos na superfície podem representar resíduos de sais, agregados proteicos ou artefatos do processo de secagem. O estudo de Siddiqui et al. (2024) sugere que proteínas liofilizadas tendem a sofrer agregação devido à exposição de domínios hidrofóbicos, esses agregados podem ser visíveis como os pontos brancos na superfície da amostra, conforme observado na imagem obtida.

A morfologia fragmentada pode ser um indicativo de que a remoção da umidade foi eficiente, mas o grau de porosidade não é claramente visível. Em uma liofilização bem-sucedida, espera-se uma estrutura altamente porosa e leve.

Corrêa (2013) destaca que, em amostras submetidas à liofilização, a formação de poros de menor dimensão está diretamente associada a taxas de congelamento mais elevadas. O congelamento rápido promove a formação de cristais de gelo menores e mais uniformemente distribuídos, que, ao sublimarem durante a liofilização, deixam poros menores na estrutura da amostra.

A ausência de grandes regiões lisas e contínuas sugere que a reidratação do material é menos provável, confirmando que a secagem foi eficiente para essa amostra. Essa característica é importante para a estabilidade do material, uma vez que diminui a probabilidade de reabsorção de água e o crescimento microbiano durante o armazenamento.

Contudo, quando a aplicação da proteína envolve sua integração em sistemas aquosos, a redução da porosidade pode prejudicar negativamente sua capacidade de reidratação e solubilidade.

5.4.2. Avaliação da amostra: Spray drying

A imagem obtida por microscopia eletrônica de varredura (MEV) do isolado proteico de ora-pro-nóbis (Figura 16) seco por spray drying revela partículas com morfologia predominantemente esferoidal e superfície enrugada, características típicas de materiais processados por essa técnica.

A rápida secagem durante o spray drying promove a contração da superfície das partículas, resultando em uma aparência rugosa e colapsada, conforme descrito por Silva et al. (2022). Além disso, observam-se microcápsulas com tamanhos

uniformes, geralmente variando entre 5 e 300 μm de diâmetro, consistente com a literatura sobre microencapsulação por spray drying (Gharsallaoui et al., 2007).

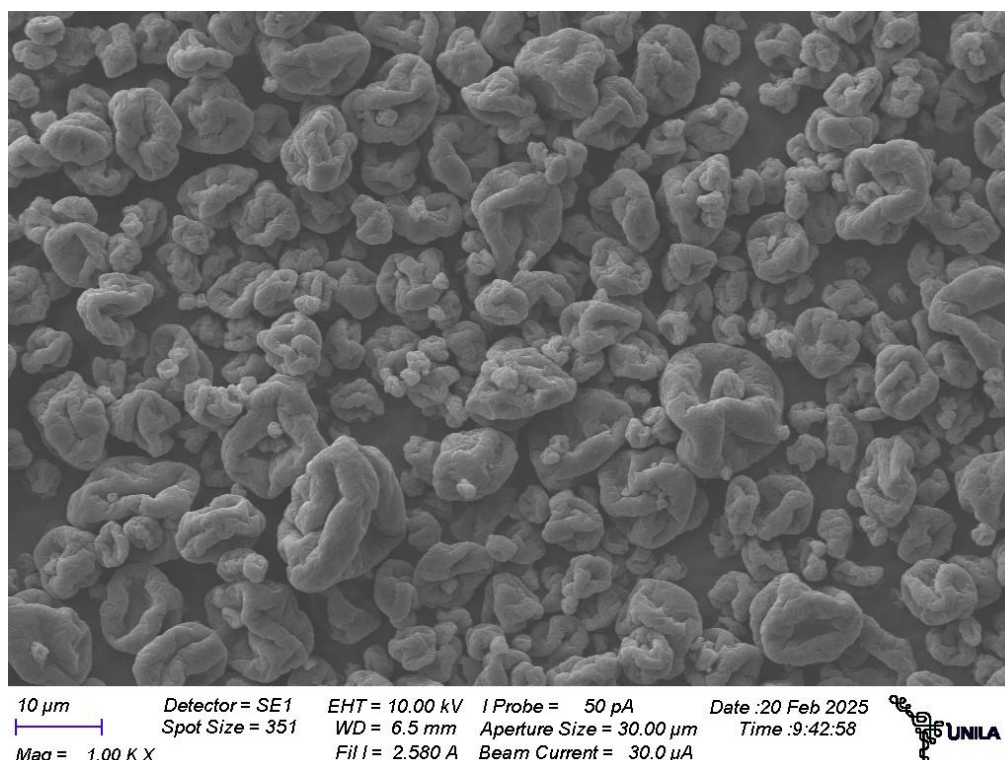


FIGURA 16 - Imagem de MEV das partículas formadas após a secagem por spray drying. Fonte: As autoras, 2025.

A morfologia observada sugere um encapsulamento eficiente do material, o que é particularmente vantajoso para a proteção de compostos bioativos sensíveis a fatores externos, como calor, luz e oxigênio. De acordo com Akbarbaglu et al. (2021), a formação de partículas esféricas com superfície enrugada está associada à criação de uma película superficial durante a atomização, seguida pela rápida evaporação da água. Essa estrutura não apenas protege os componentes internos, mas também facilita a reconstituição do pó em soluções aquosas, melhorando a funcionalidade do produto final.

O processo de encapsulamento ocorre quando o material ativo (neste caso, o isolado proteico de ora-pro-nóbis) é envolvido por uma matriz de parede, como maltodextrina ou goma arábica, durante a atomização e secagem. Essa matriz forma uma barreira física que protege os compostos bioativos da degradação, além de controlar a liberação desses compostos no organismo (Fang e Bhandari, 2012).

