



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA
DE PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS



CARLA CRISTINA LISE

**MUCILAGEM DA ORA-PRO-NÓBIS (*Pereskia aculeata* MILLER):
APLICAÇÃO EM EMULSIONADO CÁRNEO E AVALIAÇÃO DAS
PROPRIEDADES FUNCIONAIS MEDIANTE DIFERENTES
CONDIÇÕES DE SECAGEM**

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2021

CARLA CRISTINA LISE

**MUCILAGEM DA ORA-PRO-NÓBIS (*Pereskia aculeata* MILLER):
APLICAÇÃO EM EMULSIONADO CÁRNEO E AVALIAÇÃO DAS
PROPRIEDADES FUNCIONAIS MEDIANTE DIFERENTES
CONDIÇÕES DE SECAGEM**

. Mucilage of Ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller): application in emulsified meat and evaluation of functional properties under different drying conditions

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Dr^a. Marina Leite Mitterer Daltoé.

Coorientadora: Dr^a. Gracielle Johann

PATO BRANCO

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Atribuição – Uso Não Comercial (CC BY-NC) - Permite que outros remixem, adaptem e criem obras derivadas sobre a obra licenciada, sendo vedado o uso com fins comerciais. As novas obras devem conter menção ao autor nos créditos e também não podem ser usadas com fins comerciais. Porém as obras derivadas não precisam ser licenciadas sob os mesmos termos desta licença.



CARLA CRISTINA LISE

MUCILAGEM DA ORA-PRO-NÓBIS (PERESKIA ACULEATA MILLER): APLICAÇÃO EM EMULSIONADO CÁRNEO E AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS MEDIANTE DIFERENTES CONDIÇÕES DE SECAGEM

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestra Em Tecnologia De Processos Químicos E Bioquímicos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Tecnologia De Processos Químicos E Bioquímicos.

Data de aprovação: 30 de Agosto de 2021

Prof.a Marina Leite Mitterer Daltoe, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Camila Nicola Boeri Di Domenico, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Gracielle Johann, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Juliana Machado Latorres, Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande (Furg)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 18/10/2021.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais José Lise e Leunice Folle Lise pela ajuda, carinho e apoio durante a jornada acadêmica.

Às minhas irmãs Carine Lise e Clarice Lise pelo carinho de sempre e por me apoiarem nos momentos difíceis.

À minha nona Lidia Zanini Lise, por sempre me apoiar e incentivar a nunca desistir.

À minha orientadora professora Marina Leite Mitterer Daltoé, por toda dedicação, apoio, paciência, correções, atenção e confiança durante esses anos. Sempre serei grata.

À minha coorientadora, professora Gracielle Johann pela ajuda, paciência, atenção, ensinamentos, correções e tempo dedicado.

Aos amigos Anne Raquel Sotiles, Rafael Sari e Eduardo Tel, pela disponibilidade, apoio e amizade.

Aos amigos Elizabeth Mânica Monegat, Suelen dos Santos, Michelli Muller, Camilo Fabris e Jéssica Santos por todo apoio e amizade.

À UTFPR – Câmpus Pato Branco pela concessão do espaço e equipamentos necessários à realização das análises.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES). O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Por fim, agradeço a todos aqueles que de alguma forma contribuíram na realização desse trabalho.

RESUMO

LISE, Carla Cristina. **Mucilagem da Ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller): aplicação em emulsionado cárneo e avaliação das propriedades funcionais mediante diferentes condições de secagem**. 2021. 89f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2021.

A *Pereskia aculeata* Miller, popularmente conhecida como ora-pro-nóbis (OPN), é uma planta resistente, de fácil adaptação e produção. Possui em suas folhas conteúdo mucilaginoso caracterizado por elevados teores de proteína, o que favorece sua aplicação como agente emulsificante em derivados cárneos. Entretanto, no que diz respeito à aplicação industrial, os processos envolvidos na sua obtenção precisam ser mais bem explorados. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivos i) investigar o potencial de emulsificação e aplicação da mucilagem liofilizada na elaboração de mortadela, visando à substituição da pele de frango; ii) avaliar os efeitos do uso de etanol e do processo de secagem nas propriedades funcionais da mucilagem de OPN. Para o primeiro objetivo, realizou-se a caracterização da mucilagem quanto ao perfil aminoacídico, capacidade e estabilidade emulsificante. Quatro diferentes formulações foram elaboradas: Padrão (com pele de frango e sem mucilagem), F1 (sem pele e sem mucilagem), F2 (sem pele e adição de 0,05% de mucilagem) e F3 (sem pele e adição de 0,10% de mucilagem). Foram realizados testes de estabilidade da emulsão cárnea, composição química, cor, textura instrumental, teste sensorial de comparação múltipla e índice de aceitação. Quanto ao segundo objetivo, obteve-se a cinética de secagem em estufa para as temperaturas de 30, 45 e 60° C, e realizou-se a adequação de modelos matemáticos aos dados experimentais. A mucilagem obtida em estufa e por liofilização foram avaliadas quanto a capacidade emulsificante, estabilidade da emulsão, capacidade de retenção de água e óleo, capacidade e estabilidade espumante, solubilidade, pH e teor de proteínas. Os resultados revelaram que a mucilagem de OPN apresentou potencial emulsificante e estabilizante, além de excelente perfil de aminoácidos, apresentando todos os essenciais. Aumento ($p \leq 0,05$) no teor de umidade, redução ($p \leq 0,05$) no teor de lipídios e valor calórico foram registrados com a substituição da pele de frango pela mucilagem. A estabilidade da emulsão cárnea foi superior ($p \leq 0,05$) na formulação com maior teor de mucilagem (0,10%), bem como os parâmetros de textura instrumental resiliência e elasticidade. A contribuição da adição da mucilagem nos parâmetros de textura instrumental foi confirmada pelos resultados da comparação múltipla. A formulação com adição de 0,05% de mucilagem OPN apresentou emulsão estável, teor reduzido de gordura, alto teor de umidade, alta firmeza, cor adequada e, principalmente, aceitação no mercado com índice de aceitação de 74,7%. O modelo de Page foi o que melhor representou a cinética de secagem para as três temperaturas. O emprego de etanol na obtenção da mucilagem apresentou efeito negativo no teor proteico e na capacidade e estabilidade da emulsão. Quanto aos estudos relacionados à secagem, efeito significativo da temperatura e modo de secagem foi verificado nas propriedades funcionais, no pH e no teor de proteínas da mucilagem. A mucilagem liofilizada de OPN apresentou os melhores resultados de capacidade e estabilidade emulsificante, boa capacidade de retenção de água e

óleo, assim como elevada capacidade e estabilidade espumante, comprovando elevado potencial de aplicação.

Palavras chave: desidratação; proteína vegetal; capacidade emulsificante; capacidade espumante.

ABSTRACT

LISE, Carla Cristina. **Mucilage of Ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller): application in emulsified meat and evaluation of functional properties under different drying conditions.** 2021. 89p. Dissertation (Masters in Chemical and Biochemical Process Technology) – The Federal University of Technology – Paraná, Pato Branco, PR, 2021.

Pereskia aculeata Miller, popularly known as Ora-pro-nóbis (OPN), is a resistant plant, easy to adapt and produce. Its leaves have mucilaginous content characterized by high levels of protein, which favors its application as an emulsifying agent in meat derivatives. However, with regard to industrial application, the processes involved in obtaining it need to be better explored. In this sense, the present work had as objectives i) to investigate the potential of emulsification and application of the lyophilized mucilage in the elaboration of mortadella, aiming at the replacement of the chicken skin; ii) evaluate the effects of the use of ethanol and the drying process on the functional properties of OPN mucilage. For the first objective, the characterization of the mucilage regarding the amino acid profile, emulsifying capacity and stability was accomplished. Four different formulations were elaborated: Standard (with chicken skin and without mucilage), F1 (without skin and without mucilage), F2 (without skin and addition of 0.05% mucilage) and F3 (without skin and addition of 0.1% mucilage). Meat emulsion stability tests, chemical composition, color, instrumental texture, multiple comparison sensory test and acceptance index were carried out. As for the second objective, the kinematics of drying in an oven were obtained for temperatures of 30, 45 and 60°C, and the adequacy of mathematical models to the experimental data was carried out. The mucilage obtained in an oven and by lyophilization were evaluated for emulsifying capacity, emulsion stability, water and oil retention capacity, foaming capacity and stability, solubility, pH and protein content. The results revealed that the OPN mucilage had emulsifying and stabilizing potential, in addition to an excellent amino acid profile, presenting all the essentials. Increases ($p \leq 0.05$) in moisture content, reduction ($p \leq 0.05$) in lipid content and caloric value were recorded with the replacement of chicken skin by mucilage. The stability of the meat emulsion was higher ($p \leq 0.05$) in the formulation with the highest mucilage content (0.1%), as well as the instrumental texture parameters, resilience and elasticity. The contribution of mucilage addition to the instrumental texture parameters was confirmed by the multiple comparison results. The formulation with the addition of 0.05% of OPN mucilage showed stable emulsion, reduced fat content, high moisture content, high firmness, adequate color and acceptance rate of 74.7%. Page's model best represented the drying kinetics for the three temperatures. The use of ethanol to obtain the mucilage had a negative effect on the protein content and on the capacity and stability of the emulsion. As for studies related to drying, a significant effect of temperature and mode of drying was verified on the functional properties, pH and protein content of the mucilage. The lyophilized OPN mucilage showed the best results in terms of emulsifying capacity and stability, good water and oil retention capacity, as well as high foaming capacity and stability, proving high application potential.

Keywords: dehydration; vegetable protein; emulsifying capacity; foaming capacity.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo geral	15
2.2 Objetivos específicos	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 Reduções de gordura na indústria cárnea.....	17
3.2 <i>Pereskia aculeata</i> Miller (Ora-pro-nóbis).....	18
3.3 Secagem	21
4 MATERIAL E MÉTODOS	24
4.1 PROTEÍNA ALTERNATIVA DA MUCILAGEM DAS FOLHAS DA <i>Pereskia Aculeata</i> Miller: POTENCIAL TECNOLÓGICO COMO UM EMULSIFICANTE E SUBSTITUTO DE GORDURA EM MORTADELA.....	24
4.1.1 Obtenção da mucilagem.....	24
4.1.2 Avaliação da capacidade emulsificante (CE) da mucilagem OPN	25
4.1.3 Estabilidade da emulsão da mucilagem OPN	25
4.1.4 Caracterização do perfil de aminoácidos da mucilagem	26
4.1.5 Elaboração do produto cárneo embutido: mortadela.....	26
4.1.6 Avaliação físico- química e cor da mortadela	27
4.1.7 Estabilidade da emulsão de mortadela	28
4.1.8 Perfil de textura instrumental.....	28
4.1.9 Avaliação sensorial	29
4.1.9.1 Teste de comparação múltipla para discriminação de firmeza	29
4.1.9.2 Teste hedônico.....	30
4.1.10 Análise estatísticas de dados	30
4.2 OBTENÇÃO DA MUCILAGEM DA <i>Pereskia Aculeata</i> Miller POR SECAGEM EM ESTUFA E LIOFILIZAÇÃO: AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS E EFEITO DA UTILIZAÇÃO DE ETANOL	30
4.2.1 Extração e obtenção da mucilagem	31
4.2.2 Obtenção da mucilagem por diferentes processos	31
4.2.3 Cinética de Secagem	33
4.2.3.1 Experimentos de secagem.....	33
4.2.3.2 Umidade das amostras.....	33

4.2.3.3 Adequação dos modelos matemáticos aos dados experimentais	34
4.2.3.4 Cálculo do coeficiente de difusão efetivo	35
4.2.3.5 Cálculo do consumo energético	35
4.2.4 CARACTERIZAÇÃO DA MUCILAGEM DE OPN LIOFILIZADA COM E SEM PRECIPITAÇÃO DE ETANOL	35
4.2.4.1 Capacidade emulsificante (CE) da mucilagem	35
4.2.4.2 Estabilidade da emulsão da mucilagem	36
4.2.4.3 Teor proteico	36
4.2.5 CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS DA MUCILAGEM DE OPN SECA EM ESTUFA E LIOFILIZADA SEM ETANOL.....	36
4.2.5.1 Capacidade emulsificante, estabilidade da emulsão e teor de proteínas	36
4.2.5.2 Solubilidade.....	37
4.2.5.3 Capacidade de retenção de água e óleo.....	37
4.2.5.4 Capacidade de formação de espuma e estabilidade de espuma	37
4.2.5.5 Determinação do pH.....	38
4.2.5.6 Rendimento da mucilagem.....	39
4.2.5.7 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	39
4.2.5.8 Análise estatística dos dados	39
5 RESULTADOS.....	40
5.1 PROTEÍNA ALTERNATIVA DA MUCILAGEM DAS FOLHAS DA <i>Pereskia</i> <i>Aculeata</i> Miller: POTENCIAL TECNOLÓGICO COMO UM EMULSIFICANTE E SUBSTITUTO DE GORDURA EM MORTADELA.....	40
5.1.1 Obtenção da mucilagem.....	40
5.1.2 Capacidade de emulsificação e estabilidade de emulsão de OPN mucilagem	41
5.1.3 Perfil de aminoácidos da mucilagem OPN	42
5.1.4 Caracterização da composição da mortadela com mucilagem OPN.....	44
5.1.5 Estabilidade de emulsão (%).....	45
5.1.6 Análise do perfil de textura instrumental e da coloração das mortadelas elaboradas.....	47
5.1.6.1 Textura instrumental.....	47
5.1.6.2 Influência da mucilagem OPN nos parâmetros de cor da mortadela	48
5.1.7 Avaliação sensorial	49
5.1.7.1 Teste de comparação múltipla	49
5.1.7.2 Avaliação hedônica	50

5.1.8 Comparação de aspectos multidimensionais de formulações de mortadela	51
5.2 OBTENÇÃO DA MUCILAGEM DA <i>Pereskia Aculeata</i> Miller POR SECAGEM EM ESTUFA E LIOFILIZAÇÃO: AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS E EFEITO DA UTILIZAÇÃO DE ETANOL	54
5.2.1 Cinética de Secagem	54
5.2.2 Avaliação do efeito do etanol na capacidade emulsificante, estabilidade da emulsão e teor proteico nas amostras liofilizadas	61
5.2.3 Avaliação das propriedades funcionais da mucilagem seca em estufa e liofilizada.....	63
5.2.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) da mucilagem de OPN	71
5.2.5 Discriminação dos processos de secagem da mucilagem	73
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
7 REFERÊNCIAS.....	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Planta <i>Pereskia aculeata</i> Miller (Ora-pro-nóbis).....	19
Figura 2 – Metodologia realizada	24
Figura 3 – Formulações elaboradas.....	27
Figura 4 – Metodologia realizada	31
Figura 5 – Processos de obtenção da mucilagem de OPN.....	32
Figura 6- Imagem da mucilagem OPN obtida: A) logo após centrifugação nos tubos, B) a diferença na coloração dos extratos antes e após centrifugação e C) mucilagem de OPN liofilizada.....	41
Figura 7- Gráfico da estabilidade da emulsão de mortadela das diferentes.....	46
Figura 8 – Gráfico da aceitação das formulações de mortadela. . Letras iguais não apresentam diferença significativa, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).....	50
Figura 9 – Mortadelas elaboradas: Controle - com pele de frango, sem mucilagem do OPN; F1 - sem pele de frango e sem mucilagem de OPN; F2 - sem pele de frango e com 0,05% de mucilagem de OPN e F3 - sem pele de frango e com 0,1% de mucilagem.....	51
Figura 10- Análise de Componentes Principais A) formulações e B) qualidades físico-químicas, de textura e de firmeza, nas duas primeiras dimensões.	52
Figura 11 – Umidade adimensional em função do tempo, dados observados e estimados pelo modelo de Page nas temperaturas de 30, 45 e 60 °C.....	57
Figura 12 – Taxa de secagem da mucilagem de OPN: a) 30 °C; b) 45 °C e c) 60 °C	59
Figura 13 – Micrografias da mucilagem seca nas temperaturas de 30, 45 e 60 °C na ampliação de 500x	60
Figura 14 – Consumo energético	61
Figura 15- Micrografias da mucilagem de OPN.....	72
Figura 16 – Funções da análise discriminante canônica	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Formulações das mortadelas (% relativa ao peso final da mortadela)	27
Tabela 2– Modelos empregados para representação do processo de secagem da mucilagem de Ora-pro-nóbis.....	34
Tabela 3 – Perfil aminoacídico da mucilagem OPN relacionado em essenciais e não essenciais.....	43
Tabela 4 – Caracterização físico-química das mortadelas.....	44
Tabela 5 – Parâmetros de textura instrumental, cor e diferença total de cor (ΔE) das formulações de mortadela.....	47
Tabela 6 – Comparação múltipla.....	49
Tabela 7 – Parâmetros estatísticos de ajuste dos modelos aos dados experimentais da cinética de secagem.....	55
Tabela 8 – Parâmetros de ajuste dos modelos aos dados da cinética de secagem.....	56
Tabela 9 – Coeficiente de difusão efetivo da mucilagem de OPN.....	58
Tabela 10 – Valores de proteína, capacidade e estabilidade da emulsão da mucilagem de OPN com e sem etanol.....	62
Tabela 11– Valores de proteína, pH, rendimento e propriedades funcionais da.....	64
Tabela 12 – Análise de variância multivariada (MANOVA) da estabilidade espumante.....	69
Tabela 13 – Estabilidade espumante da mucilagem de OPN.....	70
Tabela 14 – Funções obtidas pela análise canônica.....	73

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o número de pessoas obesas, com doenças cardiovasculares, diabetes e hipertensão tem aumentado significativamente. A alimentação inadequada bem como a falta de exercícios físicos têm se mostrado fatores determinantes para que isso ocorra. A oferta de alimentos menos calóricos surge como importante estratégia ao incentivo do consumo de alimentos saudáveis e consequente redução dos problemas de saúde.

Alternativa interessante no combate dessas doenças é a redução de gordura em alimentos. No entanto, reduzir gordura pode não ser tarefa tão simples, uma vez que a gordura desempenha papel fundamental na elaboração de produtos alimentícios, principalmente em derivados cárneos, afetando atributos físicos e sensoriais. Desta forma, estudar aditivos alternativos com potencial de substituição de gordura se faz muito importante, e dentro deste contexto, a utilização de hidrocolóides tem se mostrado tática promissora.

A *Pereskia aculeata* Miller, popularmente conhecida como ora-pro-nóbis (OPN) é uma planta alimentícia não convencional (PANC), que apresenta em sua composição química elevados teores de proteína, assim como grande quantidade de mucilagem em suas folhas e caules. Sua mucilagem é um polissacarídeo composto pelo biopolímero arabinogalactano (OLIVEIRA et al., 2019; MERCÊ et al., 2001), que se caracteriza por possuir teor proteico significativo, o que confere potencial emulsificante (LISE et al., 2021). Como resultado, pode ser usada como ingrediente alternativo para substituir os emulsificantes de altos teores calóricos atualmente aplicados na indústria de alimentos.

Entretanto para que possa ser amplamente utilizada na condição de ingrediente pelas indústrias, o estudo sobre o seu processamento e consequente potencialidade funcional também passa a ter grande importância. Técnicas como secagem e precipitação com etanol são comumente utilizadas para obtenção das mucilagens, no entanto, o uso de temperaturas elevadas e de solventes é apontado como causadores de desnaturação proteica, afetando a qualidade funcional da proteína.

A secagem é um dos métodos mais antigos utilizados na conservação de alimentos (İZLI et al., 2014), uma vez que a remoção de água proporciona uma

mínima deterioração microbiana, assim como reduz outras reações de deterioração que afetam a qualidade dos alimentos aumentando sua vida útil (AKPINAR, BICER; 2005), além de reduzir custos de transporte, armazenamento e embalagem (INYANG; OBOH; ETUK, 2017).

A secagem com ar quente além de oferecer praticidade é considerada um dos métodos mais populares, de fácil acesso e operação que necessitam de investimento inicial baixo. No entanto, alguns fatores devem ser levados em consideração na utilização desses secadores, pois podem provocar alterações de pigmentos naturais, degradação de nutrientes e danos estruturais nos alimentos (NDISYA et al., 2020).

Outro método utilizado na remoção de água de alimentos é a liofilização, um processo de desidratação por sublimação de um produto congelado, onde o estado sólido da água protege a estrutura primária e a forma dos produtos, provocando reduções mínimas de volume. Devido ausência de água líquida e por utilizar baixas temperaturas, a maioria das deteriorações e reações microbiológicas são interrompidas resultando em um produto final de excelente qualidade. Apesar das vantagens, a liofilização sempre foi reconhecida como o processo de elevado custo e de acesso restringido para a fabricação de um produto desidratado (RATTI, 2001).

Dito isso, o presente trabalho tem como objetivos i) avaliar o potencial tecnológico da mucilagem das folhas da OPN, aplicando-a a um produto cárneo emulsionado, do tipo mortadela em substituição de pele de frango; ii) avaliar os efeitos do uso de etanol e do processo de secagem nas propriedades funcionais da mucilagem de OPN.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivos avaliar o potencial tecnológico da mucilagem das folhas da OPN, aplicando-a a um produto cárneo emulsionado, do tipo mortadela em substituição de pele de frango; e avaliar o efeito provocado nas propriedades funcionais da mucilagem pelo uso de etanol e pela secagem, tendo em vista a obtenção da mucilagem para uso como um ingrediente emulsificante industrial.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ PROTEÍNA ALTERNATIVA DA MUCILAGEM DAS FOLHAS DA *Pereskia Aculeata* Miller: POTENCIAL TECNOLÓGICO COMO UM EMULSIFICANTE E SUBSTITUTO DE GORDURA EM MORTADELA
- Extrair e obter a mucilagem de ora-pro-nóbis (OPN) liofilizada;
- Avaliar a capacidade emulsificante, estabilidade da emulsão, teor proteico e o perfil aminoacídico da mucilagem de OPN;
- Aplicar a mucilagem em produto cárneo emulsionado tipo mortadela, em substituição de pele de frango com gordura;
- Caracterizar o produto elaborado quanto às propriedades físico-químicas, estabilidade da emulsão, perfil de textura instrumental, coloração e avaliação sensorial.
- ✓ OBTENÇÃO DA MUCILAGEM DA *Pereskia Aculeata* Miller POR SECAGEM EM ESTUFA E LIOFILIZAÇÃO: AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS E EFEITO DA UTILIZAÇÃO DE ETANOL

- Obter amostras secas em estufa com circulação de ar (30, 45 e 60 °C) e também por liofilização;
- Obter a cinética experimental de secagem da mucilagem sob diferentes temperaturas (30, 45, 60 °C);
- Avaliar o ajuste de modelos matemáticos semi empíricos aos dados experimentais de cinética de secagem em estufa;
- Avaliar o efeito na capacidade emulsificante, estabilidade da emulsão e teor proteico da mucilagem precipitada com etanol em comparação com amostra extraída somente com água, desidratadas por liofilização;
- Avaliar teor proteico, pH, rendimento e as propriedades funcionais da proteína na mucilagem seca e liofilizada, em termos de: capacidade emulsificante, estabilidade da emulsão, solubilidade, capacidade de formação de espuma, estabilidade espumante e retenção de água e óleo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Reduções de gordura na indústria cárnea

A incidência de pessoas portadoras de doenças não transmissíveis vem crescendo mundialmente, sendo que esses números são maiores em países subdesenvolvidos (ENGELGAU et al.,2018). Doenças relacionadas ao coração, obesidade, hipertensão, diabetes e até mesmo câncer, estão diretamente ligadas à uma alimentação com excessos de gordura e falta de exercícios físicos. A redução de gordura é uma alternativa para melhorar a qualidade da alimentação, reduzindo o valor calórico dos alimentos.

Porém, na substituição de gordura em produtos alimentícios, destacando-se os cárneos, alguns fatores devem ser levados em consideração. Mesmo sendo um ingrediente de formulação com elevado teor calórico, a gordura desempenha importante papel na elaboração desses derivados. Atributos sensoriais como suculência, maciez e sabor são diretamente influenciados pela utilização de gordura (SCHMIELE et al., 2015; SAENGPOL; PIRAK, 2018), assim como, propriedades físicas e químicas da gordura são de grande significância na indústria de carnes, desempenhando papel fundamental na emulsificação. Mesmo que a substituição de gordura seja uma tarefa complexa, estudos vêm sendo realizados para desenvolver produtos à base de carne com conteúdo de gordura reduzido.

