



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANA CAROLINA DA SILVA SALES DE MORAES

SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DE YACON (*Smallanthus sonchifolius*):
EFEITO DOS AGENTES ESPUMANTES, TEMPERATURA DE SECAGEM E
TEMPO DE BATIMENTO

CURITIBA

2023

ANA CAROLINA DA SILVA SALES DE MORAES

SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DE YACON (*Smallanthus sonchifolius*):
EFEITO DOS AGENTES ESPUMANTES, TEMPERATURA DE SECAGEM E
TEMPO DE BATIMENTO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Setor de Tecnologia Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Orientador:

CURITIBA

2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Moraes, Ana Carolina da Silva Sales de.

Secagem em camada de Espuma de Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) efeito dos agentes espumantes, temperatura de secagem e tempo de batimento. / Ana Carolina da Silva Sales de Moraes. – Curitiba, 2023.

I recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos.
Orientadora: Profa. Dra. Maria Lucia Masson.

1. Engenharia de alimentos. 2. Yacon. 3. Temperatura. 4. Secagem. I. Masson, Maria Lucia. II. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. III. Título.

Bibliotecário: Nilson Carlos Vieira Júnior CRB-9/1797



ATA DE SESSÃO PÚBLICA DE DEFESA DE MESTRADO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRA EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

No dia vinte e seis de outubro de dois mil e vinte e dois às 09:30 horas, na sala <https://bityli.com/xkzMPVWF>, Defesa remota pelo Teams., foram instaladas as atividades pertinentes ao rito de defesa de dissertação da mestranda **ANA CAROLINA DA SILVA SALES DE MORAES**, intitulada: **Secagem em camada de espuma de Yacon (*Smallanthus sonchifolius*): efeito dos agentes espumantes, temperatura de secagem e tempo de batimento.**, sob orientação da Profa. Dra. MARIA LUCIA MASSON. A Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA DE ALIMENTOS da Universidade Federal do Paraná, foi constituída pelos seguintes Membros: MARIA LUCIA MASSON (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ), AGNES DE PAULA SCHEER (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ), ROBERTA DE SOUZA LEONE (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ). A presidência iniciou os ritos definidos pelo Colegiado do Programa e, após exarados os pareceres dos membros do comitê examinador e da respectiva contra argumentação, ocorreu a leitura do parecer final da banca examinadora, que decidiu pela APROVAÇÃO. Este resultado deverá ser homologado pelo Colegiado do programa, mediante o atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca dentro dos prazos regimentais definidos pelo programa. A outorga de título de mestra está condicionada ao atendimento de todos os requisitos e prazos determinados no regimento do Programa de Pós-Graduação. Nada mais havendo a tratar a presidência deu por encerrada a sessão, da qual eu, MARIA LUCIA MASSON, lavrei a presente ata, que vai assinada por mim e pelos demais membros da Comissão Examinadora.

CURITIBA, 26 de Outubro de 2022.

Assinatura Eletrônica

14/02/2023 13:25:07.0

MARIA LUCIA MASSON

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

10/02/2023 17:06:54.0

AGNES DE PAULA SCHEER

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

14/02/2023 10:39:50.0

ROBERTA DE SOUZA LEONE

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ)



MINISTÉRIO DA
EDUCAÇÃO SETOR DE
TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-
GRADUAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
ENGENHARIA DE ALIMENTOS - 40001016019P6

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA DE ALIMENTOS da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **ANA CAROLINA DASILVA SALES DE MORAES** intitulada: **Secagem em camada de espuma de Yacon (*Smallanthus sonchifolius*): efeito dos agentes espumantes, temperatura de secagem e tempo de batimento.**, sob orientação da Profa. Dra. MARIA LUCIA MASSON, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa. A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 26 de Outubro de 2022.

Assinatura Eletrônica

14/02/2023

13:25:07.0 MARIA

LUCIA MASSON

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

10/02/2023 17:06:54.0

AGNES DE PAULA

SCHEER

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

14/02/2023 10:39:50.0

ROBERTA DE SOUZA

LEONE

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ)

“Se você estiver em uma sala com 100 pessoas, e 99 delas não acreditam em você, mas precisa só de uma que acredita para mudar toda a sua vida.”

(Lady Gaga)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao universo e a mim primeiramente, pois sem meu esforço não iria conseguir meu objetivo de ser mestre.