Estudos indicam que a eficiência do encapsulamento depende de fatores como a concentração de sólidos, a viscosidade da solução e as condições operacionais do spray drying (Gharsallaoui et al., 2007). No caso analisado, a presença de partículas com tamanhos variados e rugosidade superficial pode indicar uma distribuição não totalmente homogênea do material de parede, sugerindo que otimizações no processo podem melhorar a uniformidade e a eficiência do encapsulamento.

Em comparação com outros métodos de secagem, como a liofilização, o spray drying se destaca por sua rapidez, custo reduzido e capacidade de produzir partículas com alta solubilidade e estabilidade (Schuck et al., 2016). No contexto de alimentos funcionais, o encapsulamento por spray drying é amplamente utilizado para proteger compostos bioativos, como proteínas, antioxidantes e vitaminas, garantindo sua estabilidade durante o armazenamento e a digestão (Arapagus, 2019).

Diante deste contexto, a análise por MEV do isolado proteico de ora-pro-nóbis seco por spray drying confirma a formação de microcápsulas esferoidais com superfície enrugada, características que corroboram a eficácia do método para encapsulamento e proteção de compostos bioativos. A otimização do processo pode aumentar a uniformidade das partículas e a eficiência do encapsulamento, garantindo maior estabilidade e funcionalidade do produto final.

Um dos aspectos mais inovadores deste estudo é a formação de micropartículas sem a adição de agentes encapsulantes adicionais externos. A composição do extrato de ora-pro-nóbis, rica em proteínas e hidrocoloides (Martin et al., 2017), desempenhou um papel fundamental na estabilização das partículas, atuando naturalmente como matriz de encapsulamento para os compostos bioativos presentes no extrato. Esse comportamento sugere que as proteínas e os hidrocoloides presentes funcionam como agentes estruturantes, promovendo a formação de micropartículas estáveis e protegendo antioxidantes e outros compostos sensíveis ao longo do processo de secagem (Grosso et al., 2020).

Estudos anteriores indicam que a encapsulação por spray drying geralmente requer polímeros externos para garantir a estabilidade dos bioativos e controlar sua liberação (Gharsallaoui et al., 2007). No entanto, os resultados obtidos demonstram que o extrato de ora-pro-nóbis pode desempenhar esse papel de forma natural, reduzindo a necessidade de aditivos e tornando o processo mais sustentável e economicamente viável.

Essa descoberta abre novas perspectivas para o uso de ora-pro-nóbis como um bioencapsulante natural em sistemas de liberação controlada de compostos bioativos. Estudos futuros devem investigar a eficiência desse encapsulamento natural em diferentes condições de processamento, bem como sua influência na estabilidade e biodisponibilidade dos compostos encapsulados.

5.5. ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

A espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) foi utilizada para a caracterização das amostras de secagem por *spray dryer* e liofilizador. A análise foi conduzida utilizando um espectrômetro Perkin Elmer Frontier MIR+SP10 STD, operando no intervalo de varredura de 4000 a 400 cm^{-1} , com resolução espectral de 4 cm^{-1} e um total de 32 varreduras por espectro.

Para a preparação das amostras, o material foi homogeneizado na proporção de 1 mg de amostra para 100 mg de brometo de potássio (KBr), macerado em gral de ágata e prensado sob uma força de 10 toneladas para a obtenção de pastilhas translúcidas, garantindo uma adequada transmissão da radiação infravermelha. Essas condições experimentais permitem a obtenção de espectros de alta resolução, possibilitando a identificação dos grupos funcionais presentes na amostra e fornecendo informações valiosas sobre sua composição química. Os espectros de FTIR para os extratos aquosos de OPN submetidos à secagem via liofilização e *spray drying* são apresentados na Figura 17.

Os espectros FTIR obtidos para as amostras de ora-pro-nóbis secas por liofilização e *spray dryer* revelam a presença de grupos funcionais característicos da biomassa vegetal, permitindo a identificação de compostos bioativos. Em ambos os espectros, observa-se um conjunto de picos que indica a presença de proteínas (bandas amida), polissacarídeos (grupos hidroxilas e éteres), compostos bioativos fenólicos (grupos aromáticos e O-H) e até traços de lipídeos.

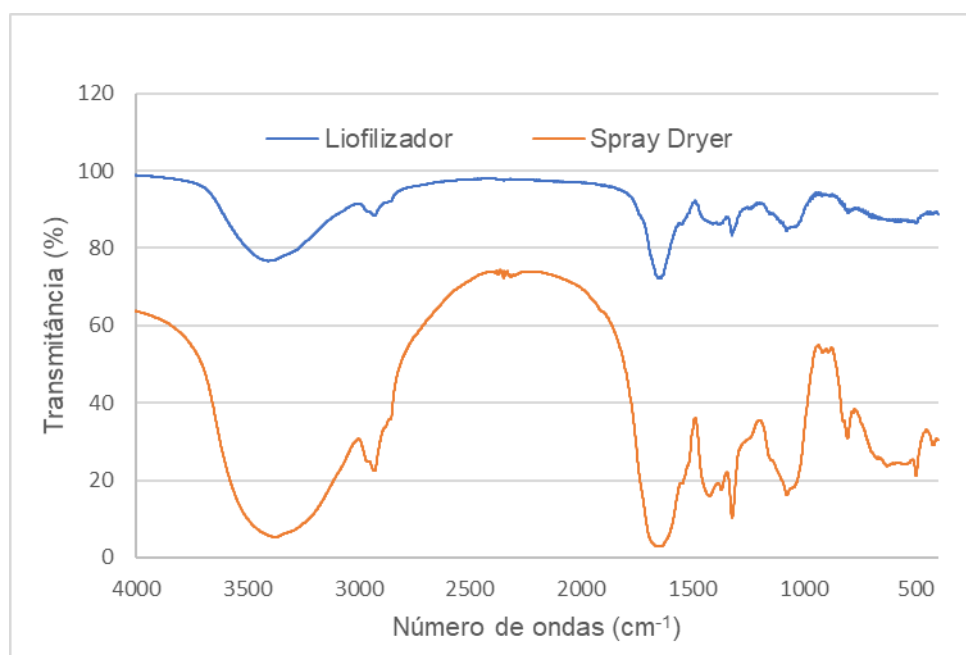


Figura 17 – Espectros de infravermelho de concentrados proteicos de ora-pro-nóbis obtidos por diferentes métodos de secagem. Fonte: As autoras, 2025.