Em estudo desenvolvido por Yang et al., (2007), os autores tinham como objetivo avaliar os efeitos de diferentes adições de aveia hidratada e tofu como agentes modificadores de textura (nas quantidades de 10%, 15% e 25%) na preparação de embutidos tipo salsicha, com baixos teores de gordura e determinar quais níveis de adição produziram a maior aceitabilidade do consumidor. As salsichas com baixos teores de gordura, adicionadas de aveia hidratada ou de tofu, com base em avaliações sensoriais, apresentaram bons resultados de sabor e textura quando comparadas com a salsicha controle sem adições. A maior aceitabilidade foi alcançada quando a adição da aveia hidratada ou de tofu foi de 15%. Os autores verificaram também que nas adições de 25% foi obtido um produto

com menos perda na cocção e uma textura mais macia, confirmando a eficácia na substituição de gordura.

Mora-Gallego et al. (2014) avaliaram o efeito da redução de gordura de porco sendo esta parcialmente substituída por óleo de girassol em salsichas fermentadas, com reduzido teor de sódio. Ao longo do tempo de armazenamento, os autores relataram que o óleo de girassol (3%) foi adequado na substituição de gordura em salsichas, conferindo propriedades sensoriais desejáveis semelhantes às salsichas com teor de gordura padrão, e que a qualidade sensorial das salsichas foi mantida após três meses de armazenamento em atmosfera modificada a 3 °C.

Alternativa interessante também é a utilização de hidrocolóides extraídos de plantas na substituição de gordura em derivados cárneos. As mucilagens possuem grande quantidade de hidrocolóides, quimicamente chamados de polissacarídeos e popularmente conhecidas como gomas, podendo ser utilizados na formulação de alimentos como substitutos/ redutores de gordura, pois possuem propriedades espessantes, geleificantes, emulsificantes e estabilizantes, características importantes na elaboração de cárneos (LIMA JUNIOR et al., 2013; HOSSEINI-PARVAR et al., 2010; KARAZHIYAN; RAZAVI; PHILLIPS, 2011).

Saengphol e Pirak (2018) substituíram gordura de porco por mucilagem do manjeriço em produtos à base de carne de frango. Os autores verificaram que a mucilagem pode ser usada como substituto de gordura de porco em até 80% sem qualquer alteração da percepção sensorial do modelo padrão com 100% de gordura.

Segundo Lima Junior et al. (2013), no Brasil, os hidrocolóides utilizados em aplicações alimentares são geralmente produtos importados, e, embora existam plantas nativas que apresentam alto potencial para produção de hidrocolóides, seus usos comerciais e industriais não foram totalmente explorados. Desta forma, estudar a aplicação e eficiência dessas mucilagens se faz necessário e é de grande relevância.

3.2 *Pereskia aculeata* Miller (Ora-pro-nóbis)

A *Pereskia aculeata* Miller conhecida popularmente como ora-pro-nóbis, que no latim significa rogai por nós, é uma planta alimentícia não convencional (PANC),

trepadeira, folhosa e espinhosa (Figura 1) da família Cactaceae, que se caracteriza por ser uma planta de fácil cultivo e produção, além de possuir facilidade de adaptação em diferentes climas e solos. No Brasil, a ora-pro-nóbis é cultivada da Bahia até o Rio Grande do Sul (TOFANELLI; RESENDE, 2011).

Planta famosa por sua rica composição, possui elevados teores de minerais (cálcio, magnésio, manganês, zinco e ferro) e vitaminas (A, C e ácido fólico), (TAKEITI et al., 2009; CREMASCO et al., 2016; SATO et al.; 2018), além de excelente perfil proteico (base seca) variando entre 14,38% e 27,79% (SOUZA , 2014; GONÇALVES et al., 2014; CREMASCO et al., 2016), o que a torna uma alternativa na alimentação, podendo ser consumida *in natura* em saladas ou na elaboração de diversos pratos (ROCHA et al., 2008). Suas folhas carnosas e suculentas podem ser utilizadas para enriquecer pães, bolos, biscoitos, tortas e massas em geral (DA SILVA et al., 2010).



**Figura 1 – Planta *Pereskia aculeata* Miller (Ora-pro-nóbis)
Fonte: Autoria própria (2019).**

A ora-pro-nóbis possui em suas folhas altos teores de aminoácidos. Takeiti et al. (2009) estudou o perfil aminoacídico das folhas da ora-pro-nóbis e dentre os aminoácidos não essenciais, o ácido glutâmico apresentou o maior teor (2,67 g/100 g de peso seco), equivalendo a 9,9% do conteúdo total de aminoácidos. Quando analisado os aminoácidos essenciais o mais abundante foi o triptofano (5,52 g/100 g

de matéria seca), contribuindo com 20,46% em relação ao conteúdo total de aminoácidos. Teores de arginina (1,44 g/100 g), histidina (0,59 g/100 g), isoleucina (1,07 g/100 g), leucina (2,00 g/100 g), lisina (1,43 g/100 g), metionina (0,23 g/100 g), fenilalanina (1,27 g/100 g), treonina (1,00 g/100 g) e valina (1,23 g/100 g) também foram relatados, sendo os valores obtidos semelhantes aos resultados de Almeida-Filho e Cambraia (1974) e Albuquerque et al. (1991).

Além do alto valor nutricional, a ora-pro-nóbis é considerada uma planta medicinal, que pode ser utilizada em tratamentos de anemia, câncer e osteoporose, bem como na cicatrização e na constipação intestinal (ALMEIDA; CORRÊA, 2012) devido ao elevado teor de fibras que possui. Ainda, no que se referem aos seus frutos, estes podem ser utilizados como expectorantes (SARTOR et al., 2010). Os produtos originados dessa planta atuam como alimentos funcionais que auxiliam na suplementação alimentar, combatendo a desnutrição e podendo também ser utilizados como fitocosméticos, antioxidantes e anti-inflamatórios (SANTOS; SANTOS; MARISCO, 2018).

Outra característica interessante dessa planta é a grande quantidade de mucilagem presente em suas folhas e caule. A mucilagem da ora-pro-nóbis é um polissacarídeo composto pelo biopolímero arabinogalactano (OLIVEIRA et al., 2019; MERCÊ et al., 2001).

A mucilagem é definida como uma substância gelatinosa ou um tipo de hidrocolóide composto principalmente por polissacarídeos e proteínas que apresentam forte interação com água (LAI; LIANG, 2012; ZENG; LAI, 2016), podendo ser extraída de diferentes fontes, incluindo sementes e plantas. As mucilagens podem ser aplicadas na indústria de alimentos com diferentes finalidades como espessantes, gelificantes, estabilizantes, modificadores de textura (KOOCHKEKI et al., 2009), emulsificantes, agentes clarificantes e substitutos de gordura (ALPEZER- REYES et al., 2017).

A mucilagem da ora-pro-nóbis vem se tornando cada vez mais alvo de estudos devido à sua rica composição química, apresentando elevados teores de proteína. Devido ao elevado valor nutricional e funcionalidade, as proteínas possuem lugar de destaque na indústria alimentícia (BELICIU; MORARU, 2013). A utilização de proteínas vegetais na aplicação de alimentos depende das suas propriedades funcionais (RODSAMRAN; SOTHORNVIT, 2018) tais como capacidade de retenção de água e óleo, capacidade emulsificante, capacidade de formação de espuma,

gelificação e solubilidade, pois são muito importantes no processamento de alimentos e na formulação de produtos (WU et al., 2009), assim como, no armazenamento.

A obtenção de hidrocolóides de origem vegetal geralmente se inicia na extração, comumente realizada com água, soluções ácidas ou alcalinas (LAI; LIANG, 2012). Desta forma, após sua extração se faz necessário à remoção do solvente utilizado por métodos de secagem para posteriormente realizar sua aplicação.

3.3 Secagem

A secagem é definida como um processo de remoção de umidade devido à transferência de calor e massa (ERTEKIN; YALDIZ, 2004) abaixo do ponto de ebulição da água. Ela é considerada um dos métodos mais antigos e comuns utilizado na preservação de alimentos, em que a remoção de água reduz reações de deterioração causadas pela umidade que afetam a qualidade final do alimento (KARAM et al., 2016), uma vez que, com baixos valores de umidade e atividade de água, tem-se maior estabilidade de armazenamento (HORUZ et al., 2018).

Em processos de secagem as condições utilizadas influenciam fortemente a qualidade dos atributos nutricionais, físicos, sensoriais e funcionais, além de serem fatores significativos nas reações de oxidação, descoloração, e encolhimento de um produto a ser seco (GÜMÜŞAY et al., 2015; KARAM et al., 2016). Desta forma, avaliar as condições como: umidade relativa do ar, temperatura e velocidade do ar, uso de equipamentos e tempo de secagem é de extrema importância no processo, uma vez que a intensidade de remoção de água é diretamente influenciada por esses parâmetros (OZDEMIR et al., 2018; STRUMILLO; KUDRA, 1986).

Além disso, diferentes técnicas podem ser utilizadas no processo de secagem, como a secagem ao sol, secagem ao ar quente, secagem osmótica, secagem por infravermelho, secagem em forno, secagem por pulverização, secagem por tambor, secagem por microondas, liofilização, secagem a vácuo (SINGH; KATIYAR; SINGH, 2014; INYANG; OBOH; ETUK, 2017), entre outras. A

escolha correta da técnica a ser utilizada é fundamental e dependem da complexidade, estrutura e geometria do material.

Modelos matemáticos são utilizados no controle dos processos de secagem. A modelagem matemática é definida como um conjunto de equações que podem prever com precisão um processo (OGATA, 2003), possibilitando retratar mudanças e variações ocorridas na secagem, sendo ferramenta poderosa no entendimento dos mecanismos e fundamental para o controle de qualidade.

Por meio da cinética de secagem é possível estudar o comportamento do material durante o processo de secagem, dada pela transferência de água deste para o ar de secagem, sendo expressa pelas curvas e taxas de secagem, ou seja, gráficos que ilustram a variação de umidade obtida por meio de pesagens sucessivas, durante o tempo de permanência no equipamento (LUZ, 2006; CHIELLE, 2014), podendo ser descrito o comportamento das cinéticas de secagem realizando o ajuste aos modelos cinéticos empíricos (OLIVEIRA et al., 2014; NICOLIN et al., 2017; LUZ, 2006).

Comumente os processos científicos são representados por funções lineares, no entanto, o emprego de modelos não lineares se faz necessários na descrição de alguns processos mais complexos. Diferenças são observadas entre os modelos lineares e não lineares. Enquanto os lineares têm como objetivo obter um modelo que melhor explique a correlação dos dados, os não lineares almejam obter uma formulação teórica do processo a ser modelado (MAZUCHELI; ACHCAR, 2002). De acordo com a literatura no estudo da cinética de secagem de produtos agroindústrias comumente é empregado um modelo não linear (FARIA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2014; SILVA et al., 2008).

A cinética de secagem pode ser descrita por modelos matemáticos classificados como: teóricos, semiempíricos e empíricos. Os modelos empíricos baseiam-se em experimentação de dados, desconsiderando a resistência interna à transferência de calor e massa (FERNANDO; AMARASINGHE, 2016). Ressalta-se certa imprecisão no que se refere ao detalhamento dos processos de secagem, bem como o fato de que extinguem o significado físico de seus parâmetros (CORADI; MELO; ROCHA, 2014). Os modelos semiempíricos buscam apresentar relação entre teoria e prática, mas ainda falham no que se refere à complexidade do fenômeno. Os modelos semiempíricos fundamentam-se na Lei de Newton do resfriamento, aplicada à transferência de massa (ZANOELO; CELSO; KASKANTZIS, 2007).

Dentre os modelos existentes podem-se citar os modelos de Lewis, Page, Henderson e Pabis e Page Modificado, o modelo de Dois Termos e Midilli, amplamente utilizados em processos de secagem de produtos alimentícios (PANCHARIYA; POPOVIC; SHARMA, 2002; SIQUEIRA; RESENDE; CHAVES, 2013).

Desta forma, o estudo de secagem é de grande relevância quando se fala em alimentos e a escolha adequada dos parâmetros é de grande importância, possibilitando a obtenção de bons resultados com a modelagem matemática.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 PROTEÍNA ALTERNATIVA DA MUCILAGEM DAS FOLHAS DA *Pereskia Aculeata* Miller: POTENCIAL TECNOLÓGICO COMO UM EMULSIFICANTE E SUBSTITUTO DE GORDURA EM MORTADELA

Na Figura 2 é apresentada a metodologia seguida no desenvolvimento do projeto para o objetivo1.

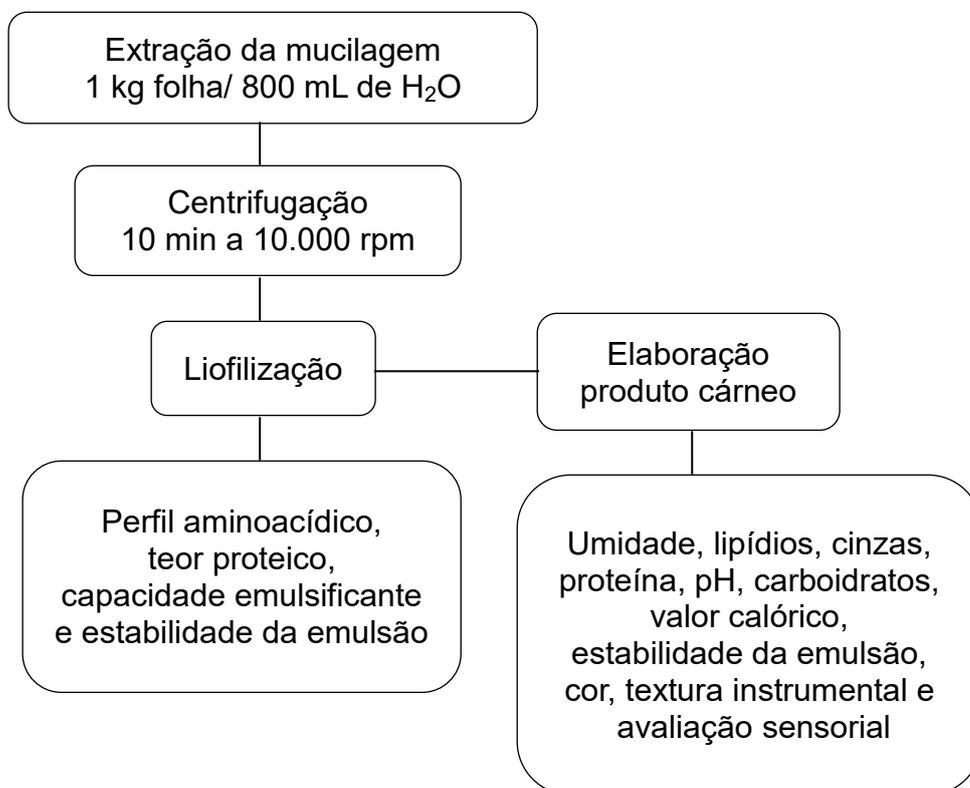


Figura 2 – Metodologia realizada
Fonte: Autoria própria (2021).

4.1.1 Obtenção da mucilagem

As folhas da planta ora-pro-nóbis foram colhidas em Pato Branco, sudoeste do estado do Paraná e registradas pela exsicata HPB 959, depositada no herbário da UTFPR – câmpus Pato Branco. A extração da mucilagem das folhas ocorreu em

um processo misto manual-mecânico. As folhas foram higienizadas, cortadas e posteriormente colocadas em pano maleável (malha: 0,3 mm). A mucilagem foi extraída com água, na proporção de 1:0,8 (folhas: água). O pano foi mergulhado em água e prensado em cilindro manual (usado para macarrão), realizando a extração da mucilagem. Para clarificação da mucilagem, esta foi centrifugada a 10.000 rpm por 10 min, a seguir foi congelada em ultra freezer e liofilizada para realização das análises.

4.1.2 Avaliação da capacidade emulsificante (CE) da mucilagem OPN

A capacidade emulsificante (CE) foi realizada de acordo com Garcia-Torchelsen; Jacob-Lopes e Queiroz (2011). Dispersões de mucilagem 0,5 g (p/ v) em 30 mL de NaCl 3,5% foram preparadas e o pH ajustado para 7,0 com soluções de NaOH (0,1 mol/ L). Em seguida, as misturas foram agitadas com adição de óleo de girassol até o rompimento da emulsão. Os resultados foram expressos em mL de óleo emulsionado por grama de proteína.

4.1.3 Estabilidade da emulsão da mucilagem OPN

A estabilidade da emulsão formada a partir da mucilagem OPN foi obtida de acordo com Lima Junior (2011). As emulsões foram mantidas por 30 min em temperatura ambiente e também em banho termostático a 80°C. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 2700 rpm (cerca de 400 g) por 10 min, e o volume final medido. A estabilidade da emulsão foi então calculada pela Equação 1.

$$Es (\%) = \frac{(\text{volume final de emulsão})}{(\text{volume total de fluido})} * 100 \quad (1)$$

4.1.4 Caracterização do perfil de aminoácidos da mucilagem

Para a caracterização do perfil de aminoácidos da mucilagem de OPN, foram utilizados 5 g de amostra liofilizada. As proteínas constituintes da mucilagem foram hidrolisadas com ácido clorídrico 6 mol/ L por 24 h. Os aminoácidos liberados na hidrólise ácida foram reagidos com Fenilisotilcianato (PITC), separados por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC) Shimadzu® de fase reversa, bomba LC-20AT, detector SPD20 U.V. a 254nm, amostrador automático SIL-10AF e coluna Phenomenex®, C18, 5 µm, 250 x 4,6 mm. A quantificação foi realizada por calibração interna multinível, tendo o ácido alfa-aminobutírico (AABA) como padrão interno (WHITE; HART; FRY, 1986). Os resultados foram expressos em g por 100 g de mucilagem OPN liofilizada.

4.1.5 Elaboração do produto cárneo embutido: mortadela

O preparo das mortadelas seguiu os processos operacionais descritos em ordem cronológica: Moagem da carne congelada em mini *cutter* (Britânia ©); adição de sal e metade do volume de água (cubos de gelo); adição do toucinho; incorporação dos demais ingredientes secos; adição do resto da água e amido; embutimento em tripa artificial; cozimento em banho-maria (começando com 60 °C terminando a 80 °C, até o centro atingir 73 °C) e terminando com refrigeração (7 ± 2 °C), (TERRA et al., 2009).

Quatro diferentes formulações de mortadelas (Figura 3) foram preparadas. Os ingredientes das formulações são apresentados na (Tabela 1).

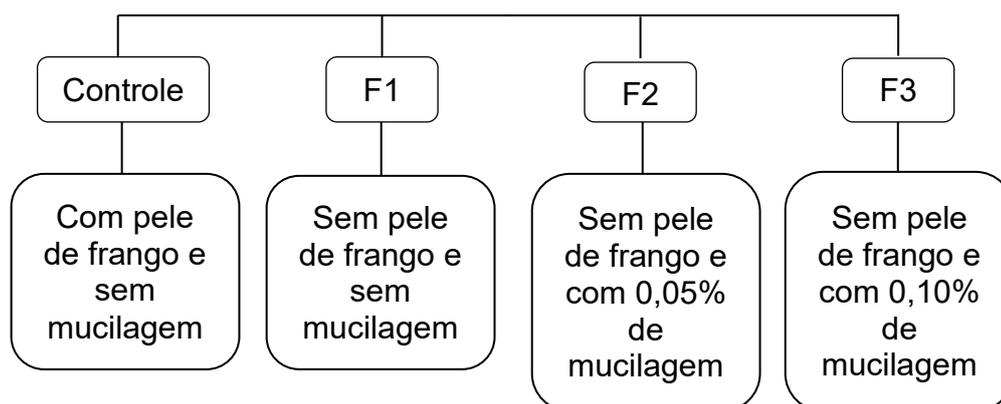


Figura 3 – Formulações elaboradas
Fonte: Autoria própria (2021).

Tabela 1 – Formulações das mortadelas (% relativa ao peso final da mortadela)

Ingredientes	Controle	F1	F2	F3
Carne de frango	61.189	70.133	70.133	70.133
Toucinho suíno	8.000	8.000	8.000	8.000
Fécula de mandioca	4.870	4.870	4.870	4.870
Água (gelo)	4.476	4.476	4.476	4.476
Proteína de soja	3.970	3.970	3.970	3.970
Pele de frango com gordura	8.944	-	-	-
Sal	2.600	2.600	2.600	2.600
Carne suína	2.968	2.968	2.968	2.968
Açúcar	0.990	0.990	0.990	0.990
Mix regulador de acidez	0.500	0.500	0.500	0.500
Aroma natural de fumaça	0.330	0.330	0.330	0.330
Condimento de mortadela	0.300	0.300	0.300	0.300
Mucilagem liofilizada OPN	-	-	0.050	0.100
Estabilizante tripolifosfato de sódio INS 451	0.300	0.300	0.300	0.300
Mix sal de cura	0.160	0.160	0.160	0.160
Intensificador de sabor glutamato monossódico	0.150	0.150	0.150	0.150
Alho desidratado	0.130	0.130	0.130	0.130
Antioxidante Eritorbato de sódio INS 316	0.050	0.050	0.050	0.050
Corante carmim cochonilha INS 120	0.073	0.073	0.073	0.073
TOTAL	100.00%			

A diferença na porcentagem de pele de frango com gordura foi substituída por carne. Os materiais usados aqui foram adquiridos no mercado local (Pato Branco, PR, Brasil).

4.1.6 Avaliação físico-química e cor da mortadela

A umidade, cinzas, proteína (Kjeldhal) e pH foram medidos de acordo com o método descrito por AOAC, (2005). O conteúdo lipídico foi quantificado de acordo

com Bligh & Dyer, (1959) e o conteúdo total de carboidratos foi estimado por diferença. O valor calórico foi calculado a partir das concentrações de proteínas, lipídios e carboidratos, considerando os seguintes fatores de conversão: 4,27 kcal / g para proteínas, 4,00 kcal/g como carboidratos e 9,02 kcal/g para lipídios (MERRILL; WATT, 1973).

A medição da cor foi realizada em espectrofotômetro (CR-400 Chroma Meter Minolta®). Os resultados foram baseados no sistema de cores L* a* b* onde L* é a luminosidade, (de 0 a 100), a* de -100 (verde) a +100 (vermelho) e b* de -100 (azul) a +100 (amarelo).

4.1.7 Estabilidade da emulsão de mortadela

A mortadela recém preparada foi imediatamente colocada em tubos de 15 mL e centrifugada a 3000 rpm por 10 min em temperatura ambiente (25 °C). A altura inicial da emulsão e a altura restante após a centrifugação foram medidas. A estabilidade da emulsão foi calculada com base na porcentagem de altura (TERRA et al., 2009) pela Equação 2.

$$Es (\%) = \frac{(\text{altura final})}{(\text{altura inicial})} * 100 \quad (2)$$

4.1.8 Perfil de textura instrumental

O perfil de textura (TPA) foi obtido usando um analisador de textura modelo TA-XT plus (Stable Micro Systems ©, UK). As amostras das formulações de mortadela foram cortadas em formatos cilíndricos de 1,5 cm de altura e 2,0 cm de diâmetro e mantidas sob refrigeração até o momento da análise. As condições utilizadas foram: ciclo de compressão dupla com compressão de 50% da altura original da amostra, tempo de 5 s entre os dois ciclos de compressão, uma força 25 kg a uma velocidade cruzada de 2 mm/s e uma sonda modelo P035 mm (ÁVILA et

al., 2014). Os parâmetros utilizados para avaliar o perfil de textura instrumental foram dureza, adesividade, resiliência, mastigabilidade, elasticidade, coesividade e gomosidade.

4.1.9 Avaliação sensorial

Testes de comparação múltipla e testes hedônicos foram aplicados para a comunidade acadêmica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco. Os participantes eram homens e mulheres, com idade entre 20 e 50 anos e receberam o termo de consentimento livre e esclarecido no início dos testes. O projeto foi avaliado e aprovado pelo Comitê de Ética (CEP) nº 88203118.5.0000.5547.