À minha mãe Nara e minha avó Regina, minha tia Sueli vocês sempre serão a luz da minha vida, obrigada pelo amor incondicional, por todo cuidado, amo vocês de todo meu coração. Aos meus irmãos, Felipe e Marcos, meus primos Brenda e Caio obrigada por vocês me aguentarem, por serem preocupados com meu bem estar, amo vocês.

À minha orientadora prof.^a Maria Lúcia, obrigada pelos ensinamentos, pela confiança depositada em mim para que eu realizasse esse trabalho e obrigada pela paciência.

Ao meu coorientador prof. ^o Felipe, muito obrigada pelos ensinamentos, os desafios dos artigos, a colaboração para que esse trabalho ocorresse, obrigada por tudo.

Aos meus amigos que mesmo distante se fazem perto, Camila, Taise, Débora, Luísa, Felipe, Júlio, Maria, Laila e todos os outros que se eu citar aqui não acabo mais. Obrigada pelo apoio, pelas risadas, pelos momentos descontraídos, pelas viagens, agradeço por cada ajuda, por fazerem parte da minha trajetória.

À minha companheira de vida Alaiana, obrigada por investir nos meus sonhos, não soltar minha mão nos piores momentos e sempre me incentivar a ser uma pessoa melhor, te agradeço por todo amor depositado a mim, te amo.

RESUMO

O yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é uma planta de origem andina e devido aos seus diversos benefícios à saúde, atualmente vem ganhando grande visibilidade, no entanto, possui alta perecibilidade, sendo, portanto, utilizados métodos para aumentar sua vida útil. Dentre as técnicas, a Foam Drying (secagem por espuma) se destaca por seu baixo custo em relação aos tradicionais métodos industriais. Diante disso, objetivou-se otimizar a secagem em camada de espuma do suco de yacon concentrado, como um método de secagem com baixa degradação de compostos antioxidantes no pó de yacon avaliando os parâmetros de concentração do agente espumante, concentração e tempo de batimento. Foram realizados testes em que as espumas foram formadas a partir do suco concentrado, com a adição de ovoalbumina e Emustab®. Os ensaios foram gerados a partir de um planejamento experimental delineamento composto central rotacional (DCCR) 2³ com 3 repetições no ponto central. O delineamento foi utilizado para investigar o efeito das variáveis independentes X, Y e Z sobre as respostas 1, 2, 3, 4. Adicionalmente, executou-se a análise de desejabilidade para otimizar o processo em função das variáveis-resposta que geraram um bom ajuste matemático, nomeadamente a cor. As condições ótimas de secagem foram a 60 °C com concentração de 11,7% de ovoalbumina e 1,59 minutos de tempo de batimento. Foram analisadas também as características físicas da espuma, como volume de formação de ar, percentual de expansão e estabilidade, os ensaios não apresentaram diferença estatística, apresentando espumas estáveis de qualidade para secagem. As espumas desidratadas foram trituradas e peneiradas para obtenção do pó, e foram avaliadas as características físico-químicas dos pós, os quais apresentaram baixa atividade de água (< 0,541) e alta solubilidade (> 73,4%). O suco de yacon seco em camada de espuma apresentou baixa densidade aparente (< 0,26 g.cm⁻³) e alta porosidade intragranular (> 69,84 %). Os pós obtidos conforme o delineamento experimental e o pó obtido sob condições ótimas foram extraídos para analisar a atividade antioxidante quando foram observados valores consideráveis para produtos secos. O pó otimizado foi analisado através de RMN e foi detectado a presença de açúcares como β-glicose, α-glicose, sacarose e FOS, também se identificou ácido fumárico, fórmico e málico. Pode-se concluir que o produto em pó obtido apresentou características físicas e químicas adequadas, sendo possível seu uso como ingrediente nas diversas apresentações de produtos alimentícios.

Palavras-Chave: *Smallanthus sonchifolius*, secagem em camada de espuma, antioxidantes, RMN.