A banda larga em torno de 3300 cm^{-1} indica o estiramento O-H, sugerindo a presença de compostos hidrofílicos, como mucilagens/polissacarídeos e fenóis, além de água residual. Na amostra seca por spray drying, verifica-se uma banda larga semelhante, cobrindo o comprimento de onda de 3200 a 3400 cm^{-1} , sendo ligeiramente mais intensa que a observada no material seco por liofilização, indicando um maior teor de água residual no material processado por spray dryer (Maltesen et al., 2011). Essa banda ampla associada a ligações de hidrogênio é típica em materiais vegetais ricos em grupos OH e N-H. (Maciel et al., 2021).

Na amostra liofilizada, os picos médios nas faixas de onda entre 2920 e 2850 cm^{-1} indicam a presença de estiramentos C-H, atribuídos aos grupos metila e metileno de componentes orgânicos, como cadeias lipídicas ou proteínas (Araújo, 2022). Esses picos também estão presentes na amostra de spray dryer com intensidade similar, demonstrando que ambas as amostras contêm componentes alifáticos. Pequenas variações podem ser observadas, mas indicam as mesmas ligações C-H.

O estiramento C=O (Amida I de proteínas) e/ou C=C aromático pode ser identificado pela forte banda presente na região de 1650 a 1600 cm^{-1} no material liofilizado, refletindo a Amida I das proteínas (C=O peptídico), indicando a presença de proteínas e compostos aromáticos. Na amostra de spray dryer, uma banda forte e

semelhante é observada, porém o perfil pode diferir devido à desnaturação proteica causada pelo calor (Gutierrez et al., 2023).

A secagem rápida em alta temperatura pode alargar ou deslocar a banda da Amida I, sugerindo que, embora ainda indique a presença de proteínas, pode haver alterações na configuração proteica. Da mesma forma, a banda em torno de 1550 cm^{-1} , atribuída à Amida II, reforça essa identificação, pois está associada ao dobramento N-H e ao estiramento C-N, ambos típicos de cadeias polipeptídicas.

Na faixa de 1400 a 1450 cm^{-1} , observam-se picos associados à deformação C-H e ao estiramento simétrico COO, indicando a presença de grupos metila, metileno e possivelmente carboxilato de ácidos orgânicos ou pectina. Esses picos aparecem em ambas as amostras sem grandes diferenças, sugerindo que as vibrações de grupos alifáticos e carboxilatos são mantidas. Não há diferenças notáveis em relação ao material liofilizado, com os picos em torno de 1400 cm^{-1} presentes, o que indica que os grupos CH e carboxilatos permanecem semelhantes após a secagem térmica.

Além disso, na faixa entre 1000 e 1150 cm^{-1} , observa-se uma banda larga tanto no material liofilizado quanto no material submetido à secagem por atomização, atribuída à vibração C-O, o que indica a presença de polissacarídeos, como carboidratos e fibras. Esse comportamento também foi verificado no material processado por spray dryer, onde, apesar de variações na intensidade, evidencia-se que os polissacarídeos foram retidos, demonstrando que o calor não causou a ruptura das ligações glicosídicas.

Ou seja, a análise do espectro FTIR do extrato proteico de ora-pro-nóbis revelou bandas características compatíveis com a presença de proteínas, hidrocoloides e minerais. A banda larga observada na região de 3200-3400 cm^{-1} , atribuída às ligações O-H e N-H, indica a presença de polissacarídeos e proteínas, conforme relatado em estudos anteriores com gomas naturais e pectinas (Bhavanasi et al., 2019). Esse comportamento também é evidenciado nos espectros de goma xantana comercial apresentados por Cavalcanti (2019), nos quais a ampla absorção nesta região foi associada à estrutura polimérica dessas substâncias.

Além disso, a banda intensa entre 1600-1650 cm^{-1} , correspondente à Amida I, confirma a presença de proteínas no extrato, sendo compatível com os achados de estudos que analisaram proteínas encapsuladas ou associadas a polímeros naturais, como observado por Sousa (2011). A presença de bandas na região de 1400-1450

cm^{-1} , atribuídas ao estiramento de C-O e C-H, sugere a coexistência de polissacarídeos na amostra, similar ao espectro reportado para gomas naturais por Thombare (2023). A comparação com esses espectros reforça a composição híbrida do extrato, confirmando a presença de macromoléculas orgânicas e componentes minerais que justificam seu comportamento funcional.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ora-pro-nóbis constitui-se uma boa fonte proteica, de fibras, vitaminas, minerais e antioxidantes, desta forma, a planta pode ser empregada em diversos segmentos, como complemento alimentar em dietas vegetarianas e veganas, substituta de outras fontes alimentares de proteína, fonte de fibras e de micronutrientes.

A análise morfológica da amostra liofilizada revelou uma superfície com estrutura lamelar e fragmentada, caracterizada por fissuras bem definidas. A ausência de superfícies lisas e contínuas indicou baixa capacidade de reidratação, o que pode ser positivo para a estabilidade do material e resistência à umidade no armazenamento. No entanto, essa menor porosidade pode comprometer a solubilidade da proteína em sistemas aquosos, dependendo da aplicação desejada.