4.1.9.1 Teste de comparação múltipla para discriminação de firmeza

No teste de comparação múltipla, as diferenças foram avaliadas para um atributo específico, e o grau de diferença em relação a uma amostra controle (ISO, 2016). Os avaliadores deram suas percepções comparando uma amostra padrão e mais quatro amostras (Controle, F1, F2, F3), codificadas aleatoriamente com números de três dígitos. As amostras de mortadela foram cortadas em 1,5 cm³ e oferecidas aos avaliadores (MARQUES et al., 2020). Conhecendo a influência da adição de hidrocolóides na firmeza de produtos cárneos (SOUKOULIS; GAIANI; HOFFMANN, 2018) os avaliadores foram solicitados a avaliar cada amostra em relação ao padrão para o atributo de textura firmeza. Uma escala de 9 pontos foi usada na qual o grau de diferença foi medido, de 9- extremamente mais firme do que o padrão, e 1- extremamente menos firme do que o padrão.

4.1.9.2 Teste hedônico

Os testes hedônicos foram realizados com um total de 47 avaliadores. Quatro (4) amostras de mortadela foram entregues de forma monádica e foi solicitado que as provassem e identificassem a percepção hedônica através de uma escala de 9 pontos, onde 9- gostei muitíssimo e 1- desgostei muitíssimo.

4.2.10 Análise estatísticas de dados

Os dados da caracterização da mucilagem foram expressos como média \pm desvio padrão. Os dados da caracterização da mortadela foram avaliados quanto aos aspectos unidimensionais e multidimensionais. Os resultados físico-químicos, de textura e hedônicos foram avaliados sob o aspecto unidimensional por análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey para diferenças de médias. A taxa de aceitação foi calculada a partir da média obtida, com um valor máximo da escala (9) representando 100% (MITTERER-DALTOÉ et al., 2013). Nos dados de Comparação Múltipla, a análise MANOVA foi usada para comparar a média das amostras do teste com a média da amostra de controle, onde o teste de Dunnet foi aplicado.

Testes multidimensionais também foram aplicados a dados físico-químicos, textura e firmeza. A análise fatorial foi aplicada às variáveis físico-químicas não colineares com o intuito de selecionar variáveis com altas comunalidades. Depois, a PCA para as quatro amostras (F1, F2, F3 e controle) foi realizada na matriz de correlação das qualidades físico-químicas, de textura e firmeza, calculadas entre as amostras. Os dados foram analisados com Statistica® 12.7.

4.2 OBTENÇÃO DA MUCILAGEM DA *Pereskia Aculeata* Miller POR SECAGEM EM ESTUFA E LIOFILIZAÇÃO: AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS E EFEITO DA UTILIZAÇÃO DE ETANOL

Na Figura 4 é apresentada a metodologia seguida no desenvolvimento do projeto para o objetivo 2.

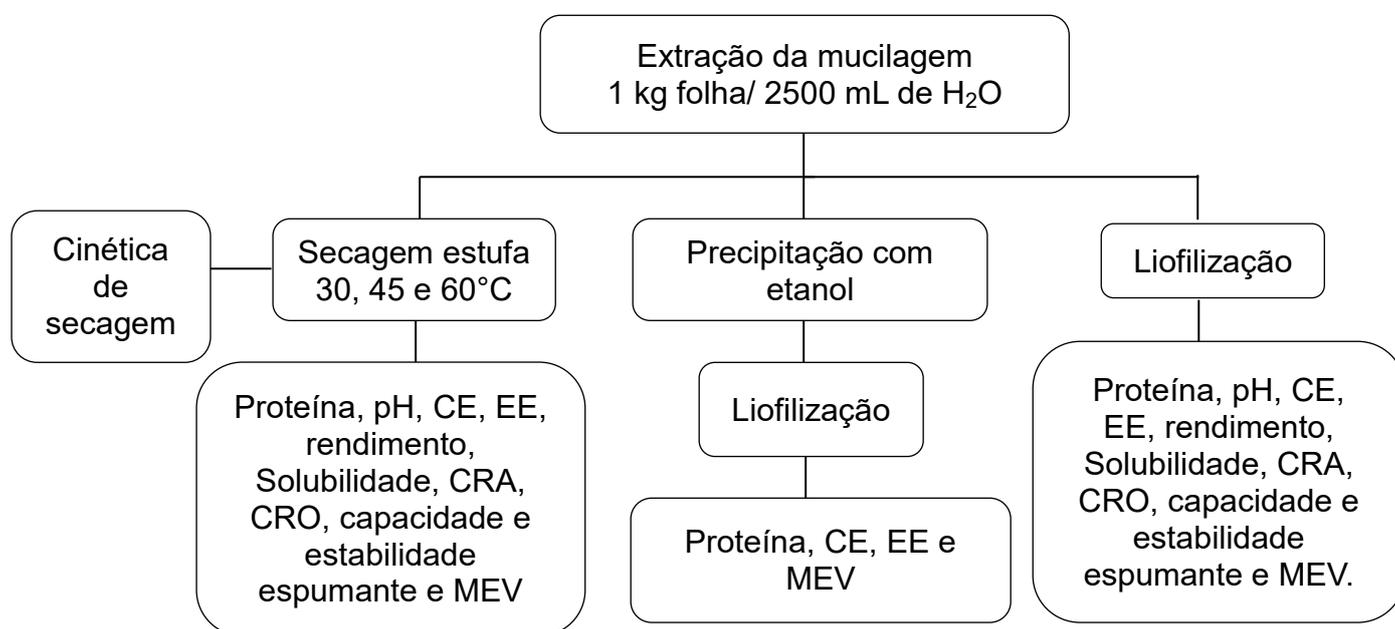


Figura 4 – Metodologia realizada
Fonte: Autoria própria (2021).

4.2.1 Extração e obtenção da mucilagem

As folhas utilizadas na extração da mucilagem são oriundas da cidade de Pato Branco, região Sudoeste do Paraná e registradas pela exsicata HPB 959, depositada no herbário da UTFPR – câmpus Pato Branco. As folhas foram higienizadas, cortadas e batidas com água em processador de alimentos da marca Mondial, então colocadas em rede maleável com furos de 0,3mm de diâmetro. A mucilagem foi extraída na proporção de 1 kg de folha para 2500 mL de água. O tecido foi mergulhado na água e prensado manualmente realizando a extração da mucilagem, o processo se repetia por diversas vezes, até extração total da mucilagem. Em seguida a mucilagem foi filtrada e preparada para secagem.

4.2.2 Obtenção da mucilagem por diferentes processos

Após a extração, a mucilagem foi submetida a três diferentes processamentos (Figura 5):

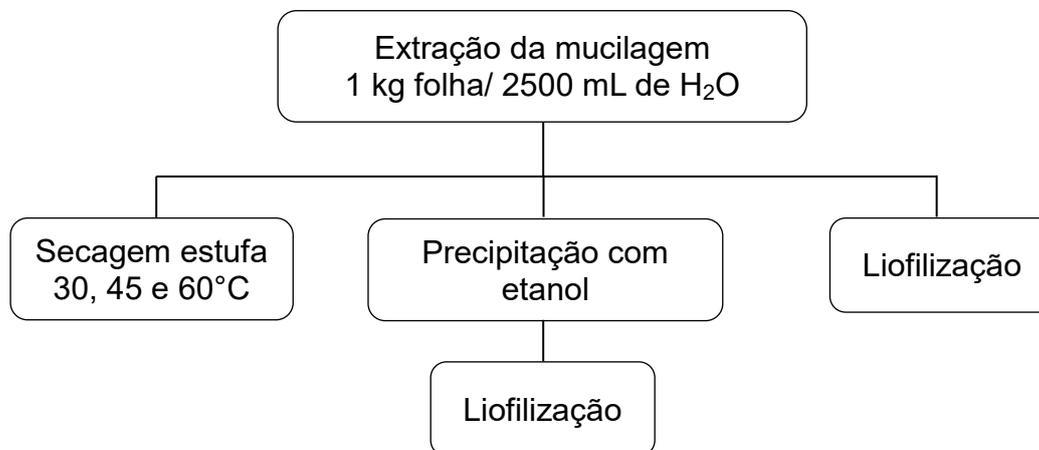


Figura 5 – Processos de obtenção da mucilagem de OPN
Fonte: Autoria própria (2021).

A secagem em estufa (modelo PE14 da PARDALTEC) com circulação de ar forçada ocorreu em diferentes temperaturas 30, 45 e 60°C. Logo após a extração, cerca de 3 mm da mucilagem foram colocados em formas de silicone e secas até peso constante. Após secagem as amostras foram moídas e armazenadas.

Na liofilização, logo após a extração a mucilagem foi colocada em potes plásticos, cerca de 50 mL, submetida a congelamento rápido em ultra freezer e então liofilizada por aproximadamente 72hrs.

A precipitação com solventes na obtenção de mucilagens é comumente realizada, a fim de verificar o efeito do solvente na mucilagem, após extração, realizou-se a precipitação da mucilagem com etanol 95%, na proporção de 3:1 (etanol: mucilagem). A mucilagem foi filtrada e então centrifugada por 15 min a 4000 rpm para separação do sobrenadante. Para garantir que todo solvente fosse retirado, a amostra foi rotaevaporada a 40°C até extração total do solvente, colocada em potes plásticos, cerca de 50 mL e submetida a congelamento rápido em ultra freezer e liofilizada por 72hrs.

As amostras secas e liofilizadas com e sem uso de etanol foram armazenadas em abrigo de luz e umidade até momento das análises.

4.2.3 Cinética de Secagem

4.2.3.1 Experimentos de secagem

A secagem foi realizada em estufa com circulação de ar forçada, modelo PE14 da PARDALTEC, nas temperaturas de 30, 45 e 60 °C.

Antes de iniciar a secagem, a estufa foi ligada para estabilização da temperatura. Com a temperatura estável, cerca de 3 mm da mucilagem extraída foi colocada em placas de Petri, previamente taradas e levadas até a estufa. Para a obtenção dos dados de cinética de secagem, foi monitorada a redução da umidade das amostras durante o processo, para cada temperatura. Assim, a massa das amostras foi medida em balança analítica com intervalos de 30 minutos até obtenção do equilíbrio dinâmico.

4.2.3.2 Umidade das amostras

A umidade em base seca (X_{bs}) foi determinada para cada tempo de secagem utilizando a Equação 3. Onde, $m_{úmida}$ (g_{mat. úmida}) e m_{seca} (g_{sól. seco}) são as massas úmidas e a massa seca, respectivamente.

$$X_{bs} = \left(\frac{m_{úmida} - m_{seca}}{m_{seca}} \right) \quad (3)$$

Para a determinação da massa seca (m_{seca}), as placas de petri foram levadas à estufa à 105 °C por um período de 24 horas e aferiu-se a massa.

As curvas de secagem foram construídas utilizando a adimensional de umidade (X_{AD}) em função do tempo (min), Equação 4, onde X_0 é a umidade inicial e X_{eq} é a de equilíbrio dinâmico, ambas em base seca.

$$X_{AD} = \left(\frac{X_{bs} - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} \right) \quad (4)$$

As curvas das taxas de secagem da mucilagem de OPN foram obtidas pela Equação 5.

$$\frac{dx}{dt} = \left(\frac{X_{AD}(t + \Delta t) - X_{AD}(t)}{\Delta t} \right) \quad (5)$$

4.2.3.3 Adequação dos modelos matemáticos aos dados experimentais

Foi estudada a adequação dos modelos matemáticos (Tabela 2) aos dados experimentais da cinética de secagem, utilizando o *software* Statistica ® 12.7 por meio dos testes estatísticos de coeficiente de determinação (R^2), Qui-quadrado X^2 , desvio médio relativo (DMR) e critério de seleção de Akaike (AIC) (AKAIKE, 1973; YALDÝZ; ERTEKÝN, 2001; MIDILLI; KUCUK, 2003; GÜNHAN et al., 2005).

Tabela 2– Modelos empregados para representação do processo de secagem da mucilagem de Ora-pro-nóbis

Modelo	Equação Matemática	Referência
Logarítmico	$X_{AD} = a \cdot \exp(-kt) + c$	Toğrul e Pehlivan (2004)
Page	$X_{AD} = \exp(-kt^n)$	Page (1949)
Newton	$X_{AD} = \exp(-kt)$	Lewis (1921)
Henderson e Pabis	$X_{AD} = a \cdot \exp(-kt)$	Henderson e Pabis (1961)
Dois termos	$X_{AD} = a \cdot \exp(-k_0t) + b \cdot \exp(-k_1 t)$	Henderson (1974)
Exponencial de dois termos	$X_{AD} = a \cdot \exp(-kt) + (1 - a)\exp(-kat)$	Sharaf-Eldeen et al., (1980)
Wang e Singh	$X_{AD} = 1 + at + b(t^2)$	Wang & Singh (1978)

4.2.3.4 Cálculo do coeficiente de difusão efetivo

O coeficiente de difusão efetivo foi calculado utilizando a segunda lei de Fick para placas planas. Para secagem em longos tempos, apenas o primeiro termo na equação pode ser utilizado, Equação 6, (BARONI; HUBINGER, 1998) .

$$X_{AD} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (6)$$

Onde X_{AD} é a taxa de umidade (adimensional); t é o tempo (s) de secagem, D_{eff} é a difusividade efetiva (m^2/s); e L é a espessura da placa (m).

4.2.3.5 Cálculo do consumo energético

O consumo energético da secagem foi calculado por meio da equação do modelo de Page, onde o tempo de secagem foi calculado para as temperaturas (30, 45 e 60 °C). Com o tempo expresso em horas e a potência da estufa (modelo PE14 da PARDALTEC) de $0,55 \text{ kW h}^{-1}$, o cálculo de consumo de energia para cada temperatura foi realizado:

$$\text{Consumo energético} = \text{Potência} * \text{Tempo} \quad (7)$$

4.2.4 CARACTERIZAÇÃO DA MUCILAGEM DE OPN LIOFILIZADA COM E SEM PRECIPITAÇÃO DE ETANOL

4.2.4.1 Capacidade emulsificante (CE) da mucilagem

A capacidade emulsificante da mucilagem foi estudada segundo Garcia-Torchelsen, Jacob-Lopes e Queiroz (2011) com modificações. Dispersões contendo 1 g de mucilagem em 20 mL de água foram preparadas e o pH ajustado a 7. Após, foram agitadas a 520 rpm, com adição de óleo de girassol até a quebra da emulsão. Os resultados foram expressos em mL de óleo emulsificado por grama de mucilagem.

4.2.4.2 Estabilidade da emulsão da mucilagem

Para verificar a estabilidade da emulsão (EE) formada a partir da mucilagem de ora-pro-nóbis, as emulsões foram deixadas em repouso durante 30 min em temperatura ambiente (25 °C) e também em banho termostático a 80 °C. As amostras foram então centrifugadas em 2700 rpm durante 10 min, e o volume final medido, determinando assim a estabilidade da emulsão (LIMA JUNIOR, 2011).

4.2.4.3 Teor proteico

O teor de proteínas foi obtido por determinação de nitrogênio total (Kjeldhal) (AOAC, 2000).

4.2.5 CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS DA MUCILAGEM DE OPN SECA EM ESTUFA E LIOFILIZADA SEM ETANOL

4.2.5.1 Capacidade emulsificante, estabilidade da emulsão e teor de proteínas

A capacidade emulsificante, estabilidade da emulsão e o teor proteico das amostras secas em estufa e também liofilizadas sem etanol foram obtidos como descrito já anteriormente na sessão 4.2.4.

4.2.5.2 Solubilidade

A solubilidade foi determinada segundo Kaewmanee et al. (2014), com modificações. 25 mg de mucilagem foram dispersos em 5 ml de água destilada em tubo falcon. A dispersão foi agitada suavemente à temperatura ambiente (25 °C) durante 10 min. O tubo foi então centrifugado por 15 min a 3000 rpm. O sobrenadante foi coletado e seco até peso constante em estufa a 105°C. A solubilidade foi calculada usando a seguinte equação:

$$\text{Solubilidade (\%)} = \left(\frac{M_s}{M_a} \right) \times 100 \quad (8)$$

M_s é o peso do sobrenadante seco e M_a é o peso da amostra.

4.2.5.3 Capacidade de retenção de água e óleo

A Capacidade de retenção de água e de óleo foram determinadas seguindo método descrito por Alfredo et al. (2009). 1 g de amostra foi pesado e então agitado em 10 mL de água destilada ou óleo de girassol (densidade 0,92 g/ mL) por 1 min. As suspensões foram então centrifugadas a 2200g por 30 min e o volume do sobrenadante medido. A capacidade de retenção de água ou de óleo foi expressa como g de água/ óleo retido por g de mucilagem.

4.2.5.4 Capacidade de formação de espuma e estabilidade de espuma

A capacidade de formação de espuma (CFE) e a estabilidade de espuma (EEs) da mucilagem foram determinadas usando a metodologia proposta por Dick et al. (2019) com modificações. Dispersões de mucilagem em 100 mL de água destilada foram preparadas nas concentrações de 0,5% e 1% (p/ v) e mantidas durante a noite (14 horas) sob refrigeração (4°C) para hidratação completa. As soluções foram batidas com uma batedeira (Arno, SX15) em velocidade moderada por 10 min. A suspensão batida foi imediatamente transferida para uma proveta e o volume da espuma foi anotado após 30 s. A capacidade de formação de espuma foi expressa como:

$$CFE(\%) = \left(\frac{ViE}{VtS} \right) \times 100 \quad (9)$$

Onde ViE é o volume inicial da espuma e VtS é o volume total de suspensão.

A estabilidade da espuma (EEs) foi calculada com as mudanças de volume da espuma registradas em intervalos de 5, 10, 30 min, como mostrado na Eq. (10):

$$EEs(\%) = \left(\frac{VEt}{VtS} \right) \times 100 \quad (10)$$

Onde VEt é o volume de espuma após o tempo e VtS é o volume total de suspensão.

4.2.5.5 Determinação do pH

O pH da mucilagem seca em estufa e liofilizada foi determinado com pHmetro previamente calibrado, 1g de mucilagem seca foi reidratada em 20mL de água destilada e então realizada a leitura do pH.

4.2.5.6 Rendimento da mucilagem

O rendimento de mucilagem seca em estufa e liofilizada foi obtido em relação ao peso fresco de 100 g da folha, e expresso em porcentagem.

4.2.5.7 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A morfologia foi investigada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) em Microscópio Eletrônico (VEGA3 TESCAN). As amostras foram depositadas em uma fita dupla face de cobre, em seguida, foram submetidas à deposição de um filme fino de ouro para a obtenção das imagens de MEV nas ampliações de 150x, 500x e 1000x.

4.2.5.8 Análise estatística dos dados

Os dados da caracterização das propriedades funcionais da mucilagem foram expressos como média \pm desvio padrão e avaliados sob o aspecto unidimensional por análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey para diferenças de médias. A análise de variância multivariada MANOVA foi aplicada para verificar possível efeito da temperatura, concentração e do tempo na estabilidade da espuma.

A fim de melhor compreender as diferenças nas amostras obtidas pelos métodos de secagem, aplicou-se a técnica estatística análise discriminante canônica para as variáveis físico-químicas e propriedades funcionais não colineares. Os dados foram analisados com Statistica® 12.7.

5 RESULTADOS

5.1 PROTEÍNA ALTERNATIVA DA MUCILAGEM DAS FOLHAS DA *Pereskia Aculeata* Miller: POTENCIAL TECNOLÓGICO COMO UM EMULSIFICANTE E SUBSTITUTO DE GORDURA EM MORTADELA

5.1.1 Obtenção da mucilagem

A Figura 6 mostra o aspecto visual das amostras de mucilagem OPN após extração aquosa, clarificação por centrifugação e liofilização. Mesmo após centrifugação, a mucilagem de *Pereskia aculeata* adquiriu uma coloração marrom-avermelhada. Essa coloração se deve à possível presença de compostos fenólicos derivados das folhas da planta (GARCIA et al., 2019). Optou-se por não remover os pigmentos da mucilagem por questões de custo. Para uma remoção eficaz dos pigmentos, seria necessário o uso de colunas cromatográficas, que seriam muito caras, e, além disso, a pigmentação da mucilagem não interferiu no aspecto do produto testado.

Etanol, isopropanol e acetona têm sido frequentemente usados para recuperar a mucilagem (CONCEIÇÃO et al., 2014; LIMA JUNIOR et al., 2013). No entanto, os solventes orgânicos levam à precipitação de compostos macromoleculares, pois promovem a remoção da água de solvatação da macromolécula causando sua precipitação. A recuperação de mucilagens e hidrocolóides de soluções aquosas a partir do etanol apresentam algumas vantagens, como a disponibilidade e o baixo custo do etanol. Entretanto, considerando a composição proteica da maioria das mucilagens, o uso de solventes orgânicos pode promover a desnaturação das proteínas e conseqüentes alterações nas propriedades funcionais e tecnológicas.

A mucilagem OPN é um hidrocolóide rico em polissacarídeos complexos (CONCEIÇÃO et al., 2014) combinado com proteínas (que podem ser observadas na Tabela 3), portanto, o processo de sua obtenção por meio da adição de álcool etílico pode afetar o poder emulsificante do hidrocolóide, uma vez que a precipitação

das proteínas ocorre (SOUKOULIS; GAIANI; HOFFMANN, 2018). Assim, no presente estudo, a mucilagem foi extraída apenas com água em temperatura ambiente, visto que a intenção primária do uso da mucilagem do OPN era como agente emulsificante de alimentos.

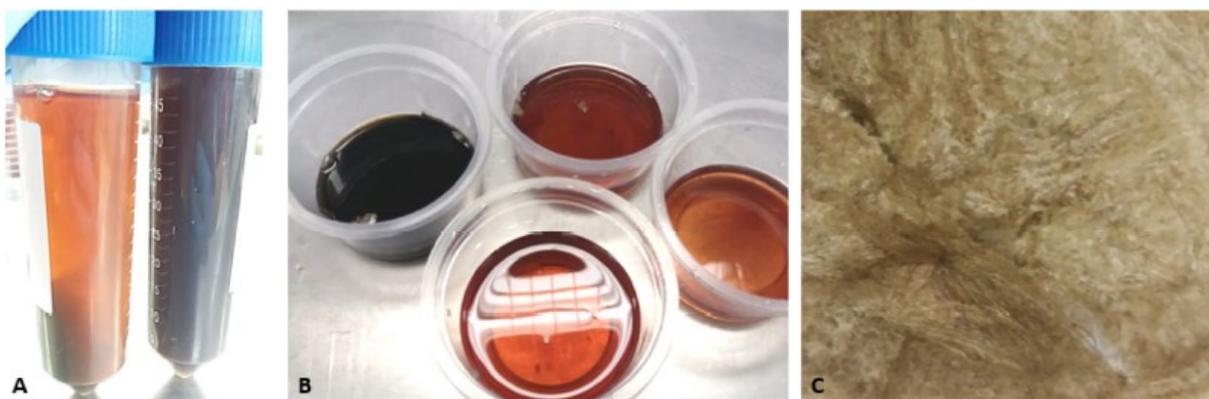


Figura 6- Imagem da mucilagem OPN obtida: A) logo após centrifugação nos tubos, B) a diferença na coloração dos extratos antes e após centrifugação e C) mucilagem de OPN liofilizada.

Fonte: Autoria própria (2020).

5.1.2 Capacidade de emulsificação e estabilidade de emulsão de OPN mucilagem

Para verificar a possibilidade de utilização da mucilagem de OPN como agente emulsificante em produtos cárneos emulsionados cozidos, foram realizados testes avaliando a capacidade de formação de emulsão e sua estabilidade quando submetido a diferentes temperaturas. Os valores de capacidade de formação de emulsão e estabilidade da emulsão à temperatura ambiente (25 °C) e temperatura de cozimento de 80 °C foram calculados e a média na estabilidade da emulsão não apresentou diferença significativa no teste t ($p < 0,05$).

- Capacidade emulsificante (mL de óleo / g de proteína): $2276,00 \pm 1,52$;
- Estabilidade da emulsão (%) a 80 °C: $88,51^a \pm 1,05$;
- Estabilidade da emulsão (%) a 25 °C: $90,33^a \pm 1,33$.