ABSTRACT

The yacon (*Smallanthus sonchifolius*) is a plant of Andean origin and due to its various health benefits, it is currently gaining great visibility, however, it has high perishability, so methods are used to increase its shelf life. Among the techniques, the Foam Drying stands out for its low cost in relation to traditional industrial methods. In view of this, it was aimed to optimize the foam layer drying of concentrated yacon juice as a drying method with low degradation of antioxidant compounds in yacon powder by evaluating the parameters of foaming agent concentration, concentration and beating time. Tests were conducted in which foams were formed from the concentrated juice with the addition of ovoalbumin and Emustab®. The trials were generated from a 2³ experimental planning central composite rotational design (DCCR) with 3 repetitions at the center point. The design was used to investigate the effect of the independent variables X, Y and Z on the responses 1, 2, 3, 4. Additionally, desirability analysis was performed to optimize the process as a function of the response variables that generated a good mathematical fit, namely color. The optimal drying conditions were at 60 °C with a concentration of 11.7% egg albumin and 1.59 minutes of beating time. The physical characteristics of the foam were also analyzed, such as air formation volume, expansion percentage and stability, the tests showed no statistical difference, presenting stable drying quality foams. The dehydrated foams were crushed and sieved to obtain powder, and the physicochemical characteristics of the powders were evaluated, which showed low water activity (< 0.541) and high solubility (> 73.4%). The foam layer dried yacon juice showed low bulk density (< 0.26 g.cm⁻³) and high intragranular porosity (> 69.84 %). The powders obtained according to the experimental design and the powder obtained under optimal conditions were extracted to analyze the antioxidant activity when considerable values were observed for dry products. The optimized powder was analyzed through NMR and the presence of sugars such as β-glucose, α-glucose, sucrose and FOS was detected, fumaric, formic and malic acid were also identified. It can be concluded that the powdered product obtained presented suitable physical and chemical characteristics, being possible its use as an ingredient in various presentations of food products.

Keywords: *Smallanthus sonchifolius*, foam-mat drying, antioxidants, NMR.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Yacon in natura	17
figura 2 - Relação entre a atividade de água e taxa de reações deteriorativas em alimentos.....	20
figura 3 - Estrutura de uma espuma	22
figura 4 - Diagrama de resumo da pesquisa desenvolvida para o yacon	28
figura 5 - Determinação da densidade da espuma	31
figura 6 - Espuma de yacon com 30 segundos e 10 minutos de batimento	31
figura 7 - Imagem (a) ensaio 12 e imagem (b) ensaio otimizado	50
figura 8 - RMN do yacon otimizado.....	62
figura 9 - Micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura de partículas de suco concentrado de yacon otimizado. Resolução de 250x a 2.000x.....	63

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Diagrama de pareto umidade.....	45
gráfico 2 - Superfície de resposta umidade	45
gráfico 3 - Siagrama de pareto sólidos solúveis	46
gráfico 4 - Superfície de resposta sólidos solúveis	46
gráfico 5 - Diagrama de pareto l*	47
gráfico 6 - Superfície de resposta l*	47
gráfico 7 - Desejabilidade do pó de yacon	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Delineamento composto central rotacional (2^3) com valores codificados e reais, onde (t) representa a temperatura, (c) concentração e (t) tempo de batimento.	29
tabela 2 - Densidade, volume de fração de ar e percentual de expansão das espumas em diferentes concentrações e tempos de batimento	40
tabela 3 - Estabilidade das espumas em diferentes concentrações e tempos de batimento	43
tabela 4 - Umidade, atividade de água, solubilidade e higroscopicidade dos extratos secos produzidos por diferentes concentrações e temperaturas de secagem	51
tabela 5 - Densidades e porosidades dos pós de yacon produzidos por diferentes concentrações e temperaturas de secagem.....	53
tabela 6 - Coordenadas L^* , a^* e b^* relacionados à cor dos pós de suco concentrado de yacon secos obtidos por diferentes concentrações e temperaturas de secagem	56
tabela 7 - Atividade antioxidante (frap, dp _{ph} e abts) dos extratos do yacon in natura, dos pós de yacon e pó otimizado, produzidos por diferentes concentrações e temperaturas de secagem.....	59

LISTA DE NOMENCLATURAS

a* - tonalidade verde-vermelha

aw – atividade de água

ANOVA – análise de variância

AOAC – Association of Official Analytical Chemists

b* - tonalidade azul-amarela

BOD – demanda bioquímica de oxigênio

ϵ – porosidade intragranular

FOS – frutooligossacarídeos

HG –higroscopicidade

L* - luminosidade

m – massa do pó (g)

m1 – conteúdo de água livre do pó (base úmida)