Em relação à análise morfológica da amostra seca por spray dryer, observou-se a formação de partículas esféricas com superfície enrugada. O processo de encapsulamento foi eficiente, utilizando a matriz de parede natural do ora-pro-nóbis, composta por proteínas e hidrocoloides, sem a necessidade de aditivos externos. Esse comportamento natural torna o processo mais sustentável e pode ser explorado em sistemas de liberação controlada de compostos bioativos. A otimização do processo pode melhorar a uniformidade e a eficiência do encapsulamento.

A análise comparativa dos espectros FTIR das amostras secas por liofilização versus spray dryer revela que ambos processos conservam os principais grupos funcionais do material, indicando a presença de proteínas, polissacarídeos em ambos os casos. As semelhanças nos espectros (mesmas bandas de -OH, C-H, C=O, etc.) demonstram que a composição geral não foi drasticamente alterada pelos métodos de secagem.

As diferenças sutis observadas indicam que os métodos de secagem influenciam a integridade estrutural e a preservação de compostos bioativos. A liofilização mostrou maior eficiência na manutenção da estrutura proteica e na retenção de compostos fenólicos, enquanto o spray drying, embora promova certa desnaturação proteica, destaca-se como uma alternativa viável para escalonamento industrial. Reconhecido por sua eficiência e custo-benefício, o spray drying permite a produção contínua de pós proteicos estáveis, preservando a maioria das ligações funcionais identificáveis por FTIR. Assim, enquanto a liofilização favorece a

manutenção da funcionalidade biológica, o spray drying se consolida como uma abordagem ideal para aplicação em larga escala.

REFERÊNCIAS

- AKBARBAGLU, Z.; PEIGHAMBARDoust, S. H.; SARABANDI, K.; & JAFARI, S. M. (2021). Spray drying encapsulation of bioactive compounds within protein-based carriers; different options and applications. *Food Chemistry*, 359. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.129965>
- ALMEIDA, M. E. F. DE; JUNQUEIRA, A. M. B.; SIMÃO, A. A.; & CORRÊA, A. D. (2014). Caracterização química das hortaliças não-convencionais conhecidas como ora-pro-nobis. *Bioscience Journal*, 30, 431–439. <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/17555>
- ANDRADE, L. A. et al. *Secagem de alimentos: fundamentos e aplicações*. 1. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2020.
- ARPAGAUS, C. *Production of food bioactive-loaded nanoparticles by nano spray drying*. In: JAFARI, S. M. (Org.). *Nanoencapsulation of Food Ingredients by Specialized Equipment*. 1. ed. Elsevier Inc., 2019. Capítulo 4, p. 151-211. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815671-1.00004-4>. Acesso em: 25 fev. 2025.
- BARONI, J.O.; Fernanda Volpini-Rapina, L.; Costa-Singh, T. Sensory evaluation of vegetable pie with non-conventional added vegetable ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata*). *Nutrição* 2017, 16, 5.
- BARREIRA, T. F.; PAULA FILHO, G. X.; RODRIGUES, V. C. C.; ANDRADE, F. M. C.; SANTOS, R. H. S.; PRIORE, S. E.; & PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. (2015). Diversidade e equitabilidade de Plantas Alimentícias Não Convencionais na zona rural de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 17(4), 964–974. https://doi.org/10.1590/1983-084X/14_100
- BARROS, K. N.; GUIMARÃES, H. E. T.; SARTOR, C. P.; FELIPE, D. F. Desenvolvimento de uma pomada contendo extrato de *Pereskia aculeata*. In: *ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA CESUMAR*. Maringá: Cesumar, 2009.
- BEDIN, S. *Extração de proteína do farelo de arroz: processo alcalino, por ultrassom e micro-ondas*. 2018. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2018.
- BOHRER, B. M. An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products. *Food Science and Human Wellness*, v. 8, n. 4, p. 320–329, 1 dez. 2019.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3). Acesso em: 23 fev. 2025.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 216, de 15 de setembro de 2004. Dispõe sobre Regulamento Técnico de Boas Práticas para Serviços de Alimentação. *Diário Oficial da União*, Brasília, 2004. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2004/res0216_15_09_2004.html. Acesso em: 30 nov. 2024.
- CAPARINO, O. A. et al. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. *Journal of Food Engineering*, v. 111, n. 1, p. 135-148, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.010>. Acesso em: 21 fev. 2025.
- CELESTINO, Sonia Maria Costa. *Princípios de Secagem de Alimentos*. – Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 51 p. – (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111, ISSN online 2176-5081: 276).
- CHERYAN, M. *Ultrafiltration and microfiltration handbook*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 1998.

CIRÍACO, J. da S.; SILVA, S. P.; (2024). Análise das compras municipais da agricultura familiar para a alimentação escolar na região Nordeste: testando a hipótese de autocorrelação espacial. *Http://Www.lpea.Gov.Br*, 30(77), 121–140. <https://doi.org/10.38116/BMT77/PF3>

CORDEIRO, S. Z. *Pereskia aculeata* Mill. — Herbário, 2020. Disponível em: <https://www.unirio.br/ccbs/ibio/herbariohuni/pereskia-aculeata-mill>. Acesso em: 21 jan. 2024.

CORRÊA, N. G. *Efeito da velocidade de congelamento sobre a liofilização, reidratação e atributos de qualidade de fatias de maçã*. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/8e7caca2-f57e-4170-bd53-3430a2b34641/content>. Acesso em: 23 fev.2025.

CORRÊA, R. C. G. et al. Stability and biological activity of Merlot (*Vitis vinifera*) grape pomace phytochemicals after simulated in vitro gastrointestinal digestion and colonic fermentation. *Journal of Functional Foods*, v. 36, p. 410–417, set. 2017.