Em estudo realizado por Jideani e Bello (2009), foi testada a capacidade de emulsificação de concentrados proteicos com mucilagem de quiabo, encontrando valores de 800-2800 mL de óleo/ g de proteína, além de 72-96% de estabilidade da emulsão, sabendo que o quiabo é conhecido por sua mucilagem, muito utilizada na medicina popular e culinária. Em relação à estabilidade da emulsão, não houve diferença significativa entre os tratamentos à temperatura ambiente e a 80 °C. Este resultado corroborou com Câmara et al. (2020), onde as propriedades mecânicas dos géis de mucilagem vegetal de chia foram preservadas após o tratamento térmico. Da mesma forma, o valor de 2.276 mL óleo/ g de proteína obtido para a mucilagem de OPN no presente estudo, indicou seu vasto potencial como agente emulsificante com grande estabilidade, para utilização em diversos segmentos da indústria. Para a indústria, um parâmetro importante é a manutenção da estabilidade da emulsão durante as etapas de processamento.

5.1.3 Perfil de aminoácidos da mucilagem OPN

Na Tabela 3 é apresentado o perfil de aminoácidos da mucilagem de OPN, dividido em aminoácidos essenciais e não essenciais. Os não essenciais são aqueles que o corpo humano pode sintetizar de forma endógena, e o essencial deve ser ingerido por meio da alimentação (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2007). Vale ressaltar a presença de todos os aminoácidos essenciais na mucilagem de OPN (isoleucina, valina, metionina, histidina, leucina, fenilalanina, lisina, triptofano e treonina).

Os maiores valores de aminoácidos essenciais foram encontrados para leucina, lisina, valina e isoleucina. Esses aminoácidos possuem caráter hidrofílico e cadeias não aromáticas, apresentando assim maior afinidade com a mucilagem de OPN, por ser um heteropolissacarídeo mucilaginoso solúvel em água, isolado das folhas do OPN (CONCEIÇÃO et al., 2014; LIMA JUNIOR et al., 2013).

Tabela 3 – Perfil aminoacídico da mucilagem OPN relacionado em essenciais e não essenciais

	Aminoácidos	g/ 100g de mucilagem
Aminoácidos essenciais	Isoleucina (ILE)	0,60±0,19
	Valina (VAL)	0,73±0,19
	Metionina (MET)	0,18±0,14
	Histidina (HIS)	0,24±0,09
	Leucina (LEU)	1,09±0,29
	Fenilalanina (PHE)	0,73±0,21
	Lisina (LYS)	0,78±0,28
	Triptofano (TRP)	0,29±0,17
	Treonina (THR)	0,54±0,19
Aminoácidos não essenciais	Ácido Aspártico (ASP)	1,21±0,81
	Ácido Glutâmico (GLU)	1,86±0,57
	Alanina (ALA)	0,83±0,25
	Prolina (PRO)	0,76±0,14
	Tirosina (TYR)	0,51±0,19
	Serina (SER)	0,60±0,12
	Glicina (GYL)	0,83±0,20
	Arginina (ARG)	0,73±0,34
	Cistina (CYS)	0,13±0,12
	Total	12,68
	Teor de proteínas da mucilagem	15g/100g

A leucina, que foi o aminoácido essencial encontrado em maior quantidade, é capaz de estimular a síntese proteica, e tem sido estudada em suplementos proteicos, para verificar sua eficácia em pacientes idosos que sofreram acidente vascular cerebral, como a sarcopenia. Dentre os resultados já estudados, observou-se aumento da massa muscular, força e função física do ser humano, confirmando sua eficácia, principalmente em idosos (YOSHIMURA et al., 2019).

Entre os aminoácidos não essenciais, foram obtidos níveis mais elevados de ácido glutâmico. Lembrando que, quando o ácido glutâmico (GLU) não é ligado, ele é responsável pelo quinto gosto básico denominado “umami”. Ingredientes com este gosto são amplamente utilizados na indústria, com o objetivo de realçar o sabor de diversos produtos alimentícios, tanto carnes quanto vegetais (MARQUES et al., 2019).

Os resultados da Tabela 3 revelam ainda a quantidade total de aminoácidos (12,68%) e o teor de proteína (15%) na mucilagem do OPN, o que a caracteriza como uma mucilagem com alto teor de proteína de qualidade. O valor é comparável ao relatado por Lima Junior et al. (2013) - 10,47% e por Martin et al. (2017) - 19%. O

conteúdo proteico e a qualidade dos aminoácidos encontrados demonstram o alto potencial nutricional e as amplas possibilidades de aplicação da mucilagem de OPN em alimentos. Os aminoácidos sulfurados (Met + Cys) são os fatores limitantes na mucilagem do OPN, pois estão nas folhas do OPN, corroborando os resultados de Takeiti et al. (2009).

5.1.4 Caracterização da composição da mortadela com mucilagem OPN

Na Tabela 4 são apresentados os resultados da composição química e valor calórico da mortadela com adição de mucilagem OPN. De acordo com os regulamentos brasileiros (BRASIL, 2000), todas as formulações foram apresentadas de acordo com os limites previstos: umidade a 65% (máx.), gordura a 30% (máx.), carboidratos a 10% (máx.) e um valor de proteína não inferior a 12%. Diferenças significativas entre as formulações foram verificadas para os teores de umidade, lipídios e cinzas.

Tabela 4 – Caracterização físico-química das mortadelas

Componentes (g/100g)	Controle	F1	F2	F3	Pele de frango
Umidade	58,52 ^c ±0,18	59,58 ^b ±0,22	60,60 ^a ±0,16	61,13 ^a ±0,31	-
Proteína	16,51 ^a ±1,83	17,85 ^a ±0,40	17,90 ^a ±2,07	17,96 ^a ±1,22	-
Lipídios	12,78 ^a ±0,16	8,98 ^b ±0,18	8,75 ^b ±0,53	8,80 ^b ±0,65	28,07±0,19
Cinzas	3,41 ^c ±0,02	3,60 ^b ±0,06	3,63 ^{ab} ±0,02	3,71 ^a ±0,01	-
Carboidratos	8,78 ^a ±1,49	9,98 ^a ±0,30	9,12 ^a ±0,41	8,40 ^a ±0,90	-
Valor calórico (kcal/100g)	220,90 ^a ±8,01	197,14 ^b ±2,63	191,84 ^b ±2,80	189,66 ^b ±4,49	-
pH	6,56 ^a ±0,03	6,51 ^a ±0,03	6,50 ^a ±0,01	6,52 ^a ±0,04	-

Valores das médias ± desvio padrão. Médias seguidas de letras iguais nos mesmos parâmetros não apresentam diferença significativa, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Controle - com pele de frango com gordura, sem mucilagem OPN; F1 - sem pele de frango com gordura, sem mucilagem OPN; F2 - sem pele de frango com gordura e adição de 0,05% de mucilagem OPN; e F3 - sem pele de frango com gordura e adição de 0,10% de mucilagem OPN.

Em relação ao teor de umidade, a formulação Controle feita com pele de frango apresentou o menor valor ($p \leq 0,05$). Em contraste, as duas formulações com

adição de mucilagem liofilizada (F2 e F3) apresentaram o maior teor, uma possível explicação é a presença de polissacarídeos complexos, que apresentam capacidade de retenção de água (SOUKOULIS; GAIANI; HOFFMANN, 2018). Portanto, a mucilagem do OPN auxilia na manutenção da umidade do produto, característica que incentiva sua aplicação em produtos processados. Além disso, esse fato indica alguns outros possíveis usos para a mucilagem OPN, como em produtos de panificação emulsionados, molhos, sorvetes, coberturas doces, em que se deseja a retenção de água, além da textura e suculência.

O teor de lipídios diminuiu significativamente a partir da formulação Controle, que continha pele de frango com gordura, das demais formulações. Esse resultado também refletiu uma diminuição dos valores calóricos. Mesmo assim, a redução ficou entre 10-15%, não proporcionando à mortadela formulada, o status de baixo teor de gordura (mínimo de 25% de redução de gordura).

O teor de proteína não apresentou diferença significativa ($p \geq 0,05$), devido à baixa quantidade adicionada. Quanto ao teor de cinzas, foram registradas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) com os maiores valores para as formulações F2 e F3, que continham mucilagem. Esse resultado pode ser explicado pelos altos níveis de minerais como cálcio, ferro, magnésio e manganês na mucilagem de OPN (MERCÊ et al., 2001). Não houve diferenças significativas no pH entre as formulações.

5.1.5 Estabilidade de emulsão (%)

Em relação à estabilidade da emulsão, foi observada diferença significativa dentre as formulações, onde a mortadela F3 (0,1% de adição de mucilagem de OPN) apresentou a maior estabilidade ($p \leq 0,05$) (Figura 7). Além disso, o aumento da adição de mucilagem de OPN também aumentou a estabilidade da emulsão da mortadela, observando que os presentes achados empregaram 0,05 e 0,10% de mucilagem. A mucilagem de origem vegetal tem alto potencial para aplicação em emulsões, conforme demonstrado por Câmara et al. (2020). Eles relataram que a estabilidade da emulsão da carne foi melhorada com a adição de géis de mucilagem de Chia (5%).

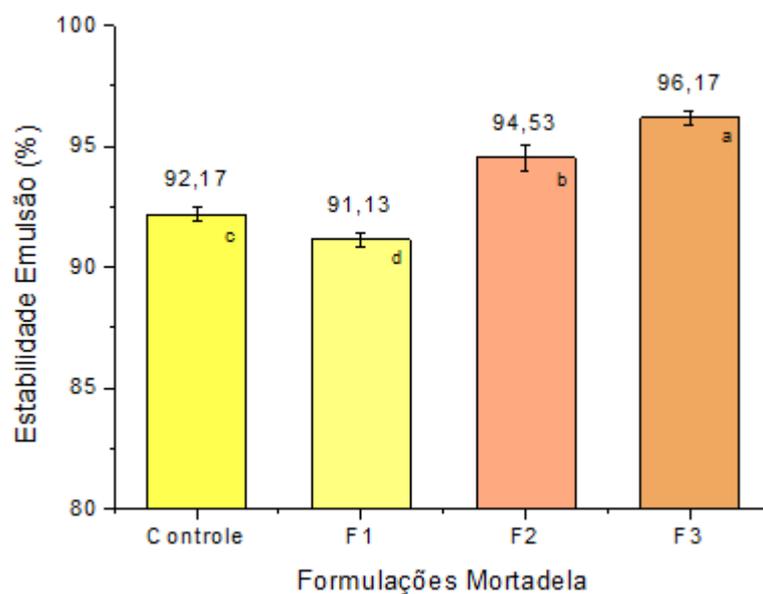


Figura 7- Estabilidade da emulsão de mortadela das diferentes formulações. Letras iguais não apresentam diferença significativa, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autoria própria (2021).

Quanto às emulsões, verifica-se que a estabilidade final influencia diretamente na textura desejada, impedindo a separação da gordura. Portanto, a estabilidade depende não apenas da fração proteica da carne, mas também dos outros ingredientes que não sejam à base de carne. Assim, o uso de fontes proteicas não cárneas tem crescido exponencialmente na indústria, a fim de melhorar a estabilidade, textura e outras propriedades funcionais de produtos cárneos emulsificados (TERRA et al., 2009). A mucilagem OPN apresentou bons resultados de estabilidade da emulsão em mortadela e a influência na textura será descrita a seguir. É interessante destacar que a mucilagem de *Pereskia aculeata* é composta por uma fração de carboidrato (LIMA JUNIOR et al., 2013) e uma fração de proteína, conforme relatado em detalhes aqui.

Complexos de proteínas com polissacarídeos podem melhorar as propriedades emulsificantes, por contribuir para o espessamento da camada aquosa interfacial que recobre os glóbulos de gordura. De acordo com os resultados de Elias et al. (2006), a interação entre proteínas e polissacarídeos pode ajudar a manter a propriedade emulsificante de proteínas em faixas de pH próximas ao ponto isoelétrico. A superfície ativa dos complexos de proteína-polissacarídeo também

pode contribuir para a estabilidade das emulsões, aumentando a viscosidade da fase aquosa imediatamente adjacente à interface da emulsão.

5.1.6 Análise do perfil de textura instrumental e da coloração das mortadelas elaboradas

5.1.6.1 Textura instrumental

Os resultados revelaram valores superiores ($p \leq 0,05$) para os atributos de resiliência (12,10%) e elasticidade (78,16%) para a formulação F3 (Tabela 5). A elasticidade se refere ao grau de recuperação após a deformação e a resiliência é a capacidade de um material em recuperar sua posição original após ser submetido a uma força sem quebrar (YANG et al., 2007), ambos os parâmetros indicam estabilidade estrutural, que foi promovida pela mucilagem OPN 0,1%.

Tabela 5 – Parâmetros de textura instrumental, cor e diferença total de cor (ΔE) das formulações de mortadela

Atributos	Controle	F1	F2	F3
Dureza (N)	38.90 ^a ± 5.26	37.17 ^a ±4.66	40.62 ^a ±6.09	32.79 ^a ±3.54
Adesividade (N.sec)	-0.05 ^a ±0.02	-0.19 ^a ±0.01	-0.16 ^a ±0.09	0.07 ^a ±0.08
Resiliência (%)	9.60 ^b ±0.70	9.12 ^b ±1.14	9.25 ^b ±0.87	12.10 ^a ±0.43
Coesividade	0.35 ^{ab} ±0.01	0.32 ^c ±0.03	0.33 ^{bc} ±0.02	0.37 ^a ±0.01
Elasticidade (%)	74.71 ^b ±0.76	69.77 ^c ±2.83	70.84 ^c ±1.08	78.16 ^a ±1.40
Gomosidade	13.28 ^a ±1.60	11.73 ^a ±1.27	13.02 ^a ±1.27	12.25 ^a ±1.42
Mastigabilidade	9.91 ^a ±1.39	8.20 ^a ±1.17	9.21 ^a ±0.83	9.57 ^a ±1.08
Cor				
L*	72.46 ^a ± 0.97	72.14 ^{ab} ±0.88	71.25 ^b ±0.40	70.41 ^b ±0.31
a*	13.43 ^a ± 0.30	13.97 ^a ±0.50	12.40 ^b ±0.20	11.93 ^b ±0.21
b*	13.01 ^a ± 0.22	12.77 ^a ± 0.17	13.13 ^a ± 0.10	13.02 ^a ± 0.07
C	18.70 ^{ab} ±0.26	18.93 ^a ± 1.04	18.05 ^{bc} ± 0.71	17.67 ^c ± 0.68
h	44.09 ^b ± 0.58	42.44 ^b ± 0.59	46.70 ^a ± 0.22	47.51 ^a ± 0.10

Atributos	Controle	F1	F2	F3
ΔE				
Controle	-	0.25	1.33	2.24
F1		-	1.08	1.99
F2			-	0.91
F3				-

Valores das médias \pm desvio padrão. Médias seguidas por letras iguais horizontalmente não apresentam diferença significativa, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Valores maiores que três (3,0) indicam uma diferença na cor observada a olho nu em pessoas não treinadas (Mokrzycki; Tatol, 2012).

A formulação F3 (0,1% de mucilagem) e a amostra Controle apresentaram os maiores valores para os parâmetros de coesão, o que indica maior dificuldade de rompimento da estrutura interna. Os resultados de coesividade comprovaram que para este tipo de carne emulsionada há necessidade de adição significativa de ingredientes capazes de manter e melhorar a textura, seja pele de frango com gordura ou mucilagem. Dureza, adesividade, gomosidade e mastigabilidade não apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$), entre as formulações. Assim, nenhuma das adições de 0,05% ou 0,1% de mucilagem de OPN apresentou valores de dureza diferentes da amostra controle, e esse fato favorece a adição de OPN em emulsão de carne processada.

5.1.6.2 Influência da mucilagem OPN nos parâmetros de cor da mortadela

Os resultados da avaliação da cor são mostrados na Tabela 5. A adição de mucilagem OPN influenciou significativamente os parâmetros de cor L^* e a^* , coordenadas cromáticas responsáveis pela luminosidade e as cores verde-vermelho. A presença de mucilagem OPN levou a uma diminuição significativa nos valores L^* e a^* . Esse comportamento revelou a coloração esverdeada da mucilagem do OPN possivelmente consequência da presença de clorofila. Para os presentes dados, não houve alteração no parâmetro b^* .

O reflexo da mucilagem de OPN nas diferenças de cor pode ser melhor visualizado pela diferença total de cor (ΔE) (Tabela 5). Não houve diferença perceptível para o olho humano não treinado ($>3,0$) entre as amostras (MOKRZYCKI; TATOL, 2011) o que confirmou o potencial da adição de mucilagem

de OPN como um substituto de gordura em produtos do tipo mortadela. A cor rosa-marrom causada pelo corante carmim adicionado nas formulações de mortadela pode ter mascarado a mucilagem do OPN. Além disso, a quantidade de mucilagem adicionada pode ter sido insuficiente para afetar a cor.

5.1.7 Avaliação sensorial

5.1.7.1 Teste de comparação múltipla

Para verificar o efeito da adição de mucilagem de OPN na firmeza da mortadela, foi aplicado o teste de comparação múltipla. A Tabela 6 apresenta os resultados do teste ANOVA e Dunnet. Os resultados indicaram diferença entre a firmeza do controle e as demais formulações ($p = 0,0121$), quando aplicado o teste de Dunnet, notou-se que a diferença entre o controle surgiu a partir de 0,05% de mucilagem de OPN adicionada, corroborando a influência da mucilagem de OPN na textura final das emulsões.

Tabela 6 – Comparação múltipla

ANOVA					
Efeito	Soma dos quadrados	Grau de liberdade	Quadrados médios	F valor	p-valor
Interceptar	7064.400	1	7064.400	2248.096	0.000000
Amostra	41.410	4	10.352	3.294	0.012120
Erro	644.190	205	3.142	-	-
Teste Dunnet					
Amostras	Diferença de médias				
Controle	-				
F1	0,4				
F2	1.05*				
F3	1.25*				

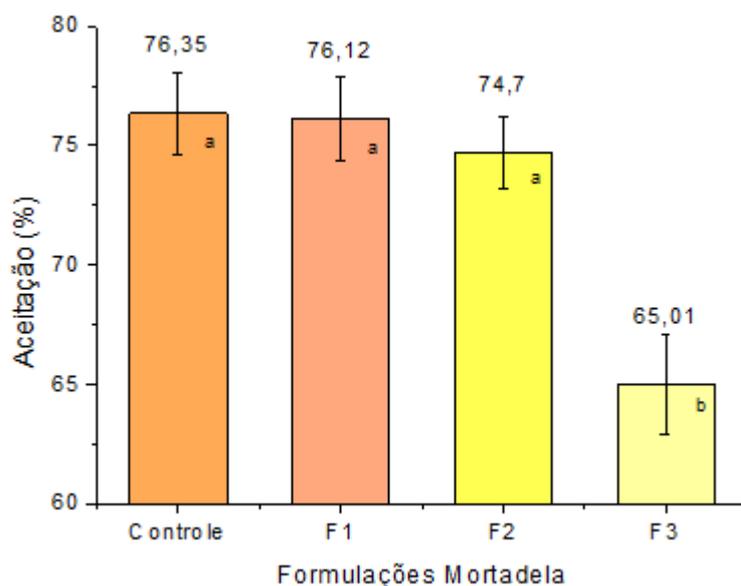
Diferença significativa de médias = 0,83

Além de confirmar a influência da mucilagem de OPN, os resultados exibiram seu grande potencial como ingrediente, uma vez que a adição de pequenas

concentrações (0,05% e 0,1%) foi suficiente para produzir uma diferença perceptível na firmeza sensorial. Além disso, esses resultados apoiaram o comportamento registrado na avaliação da textura instrumental (para resiliência e coesão).

5.1.7.2 Avaliação hedônica

Os valores da avaliação hedônica das diferentes formulações de mortadela são mostrados na Figura 8. Com a menor taxa de aceitação, a formulação F3 foi a única que diferiu significativamente do controle, o que pode estar relacionado à diferença de texturas, uma vez que as cores eram semelhantes (Fig. 9) e $\Delta E < 3,0$. Assim, os resultados hedônicos sugerem a formulação de mortadela F2 como a condição ideal na substituição de gordura, com 0,05% de mucilagem de OPN adicionada sendo considerada uma pequena quantidade com um bom resultado.



**Figura 8 – Gráfico da aceitação das formulações de mortadela. Letras iguais não apresentam diferença significativa, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).
Fonte: Autoria própria (2021).**

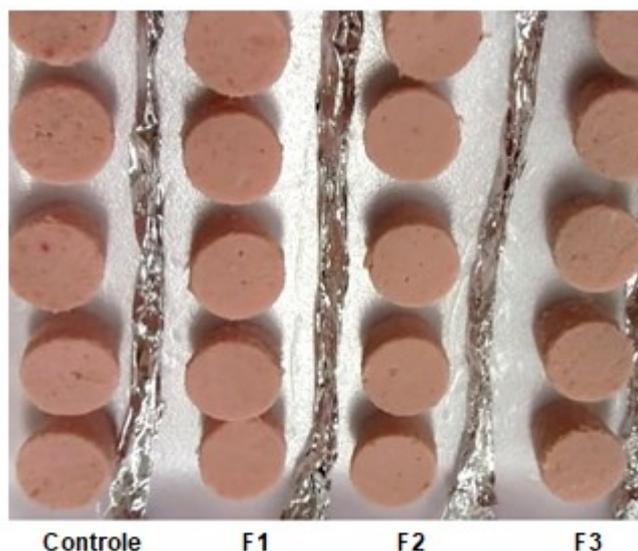


Figura 9 – Mortadelas elaboradas: Controle - com pele de frango, sem mucilagem do OPN; F1 - sem pele de frango e sem mucilagem de OPN; F2 - sem pele de frango e com 0,05% de mucilagem de OPN e F3 - sem pele de frango e com 0,1% de mucilagem.
Fonte: Autoria própria (2021).

5.1.8 Comparação de aspectos multidimensionais de formulações de mortadela

Para melhor visualizar e compreender o efeito da substituição da pele de frango por mucilagem OPN nas formulações de mortadela, em um primeiro momento, foi realizado uma análise fatorial para selecionar as variáveis com comunalidades iguais ou superiores a 0,7 para análise de PCA (Fig. 10).

Com o percentual cumulativo de informações combinadas nas duas primeiras dimensões de 95,8% e com cada amostra em um quadrante, os *biplots* do PCA revelaram o quão distintas as formulações de mortadela eram e o que as diferenciava. Com base nos aspectos unidimensionais apresentados anteriormente e *biplots* PCA, pode-se afirmar que: O controle é caracterizado por alto teor de lipídios; F1 foi mais bem descrita pelos parâmetros de cor L^* e a^* ; F2 para firmeza, umidade e cinzas; e F3 descrito com maior estabilidade de emulsão, resiliência e elasticidade.