MEV – microscopia eletrônica de varredura

MSR- metodologia de superfície de resposta

PPO – polifenoloxidasas

R2 – coeficiente de determinação

RMN – ressonância magnética nuclear

rpm – rotações por minuto

t – tempo de secagem (s)

U – umidade no tempo t (base seca)

V_{espuma} – volume da espuma (mL)

V_0 – volume inicial da espuma (mL)

V_t – volume total (mL)

ρ_{abs} – densidade absoluta (g/cm^3) ρ_{ap} –

densidade aparente (g/cm^3) ρ_{cp} –

densidade compactada (g/cm^3) ρ_E –

densidade da espuma (g/cm^3) ρ_L –

densidade do líquido (g/cm^3)

Φ – volume da fração de ar

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. GERAL	15
2.2. ESPECÍFICOS	15
3. DIAGRAMA CONCEITUAL.....	16
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
5. MATERIAL E MÉTODOS	27
5.2. Processamento das raízes do Yacon.....	27
5.3. Branqueamento.....	28
5.4. Preparo das espumas	28
5.5. Delineamento composto central rotacional (DCCR)	29
5.6. Avaliação da espuma	30
5.6.1. <i>Densidade</i>	30
5.6.2. <i>Volume da fração de ar</i>	31
5.6.3. <i>Percentual de expansão</i>	31
5.6.4. <i>Estabilidade física</i>	32
5.7. Caracterização físico-química do yacon em pó.....	33
5.8. Secagem em camada de espuma.....	33
5.8.1. <i>Densidade Aparente</i>	34
5.8.2. <i>Densidade Compactada</i>	34
5.8.3. <i>Densidade Absoluta</i>	34
5.8.1. <i>Higroscopicidade</i>	35
5.8.2. <i>Solubilidade</i>	36
5.9. Extração dos fitoquímicos	36
5.9.1. <i>ABTS</i>	36

5.9.2.	<i>DPPH</i>	37
5.9.3.	<i>FRAP</i>	37
5.9.4.	<i>RMN</i>	37
5.9.5.	<i>MEV</i>	38
5.10.	Desejabilidade	38
5.11.	Análise estatística	38
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
6.1.	Avaliação da espuma	39
6.1.1.	<i>Densidade, Volume da fração de ar e percentual de expansão</i>	39
6.1.2.	<i>Estabilidade física</i>	42
6.2.	Delineamento central composto rotacional	44
6.3.	Desejabilidade.....	48
6.4.	Secagem em camada de espuma.....	49
6.4.1.	<i>Umidade, atividade de água, solubilidade, higroscopicidade</i>	50
6.4.2.	<i>Densidades e Porosidade</i>	53
6.5.	<i>Cor</i>	56
6.6.	Antioxidantes	58
6.7.	RMN	62
6.8.	MEV	63
7.	CONCLUSÃO	64
	REFERÊNCIAS.....	65

1. INTRODUÇÃO

Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é uma planta herbácea perene pertencente à família Asteraceae, sendo originária das regiões andinas da América do Sul. Ela produz raízes ricas em frutooligossacarídeos (FOS) e possui semelhança com diferentes frutas, possui sabor adocicado e pode ser consumida crua (CAETANO et al., 2016).

A parte de maior consumo é sua raiz, e diversos estudos mostram que a raiz de yacon possui alta concentração de substâncias bioativas, como os antioxidantes fenólicos, inulina e frutooligossacarídeos (FOS) (CRUZ et al., 2020).

Frutooligossacarídeos (FOS) são frutanos, que -são fibras alimentares solúveis, sendo formados por ela é formada por unidades de β -D-frutofuranosil unidasem uma cadeia linear por ligações 2 \rightarrow , não digeríveis enzimaticamente no trato digestivo superior. Após os FOS atingirem o cólon, eles passam por fermentação microbiana intestinal, confirmando a sua atividade prebiótica de estímulo à proliferação de Bifidobactérias (MARTINO; KOLBA; TAKO, 2020).

O yacon ganhou grande visibilidade através dos diversos estudos relatando seus benefícios à saúde, resultando numa crescente demanda de consumidores interessados em consumir alimentos que tragam benefícios à saúde além dos nutricionais. Porém, as raízes frescas de yacon possuem uma alta perecibilidade e seu processamento leva a um rápido escurecimento enzimático, devido sua alta atividade de polifenoloxidase (MARQUES et al., 2020).