COSTA, A. M. M. et al. Freeze-drying of *Pereskia aculeata*: effects on bioactive compounds and antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, v. 117, p. 108634, 2020.

COZZOLINO, D. (2015). Foodomics and infrared spectroscopy: from compounds to functionality. *Current Opinion in Food Science*, 4, 39–43. <https://doi.org/10.1016/J.COFS.2015.05.003>

CUARTAS-URIBE, B. et al. Membrane processes in the food industry: an overview. *Journal of FoodEngineering*, v. 80, n. 2, p. 291-297, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.05.013>. Acesso em: 22 fev. 2025.

DAMASCENO, A. D. A.; BARBOSA, A. A. A. *Levantamento etnobotânico de plantas do bioma cerrado na comunidade de Martinésia*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas). Universidade Federal de Uberlândia, 2007.

DAMODARAN, S., et al. (2008). *Fennema's Food Chemistry*. CRC Press.

DE ALMEIDA, M. E. F.; JUNQUEIRA, A. M. B.; SIMÃO, A. A.; CORRÊA, A. D. Caracterização química das hortaliças não-convencionais conhecidas como ora-pro-nobis/Chemical characterization of the non-conventional vegetable known as ora-pro-nobis. *Biosci. J.* 2014, 30, 431–439.

DE PAULA, M.C.; DE OLIVEIRA, R.B.; FELIPE, D.F.; MAGRINE, I.C.O.; SARTOR, C.F.P. Processamento de bolo com a planta *Pereskia aculeata* Mill. (ora-pro-nóbis). *Rev. Bras. Prod. Agroind.* 2016, 18, 167–174

DE SILVEIRA, A.Á.; DOS QUEIROZ, C.R.A.A.; MELO, C.M.T.; BONNAS, D.S. Bolinho de arroz com ora-pro-nobis: Análise química e Sensorial. In *Ciência e Tecnologia dos Alimentos*; Andrade, D.F., Ed.; Editora Poisson: Belo Horizonte, Brazil, 2021; Volume 11, pp. 39–45.

DIEGUES, A. C. S.; ARRUDA, R. S. V.; SILVA, V. C. F.; FIGOLS, F. A. B.; & ANDRADE, D. (2001). *Saberes tradicionais e biodiversidade no Brasil*. Ministério do Meio Ambiente (Biodiversidade 4), Brasília. USP, São Paulo. 176p.

EDWARDS, E. J.; DONOGHUE, M. J. *Pereskia* and the Origin of the Cactus Life-Form. *Am. Nat.* 2006, 167, 777–793.

EGEA, M. B.; PIERCE, G. Bioactive compounds of Barbados gooseberry (*Pereskia aculeata* Mill.). In *Bioactive Compounds in Underutilized Vegetables and Legumes*; Murthy, H. N., Paek, K. Y., Eds.; Springer International Publishing: Berlin, Germany, 2021; pp. 1–14.

ELZERMAN, J. E. et al. Consumer acceptance and appropriateness of meat substitutes in a meal context. 2010.

FAIOM, A.; SAVOLDI, A.L.L.; Mattiello, E.R. Elaboração de barra de cereal a partir de farinha de ora-pro-nóbis e resíduo agroindustrial de abacaxi. *Tecnol. Compet. Ind.* 2021, 14, 139–154

FELLOWS, P. J. (2009). *Food Processing Technology: Principles and Practice*. Woodhead Publishing.

FRANCELIN, M.F.; VIEIRA, T.F.; Amanda, J.; GARCIA, A.; CARVALHO, R.; CORREA, G.; Roberto, A.; MONTEIRO, G.; BRACHT, A.; PERALTA, R.M. Phytochemical, nutritional and pharmacological properties of unconventional native fruits and vegetables from Brazil. In *Phytochemicals in Vegetables: A Valuable Source of Bioactive Compounds*; Petropoulos, S.A., Ferreira, C.F.R., Barros, L., Eds.; *Bentham Science Publishers*: Sharjah, United Arab Emirates, 2018; pp. 442–470.

GARCIA, J. A. A.; CORRÊA, R. C. G.; BARROS, L.; PEREIRA, C.; ABREU, R. M. V.; ALVES, M. J.; CALHELHA, R. C.; BRACHT, A.; PERALTA, R. M.; FERREIRA, I. C. F. R. Phytochemical profile and biological activities of 'Ora-pro-nobis' leaves (*Pereskia aculeata* Miller), an underexploited superfood from the Brazilian Atlantic Forest. *Food Chem.* 2019 Oct 1;294:302-308. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.05.074. Epub 2019 May 9. PMID: 31126467.

GHARSALLAOUI, A. et al. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, v. 40, n. 9, p. 1107-1121, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.004>. Acesso em: 21 de fev. 2025.

GOLDSTEIN, J. et al. *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*. 4th ed. Springer, 2017.

GONÇALVES, G. A. et al. Effects of in vitro gastrointestinal digestion and colonic fermentation on a rosemary (*Rosmarinus officinalis* L) extract rich in rosmarinic acid. *Food Chemistry*, v. 271, p. 393–400, jan. 2019.

GROSSO, M. S.; ANDREOLA, K.; SOUZA, L. F. G. *Estudo da secagem de polpa de açaí em spray dryer: utilização de mistura de proteínas vegetais de ervilha e de arroz como carreador*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2023.

GUTIERREZ, Gladis; NIKOO, Mehdi; FARROKHI, Sepideh; ALAVI, Sajjad. Probing structural effects of pasteurization and spray drying on soy protein isolate in the presence of trehalose using ATR-FTIR spectroscopy. *Spectroscopy Online*, 2023. Disponível em: <https://www.spectroscopyonline.com/view/probing-structural-effects-pasteurization-and-spray-drying-soy-protein-isolate-presence-trehalose-us>. Acesso em: 1 mar. 2025.