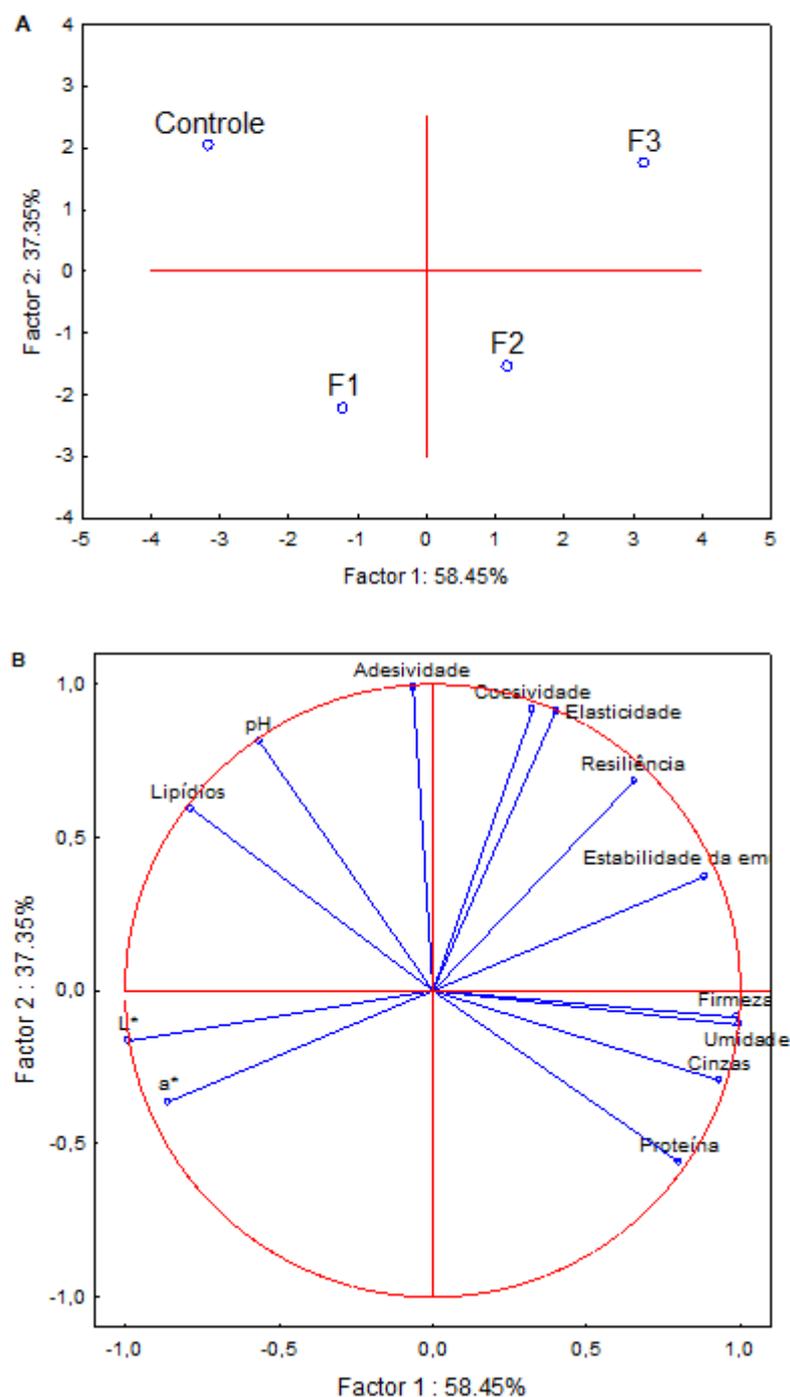


Figura 10- Análise de Componentes Principais A) formulações e B) qualidades físico-químicas, de textura e de firmeza, nas duas primeiras dimensões.
Fonte: Autoria própria (2021).

A mucilagem de OPN emergiu como um novo ingrediente com potencial de aplicação na indústria alimentar (LIMA JUNIOR et al., 2013; MARTIN et al., 2017), anteriormente explorado com a função de agente gelificante e espessante (AMARAL et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2019) e no presente estudo como agente emulsificante

para ser usado em cárneos emulsionados tipo mortadela. Por esse motivo, durante o processo de obtenção da mucilagem, não houve adição de solventes para evitar a precipitação dos 15g / 100g de proteínas encontradas.

Como o processo de obtenção da mucilagem de OPN foi isento de solventes, o perfil de aminoácidos da mucilagem OPN também ganhou importância. A mucilagem de OPN apresentou todos os aminoácidos essenciais, demonstrando ser uma boa fonte de proteínas e um ingrediente funcional. Essa proteína presente tanto em quantidade quanto em qualidade aliada à presença de polissacarídeos complexos apresentou mucilagem com alta capacidade emulsificante, o que consequentemente revelou que sua adição à mistura de carnes, em substituição à pele de frango, aumentando a estabilidade da emulsão.

Na alimentação, as proteínas fazem parte de um importante grupo de emulsificantes, principalmente devido às suas propriedades surfactantes, atuando na redução da tensão superficial ou interfacial. Uma vez que as proteínas são compostas por diferentes aminoácidos, que possuem um caráter hidrofóbico e hidrofílico capazes de interagir na interface óleo-água, o que também auxilia na estabilização da emulsão (ARMAFORTE; HOPPER; STEVENSON, 2021; LAM; NICKERSON, 2013; BUENO et al., 2009). A funcionalidade da proteína é um fator de grande relevância quando utilizada para fins alimentares. Compreende, entre várias propriedades, a capacidade de formar uma emulsão (SCHWENKE, 2001). Garantir a qualidade da proteína é muito importante, pois as propriedades funcionais afetam a qualidade final do alimento (LIU; RU; DING, 2012).

Vale ressaltar que a formulação adicionada com 0,05% de mucilagem de OPN apresentou estabilidade à emulsão superiormente à formulação com adição de 10% de pele de frango. Isso revelou um efeito significativo da mucilagem OPN na estabilidade da emulsão. Assim, também era esperado que a adição de mucilagem de OPN tivesse um efeito nos parâmetros de textura instrumental. Então, a adição de mucilagem OPN de 0,1% revelou um efeito na elasticidade e resiliência.

Como a mucilagem é derivada das folhas da OPN, pensou-se que a cor final do produto cárneo teria efeito significativo. A hipótese não foi confirmada, pois o ΔE entre as amostras revelou que mesmo a formulação com 0,1% de mucilagem adicionada não apresentou diferença total de cor perceptível ao olho humano. Este é um resultado valioso quando se trata do desenvolvimento de um novo ingrediente industrial.

A firmeza foi o parâmetro de textura selecionado para a avaliação sensorial discriminante entre o controle e outras amostras. O resultado do teste de comparação múltipla revelou um efeito significativo na percepção de firmeza da adição de 0,05% de mucilagem OPN. Enquanto os resultados de firmeza sensorial indicaram a mucilagem OPN como um ingrediente altamente eficaz, os resultados hedônicos indicaram um limite de concentração no uso desse ingrediente: com adição de 0,1% de mucilagem de OPN, houve menor aceitação da mortadela.

Nesse sentido, a mucilagem OPN obtida sem a ação de nenhum solvente mostrou-se um bom ingrediente emulsificante para uso em indústrias de carnes. A adição de 0,05% de mucilagem OPN é suficiente para produzir uma mortadela com emulsão estável, com teor reduzido de gordura, alto teor de umidade e mineral, apresentando alta firmeza, cor adequada e, principalmente, aceitação no mercado.

5.2 OBTENÇÃO DA MUCILAGEM DA *Pereskia Aculeata* Miller POR SECAGEM EM ESTUFA E LIOFILIZAÇÃO: AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FUNCIONAIS E EFEITO DA UTILIZAÇÃO DE ETANOL

5.2.1 Cinética de Secagem

Na Tabela 7 são apresentados os parâmetros estatísticos obtidos da modelagem matemática dos dados da cinética de secagem. Em todos os modelos testados os valores médios de R^2 foram superiores a 0,95. O modelo de Page foi o que apresentou o maior valor de R^2 (0,9938), assim como o menor valor de X^2 (0,0042), desvio médio relativo (DMR) (1,63%), e critério de Seleção de Akaike (AIC) (-62,2808), indicando um ajuste satisfatório.

Esse resultado é análogo ao obtido por Li et al. (2021) para a cinética de secagem de espuma de melão adicionadas com diferentes concentrações de goma arábica seca a 55 °C. O modelo de Page apresentou melhor ajuste aos dados experimentais, com R^2 entre 0,9894 e 0,9994. Branco et al. (2016) ao avaliarem pó de uvaia (*Hexachlamys edulis* (O. Berg)) obtido por secagem de espuma, verificaram que o modelo de Page melhor descreveu o processo de secagem nas temperaturas

de 60 e 70 °C, com valores de R² de 0,995 e 0,996. O mesmo foi verificado na secagem de morango em leito de espuma, para qual o modelo de Page apresentou ajuste satisfatório com valores de R² de 0,9920; 0,9901; 0,9802; 0,9768 e 0,9916 nas temperaturas de 55, 60, 65, 70 e 75 °C (VIMERCATI et al., 2019).

Tabela 7 – Parâmetros estatísticos de ajuste dos modelos aos dados experimentais da cinética de secagem

Modelo Matemático	Parâmetro	30 °C	45 °C	60 °C	Resultados Médios
Logarítmico	R ²	0,9719	0,9841	0,9696	0,9752
	X ²	0,0393	0,0176	0,0264	0,0278
	DMR	5,26%	4,05%	5,53%	4,95%
	AIC	-29,6001	-30,3630	-15,8166	-25,2599
Page	R ²	0,9927	0,9889	0,9999	0,9938
	X ²	0,0102	0,0023	1,6E ⁻⁷	0,0042
	DMR	2,26%	2,61%	0,01%	1,63%
	AIC	-46,3892	-50,5647	-89,8886	-62,2808
Newton	R ²	0,9419	0,9633	0,9611	0,9554
	X ²	0,0812	0,0407	0,0337	0,0519
	DMR	7,35%	5,96%	5,65%	6,32%
	AIC	-25,6180	-26,8231	-18,3376	-23,5929
Henderson e Pabis	R ²	0,9500	0,9668	0,9620	0,9596
	X ²	0,0699	0,0368	0,0330	0,0466
	DMR	7,21%	6,03%	5,96%	6,40%
	AIC	-25,2681	-25,7127	-16,4735	-22,4847
Dois termos	R ²	0,9500	0,9668	0,9620	0,9596
	X ²	0,0699	0,0368	0,0330	0,0466
	DMR	7,21%	6,03%	5,96%	6,40%
	AIC	-21,2681	-21,7127	-12,4735	-18,4847
Exponencial de dois termos	R ²	0,9419	0,9633	0,9611	0,9554
	X ²	0,0812	0,0407	0,0337	0,0519
	DMR	7,35%	5,96%	5,96%	6,42%
	AIC	-23,6170	-24,8222	-16,3371	-21,5921
Wang e Sing	R ²	0,9868	0,9960	0,9757	0,9861
	X ²	0,0185	0,0045	0,0211	0,0147
	DMR	3,16%	1,91%	4,87%	3,31%
	AIC	-39,9179	-44,7243	-19,1495	-34,5972

Na Tabela 8, são apresentados os valores da constante e dos coeficientes dos modelos ajustados aos dados da secagem. Analisando o modelo de Page, uma diminuição no valor da constante k (0,00034; 0,00032; 0,00029 min⁻¹) e aumento de n (1,74886; 1,85522; 2,26017) foi obtido com o incremento da temperatura. Assim, o

parâmetro k , que representa a constante da taxa de secagem, foi influenciado negativamente pela temperatura.

Resultado análogo foi obtido por Galdino et al. (2016) na secagem de espuma (0,5 cm de espessura) de Atemoia (fruta híbrida, produzida a partir do cruzamento entre a fruta-do-conde (*Annona squamosa*, L.) e a cherimoia (*Annona cherimola*)). Os autores relatam diminuição da constante k (0,0065; 0,0053 e 0,0034) e aumento de n (1,0792; 1,1674 e 1,2630) para as temperaturas de 60, 70 e 80 °C, respectivamente.

O mesmo comportamento foi verificado em estudo realizado por Marques, Arruda e Silva (2016). Os autores avaliaram a secagem de caldo de cana em leite de espuma e obtiveram diminuição do valor da constante k (0,0054; 0,0043; 0,0022) e aumento de n (1,2207; 1,3200; 1,7461) para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Diminuição na constante k e aumento do valor de n também foram obtidos na secagem de pimenta vermelha quando o modelo de Page foi ajustado aos dados experimentais (INCEDAYI, 2020).

Tabela 8 – Parâmetros de ajuste dos modelos aos dados da cinética de secagem

Modelo Matemático	Parâmetro	30 °C	45 °C	60 °C
Logarítmico	a	1,21398	1,16559	1,08606
	c	-0,15406	-0,13446	-0,06349
	k (min ⁻¹)	0,00878	0,01118	0,02673
Page	n	1,74886	1,85522	2,26017
	k (min ⁻¹)	0,00034	0,00032	0,00029
Newton	k (min ⁻¹)	0,01134	0,01441	0,03066
Henderson e Pabis	a	1,08936	1,05491	1,02678
	k (min ⁻¹)	0,01215	0,01505	0,03119
Dois termos	a	0,54461	0,52738	0,03119
	b	0,54459	0,52737	0,51339
	k_0 (min ⁻¹)	0,01215	0,01505	0,03119
	k_1 (min ⁻¹)	0,01215	0,01505	0,03119
Exponencial de dois termos	a	0,00003	0,00003	0,00005
	k (min ⁻¹)	388,68764	483,92463	644,68703
Wang e Sing	a	-0,00805	-0,01009	-0,01930
	b	0,00002	0,00002	0,00009

Na Figura 11 é apresentada cinética experimental de secagem nas três temperaturas experimentais, bem como o ajuste do modelo de Page. O tempo

necessário para as amostras atingirem a umidade de equilíbrio foi de 300, 240 e 150 min para as temperaturas de 30, 45 e 60 °C, respectivamente. Na secagem a 60 °C, uma redução na umidade foi verificada mais rapidamente quando comparada às demais temperaturas. Isso ocorre porque em temperatura mais elevadas, a cinética ocorre mais rapidamente devido ao maior gradiente de temperatura entre o ar e a amostra, sendo que quanto maior o gradiente maior será a força motriz do processo de transferência de massa. De forma análoga, na temperatura de 60 °C a umidade relativa do ar de secagem é muito menor, o que aumenta a diferença entre a umidade da amostra e a da atmosfera de secagem, resultando também em uma força motriz maior para o processo de transferência de massa que aquele observado em temperaturas mais amenas.

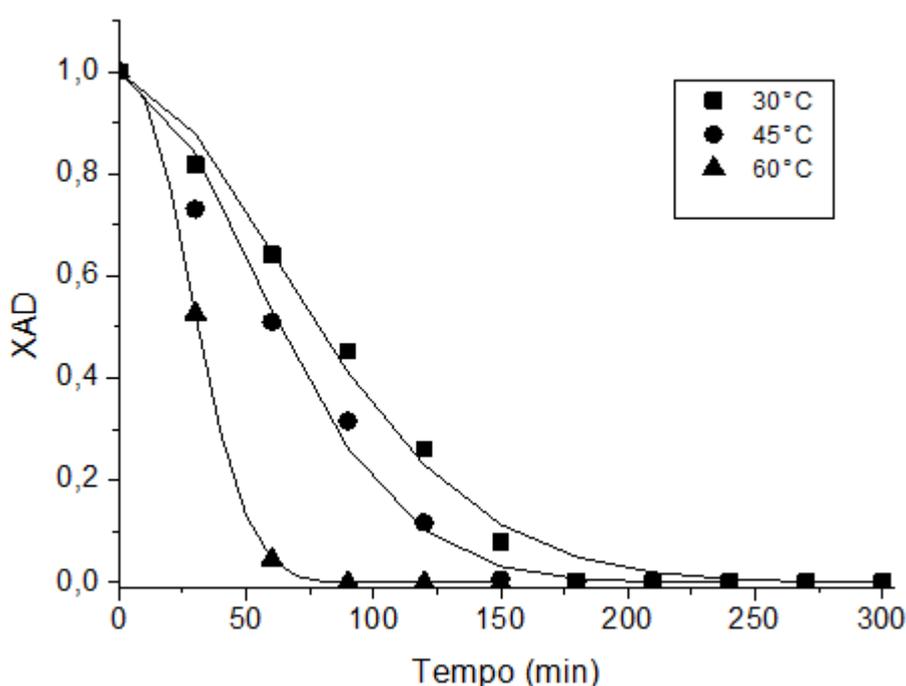


Figura 11 – Umidade adimensional em função do tempo, dados observados e estimados pelo modelo de Page nas temperaturas de 30, 45 e 60 °C.

Fonte: Aatoria própria (2021).

O coeficiente de difusão mássica efetiva (D_{eff}) foi calculado usando a segunda lei de Fick. Os resultados obtidos para a mucilagem de OPN são apresentados na Tabela 9. Os valores da difusividade mássica efetiva aumentaram com o aumento da temperatura, $2,0335 \times 10^{-9}$, $2,5808 \times 10^{-9}$, e $5,6670 \times 10^{-9}$ m²/s para

as temperaturas de 30, 45 e 60 °C. Mesma ordem de grandeza é relatada na literatura para outras espumas, e estão de acordo com a faixa geral de grandeza entre 10^{-9} à 10^{-11} m²/s para secagem de materiais alimentícios (MASKAN; KAYA; MASKAN, 2002). Thuwapanichayanan, Prachayawarakorn e Soponronnarit (2008), obtiveram valores de difusividade mássica efetiva entre $1,02 \times 10^{-9}$ e $3,60 \times 10^{-9}$ m²/s para 60, 70 e 80 °C, na secagem de espuma de banana. Já Rajkumar et al. (2007) na secagem de polpa espumada de manga relatam valores de $7,29 \times 10^{-9}$ a $3,51 \times 10^{-8}$ m²/s na temperatura de 60 °C. O comportamento do tipo Arrhenius que relaciona a difusividade mássica com a temperatura foi verificado na secagem da mucilagem de OPN.

Tabela 9 – Coeficiente de difusão efetivo da mucilagem de OPN

	R ²	X ²	DMR	AIC	Deff (m ² /s)
30 °C	0,8689	0,1831	11,36%	-16,6738	$2,0335 \times 10^{-9}$
45 °C	0,8969	0,1142	10,13%	-17,5213	$2,5808 \times 10^{-9}$
60 °C	0,9051	0,0822	9,80%	-12,9882	$5,6670 \times 10^{-9}$

As taxas de secagem em função do tempo para a mucilagem de OPN foram calculadas a partir da Eq. 5 e são apresentadas na Figura 12. Observa-se que o período inicial de secagem acontece em taxa constante e com ao passar do tempo a taxa de secagem apresenta aumento. A presença de taxa de secagem constante pode estar relacionada à elevada quantidade de água livre na amostra (inclusive devida à adição de água na etapa de extração) e também devido ao fato de que inicialmente durante a secagem, a evaporação da água ocorre na superfície da amostra (TUNDE-AKINTUNDE; AFOLABI; AKINTUNDE, 2005) e essa evaporação da superfície para o ar é igual à quantidade de umidade que migra do interior até a superfície da matriz sólida, de modo que a difusão equivale à convecção nesse período constante de taxa de secagem. Segundo Giner (2009) um período de taxa constante pode ser encontrado em alimentos com alto teor de umidade.

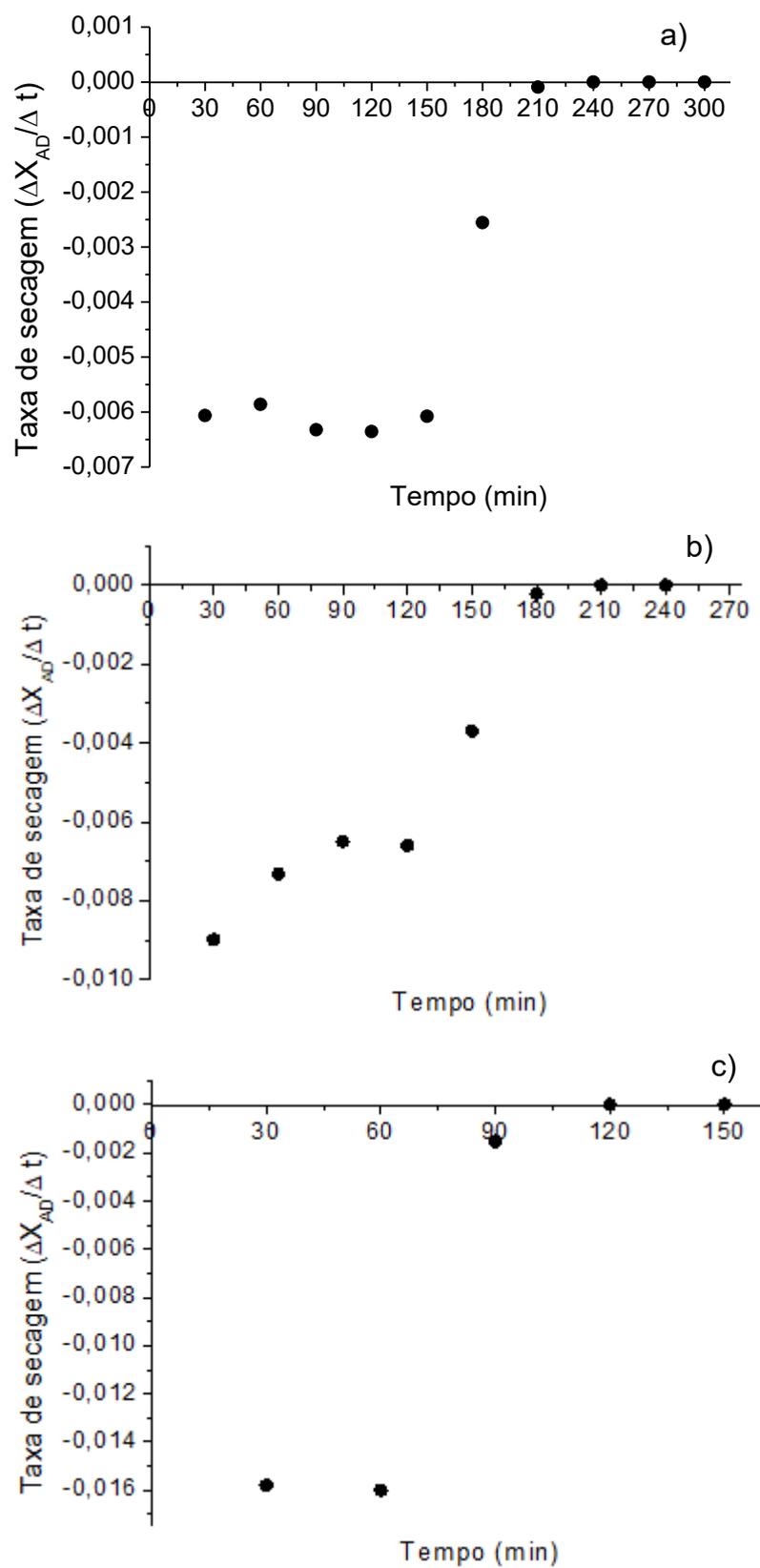


Figura 12 – Taxa de secagem da mucilagem de OPN: a) 30 °C; b) 45 °C e c) 60 °C

Fonte: Autoria própria (2021).

Observa-se que o aumento na taxa de secagem foi acompanhado de um tempo de secagem menor à medida que houve incremento na temperatura, ou seja, a amostra com menor temperatura de secagem apresentou um período de taxa constante mais prolongado.

A secagem pode resultar em mudanças significativas na composição química, estrutura e propriedades físicas de um alimento (KOÇ; EREN; ERTEKIN, 2008). Temperaturas maiores danificam mais o material em termos estruturais, como pode ser observado na Figura 13, à secagem a 60 °C provocou uma quebra maior do material, assim, o aumento da taxa de secagem após o período de taxa constante, pode ser devido a uma maior exposição da área transversal à transferência de massa. Isso leva ao aumento do contato entre o sólido e o ar de secagem, acelerando proporcionalmente a transferência de massa e calor. Ainda, partículas menores implicam em caminho interno mais curto a ser percorrido pela umidade, o que também acelera o processo de secagem.

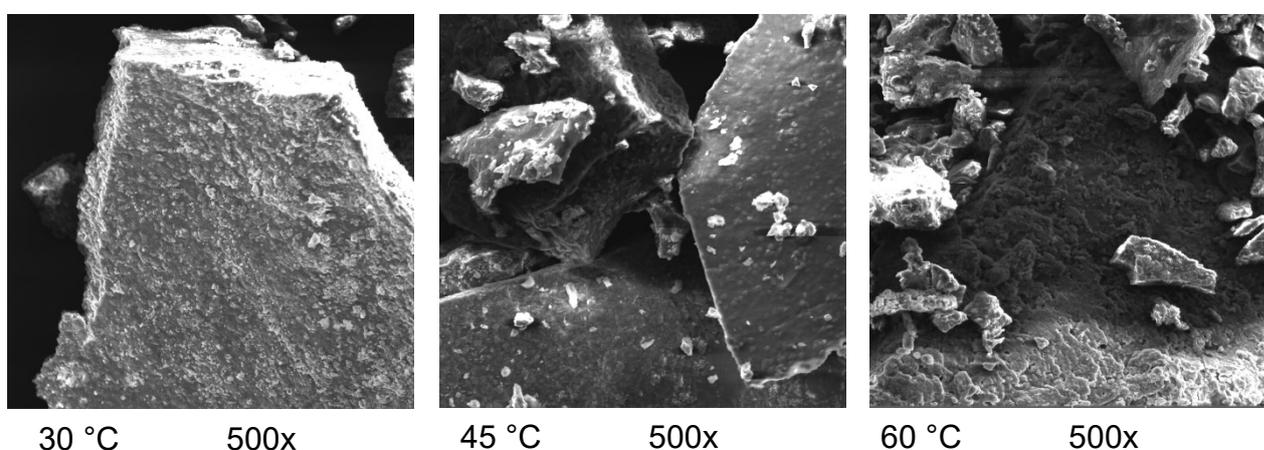


Figura 13 – Micrografias da mucilagem seca nas temperaturas de 30, 45 e 60 °C na ampliação de 500x

Fonte: Autoria própria (2021).