O yacon pode ser utilizado na elaboração de farinhas ricas em teor de FOS como ingrediente para formulação de diversos alimentos, entretanto o alto teor de água (80,9 a 92,5%) e o escurecimento causado após o processamento tornam necessário o pré-tratamento térmico e/ou ácido, que são capazes de diminuir o escurecimento enzimático (CAMPOS; AGUILAR-GALVEZ; PEDRESCHI, 2016).

Logo, o presente trabalho teve como objetivo analisar a secagem em camada de espuma como um método aumento da vida útil e da conveniência do yacon, com baixa degradação aos compostos antioxidantes, utilizando como matéria-prima suco de yacon concentrado.

2. OBJETIVOS

2.1. GERAL

Otimizar a secagem em camada de espuma do suco de yacon concentrado, como um método de secagem com baixa degradação de compostos antioxidantes no pó de yacon avaliando os parâmetros de concentração do agente espumante, concentração e tempo de batimento.

2.2. ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito dos parâmetros de temperatura, concentração, tempo de formação sobre características físicas das espumas;
- Determinar características físico-químicas do yacon em pó, como, umidade, aw e SST e cor;
- Otimizar o processo através da ferramenta desejabilidade;
- Determinar a qualidade física do pó de yacon através das análises de solubilidade e higroscopicidade, densidade e porosidade;
- Avaliar a atividade antioxidante do produto através da análise de DPPH, FRAP e ABTS dos ensaios e do otimizado;

3. DIAGRAMA CONCEITUAL

MOTIVAÇÃO:	Investigar a aplicação da secagem de suco de yacon concentrado para fins de aplicação industrial e/ou produção de pó de yacon com elevada retenção de compostos de antioxidantes.
ESTADO DA ARTE:	<p>Com relação a secagem em camada de espuma do yacon, existem poucos estudos disponíveis na literatura. Shi e colaboradores (2014) estudaram as características de secagem e modelagem matemática da polpa de yacon por secagem em esteira de espuma a vácuo.</p> <p>Franco et al. (2016), utilizaram ovoalbumina como agente espumante para avaliar a mudanças físico-químicas e microestruturais no yacon.</p> <p>Sousa e colaboradores (2015) avaliaram as propriedades antioxidantes da farinha de tubérculos de yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) esterilizada.</p> <p>Khajehei (2018) estudou o teor fenólico total e atividade antioxidante de chips de yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i> poepp. e endl.): efeito da cultivar, pré-tratamento e secagem.</p>
HIPÓTESES:	<p>A concentração agente espumante ovoalbumina e emustab® tem um efeito significativo sobre as propriedades das espumas formadas.</p> <p>A temperatura do ar, na faixa de 50 a 70 °C, apresenta efeito significativo na qualidade das espumas com relação a sua atividade antioxidante.</p> <p>Otimizar o processo para obter melhores respostas.</p>

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. YACON: ASPECTOS GERAIS

Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é uma planta andina nativa, cultivada por suas suculentas raízes tuberosas na América do Sul, na encosta leste dos Andes, da Venezuela ao noroeste da Argentina (DAHAL; OJHA; KARKI, 2020; VALENTOVA et al., 2003; ZARDINI, 1991).

A planta apresenta uma raiz tuberosa (Fig. 1) rica em frutooligossacarídeos (FOS) e fibra insolúvel com potencial benéfico efeitos na saúde. O valor energético da raiz é considerado baixo devido ao alto teor de água, em torno 90% do seu peso fresco. A raiz é rica em compostos fenólicos, e contém fortes propriedades antioxidantes que protegem o corpo humano de estresse oxidativo. O yacon contém um alto nível de polifenóis que é de aproximadamente 200 mg por 100 g de peso fresco (LIMBAGA; ESGUERRA; CASTILLO-ISRAEL, 2020), e pode ser consumido de diversas formas, como *in natura*, frito, cozido no vapor e fervido após descamação.

FIGURA 1 - YACON IN NATURA



FONTE: o autor (2023).