HUNT, D. 2006. *The new cactus lexicon*. Text Volume. DH Books, Milborne Port. 373p

ISMAIL, A. A.; VAN DE VOORT, F. R.; & SEDMAN, J. (1997). Chapter 4 Fourier transform infrared spectroscopy: Principles and applications. *Techniques and Instrumentation in Analytical Chemistry*, 18(C), 93–139. [https://doi.org/10.1016/S0167-9244\(97\)80013-3](https://doi.org/10.1016/S0167-9244(97)80013-3)

IZZO, S.; Domene, S.M.Á. Aceitabilidade de preparações culinárias com ora-pro-nóbis por escolares atendidos pelo Programa Nacional de Alimentação Escolar. *Demetra* 2021, 16, e53372.

JESUS, M. N., TEODORA, J., & Reges, A. (2019). Ora-pro-nobis: saberes e novas oportunidades. *Segurança Alimentar e Nutricional*, 26, e019016–e019016. <https://doi.org/10.20396/SAN.V26I0.8651536>

KINUPP, V. F. Plantas alimentícias alternativas no Brasil: uma fonte complementar de alimentos e rendas. *ABA journal*, 2006.

KINUPP, V. F. *Plantas alimentícias não-convencionais da região metropolitana de Porto Alegre, RS*. (Tese de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2007. 562p.

KNOLL, M. Aufladepotential und Sekundaremmission elektronenstrahlter Körper. *Z Tech. Phy.*: v.16, p. 553 – 572, 1938.

- LEUENBERGER, B. E. *Pereskia* (Cactaceae). *Mem. N. Y. Bot. Gard.* 1986, 41, 1–141.
- LIMA, J. R.; MODESTO, A. L. G.; COSTA, A. N. da; GARRUTI, D. dos S.; PINTO, G. A. S.; MAGALHAES, H. C. R.; ARAUJO, I. M. da S.; OLIVEIRA, L. M. V. de; VASCONCELOS, N. M.; MESQUITA, W. de S. *Desidratação da Fibra de Caju para Utilização em Produtos Alimentícios*. EMBRAPA, 2014.
- LIMA, J. R.; SILVA, C. M.; FELBERG, I.; GALDEANO, M. C.; AZEVEDO, T. de L.; FREITAS, S. C. de *Obtenção de concentrado proteico de feijão-carioca*. EMBRAPA, 2023.
- LORENZI, H. (2001). *Plantas Ornamentais no Brasil – arbustivas, herbáceas e trepadeiras*. Nova Odessa: Instituto Plantarum. 1080 páginas. ISBN 8586714127
- MACIEL, V. B. V.; BEZERRA, R. Q.; DAS CHAGAS, E. G. L.; YOSHIDA, C. M. P.; & DE CARVALHO, R. A. (2021). Ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Miller): a potential alternative for iron supplementation and phytochemical compounds. *Brazilian Journal of Food Technology*, 24, e2020180. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.18020>
- MADEIRA, N. R.; SILVA, P. C.; BOTREL, N.; MENDONÇA, J. L. DE; SILVEIRA, G. S. R.; PEDROSA, M. W. *Manual de produção de hortaliças tradicionais*. Brasília, DF: Embrapa. 2013. 155p.
- MALTESEN, M. J.; BJERREGAARD, S.; HOVGAARD, L.; HAVELUND, S.; VAN DE WEERT, M.; & GROHGANZ, H. (2011). Multivariate Analysis of Phenol in Freeze-Dried and Spray-Dried Insulin Formulations by NIR and FTIR. *AAPS PharmSciTech*, 12(2), 627. <https://doi.org/10.1208/S12249-011-9618-X>
- MARIUTTI, L. R. B.; REBELO, K. S.; BISCONSIN-JUNIOR, A.; DE MORAIS, J. S.; MAGNANI, M.; MALDONADE, I. R.; MADEIRA, N. R.; TIENGO, A.; MARÓSTICA, M. R.; CAZARIN, C. B. B. The Use of Alternative Food Sources to Improve Health and Guarantee Access and Food Intake. *Food Res. Int.* 2021, 149, 110709.
- MARTIN, Andressa Amado; FREITAS, Rilton Alves de; SASSAKI, Guilherme Lanzi; EVANGELISTA, Paulo Henrique Labiak; SIERAKOWSKI, Maria Rita. Chemical structure and physical-chemical properties of mucilage from the leaves of *Pereskia aculeata*. *Food Hydrocolloids*, v. 71, p. 58-67, out. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.03.020>. Acesso em: 20 fev. 2025.
- MARTINEVSKI, C.S.; DE OLIVEIRA, V.R.; DE RIOS, A.O.; FLORES, S.H.; VENZKE, J.G. Utilização de bertalha (*Anredera cordifolia* (ten.) Steenis) e ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Mill.) na elaboração de pães. *Aliment. Nutr.* 2013, 24, 1–7.
- MELO, C. M. T. et al. Estudo Da Redução De Reagentes Na Determinação De Proteínas Em Alimentos - Método De Kjeldahl. *Revista Inova Ciência & Tecnologia*, 2020.
- MENEZES, M. O. T. DE; TAYLOR, N. P.; LOIOLA, M. I. B. Flora do Ceará, Brasil: Cactaceae. *Rodriguésia*, v. 64, p. 757–774, 1 dez. 2013.
- MILLIPORE. *Membrane Filtration: A Guide to Membrane Selection*. Darmstadt: Merck KGaA, 2021. Disponível em: <https://www.merckmillipore.com>. Acesso em: 22 fev. 2025.
- MORO, G.L.; Desenvolvimento e Caracterização de Hambúrguer Vegano de Grão de Bico (*Cicer arietinum* L.) com Adição de Ora-pro-Nóbis (*Pereskia aculeata*); Trabalho de Conclusão de Curso; Universidade Federal da Grande Dourados: Dourados-Mato Grosso do Sul, Brazil, 2019.
- MURPHY, D. B. et al. *Fundamentals of Light Microscopy and Electronic Imaging*. 2nd ed. Wiley-Blackwell, 2021.
- NESBITT, M.; MCBURNEY, R. P. H.; BROIN, M.; & BEENTJE, H. J. (2010). Linking biodiversity, food and nutrition: the importance of plant identification and nomenclature. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23, 486-498.