Na Figura 14 é demonstrado o consumo energético em kW, obtido pela Eq. (7). Os resultados mostram que o aumento da temperatura de secagem provocou a diminuição do consumo energético envolvido no processo, 3,591; 2,53 e 0,935 kW, uma vez, que os tempos obtidos na variação de umidade avaliada de 274,18 a 0,060 (g H₂O/g sól.seco) foram (6,53; 4,59 e 1,70 h) para as temperaturas de 30, 45 e 60 °C, respectivamente. O consumo energético nas temperaturas de 30 e 45 °C

correspondem a um aumento de 384 e 270 % em relação à amostra seca a 60 °C e aumento de consumo de 70% entre a amostra seca em 45 °C e a de 30 °C também pode ser verificado. Quando se pensa em processos industriais, reduções no tempo de secagem e menores consumos energéticos são vantajosos, acarretando em reduções de custos envolvidos no processo.

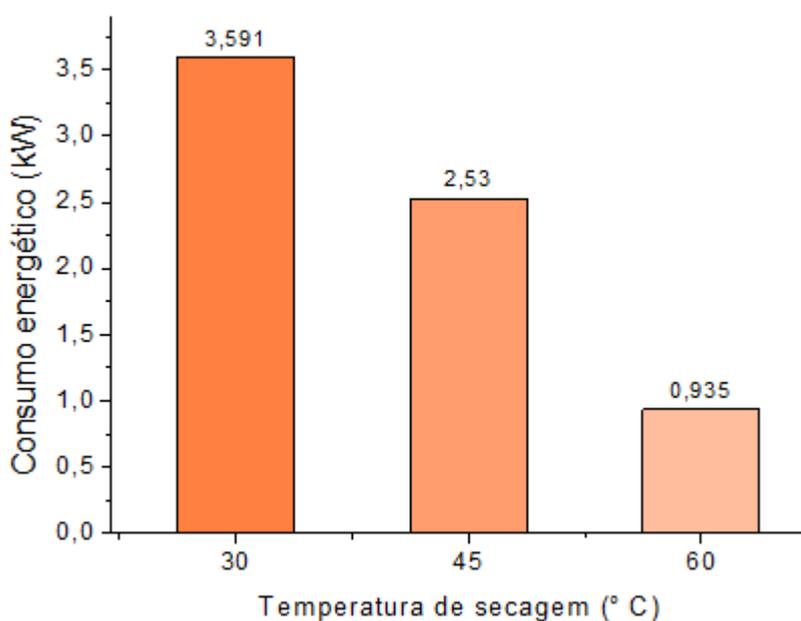


Figura 14 – Consumo energético
Fonte: Autorial própria (2021).

5.2.2 Avaliação do efeito do etanol na capacidade emulsificante, estabilidade da emulsão e teor proteico nas amostras liofilizadas

A utilização de solventes orgânicos na extração e precipitação de mucilagens é uma prática muito comum, no entanto, estes são conhecidos como agentes causadores da desnaturação proteica, podendo destruir a estrutura da proteína (WU; YANG; GE, 2017). Para verificar possível efeito da utilização de etanol na mucilagem de OPN avaliou-se o teor proteico, capacidade emulsificante e estabilidade da emulsão de amostras liofilizadas com e sem precipitação com etanol (Tabela 10).

Além de serem nutrientes essenciais e apresentarem diversas funções necessárias para o organismo humano, a proteína exerce importante papel funcional nos alimentos. As propriedades funcionais são diretamente afetadas pelas modificações ocasionadas na estrutura proteica (AVELAR et al., 2021). Diferenças significativas no teor de proteínas das duas amostras foram verificadas, onde o menor valor de proteína foi obtido para a amostra com precipitação com etanol 11,41 g/100g. Essa diferença no teor proteico pode ser devido ao etanol arrastar aminoácidos com afinidade de polaridade, assim como, o fato da clorofila ser facilmente dissolvida em solventes orgânicos, como o etanol (LI et al., 2016), sendo removida na filtração e centrifugação na separação do etanol da mucilagem, resultando na redução de proteína quantificada.

Tabela 10 – Valores de proteína, capacidade e estabilidade da emulsão da mucilagem de OPN com e sem etanol

	Liofilizada água	Liofilizada etanol
Proteína	22,82 ^a ±1,527	11,41 ^b ±0,652
Cap. Emulsificante (mL de óleo g ⁻¹ de mucilagem)	246,81 ^a ±0,749	74,75 ^b ±1,282
Estabilidade da emulsão % (25 °C)	81,67 ^{aA} ±1,909	8,75 ^{bA} ±3,307
Estabilidade da emulsão % (80 °C)	79,58 ^{aA} ±1,905	3,08 ^{bB} ±0,629

Valores das médias ± desvio padrão. Letras minúsculas iguais na mesma linha e letras maiúsculas na mesma coluna não apresentam diferença significativa pelo teste t ($p \leq 0,05$).

Em estudo realizado por Zhang et al. (2018), os autores avaliaram polissacarídeos obtidos de brotos de bambu (*Chimonobambusa quadrangulares*) por precipitação de etanol em diferentes concentrações (70, 75 e 80 %) e relataram que as concentrações utilizadas podem afetar as propriedades físico-químicas e funcionais associadas, assim como atividades antioxidantes. Variações no teor de proteínas e diferença na porcentagem molar dos aminoácidos quantificados foram relatadas, indicando que os polissacarídeos precipitados por diferentes concentrações de etanol apresentaram composições químicas distintas.

Em relação à capacidade emulsificante e estabilidade da emulsão diferença significativa pode ser percebida na comparação entre a amostra com e sem etanol.

Quando analisado efeito da temperatura na estabilidade, redução do valor de estabilidade foi verificada somente na amostra precipitada com etanol. O menor teor proteico, assim como, alterações na estrutura ocasionadas pela desnaturação com etanol afetaram de forma direta as propriedades emulsificantes da mucilagem de OPN.

5.2.3 Avaliação das propriedades funcionais da mucilagem seca em estufa e liofilizada

A caracterização do teor de proteínas, pH e das propriedades funcionais da mucilagem de OPN obtida pelos métodos de secagem em estufa com circulação de ar e liofilização foi realizada e estão apresentados na Tabela 11.

Os maiores valores de proteína foram obtidos nas amostras liofilizadas e seca em estufa a 30 °C, 22,82 g/100g e 19,79 g/100g, respectivamente, o que a caracteriza como uma mucilagem com alto teor proteico. Martin et al. (2017) avaliaram a mucilagem desidratada das folhas de ora-pro-nóbis e encontraram valor de proteína de 19 g/100g.

Diferença estatística significativa pode ser verificada quando comparado o teor proteico da mucilagem liofilizada com a mucilagem seca em estufa a 45 e 60 °C. Comportamento parecido foi verificado no estudo de Antigo, Bergamasco e Madrona (2020), onde foi observado que o conteúdo de proteína bruta da mucilagem de psyllium, foi significativamente reduzido na amostra seca em estufa a 50°C comparado com o teor de proteínas da amostra liofilizada. Diferença no teor de proteínas também foi relatado por Ghribi et al. (2015) em concentrados de proteína de grão de bico liofilizados e secos em estufa a 40 e 50°C, onde a amostra liofilizada apresentou o maior teor proteico. Isso pode estar associado ao fato da liofilização provocar efeito menos destrutivo na estrutura química e molecular das gomas, quando comparada a outras técnicas de secagem (MIRHOSSEINI et al., 2013).

Tabela 11– Valores de proteína, pH, rendimento e propriedades funcionais da mucilagem de OPN liofilizada e seca em estufa

	30°C	45°C	60°C	Liofilizada água
Proteína	19,79 ^{ab} ±0,679	18,71 ^b ±1,752	16,65 ^b ±1,479	22,82 ^a ±1,527
pH	7,81 ^a ±0,060	7,79 ^a ± 0,091	7,41 ^b ±0,100	4,47 ^c ±0,035
CE	105,94 ^b ±0,333	94,54 ^c ±1,238	94,10 ^c ± 0,507	246,81 ^a ±0,749
EE% (25°C)	13,92 ^{bA} ±1,283	12,08 ^{bA} ±2,602	11,67 ^{bA} ±1,443	81,67 ^{aA} ±1,909
EE% (80°C)	8,58 ^{bb} ±1,233	6,00 ^{bb} ±1,639	5,83 ^{bb} ±1,041	79,58 ^{aA} ±1,905
Solubilidade %	20,40 ^{ab} ±0,429	19,70 ^{ab} ±0,695	18,86 ^b ±0,775	20,68 ^a ±0,584
CRA	4,94 ^b ±0,536	3,91 ^c ±0,370	3,41 ^c ±0,406	8,70 ^a ±0,064
CRO	3,76 ^b ±0,573	3,28 ^b ±0,455	1,17 ^c ±0,505	7,28 ^a ±0,679
CFE % (0,5%)	37,11 ^b ±1,602	33,07 ^b ±1,847	25,96 ^c ±1,649	73,04 ^a ±1,553
CFE % (1%)	45,00 ^b ±1,470	42,22 ^b ±0,556	38,70 ^c ±0,849	77,96 ^a ±1,398
Rendimento %	0,77 ^a ±0,0395	0,75 ^a ±0,0408	0,74 ^a ±0,0279	0,82 ^a ±0,0123

CE- capacidade emulsificante (mL de óleo g⁻¹ de mucilagem);

EE- estabilidade da emulsão;

CRA- Capacidade de retenção de água (g de água g⁻¹ de mucilagem);

CRO- Capacidade de retenção de óleo (g de óleo g⁻¹ de mucilagem);

CFE- Capacidade de formação de espuma.

Valores das médias ± desvio padrão. Letras minúsculas iguais na mesma linha e letras maiúsculas iguais na mesma coluna não apresentam diferença significativa, pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05).

Alterações significativas ocorreram no pH da mucilagem durante o processo de secagem em estufa. Com um pH logo após a extração de 4,71^c± 0,135, verificou-se a alcalinização da mucilagem seca em estufa (p ≥ 0,05). Segundo Rodriguez-Campos et al. (2011), no decorrer do processo de secagem ocorre a perda de ácidos voláteis, resultando no aumento do valor de pH.

Durante o processo de secagem, junto com a perda de água, ocorre a diminuição da acidez, especificamente dos ácidos voláteis e livres e essa diminuição é favorecida quando a secagem ocorre de forma lenta (DIAS; ÁVILA, 1993 apud LARES-AMAIZ et al., 2013). Temperaturas menores (30 e 45 °C) com tempos de

secagem mais longos (300, 240 min), resultaram em valores de pH mais básicos ($p \geq 0,05$) na mucilagem de OPN.

A capacidade emulsificante (CE) é definida como o volume de óleo emulsificado por grama de proteína, antes que a inversão ou colapso de fase da emulsão ocorra (FENNEMA; DAMODARAN; PARKIN, 2010; KINSELLA; MELACHOURIS, 1976). Podendo também, ser determinada pelo volume de óleo emulsionado por grama de amostra (KHATTAB; ARNTFIELD, 2009).

A melhor capacidade emulsificante na mucilagem de OPN foi obtida na amostra liofilizada, 246,81 mL de óleo g^{-1} de mucilagem e diferenças significativas foram verificadas quando comparada com as amostras secas em estufa. Khattab e Arntfield (2009) avaliaram a capacidade emulsificante de farinha (crua) de canola, soja e linhaça e obtiveram valores de CE de 48,58; 44,10 e 33,60 mL de óleo g^{-1} de amostra, respectivamente. Os autores relataram que amostras que foram submetidas a tratamentos térmicos de torrefação e fervura apresentaram reduções significativas na CE das diferentes farinhas.

Os menores valores de capacidade emulsificante foram obtidos nas amostras secas em estufa a 45 e 60 °C (94,54 e 94,10 mL de óleo g^{-1} de mucilagem), onde foi verificada ausência de diferenças significativas entre as duas amostras. Ou seja, a secagem a 45 °C comprometeu a capacidade emulsificante tanto quanto a secagem a 60 °C. Modificações na estrutura e a desnaturação proteica que são causadas por métodos de secagem, provocam alterações nas propriedades funcionais da proteína (FEYZI; MILANI; GOLIMOVAHHED, 2018).

A estabilidade da emulsão se refere à habilidade da proteína em formar uma emulsão que permaneça sem mudanças durante um determinado tempo e com diferentes temperaturas (COOREY; TJOE; JAYASENA, 2014; KINSELLA; MELACHOURIS, 1976). Avaliar a estabilidade da emulsão em processos industriais alimentícios é de grande importância, ela se faz necessária na obtenção de características desejáveis no produto final (ALPIZAR-REYES et al., 2017).

Diferença significativa na estabilidade da emulsão foi verificada quando comparada a amostra liofilizada com as secas em estufa (Tabela 11). Valores de estabilidade de 13,92; 12,08 e 11,67% foram obtidos para amostras secas em estufa (30, 45 e 60 °C, respectivamente) quando avaliadas em temperatura ambiente (25 °C). Após tratamento térmico a 80 °C, os valores de estabilidade de emulsão foram ainda menores (8,58; 6,00 e 5,83%). Koocheki et al. (2009) relataram tendência

semelhante para goma de semente de *Lepidium perfoliatum*. Eles verificaram que o aumento da temperatura de extração acima de 45 °C diminuiu a estabilidade da emulsão da goma, demonstrando que a utilização de tratamentos térmicos na obtenção da amostra pode afetar negativamente as propriedades funcionais como a estabilidade da emulsão.

Estabilidade de emulsão superior foi obtida na amostra liofilizada 81,67% (25°C) e 79,58% (80°C) onde o tratamento térmico não diferenciou a estabilidade do tratamento em temperatura ambiente. Na indústria, é de grande importância que a estabilidade da emulsão se mantenha durante as etapas do processamento (OLIVO; SHIMOKOMAKI, 2006). Campos et al. (2016) avaliaram a estabilidade de emulsão na mucilagem de chia e obtiveram valores de estabilidade de 67,85%, valores superiores foram obtidos nesse estudo na mucilagem liofilizada de OPN.

Resultados interessantes de se destacar foram os obtidos por Antigo, Bergamasco e Madrona (2020). Os autores avaliaram a capacidade emulsificante e estabilidade da emulsão da mucilagem de chia e casca de psyllium extraídas com água e secas em duas diferentes condições, em estufa com circulação de ar a 50°C e liofilizadas. Diferenças significativas nos valores de capacidade emulsificante e na estabilidade da emulsão foram verificadas nas duas amostras de mucilagem, sendo que os menores valores foram obtidos nas amostras secas na estufa. Os autores justificam tal resultado devido ao fato da liofilização preservar a estrutura química e molecular, preservando assim, os agentes emulsificantes presentes nas mucilagens.

A mucilagem de OPN apresentou solubilidade entre 18,86 e 20,68% e diferença significativa ($p < 0,05$) entre a amostra liofilizada e a seca a 60°C foi verificada. Monteiro et al. (2020), avaliaram a solubilidade de pós obtidos de folhas de OPN e obtiveram solubilidades em torno de 30%. Os autores relatam que baixa solubilidade em água era esperada, devido ao fato da presença de fibras na planta, além disso, a mucilagem presente na OPN em presença de água tem capacidade de formação de gel dificultando a solubilização. Kaewmanee et al. (2014) relataram valores entre 15,0 e 40,0% de solubilidade em temperatura ambiente nas mucilagens de diferentes espécies de linho.

Segundo Benelhadj et al. (2016), as propriedades funcionais da proteína dependem da sua solubilidade em água e da sua capacidade de reter água, parâmetro a ser considerado na preparação de diversos alimentos como por

exemplo os derivados cárneos, uma vez que, nestes alimentos a proteína desempenha um papel fundamental na textura do produto elaborado.

A capacidade de retenção de água (CRA) revela a quantidade de água retida pela amostra após a aplicação de uma força externa, sendo esta uma importante propriedade em alimentos quando se pensa em estabilidade, rendimento, textura e avaliação sensorial. Outra propriedade funcional de grande relevância é a capacidade de retenção de óleo (CRO), que revela a capacidade de absorver óleo pelos sítios apolares presentes nas proteínas de uma determinada amostra (ALPIZAR-REYES et al., 2017).

Estudar a capacidade de retenção de água e óleo é de grande importância na indústria de alimentos, as duas propriedades atuam de forma significativa na melhora da estabilidade, textura e sabor dos alimentos (WANG et al., 2019). Os maiores valores de CRA e CRO foram obtidos com a amostra liofilizada (8,70 g de água g⁻¹ de mucilagem e 7,28 g de óleo g⁻¹ de mucilagem). Darwish, Khalifa e El Sohaimy (2018) avaliaram a capacidade de retenção de água e retenção de óleo da mucilagem liofilizada de chia e obtiveram valores de 5,25 g de água g⁻¹ amostra e 5,85 g de óleo g⁻¹ de amostra. Reduções significativas na capacidade de retenção de água e óleo foram verificadas nas amostras secas na estufa.

Ghribi et al. (2015) estudaram concentrados de proteína de grão de bico e investigaram os efeitos da liofilização e da secagem por convecção (40 e 50°C) nas propriedades físico-químicas e funcionais dos concentrados. As amostras liofilizadas exibiram maior capacidade de retenção de água e óleo. A secagem e o aquecimento são processos que podem alterar as propriedades físicas de alimentos, modificando também as propriedades funcionais como a capacidade de retenção de água e de óleo (KAMMOUN BEJAR; KECHAOU; MIHOUBI, 2011).

No que diz respeito ao rendimento, não foi verificada diferença significativa entre as amostras. O rendimento da mucilagem de OPN variou entre 0,74 e 0,82%. Em trabalho realizado por Lima Junior (2011), o autor avaliou o rendimento da mucilagem de ora-pro-nóbis, obtida sob diferentes condições de extração e rendimentos de 0,09 à 0,67% foram relatados. Sepúlveda et al. (2007), estudaram a extração e caracterização da mucilagem de cacto (*Opuntia ficos indica*), e obtiveram rendimento após a secagem entre 1,33 e 1,56%. O baixo rendimento obtido para a mucilagem de OPN não se torna um problema, uma vez que pequenas quantidades

da mucilagem são necessárias para aplicação (LISE et al., 2021) e já demonstram potencial na utilização.

A capacidade de formação de espuma refere-se à área de interface que a proteína pode produzir durante o processo de formação da espuma (BENELHADJ et al., 2016) é uma propriedade de muita relevância em alimentos, desempenha importante papel em termos de estrutura e textura (DUAN et al., 2018) em produtos como bolos, pães, sorvetes, coberturas batidas como merengues e chantilly e também na elaboração de mousses (ASGHARI et al., 2016; RAIKOS; CAMPBELL; EUSTON, 2007).

Duas diferentes concentrações de mucilagem (0,5 e 1%) foram testadas para verificar a capacidade de formar espuma. A maior capacidade espumante foi verificada na amostra liofilizada 77,96 (1%) e 72,96 (0,5%), já os menores valores são registrados na amostra seca em estufa a 60°C 38,70 (1%) e 25,96 (0,5%). Foi possível verificar (Tabela 11) que o aumento da temperatura de secagem (30, 45 e 60°C) reduziu a capacidade de formar espuma da mucilagem diferenciando-se significativamente da amostra liofilizada. Ghribi et al. (2015) relatou comportamento parecido na avaliação da capacidade de formação de espuma nos concentrados de proteína de grão de bico que foram significativamente diferentes ($p < 0,05$), sendo o maior valor observado para a amostra liofilizada, seguida da seca em estufa a 40 e 50°C.

Kaewmanee et al. (2014), estudaram a capacidade espumante de mucilagens extraídas de diferentes cultivares de linho, espécies que nos últimos anos, apresentam crescimento na utilização como emulsificante e estabilizante. Os autores avaliaram soluções de mucilagem na concentração de 1% (p/ v) e obtiveram valores de capacidade espumante entre 10 e 25%. Sciarini et al. (2009) avaliaram a capacidade espumante de goma xantana e goma guar (0,5% p/ v) e obtiveram valores entre 15 e 30%. No presente estudo, avaliando as mesmas concentrações, valores superiores puderam ser verificados, confirmando a boa capacidade de formação de espuma da mucilagem OPN.

A estabilidade da espuma indica a porcentagem de espuma remanescente após um determinado período de tempo (ZHONG et al., 2012). A fim de verificar efeito da temperatura, concentração e do tempo na estabilidade da espuma, aplicou-se o teste de análise de variância Multivariada (MANOVA). Por meio dos resultados apresentados na Tabela 12, pode-se verificar que todos os parâmetros avaliados

apresentaram efeito significativo ($p < 0,05$) na estabilidade da espuma da mucilagem de OPN.

Tabela 12 – Análise de variância multivariada (MANOVA) da estabilidade espumante

	p valor
Concentração	<0,001
Temperatura de secagem	<0,001
Tempo	<0,001
Concentração * temperatura	<0,001
Concentração * tempo	<0,001
Temperatura * tempo	<0,001
Concentração * temperatura * tempo	<0,001

Valores de ($p \leq 0,05$) indicam diferença significativa

Como se vê (Tabela 13) a estabilidade da espuma foi dependente da concentração e do método de secagem, onde os maiores valores de estabilidade foram verificados na amostra liofilizada na concentração a 1% no tempo de 5 minutos com 58,34% de estabilidade. Pode-se verificar que a estabilidade da amostra liofilizada (1%) após 10 min (22,52%), não apresentou diferença significativa com a amostra liofilizada (0,5%) em 5 minutos (21,30%), indicando que a concentração de mucilagem utilizada interfere na estabilidade da espuma. Naji et al. (2012) avaliaram a estabilidade da espuma (após 30 min) de goma xantana e goma de semente de agrião (1%) e obtiveram valores de estabilidade de 17 e 15%, respectivamente, nessa mesma concentração e tempo a mucilagem de OPN apresentou 16,07% de estabilidade.

Segundo Vieira et al. (2021) a capacidade de formação e estabilidade da espuma podem depender da concentração de polissacarídeos, uma vez que soluções mais concentradas apresentam melhores desempenhos. Assim como, a estabilidade da espuma é determinada pelas propriedades da proteína utilizada, como estrutura, flexibilidade e concentração (MAKRI; DOXASTAKIS, 2007). Como a estrutura da proteína é afetada diretamente pelos processos de secagem (DEHNAD et al., 2016) a diminuição nos valores de estabilidade de espuma nas amostras de

mucilagem secas em estufa pode estar relacionada a alterações provocadas durante o processo, assim como pelo menor teor proteico obtido nas amostras secas.

Tabela 13 – Estabilidade espumante da mucilagem de OPN

Concentração (%)	Tempo (min)	Temperatura de secagem	Estabilidade da espuma (%)
0,5	5	30	5,56 ^e ±0,111
1	5	30	6,15 ^e ±0,279
0,5	10	30	2,22 ^{ghij} ±0,192
1	10	30	3,41 ^{fg} ±0,128
0,5	30	30	1,15 ^{kl} ±0,169
1	30	30	1,44 ^{ijk} ± 0,334
0,5	5	45	3,57 ^f ± 0,178
1	5	45	5,20 ^e ± 0,195
0,5	10	45	1,74 ^{hijk} ± 0,231
1	10	45	2,81 ^{fgh} ± 0,169
0,5	30	45	0,75 ^{kl} ± 0,172
1	30	45	1,13 ^{kl} ± 0,178
0,5	5	60	2,07 ^{ghijk} ± 0,124
1	5	60	2,67 ^{fghi} ± 0,081
0,5	10	60	1,22 ^{kl} ± 0,112
1	10	60	1,56 ^{hijk} ± 0,192
0,5	30	60	0,00 ^l ± 0,00
1	30	60	0,00 ^l ± 0,00
0,5	5	Liofilizada água	21,30 ^b ± 0,848
1	5	Liofilizada água	58,34 ^a ± 0,556
0,5	10	Liofilizada água	15,67 ^c ± 0,948
1	10	Liofilizada água	22,52 ^b ± 0,714
0,5	30	Liofilizada água	10,48 ^d ± 0,570
1	30	Liofilizada água	16,07 ^c ± 0,995

Valores das médias ± desvio padrão. Letras minúsculas iguais não apresentam diferença significativa, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

5.2.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) da mucilagem de OPN

As imagens de MEV das amostras secas nas temperaturas de 30, 45 e 60 °C (Figura 15) mostram a presença de partículas irregulares e de diversos tamanhos e com partículas menores aderidas às maiores, resultados semelhantes, mas com partículas maiores, foram relatados por Dick et al., (2019), ao avaliar a mucilagem da *Opuntia monacantha*. Nas imagens obtidas na ampliação de 150x e 500x é possível notar as fraturas ocasionadas durante a secagem dessas amostras, sendo que na amostra de 60 °C, essas fraturas e a aglomeração de partículas são mais evidentes, inclusive na ampliação de 1000x, na qual é possível observar a presença de relevos sem uniformidade na estrutura.