A presença de oligossacarídeos não digeríveis (do inglês Non-Digestible Oligosaccharides - NDOs), como inulina e frutooligosacarídeos, aliado a grande quantidade de compostos fenólicos aumentou o interesse global pela raiz tuberosa. O yacon armazena FOS ao invés de amido, que é considerado prebiótico, pois esses compostos são fermentados seletivamente por bactérias (bifidobactérias e lactobacilos) no intestino, mas não são absorvidos nem hidrolisados na parte superior do trato gastrointestinal (DAHAL; OJHA; KARKI, 2020).

De um ponto de vista analítico e fisiológico, o FOS é classificado como uma fibra dietética que estimula seletivamente o crescimento de estimulantes da saúde de bactérias intestinais, como bifidobactérias e lactobacilos (LANCETTI et al., 2020; SOUSA et al., 2015).

As polifenoloxidasas (PPO) catalisam a oxidação dos fenóis em um processo conhecido como oxidação enzimática que resulta no escurecimento rápido da superfície recém-cortada. O método comumente empregado na prevenção do escurecimento no yacon, é o uso de agentes químicos que são capazes de inibir a reação enzimática como o metabissulfito de sódio, ácido ascórbico, L-cisteína, ácido cítrico e tartárico para controlar efetivamente o escurecimento enzimático de yacon minimamente processado (VASCONCELOS et al., 2015) e no processamento de farinha de yacon (RODRIGUES; ASQUIERI; ORSI, 2014). O branqueamento do yacon inteiro pode ser feito antes do processamento para prevenir ou pelo menos reduzir o escurecimento rápido do produto (LIMBAGA; ESGUERRA; CASTILLO-ISRAEL, 2020).

O yacon possui alta perecibilidade devido ao seu alto teor de água, que leva à baixa qualidade, prejuízo e perda econômica para os produtores. O processo de secagem quando aplicado na matriz alimentar deve ser capaz de remover a água até alcançar uma baixa atividade de água; além de também fornecer ao produto estabilidade de prateleira. Portanto, uma maneira de explorar o potencial do yacon como uma fonte de FOS pode ser a secagem da raiz tuberosa para obter farinha que pode ser utilizada como ingrediente de diversos produtos alimentícios (LANCETTI et al., 2020).

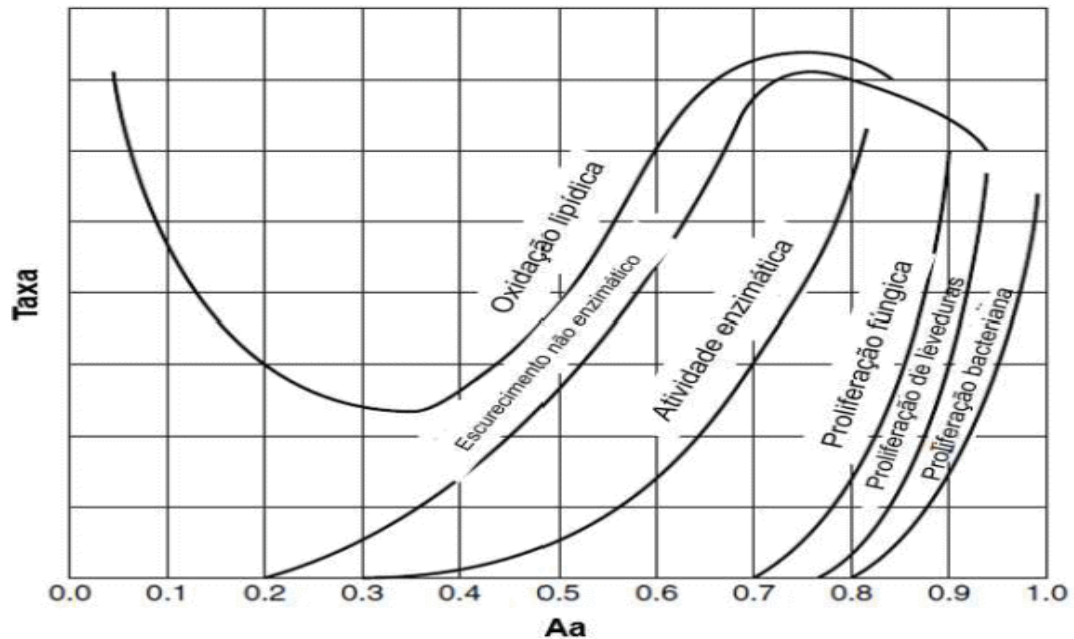
Na última década, o yacon tem recebido grande notoriedade devido às suas altas quantidades de frutooligossacarídeos (FOS). Esses carboidratos são considerados prebióticos, com propriedades imunoestimulatórias. Essas propriedades induzem atividades antioxidante, antiinflamatória, antimicrobiana, e efeitos anticâncer, além de aumentar a absorção de alguns minerais e estimular a produção de vitaminas B (BISINELLA et al., 2016; MACEDO et al., 2019; VASCONCELOS et al., 2015).