NOGUEIRA SILVA, N. F.; SILVA, S. H.; BARON, D.; OLIVEIRA NEVES, I. C.; CASANOVA, F. *Pereskia aculeata* Miller as a Novel Food Source: A Review. *Foods* 2023, 12, 2092. <https://doi.org/10.3390/foods12112092>

OTTO, Terri; BAIK, Byung-kee; CZUCHAJOWSKA, Zuzanna. Wet Fractionation of Garbanzo Bean and Pea Flours. *Cereal Chemistry*, v. 74, n. 2, p. 141-146, 1997.

PAGOTTO, Claudia Kraus; TESSMANN, Juliane Regina; KUHN, Graciele de Oliveira. ORA-PRONÓBIS: PROPRIEDADES E APLICAÇÕES. Xanxerê, 2021. Disponível em:
PATRIOTA, G.A.R. *Elaboração e Avaliação Sensorial de Paçoca Adicionada de Ora-pro-Nóbis (Pereskia Aculeata Miller) Trabalho de Conclusão de Curso; Universidade Federal de Campina Grande: Cuité, Brazil, 2020.*

PENNER, M. H. Basic Principles of Spectroscopy. *Food Science Text Series*, p. 79–88, 2017.

PIMENTEL, D.; PIMENTEL, M. Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment 1-3. *Am J Clin Nutr*, v. 78, p. 660–663, 2003.

POSTEK, M. T.; HOWARD, K. S.; JOHNSON, A.; McMICHAEL, K. L. Scanning electron microscopy a student's handbook. Ladd Research, Vermont, 2001. cap. 4, p. 69-74.

QUEIROZ, C. R. A. D. A.; MELO, C. M. T.; DE ANDRADE, R. R.; PAVANI, L. C.; DE MORAIS, S. A. L. Composição centesimal de frutos de ora-pro-nóbis. In *34a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química*; Brazilian Chemical Society: Florianópolis, Brazil, 2011; p. 1

REEVES, C. (1994). The uses of scanning electron microscopy for studying semiconductor devices. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRONICS*, 77(6), 919–928.

REIMER, L. *Scanning Electron Microscopy: Physics of Image Formation and Microanalysis*. Springer, 1998.

RIBEIRO, H. F. P.; MAZZARO, I.; SILVA, R. R. da. *Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras*. Porto Alegre: PUCRS, 2021. Disponível em: https://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/22337/2/Microscopia_Eletrnica_de_Varredura_Aplicacoes_e_preparao_de_amostras.pdf. Acesso em: 26 fev. 2025.

ROCHA, D.R.C.; PEREIRA JUÚNIO, G.A.; VIEIRA, G.; PANTOJA, L.; SANTOS, A.S.; PINTO, N.A.V.D. Macarrão adicionado de ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller) desidratado. *Aliment. Nutr. Araraquara* 2008, 19, 459–465

ROSA, S. M.; SOUZA, L. A. Morfo-anatomia do fruto (hipanto, pericarpo e semente) em desenvolvimento de *Pereskia aculeata* Miller (Cactaceae). *Acta Scientiarum Biological Sciences*, Maringá, v. 25, n. 2, p. 415-28, 2003.

ROVER, C.H.; SASAKI, J.L.S.; DOS ISEPON, J.S.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; GARCIA, C.M.D.P.; ROSA, M.E. Aceitabilidade de pães processados com ora-pro-nobis. *Agron. Crop J.* 2013, 22, 35–44

SAMBUICHI, R. H. R. et al. A sustentabilidade ambiental da agropecuária brasileira: Impactos, políticas públicas e desafios. *Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)*, Brasília, 2012.

SANTOS, I. C.; PEDROSA, M. W.; CARVALHO, O. C.; GUIMARÃES, C. D. C.; SILVA, L. S. Ora-pro-nóbis: da cerca à mesa. *Circular Técnica n. 177*. Belo Horizonte: EPAMIG, 2012.

SARTOR, C. F. P.; AMARAL, V.; GUIMARÃES, H. E. T.; BARROS, K. N.; FELIPE, D. F.; CORTEZ, L. E. R.; VELTRINI, V. C. Estudo da ação cicatrizante das folhas de *Pereskia aculeata*. *Revista Saúde e Pesquisa*, Maringá, PR, v. 3, n. 2, p. 149-154, 2010.