A mucilagem liofilizada sem uso de etanol (Lio. Água), apresenta uma estrutura bem distinta das demais, sugere-se uma maior porosidade e aparência fibrosa, enquanto que as secas em estufa e a submetida à precipitação com etanol apresentaram uma morfologia mais compacta. Segundo Capitani et al. (2013), os processos de extração, purificação e secagem podem afetar a composição química e a estrutura molecular de plantas constituídas por biopolímero. As diferenças observadas nos diferentes métodos de tratamento da mucilagem vão de encontro aos estudos de Haque e Roos (2006), que afirmaram que diferentes métodos de secagem acarretam em diferentes morfologias das amostras. Em estudo realizado por Koç, Eren e Ertekin (2008), os autores relataram que a secagem convencional com ar quente resulta em produtos finais caracterizados por baixa porosidade, enquanto que a liofilização é dita como um dos métodos mais avançados que fornece produtos secos com estrutura porosa.

Esse aspecto mais esponjoso da amostra liofilizada pode ser um dos principais contribuintes para o fato desta amostra apresentar melhores propriedades funcionais (Tabela 11) do que as demais. Em se tratando da retenção de água, estudos relatam que materiais secos com aplicação de temperatura absorvem menos água do que os que são liofilizados, pois apresentam menos poros e locais disponíveis para moléculas de água se ligarem (HAQUE; ROOS, 2006; LEÓN-MARTÍNEZ; MÉNDEZ-LAGUNAS; RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, 2010).

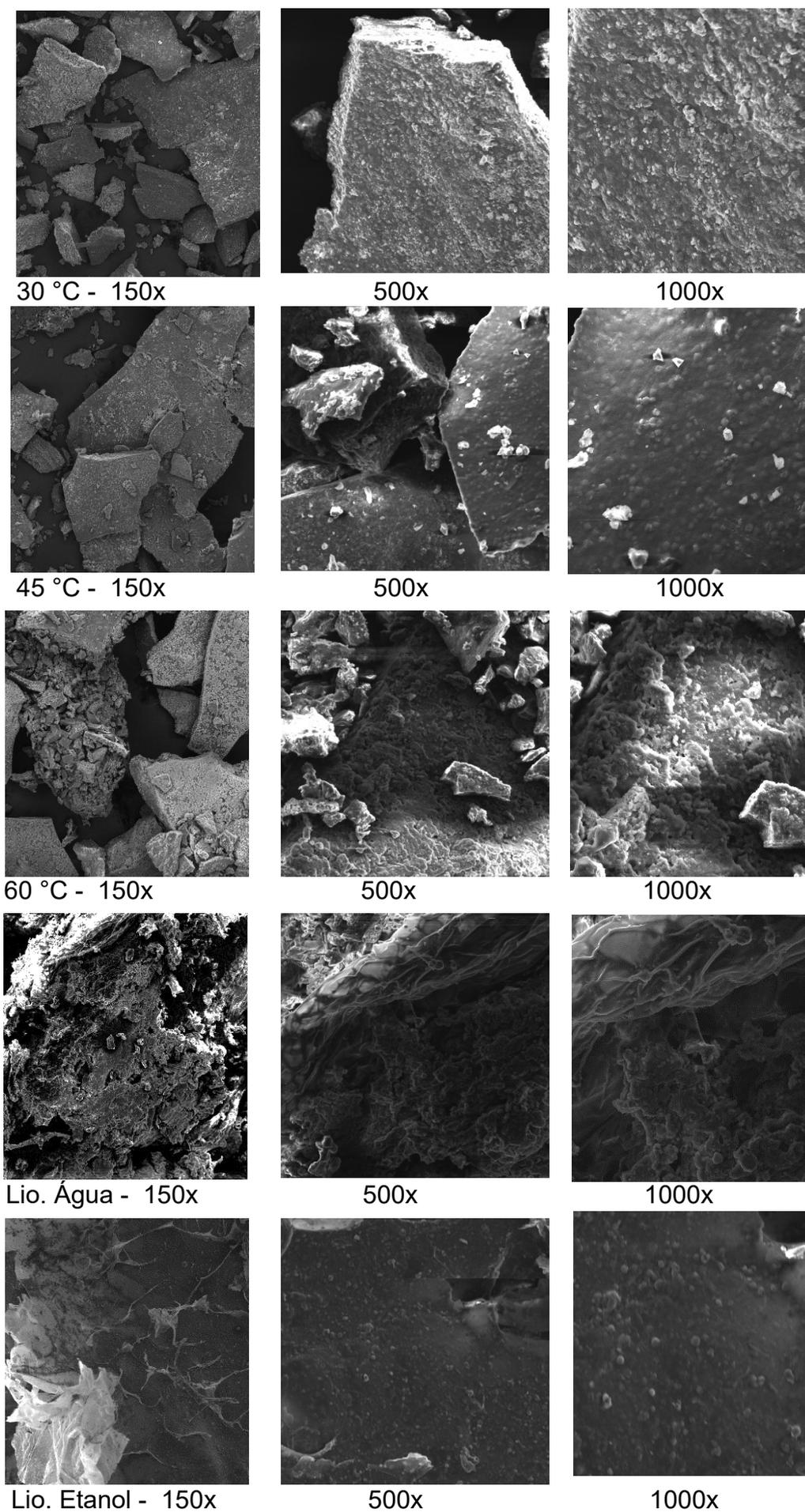


Figura 15- Micrografias da mucilagem de OPN
Fonte: Autoria própria (2021).

Em estudo realizado por Mirhosseini e Amid (2013) os autores avaliaram o efeito de diferentes técnicas de secagem nas propriedades funcionais e características de fluidez de goma carboidrato-proteína natural de sementes de durian. A goma liofilizada apresentou a maior porosidade, solubilidade e capacidade de formação de espuma entre as gomas secas. Segundo os autores, tal comportamento pode ser devido à menor degradação térmica, o que provavelmente resultou em uma estrutura menos compacta do que outras amostras.

5.2.5 Discriminação dos processos de secagem da mucilagem

A análise discriminante canônica (ADC) é uma análise estatística multivariada usada para discriminar dois ou mais grupos com base em um conjunto de variáveis (AZIZ; AL-HUR, 2013). Com o objetivo de verificar e compreender as variáveis independentes que influenciam na discriminação das condições de secagem para obtenção da mucilagem de OPN, aplicou-se a análise discriminante canônica.

A Tabela 14 apresenta os coeficientes de cada variável nas funções canônicas discriminantes. Com 99,9% da variação total explicada pela função 1, as variáveis melhores discriminantes entre as analisadas para as obtenções da mucilagem seca foram, capacidade emulsificante, sendo esta dentre todas as avaliadas a que mais diferenciou e melhor discriminou as amostras, seguida do pH, capacidade espumante a 0,5% e capacidade espumante a 1%. A análise discriminante canônica indica as variáveis que melhor contribuem para a discriminação entre grupos (AZIZ; AL-HUR, 2013)

Tabela 14 – Funções obtidas pela análise canônica

Fator	Autovalor	R² Canônico	Lambda Wilks'	X²	p
1	15677,03	0,99996	0,000001	97,9687	0,000000
2	50,55	0,99025	0,013095	30,3486	0,000034

Na Figura 16, pode-se perceber a separação das amostras. As variáveis do modelo canônico foram capazes de discriminar as formas de obtenção da mucilagem seca, ficando evidente a influência do tipo de secagem e da temperatura no processo de obtenção. Como pode ser visto as amostras secas a 30 e 45 °C apresentam pouca diferença entre si (mais próximas), mas encontram-se distantes da amostra seca a 60 °C e da amostra liofilizada. O fato da amostra seca a 60 °C estar distante da liofilizada e também das secas em estufa (30 e 45 °C) indica maior discriminação, evidenciando efeito da temperatura e dos métodos de secagem utilizados. Tais resultados corroboram com os obtidos na avaliação das propriedades funcionais apresentados na Tabela 11.

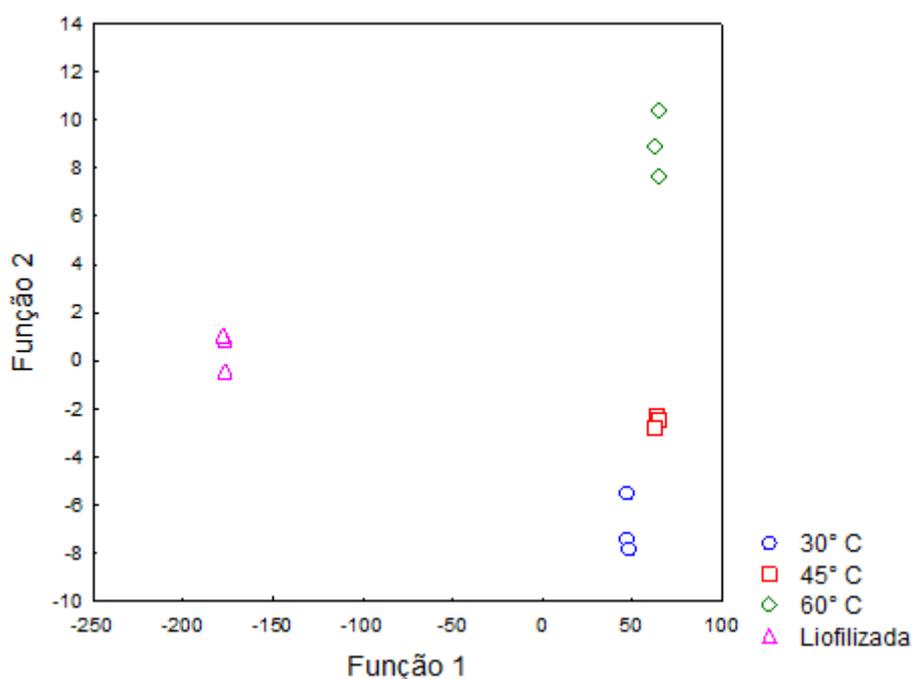


Figura 16 – Funções da análise discriminante canônica
Fonte: Autoria própria (2021).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como primeiro resultado a afirmação do potencial emulsificante da mucilagem da OPN (liofilizada), assim como do potencial de aplicação em derivado cárneo emulsionado.

A mucilagem do OPN mostrou-se um bom ingrediente emulsificante para utilização em indústrias de carnes. Com grandes quantidades de proteínas e a presença de todos os aminoácidos essenciais, a mucilagem alcançou um alto poder emulsificante (2276 mL de óleo / g de proteína) e boa estabilidade da emulsão (88-90%) em si e na mortadela (94-96%), confirmando grande potencial tecnológico. A adição de 0,05% de mucilagem OPN na substituição da pele de frango nas formulações surge como uma estratégia adequada para a obtenção de derivados de carne com qualidade nos atributos de textura, boa aceitação, bem como menores valores calóricos. Isso também reforça a importância dessa mucilagem e favorece o cultivo da planta de OPN.

A partir dessa validação sentiu-se a necessidade de melhor explorar os processos de obtenção da mucilagem (diferentes condições de secagem e uso de solvente), para assim se ter um melhor conhecimento para uma possível aplicação em escala industrial.

Embora já se saiba sobre a eficácia da liofilização para a manutenção das propriedades funcionais dos alimentos (ANTIGO; BERGAMASCO; MADRONA, 2020; MIRHOSSEINI; AMID, 2013; KOKSEL et al., 2008), o primeiro estudo teve como foco verificar a potencialidade emulsificante. E, portanto, investigar o efeito de temperaturas e condições de secagem nas propriedades funcionais passou a ser o foco do segundo estudo.

A secagem em estufa foi escolhida por ser considerado um método acessível. Entretanto sabe-se que, tratamentos térmicos modificam a estrutura e a composição química dos alimentos. Essa hipótese foi confirmada ao avaliar as propriedades funcionais da mucilagem, que são consideradas fundamentais na indústria alimentícia por afetarem diretamente propriedades de textura e a qualidade final dos produtos. Diferenças significativas no teor de proteínas assim como nas propriedades funcionais avaliadas foram verificadas quando comparadas as amostras obtidas pelos métodos de secagem em estufa e liofilização. A mucilagem

liofilizada de OPN apresentou os melhores resultados de capacidade e estabilidade emulsificante, boa capacidade de retenção de água e óleo, assim como elevada capacidade e estabilidade espumante.

Porém, mesmo apresentando desempenho inferior, a obtenção da mucilagem em estufa, em temperaturas menos elevadas, se torna uma alternativa de utilização quando, por exemplo, esse for o único recurso em acesso. Entretanto vale destacar a necessidade, após aplicação, de avaliação do produto elaborado.

Embora estudos recentes insistam em utilizar etanol para obtenção da mucilagem de OPN para aplicação na indústria alimentícia (SILVA et al., 2021; AMARAL et al., 2018), a hipótese do efeito negativo da utilização de etanol na precipitação da mucilagem foi confirmada. O uso de solventes orgânicos como o etanol provoca a desnaturação proteica o que afeta também as propriedades funcionais. Além disso, gera inconveniente um grande volume residual deste solvente que precisa passar por etapas de tratamento como rota evaporação ou destilação para ser recuperado, o que demanda mais gasto de energia.

Em relação à cinética de secagem o modelo de Page apresentou ajuste satisfatório nas temperaturas estudadas. A secagem da mucilagem sob 3 diferentes temperaturas, 30, 45 e 60 °C, demonstrou que quanto maior a temperatura de secagem, menor foi o consumo energético e menor foi o tempo necessário para alcançar o equilíbrio dinâmico. No entanto, diferenças nas propriedades funcionais entre as amostras secas na estufa e por liofilização foram verificadas e o efeito térmico negativo foi mais evidenciado na temperatura de 60 °C, resultado que foi confirmado pela análise discriminante canônica.

A mucilagem liofilizada sem precipitação de etanol apresentou os melhores resultados relacionados às propriedades funcionais, confirmando o grande potencial tecnológico da mucilagem de OPN obtida nessa condição.

7 REFERÊNCIAS

- AKAIKE, H. Information theory as an extension of the maximum likelihood principle. Á In: Petrov, BN and Csaki, F. In: **Second International Symposium on Information Theory**. Akademiai Kiado, Budapest, pp. 276 – 281, 1973.
- AKPINAR, Ebru Kavak; BICER, Yasar. Modelling of the drying of eggplants in thin-layers. **International journal of food science & technology**, v. 40, n. 3, p. 273-281, 2005.
- ALBUQUERQUE, M. G. P. T.; SABAA-SRUR, A. U. O.; FREIMAN, L. O. Composição centesimal e escore de aminoácidos em três espécies de Ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Mill. P. bleu de Candolle e *P. pereskia* (L) Karsten). **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 7-12, 1991.
- ALMEIDA, Martha E. F.; CORRÊA, Angelita D. Utilização de cactáceas do gênero *Pereskia* na alimentação humana em um município de Minas Gerais. **Ciência Rural**, v. 42, n. 4, p.751-756, 2012.
- ALMEIDA FILHO, J.; CAMBRAIA, J. Estudo do valor nutritivo do *ora-pro nobis* (*Pereskia aculeata* Mill.). **Revista Ceres**, v.21, n.114, p.105-111, 1974.
- ARMAFORTE, Emanuele; HOPPER, Lynsey; STEVENSON, Gillian. Preliminary investigation on the effect of proteins of different leguminous species (*Cicer arietinum*, *Vicia faba* and *Lens culinaris*) on the texture and sensory properties of egg-free mayonnaise. **LWT**, v. 136, p. 110341, 2021.
- ALPIZAR-REYES, Erik et al. Functional properties and physicochemical characteristics of tamarind (*Tamarindus indica* L.) seed mucilage powder as a novel hydrocolloid. **Journal of Food Engineering**, v. 209, p. 68–75, 2017.
- AMARAL, Tatiana N. et al. Blends of *Pereskia aculeata* Miller mucilage, guar gum, and gum Arabic added to fermented milk beverages. **Food Hydrocolloids**, v.79, p. 331–342, 2018.
- ANTIGO, J. L. D.; BERGAMASCO, R. DE C.; MADRONA, G. S. How drying methods can influence the characteristics of mucilage obtained from chia seed and psyllium husk. **Ciência Rural**, v. 50, n. 8, 2020.
- AOAC. Official methods of analysis of the association of analytical chemists international, 18th edn. Official Methods Gathersburg, 2005.
- ASGHARI, AK.; NORTON, I.; MILLS, T.; SADD, P.; SPYROPOULOS, F. Caracterização interfacial e de formação de espuma de sistemas mistos de partículas de amido-proteína para aplicações de espuma alimentar. **Food Hydrocolloids**, v. 53, p. 311-319, 2016.

AVELAR, Z.; VICENTE, A. A.; SARAIVA, J. A.; RODRIGUES, Rui M. The role of emergent processing technologies in tailoring plant protein functionality: New insights. **Trends in Food Science & Technology**, v. 113, p. 219-231, 2021.

ÁVILA, M. D. R.; CAMBERO, M. I.; ORDÓÑEZ, J. A.; de LA HOZ, L.; HERRERO, A. M. Rheological behaviour of commercial cooked meat products evaluated by tensile test and texture profile analysis (TPA). **Meat science**, v. 98(2), p. 310-315, 2014.

AZIZ, M. M. A.; AL-HUR, F. S. Differentiation between three Saudi goat types using Size-free Canonical Discriminant Analysis. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, p. 723-735, 2013.

BAKATULA, E. N.; RICHARD, D.; NECULITA, C. M. et al. Determination of point of zero charge of natural organic materials. **Environ Sci Pollut Res**, 25, 7823–7833, 2018.

BARONI, A. F.; HUBINGER, M. D. Drying of onion: effects of pretreatment on moisture transport. **Drying Technology**, v. 16, n. 9-10, p. 2083-2094, 1998.

BRANCO, Ivanise Guilherme et al. Drying kinetics and quality of uvaia (*Hexachlamys edulis* (O. Berg)) powder obtained by foam-mat drying. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 51, n. 7, p. 1703-1710, 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA). Instrução normativa n.4, 31 março de 2000. Aprova os Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade de Carne Mecanicamente Separada, de Mortadela, de Linguiça e de Salsicha. **Diário Oficial da União**, Brasília, seção 1, p.6-10, 2000.

BELICIU, Cosmin M.; MORARU, Carmen I. Physico-chemical changes in heat treated micellar casein–Soy protein mixtures. **LWT-Food Science and Technology**, v. 54, n. 2, p. 469-476, 2013.

BENELHADJ, S. et al. Effect of pH on the functional properties of *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* protein isolate. **Food Chemistry**, v. 194, p. 1056–1063, 2016.

BUENO, Arthur Soares et al. Effect of extrusion on the emulsifying properties of soybean proteins and pectin mixtures modelled by response surface methodology. **Journal of food engineering**, v. 90, n. 4, p. 504-510, 2009.

CÂMARA, A. K. F. I. et al. Chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage as a new fat substitute in emulsified meat products: Technological, physicochemical, and rheological characterization. **LWT- Food Science and Technology**, v. 125, p. 109193, 2020.

CAMPOS, B. E. et al. Optimization of the mucilage extraction process from chia seeds and application in ice cream as a stabilizer and emulsifier. **LWT - Food Science and Technology**, v. 65, p. 874–883, 1 jan. 2016.

CAPITANI, M.I.; IXTAINA, V.Y.; NOLASCO, S.M.; TOMÁS, M.C. Microstructure, chemical composition and mucilage exudation of chia (*Salvia hispanica* L.) nutlets from Argentina. **Journal of the Science and Food Agriculture**, v.93, p.3856-3862, 2013.

CHIELLE, D. P. Estudo da secagem de sementes de mamão papaya (*Carica papaya* L.) em secador convectivo horizontal e leite de jorro e a influência na extração de óleo. Dissertação (Mestre em Engenharia de Processos) – **Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS**. 129 f, 2014.

CONCEIÇÃO, Márcia C. et al. Thermal and microstructural stability of a powdered gum derived from *Pereskia aculeata* Miller leaves. **Food Hydrocolloids**, v.40, p.104–114, 2014.

CORADI, Paulo.C.; MELO, Evandro D.C.; ROCHA, Rocinely.P.D. Mathematical modeling of the drying kinetics of the leaves of lemon grass (*Cymbopogon citratus* Stapf) and its effects on quality. **IDESIA**, v.32, p.43-56, 2014.

COOREY, R.; TJOE, A.; JAYASENA, V. Gelling properties of chia seed and flour: chia gelling properties. **Journal of Food Science**, v. 79, n. 5, p. 859–866, 2014.

CREMASCO, C. P. et al. Bromatological and sensorial Evaluation of *pereskia aculeata* use in pasta dough. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 10, n. 3, p. 234–240, 2016.

DA SILVA, A. A. DA S. et al. Pão de ora-pro-nóbis –um novo conceito de alimentação funcional. **Agropecuária Catarinense**, v. 23, n. 1, p. 35–38, 2010.

DARWISH, A. M. G.; KHALIFA, R. E.; EL SOHAIMY, S. A. Functional properties of chia seed mucilage supplemented in low fat yoghurt. **Alexandria Science Exchange Journal**, v. 39, n. 3, p. 450–459, 2018.

DEHNAD, D.; JAFARI, S.M.; AFRASIABI, M. Influence of drying on functional properties of food biopolymers: from traditional to novel dehydration techniques. **Trends Food Sci. Technol.**, 57, p. 116-131, 2016.

DICK, Melina et al. Valorization of *Opuntia monacantha* (Willd.) Haw. cladodes to obtain a mucilage with hydrocolloid features: Physicochemical and functional performance. **International journal of biological macromolecules**, v. 123, p. 900-909, 2019.

DUAN, X. et al. Effect of oxidative modification on structural and foaming properties of egg white protein. **Food Hydrocolloids**, v. 75, p. 223–228, 2018.

ENGELGAU, Michael. M; ROSENTHAL, Joshua. P; NEWSOME, Bradley. J; PRICE, LeShawndra; BELIS, Deshree; MENSAH, Georg A. Noncommunicable Diseases in Low- and Middle-Income Countries: A Strategic Approach to Develop a Global Implementation Research Workforce. **Glob Heart**, 13(2), 131-137, 2018.

ERTEKIN, C.; YALDIZ, O. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. **Journal of Food Engineering**, v.63, n.3, p.349-59, 2004.

FARIA, Rute Q. de et al. Cinética de secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 573-583, 2012.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. A. **Química de alimentos de Fennema**. Editora: Artmed. 900p, 2010.

FERNANDO, J.A.K.M.; AMARASINGHE, A.D.U.S. Drying kinetics and mathematical modeling of hot air drying of coconut coir pith. **Springer Plus**, 5, 807, p.1-12, 2016.

FEYZI, Samira; MILANI, Elnaz; GOLIMOVAHHED, Q. Ali. Grass pea (*Lathyrus sativus* L.) protein isolate: The effect of extraction optimization and drying methods on the structure and functional properties. **Food Hydrocolloids**, v. 74, p. 187-196, 2018.

GALDINO, Plúvia O. et al. Drying kinetics of atemoya pulp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 672-677, 2016.

GARCIA-TORCHELSEN, Liziane; JACOB-LOPES, Eduardo; QUEIROZ, Maria I. Avaliação funcional de bases proteicas desidratadas de anchoita (*Engraulis anchoita*). **Brazilian Journal Of Food Technology**, v. 14, p. 283–293, 2011.

GARCIA, JAA.; CORRÊA, RCG.; BARROS, L et al. Phytochemical profile and biological activities of “Ora-pro-nobis” leaves (*Pereskia aculeata* Miller), an underexploited superfood from the Brazilian Atlantic Forest. **Food Chem**, v.294, p. 302- 308, 2019.

GHRIBI, A.M.; GAFSI, I.M.; BLECKER, C.; DANTHINE, S.; ATTIA, H.; BESBES, S. Effect of drying methods on physico-chemical and functional properties of chickpea protein concentrates. **Journal of Food Engineering**, 165, p. 179-188, 2015.

GINER, Sergio A. Influence of Internal and External Resistances to Mass Transfer on the constant drying rate period in high-moisture foods. **Biosystems Engineering**, v. 102, n. 1, p. 90-94, 2009.

GONÇALVES, JPZ et al. Quantificação de proteínas e análise de cinzas encontradas nas folhas e caule da ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Miller). In: **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Florianópolis-SC**. 2014.

GÜMÜŞAY, Özlem Aktürk et al. Drying effects on the antioxidant properties of tomatoes and ginger. **Food chemistry**, v. 173, p. 156-162, 2015.

GÜNHAN, T.; DEMIR, V.; HANCIOGLU, E.; Hepbasli, A. Mathematical modeling of drying of bay leaves. **Energy Conversion and Management** 46(11–12): 1667–1679, 2005.

HAQUE, MD. K.; ROOS, Y. H. Differences in the physical state and thermal behavior of spray-dried and freeze-dried lactose and lactose/protein mixtures. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 7, p.62-73, 2006.

HENDERSON, S. M. Progress in developing the thin layer drying equation. **Transactions of the ASAE**, v. 17, n. 6, p. 1167-1168, 1974.

HENDERSON, SM.; PABIS, S. Grain Drying Theory: Temperature Effect on Drying Coefficient. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 6, p. 169-174, 1961.

HORUZ, Erhan et al. Simultaneous application of microwave energy and hot air to whole drying process of apple slices: drying kinetics, modeling, temperature profile and energy aspect. **Heat and Mass Transfer**, v. 54, n. 2, p. 425-436, 2018.

HOSSEINI-PARVAR, S. H. et al. Steady shear flow behavior of gum extracted from *Ocimum basilicum* L. seed: Effect of concentration and temperature. **Journal of food engineering**, v. 101, n. 3, p. 236-243, 2010.

INCEDAYI, Bige. Assessment of pretreatments on drying kinetics and quality characteristics of thin-layer dried red pepper. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 44, n. 6, p. 543-556, 2020.

INYANG, Uwem; OBOH, Innocent; ETUK, Benjamin. Drying and the Different Techniques. **International Journal of Food Nutrition and Safety**, p. 45-72, 2017.

ISO 13299. **Sensory analysis—methodology—general guidance for establishing a sensory profile**. In: ISO 13299:2016, 1st ed. ANSI, New York, p 41, 2016.

İZLI, Nazmi et al. Effect of different drying methods on drying characteristics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity of *G. oldenberry* (*P. hysalis peruviana* L.). **International Journal of Food Science & Technology**, v. 49, n. 1, p. 9-17, 2014.

JIDEANI, VA.; BELLO, BM. Functional properties of okra protein products containing different levels of mucilage. **J Food Agric Environ**, 7:5, 2009.

JUNQUEIRA, Luciana A. et al. Rheological behavior and stability of emulsions obtained from *Pereskia aculeata* Miller via different drying methods. **International Journal of Food Properties**, v. 21, n. 1, p. 21–35, 2018.

KAEWMANEE, T. et al. Characterisation of mucilages extracted from seven Italian cultivars of flax. **Food Chemistry**, v.148, p.60–69,2014.

KAMMOUN BEJAR, A.; KECHAOU, N.; BOUDHRIOUA MIHOUBI, N. Effect of microwave treatment on physical and functional properties of orange (*Citrus Sinensis*) peel and leaves. **J. Food Process. Technol.**, 2, p. 109, 2011.

KARAM, Marie C. et al. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 188, p.32-49, 2016.

KARAZHIYAN, Hojjat; RAZAVI, Seyed MA; PHILLIPS, Glyn O. Extraction optimization of a hydrocolloid extract from cress seed (*Lepidium sativum*) using response surface methodology. **Food Hydrocolloids**, v. 25, n. 5, p. 915-920, 2011.

KINSELLA, J. E.; MELACHOURIS, N. Functional properties of proteins in foods: A survey. **C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 7, n. 3, 219-280, 1976.

KHATTAB, R. Y.; ARNTFIELD, S. D. Functional properties of raw and processed canola meal. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, n. 6, p. 1119–1124, 2009.

KOKSEL, Hamit et al. Improving effect of lyophilization on functional properties of resistant starch preparations formed by acid hydrolysis and heat treatment. **Journal of Cereal Science**, v. 47, n. 2, p. 275-282, 2008.

KOOCHEKI, A.; TAHERIAN, A.R.; RAZAVI, S.M.A.; BOSTAN, A. Response surface methodology for optimization of extraction yield, viscosity, hue and emulsion stability of mucilage extracted from *Lepidium perfoliatum* seeds. **Food Hydrocolloids**, 23, p. 2369-2379, 2009.

KOÇ, Banu; EREN, Ismail; ERTEKIN, Figen Kaymak. Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying method. **Journal of food engineering**, v. 85, n. 3, p. 340-349, 2008.

LAI, L. S.; LIANG, H. Y. Chemical compositions and some physical properties of the water and alkali-extracted mucilage from the young fronds of *Asplenium australasicum* (J. Sm.) Hook. **Food hydrocolloids**, v. 26(2), p. 344-349, 2012.

LAM, Ricky SH; NICKERSON, Michael T. Food proteins: a review on their emulsifying properties using a structure–function approach. **Food chemistry**, v. 141, n. 2, p. 975-984, 2013.

LARES- AMAIZ, Mary et al. Cambios de las propiedades físico-químicas y perfil de ácidos grasos en cacao de Chuao, durante el beneficio. **Agronomía Tropical**, v. 63, n. 1-2, p. 37-47, 2013.

LEÓN-MARTÍNEZ, F.M.; MÉNDEZ-LAGUNAS, L.L.; RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, J. Spray drying of nopal mucilage (*Opuntia ficus-indica*): Effects on powder properties and characterization. **Carbohydrate Polymers**, v.81, p.864-870, 2010.

LEWIS, W. Km. The rate of drying of solid materials. **Industrial & Engineering Chemistry**, v. 13, n. 5, p. 427-432, 1921.

LI, Tan Suet et al. Effect of gum Arabic concentrations on foam properties, drying kinetics and physicochemical properties of foam mat drying of cantaloupe. **Food Hydrocolloids**, v. 116, p. 106492, 2021.

LI, Tao et al. A saponification method for chlorophyll removal from microalgae biomass as oil feedstock. **Marine drugs**, v. 14, n. 9, p. 162, 2016.

LISE, Carla Cristina et al. Alternative protein from *Pereskia aculeata* Miller leaf mucilage: technological potential as an emulsifier and fat replacement in processed

mortadella meat. **European Food Research and Technology**, v. 247, n. 4, p. 851-863, 2021.

LIU, Jianhua; RU, Qiaomei; DING, Yuting. Glycation a promising method for food protein modification: Physicochemical properties and structure, a review. **Food Research International**, v. 49, n. 1, p. 170-183, 2012.

LIMA JUNIOR, Fausto A. et al. Response surface methodology for optimization of the mucilage extraction process from *Pereskia aculeata* Miller. **Food Hydrocolloids**, v. 33, n. 1, p. 38–47, 2013.

LIMA JUNIOR, Fausto A.; Desenvolvimento de processos de extração de hidrocoloides do Ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller). **UFLA, LAVRAS-MG**, 2011.

LUZ, Gianini R. Modelagem matemática e análise do secador rotativo de farelo de soja. **Universidade Estadual de Maringá**. Maringá, p. 104. 2006.

MAKRI, E.A.; DOXASTAKIS, G.I. Surface tension of *Phaseolus vulgaris* and *coccieus* proteins and effect of polysaccharides on their foaming properties. **Food Chemistry**, 101, p. 37-48, 2007.

MALIK, M.A.; SAINI C.S. Improvement of functional properties of sunflower protein isolates near isoelectric point: Application of heat treatment. **LWT**, pp. 411–417, 2018.

MALIK, M.A.; SAINI C.S. Polyphenol removal from sunflower seed and kernel: effect on functional and rheological properties of protein isolates. **Food Hydrocolloids**, 63 pp. 705–715, 2017.

MARQUES, G. M. R.; ARRUDA, R. S.; SILVA, A.A. L. Secagem de caldo de cana em leite de espuma e caracterização físico-química do produto. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 7, n. 2, p. 14, 2016.

MARQUES, Caroline.; REIS, Amália.; MOURA, Cristiane.; BONADIMANN, Fátima S.; MITTERER-DALTOÉ, Marina L. Consumer insight into the monosodium glutamate. **Acta Scientiarum**, v. 40, p. 1–7, 2018.

MARQUES, C.; LISE C.C.; DE LIMA, V.A.; MITTERER-DALTOÉ, M.L. Survival analysis and cut-off point to estimate the shelf life of refrigerated fish burgers. **Food Sci Technol**, v. 40, p.171–177, 2020.

MARTIN, Andressa A. et al. Chemical structure and physical-chemical properties of mucilage from the leaves of *Pereskia aculeata*. **Food Hydrocolloids**, v. 70, p. 20–28, 2017.

MASKAN, Aysun; KAYA, Sevim; MASKAN, Medeni. Hot air and sun drying of grape leather (pestil). **Journal of food engineering**, v. 54, n. 1, p. 81-88, 2002.

MAZUCHELI, Josmar; ACHCAR, Jorge A. Algumas considerações em regressão não-linear. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, p. 761-1770, 2002.

MERCÊ, Ana Lucia R. et al. Complexes of arabinogalactan of *Pereskia aculeata* and Co^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} e Ni^{2+} , **Biores. Technol.** vol. 76, p. 29–37, 2001.

MERRILL, Annabel L.; WATT, Bernice K. Energy value of foods - basis and derivation. **USDA Agricultural Research Service Human Nutrition Research Branch**, v. 74, p. 109, 1973.

MIDILLI, A.; KUCUK, H. Mathematical modeling of thin layer drying of pistachio by using solar energy. **Energy Conversion and Management** 44(7): 1111–1122, 2003.

MIRHOSSEINI, H.; AMID, B. T.; CHEONG, K. W. Effect of different drying methods on chemical and molecular structure of heteropolysaccharide–protein gum from durian seed. **Food Hydrocolloids**, v. 31, n. 2, p. 210–219, 2013.

MIRHOSSEINI, H.; AMID, B.T. Effect of different drying techniques on flowability characteristics and chemical properties of natural carbohydrate–protein cum from durian fruit seed. **Chem Central J**, v.7, p. 1-14, 2013.

MITTERER-DALTOÉ, M.L.; CARRILLO, E.; QUEIROZ, MI. et al. Structural equation modelling and word association as tools for a better understanding of low fish consumption. **Food Res Int**, v. 52, p.56–63, 2013.

MOKRZYCKI, Wojciech; TATOL, Maciej. Color difference Delta E - A survey. **Machine Graphics and Vision**, v. 20, p. 383-411, 2011.

MONTEIRO, R. L. et al. Microwave vacuum drying of *Pereskia aculeata* Miller leaves: Powder production and characterization. **Journal of Food Process Engineering**, v. 44, n. 2, p. e13612, 2020.

MORA-GALLEGO, Héctor; SERRA, Xavier; GUÀRDIA, Maria Dolors; ARNAU, Jacint. Effect of reducing and replacing pork fat on the physicochemical, instrumental and sensory characteristics throughout storage time of small caliber non-acid fermented sausages with reduced sodium content. **Meat Science**, p. 62-68, 2014.

NAJI, S.; RAZAVI, S.M.A.; KARAZHIYAN, H. Effect of thermal treatments on functional properties of cress seed (*Lepidium sativum*) and xanthan gums: A comparative study. **Food Hydrocolloids**, 28, p. 75-81, 2012.

NDISYA, J.; MBUGE, D.; KULIG, B.; GITAU, A.; HENSEL, O.; STURM, B. Hot air drying of purple-speckled Cocoyam (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) slices: Optimisation of drying conditions for improved product quality and energy savings. **Thermal Science and Engineering Progress**, v. 18, 100557, 2020.

NICOLIN, Douglas J. et al. Mathematical modeling of soybean drying by a fractional-order. **Jornal of Food Process Engineering**, p. 1-8, 2017.

NOVÁK, P.; HAVLÍČEK, V. 4 - Protein Extraction and Precipitation. In: CIBOROWSKI, P.; SILBERRING, J. (Eds.). *Proteomic Profiling and Analytical Chemistry* (Second Edition). **Boston: Elsevier**, p. 51–62, 2016.

OGATA, Katsuhiko. Engenharia de controle moderno. **Prentice Hall**, São Paulo, n. 4, p. 940, 2003.

OLIVEIRA, Natália L. et al. Development and characterization of biodegradable films based on *Pereskia aculeata* Miller mucilage. **Industrial Crops & Products** 130, p.499 -510, 2019.

OLIVEIRA, Ricardo C. et al. Adjustment of non-linear models for drying in thin layer by Bayesian inference. **Acta Scientiarum**, v. 36, n. 2, p. 263-269, 2014.

OLIVO, Rubson; SHIMOKOMAKI, Massami. Emulsões cárneas. In: SHIMOKOMAKI, M.; OLIVO, R.; TERRA, N. N.; Franco, B. D. G. M. **Atualidades em Ciência e Tecnologia de Carnes**. Varela, São Paulo, cap. 12, p. 123-133, 2006.

OZDEMIR, Yasin et al. Olive semidrying process: oleuropein degradation in relation to sensory bitterness. **Journal of Food Science and Nutrition**, v. 1, n. 2, p. 1-8, 2018.

PAGE, Glen E. **Factors Influencing the Maximum Rates of Air Drying Shelled Corn in Thin layers**. Purdue University, 1949.

PANCHARIYA, P.C.; POPOVIC, Dobrivoje; SHARMA, Anupam L. Thin-Layer modeling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, 52, 349-357, 2002.

RAIKOS, Vassilios; CAMPBELL, Lydia; EUSTON, Stephen R. Efeitos da sacarose e do cloreto de sódio nas propriedades espumantes das proteínas da clara do ovo. **Food Research International** , v. 40, n. 3, pág. 347-355, 2007.

RAJKUMAR, P. et al. Foam mat drying of alphonso mango pulp. **Drying Technology**, v. 25, n. 2, p. 357-365, 2007.

RATTI, Cristina. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. **Journal of food engineering**, v. 49, n. 4, p. 311-319, 2001.

RODSAMRAN, P.; SOTHORNVIT, R. Physicochemical and functional properties of protein concentrate from by-product of coconut processing. **Food Chemistry**, v. 241, p. 364-371, 2018.

ROCHA, Débora R. da C. et al. Macarrão adicionado De Ora-Pro-Nóbis (*Pereskia aculeata* MILLER) desidratado. **Alimentos e Nutrição Araraquara - UNESP**, p. 459-465, 2008.

RODRIGUEZ-CAMPOS, J. et al. Dynamics of volatile and non-volatile compounds in cocoa (*Theobroma cacao* L.) during fermentation and drying processes using principal components analysis. **Food Research International**, v. 44, n. 1, p. 250-258, 2011.

SAENGPOL, Ekkarach; PIRAK, Tantawan. Hoary basil seed mucilage as fat replacer and its effect on quality characteristics of chicken meat model. **Agriculture and Natural Resources**, v.52, p. 382-387, 2018.

SÁENZ, Carmem; SEPÚLVEDA, Elena; MATSUHIRO, Betty. Opuntia spp. mucilage's: A functional component with industrial perspectives. **Journal of Arid Environments**, v. 57, n. 3, p. 275–290, 2004.

SALIS, A.; BOSTROM, M.; CUGIA, F.; BARSE, B.; PARSONS, D. F.; NINHAM, B. W.; MONDUZZI, M. Measurements and theoretical interpretation of points of zero charge/potential of BSA protein. **Langmuir**, 27, pp. 11597 – 11604, 2011.

SANTOS, Aline Q.; SANTOS, Regineide X.; MARISCO, Gabriele. Atividades biológicas, toxicológicas e parâmetros nutricionais da *Pereskia aculeata* Miller: uma revisão bibliográfica. **Scientia Amazonia**, v. 7, n. 2, p. 1-19, 2018.

SARTOR, Claudenice F. P. et al. Estudo da ação cicatrizante das folhas de *Pereskia aculeata*. **Revista Saúde e Pesquisa**, v. 3, n. 2, p. 149–154, 2010.

SATO, Rie et al. Nutritional improvement of pasta with *Pereskia aculeata* Miller: a non-conventional edible vegetable. **Food Science and Technology**, v. 2061, p. 1–7, 2018.

SCHMIELE, Marcio; MASCARENHAS, Maria C. C. N.; Barretto, Andrea C. S.; Pollonio, Marise A. R. Dietary fiber as fat substitute in emulsified and cooked meat model system. **LWT - Food Science and Technology**, p. 105-111, 2015.

SCHWENKE, K. D. Reflections about the functional potential of legume proteins: A Review. **Food/Nahrung**, v. 45, n. 6, p. 377-381, 2001.

SCIARINI, L. S. et al. Chemical composition and functional properties of *Gleditsia triacanthos* gum. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 2, p. 306–313, 2009.

SEPÚLVEDA, E.; SANEZ, C.; ALIAGA, E.; ACEITUNO, C. Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. **Journal of Arid Environments**, 68, p. 534-545, 2007.

SHARAF-ELDEEN, Y. I.; HAMDY, M. Y.; KEENER, H. M.; BLAISDELL, J. L. Mathematical description of drying fully exposed grains. **Transactions of the ASAE Paper** No 79-3034, 1979.

SILVA, Wilton P. et al. Determinação da difusividade e da energia de ativação para feijão macassar (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), variedade sempre-verde, com base no comportamento da secagem. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 2, p. 325-333, 2008.

SILVA, Sérgio Henrique et al. Freeze-dried petit suisse cheese produced with ora-pro-nóbis (*Pereskia aculeata* Miller) biopolymer and carrageenan mix. **LWT**, p. 111764, 2021.

SIMPSON, R.; RAMÍREZ, C.; NUÑEZ, H.; JAQUES, A.; ALMONACID, S. Understanding the success of Page's model and related empirical equations in fitting experimental data of diffusion phenomena in food matrices. **Trends in Food Science & Technology**, v. 62, p.194-201, 2017.

SINGH, Fatev V.; KATIYAR, K.; SINGH, B. P. Mathematical modeling to study drying characteristic of apple and potato. **International Conference on Chemical, Environment & Biological Sciences**. 17-18, 2014.

SIQUEIRA, Valdiney C.; RESENDE, Osvaldo; CHAVES, Tarcísio H. Mathematical modelling of the drying of jatropha fruit: na empirical comparison. **Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 2, p. 278-285, 2013.

SOUZA, Lucéia F. Aspectos fitotécnicos, bromatológicos e componentes bioativos de *Pereskia aculeata*, *Pereskia grandifolia* e *Anredera cordifolia*. Porto Alegre, Tese (Doutorado em Fitotecnia) - **UFRGS**, 2014.

SOUKOULIS, C.; GAIANI C.; HOFFMANN, L. Plant seed mucilage as emerging biopolymer in food industry applications. **Curr Opin Food Sci**, v. 22, p.28–42, 2018.

STRUMILLO, Czeslaw; KUDRA, Tadeusk. Drying: principles, applications and design. Topics in chemical engineering. Montreux, Switzerland: **Gordon and Breach Science Publishers**, v. 3, 1986.

STUMM, W.; MORGAN, J. J. **Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters**. New York: J. Wiley & Sons, 1996.

TAKEITI, Cristina Y., ANTONIO, Graziella C., MOTTA, Eliana M. P., COLLARES-QUEIROZ, Fernanda P., PARK, Kil J. Nutritive evaluation of a non-conventional leafy vegetable (*Pereskia aculeata* Miller). **International Journal of Food Sciences and Nutrition**,60:1,p.148-160, 2009.

TERRA, N.N.; FRIES, L.L.M.; MILANI, L.G.; KUBOTA, E.H.; TERRA, A. M.; URNAU, D. Emprego de soro de leite líquido na elaboração de mortadela. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 39, p. 885–890, 2009.

THUWAPANICHAYANAN, Ratiya; PRACHAYAWARAKORN, Somkiat; SOPONRONNARIT, Somchart. Drying characteristics and quality of banana foam mat. **Journal of Food Engineering**, v. 86, n. 4, p. 573-583, 2008.

TOFANELLI, Mauro B D; RESENDE, Sueilo G. Sistemas de condução na produção de folhas de ora-pro-nobis. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 466–469, 2011.

TOĞRUL, İnci Türk; PEHLIVAN, Dursun. Modelling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process. **Journal of food engineering**, v. 65, n. 3, p. 413-425, 2004.

TUNDE-AKINTUNDE, T. Y.; AFOLABI, T. J.; AKINTUNDE, B. O. Influence of drying methods on drying of bell-pepper (*Capsicum annum*). **Journal of Food Engineering**, v. 68, n. 4, p. 439-442, 2005.

ALFREDO, Vázquez-Ovando et al. Physicochemical properties of a fibrous fraction from chia (*Salvia hispanica* L.). **LWT-Food Science and Technology**, v. 42, n. 1, p. 168-173, 2009.

VIEIRA,É. A.; ALCÂNTARA, M. A.; SANTOS, N. A.; GONDIM, A. D.; IACOMINI, M.; MELLINGER, C.; CORDEIRO, A. M. T. de M. Mucilages of cacti from Brazilian biodiversity: Extraction, physicochemical and technological properties. **Food Chemistry**, v. 346, 128892, 2021.

VIMERCATI, Wallaf Costa et al. Efeito da temperatura na cinética de secagem em leite de espuma e na degradação de antocianina em morango. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, 2019.

WANG, J.S. et al. Physicochemical, functional and emulsion properties of edible protein from avocado (*Persea americana* Mill.) oil processing by-products. **Food Chemistry**, v. 288, p. 146–153, 2019.

WANG, C. Y.; SINGH, R. P. **A single layer drying equation for rough rice**. ASAE paper, 1978.

WHITE, J.A.; HART, R.J.; FRY, J.C. An evaluation of the Waters Pico-Tag system for the amino-acid analysis of food materials. **J Autom Chem**, v.8, p.170–177, 1986.

WU, X.; YANG, C.; GE, J. Green synthesis of enzyme/metal-organic framework composites with high stability in protein denaturing solvents. **Bioresources and Bioprocessing**, v. 4, n. 1, p. 24, 2017.

WU, Haiwen et al. Comparative studies on the functional properties of various protein concentrate preparations of peanut protein. **Food Research International**, v. 42, n. 3, p. 343-348, 2009.

YALDÝZ, O; ERTEKÝN, C. Thin layer solar drying of some vegetables. **Drying Technology** 19:p. 583–596,2001.

YANG, Han-Sul; CHOI, Sung-Gil; JEON, Jin-Tae; PARK, Gu-Boo; JOO, Seon Tea. Textural and sensory properties of low fat pork sausages with added hydrated oatmeal and tofu as texture-modifying agents. **Meat Science**, p. 283–289,2007.

YOSHIMURA Y, BISE T, SHIMAZU S et al. Effects of a leucine- enriched amino acid supplement on muscle mass, muscle strength, and physical function in post-stroke patients with sarcopenia: a randomized controlled trial. **Nutrition** 58:1–6, 2019.

ZANOELO, Everton F.; CELSO, Giuseppe M. D.; KASKANTZIS, Georges. Drying kinetics of mate leaves in a packed bed dryer. **Byosystems Engineering**, v.96, n.4, p.487- 494, 2007.

ZHANG, F.; RAN,C.; ZHENG, J.; DING,Y.; CHEN, G. Polysaccharides obtained from bamboo shoots (*Chimonobambusa quadrangularis*) processing by-products: new insight into ethanol precipitation and characterization. **Int. J. Biol. Macromol.**, 112, pp. 951-960, 2018.

ZENG, W. W.; LAI, L. S. Characterization of the mucilage extracted from the edible fronds of bird's nest fern (*Asplenium australasicum*) with enzymatic modifications. **Food Hydrocolloids**, v. 53, p. 84-92, 2016.

ZHONG, C.; WANG, R.; ZHOU, Z.; JIA, S.-R.; TAN, Z.-L.; HAN, P.-P. Functional properties of protein isolates from *Caragana koshinskii* Kom. extracted by three different methods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 60, p. 10337-10342, 2012.