- SCHNEIDER, R. et al. Membrane technology for the production of vegetable protein isolates. *Journal of Food Engineering*, v. 178, p. 1-10, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.12.012>. Acesso em: 22 fev. 2025.
- SCHUCK, P., et al. (2016). Spray Drying of Dairy Products: State of the Art. *Lait*, 86(4), 307-317.
- SCHUTYSER, M. A. I. et al. Drying of food-based suspensions and pastes in spray dryers: A review. *Drying Technology*, v. 33, n. 15, p. 1771-1785, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1036286>. Acesso em: 21 de fev. 2025.
- SGARBIERI, V. C. (1996). *Proteínas em alimentos protéicos: propriedades, degradações e modificações*. 517–517.
- SIDDIQUI, Shahida Anusha; UCAK, İlknur; JAIN, Surangna; ELSHEIKH, Wadah; REDHA, Ali Ali; KURT, Abdullah; TOKER, Omer Said. Impact of drying on techno-functional and nutritional properties of food proteins and carbohydrates - A comprehensive review. *Drying Technology*, v. 42, n. 4, p. 592-611, 2024.
- SIKORSKI, Z. E. Functional Properties of Proteins in Food Systems. In *Chemical and Functional Properties of Food Proteins*; Sikorski, Z. E., Ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2001; pp. 113–136.
- SILVEIRA, Melissa G.; PICININ, Camila T. R.; CIRILLO, Marcelo Ângelo; FREIRE, Juliana M.; BARCELOS, Maria De Fátima P. (2020). «Nutritional assay Pereskia spp.: unconventional vegetable». *Anais da Academia Brasileira de Ciências*: e20180757. ISSN 1678-2690. doi:10.1590/0001-3765202020180757
- SILVERSTEIN, R. M.; BASSLER, G. C.; MORRILL, T. C. *Identificação espectrométrica de compostos orgânicos*. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 460pp, 2000.
- SINEIRO, J. et al. Functionality of oilseed protein products: A review. *Food Research International*, p. 945–963, 1 jan. 2006.
- SMITH, B. C. (2011). *Fundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy*. <https://doi.org/10.1201/B10777>
- SOUSA, José Silva de. *Funcionalização da superfície de nanopartículas superparamagnéticas encapsuladas por quitosana para a imobilização de proteínas*. 2011. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. doi:10.11606/D.85.2011.tde-15092011-145900. Acesso em: 2025-03-09.
- TAKEITI, C. Y.; ANTONIO, G. C.; MOTTA, E. M. P.; COLLARES-QUEIROZ, F. P.; PARK, K. J. Nutritive evaluation of a non-conventional leafy vegetable (*Pereskia aculeata* Miller). *Int. J. Food Sci. Nutr.* 2009, 60 (Suppl. 1), 148–160
- TATTINI JR., Virgilio; PARRA, Duclerc Fernandes; PITOMBO, Ronaldo Nogueira de Moraes. Influência da taxa de congelamento no comportamento físico-químico e estrutural durante a liofilização da albumina bovina. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, v. 42, n. 1, p. 127-136, jan./mar. 2006.
- TELLES, C. C.; MATOS, J. M. D. M.; MADEIRA, N. R.; DE MENDONCA, J. L.; BOTREL, N.; JUNQUEIRA, A. M. R.; DA SILVA, D. B. *Pereskia aculeata*: Ora-pro-Nobis. In *Espécies Nativas da Flora Brasileira de Valor Econômico Atual ou Potencial: Plantas para o Futuro: Região Centro-Oeste*; Vieira, R. F., Camillo, J., Coradin, L., Eds.; MMA: Brasília, Brazil, 2016; pp. 280–289.
- THOMBARE, N., MAHTO, A., SINGH, D., CHOWDHURY, A. R., & ANSARI, M. F. (2023). Comparative FTIR Characterization of Various Natural Gums: A Criterion for Their Identification. *Journal of Polymers and the Environment*, 31(8), 3372–3380. <https://doi.org/10.1007/S10924-023-02821-1>

TORRES, T. M. S.; ÁLVAREZ-RIVERA, G.; MAZZUTTI, S.; SÁNCHEZ-MARTÍNEZ, J. D.; CIFUENTES, A.; IBÁÑEZ, E.; FERREIRA, S. R. S. Neuroprotective potential of extracts from leaves of ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata*) recovered by clean compressed fluids. *J. Supercrit. Fluids* 2022, 179, 105390

TRENNEPOHL, B. I. *Caracterização físico-química, atividade antioxidante e atividades biológicas da espécie Pereskia aculeata Mill.* 2016. Dissertação (Mestrado em Alimentação e Nutrição), Setor de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

VAN DER BRUGGEN, B. et al. A review of pressure-driven membrane processes in wastewater treatment and drinking water production. *Environmental Progress*, v. 22, n. 1, p. 46-56, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ep.670220116>. Acesso em: 22 fev. 2025.

VIEIRA, C. R.; GRANCIERI, M.; MARTINO, H. S. D.; CÉSAR, D. E.; BARRA, R. R. S. A Beverage Containing Ora-pro-Nobis Flour Improves Intestinal Health, Weight, and Body Composition: A Double-Blind Randomized Prospective Study. *Nutrition* 2020, 78, 110869.

VON ARDENNE M. Das Elektronen-Rastermikroskop. Theoretische Grundlagen. *Z. Tech. Phys.* v. 109, 553-572, 1938.

WALLACE, R. S.; & GIBSON, A. C. 2002. Evolution and systematics, In: Nobel, P. S. (ed.). *Cacti: biology and uses*. University of California Press, Berkeley. Pp. 1-21.

WORKMAN, J. (2024). A Review of the Latest Research Applications Using FT-IR Spectroscopy. *Spectroscopy*, 22–28. <https://doi.org/10.56530/SPECTROSCOPY.AK9689M8>

XAVIER, G. B. S. The use of Ora-pró-nobis in nutrition: an integrative review. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 6, p. 45315-45327, 2022.

ZANDONÁ, G. P. et al. Extraction and concentration of ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata*) proteins using membrane processes. *Food Science and Technology*, v. 35, n. 4, p. 654-660, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6799>. Acesso em: 22 fev. 2025.

ZAPPI, D.; TAYLOR, N. P. *Cactaceae in Flora e Funga do Brasil*. *Jardim Botânico do Rio de Janeiro*. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB1636>. Acesso em: 27 fev. 2025