Muitos produtos podem ser obtidos a partir do yacon, como suco, xarope, farinha e fatias de yacon fritas (LAGO et al., 2012). Com o aumento da demanda por alimentos funcionais em todo o mundo, a inclusão de yacon como uma fonte de prebióticos do tipo frutano na produção de bebidas simbióticas para consumo humano, representa uma grande oportunidade como inovação e agregação de valor na indústria de alimentos funcionais (REIS et al., 2021).

4.2. SECAGEM DE ALIMENTOS

Um dos principais fatores para deterioração de alimentos frescos é a grande quantidade de água presente neles. A atividade de água é um termo desenvolvido para indicar a intensidade que a água se associa com constituintes aquosos dentro do alimento. Na Figura 2, observa-se a relação entre a atividade de água de um alimento e as reações a partir dessa disponibilidade de água, então, pode-se afirmar que a retirada da água disponível para reações de um alimento, diminui as possibilidades de deterioração microbiológica e outros meios de deterioração desse alimento (FRANCO, 2015).

FIGURA 2 - RELAÇÃO ENTRE A ATIVIDADE DE ÁGUA E TAXA DE REAÇÕES DETERIORATIVAS EM ALIMENTOS



Fonte: adaptado de Toledo, (2007).

O processamento térmico é um dos métodos mais comuns para garantir uma maior estabilidade do produto, um desses métodos é a secagem térmica. Além da estabilidade microbiológica obtida através dos produtos de secagem, ela também reduz seu peso e volume, reduzindo os custos com transporte e armazenamento. É uma técnica muito antiga, e atualmente tem sido utilizada em diversos ramos industriais (MUSIELAK; MIERZWA; KROEHNKE, 2016).

A secagem é um dos principais processos de separação, e por diversas vezes usada como etapa final de produção, antes da etapa de embalagem e venda do produto. A transferência de calor e massa ocorre de forma simultânea em condições instáveis durante o processo. Para sua realização, faz-se necessário o conhecimento de parâmetros como temperatura, velocidade e umidade relativa do ar de secagem, para obtenção de um produto seco de qualidade (ARAL; BEŞE, 2016).

A umidade presente é transferida da superfície do produto para o ar por convecção como vapor de água e do interior do produto pode ocorrer por difusão, convecção ou capilaridade. Além do mais, a taxa de secagem depende de condições internas como a geometria do produto, espessura, forma e estrutura. A partir da sua complexidade e composição dos frutos, raízes, hortaliças, a variedade de fenômenos

de transporte e a variabilidade biológica tornam a secagem um desafio (CASTRO; MAYORGA; MORENO, 2018).

Entretanto, a secagem convectiva convencional com ar quente demanda um longo tempo de processamento, que promove modificações que prejudicam a retenção de nutrientes e comprometem a qualidade do produto. Uma alternativa para solucionar esse problema é a aplicação de tecnologias alternativas para melhorar o processo de secagem, tais como aceleradores de secagem que permitem o uso de temperaturas menores e por menos tempo de exposição ao calor contínuo (GOMES et al., 2022).

Muitos autores estudaram diversos tipos de processo de secagem para yacon. Lago *et al.* (2012) produziram yacon em pó a partir da secagem convectiva da polpa encapsulada por amido nativo; Reis; Lenzi e Masson (2012) aplicaram o método de secagem a partir de estufa a vácuo. Castro e colaboradores (2012) utilizaram bomba de calor; Shi; Zheng e Zhao (2013) aplicaram a técnica osmo-convectiva. Perussello et al. (2014) utilizaram a secagem por convecção; Kotovicz et al. (2014) aplicaram a desidratação osmótica em solução de frutose. Bernstein e Noreña (2014) utilizaram liofilização e secagem convectiva e Franco et al. (2016) utilizaram o método de secagem em camada de espuma.

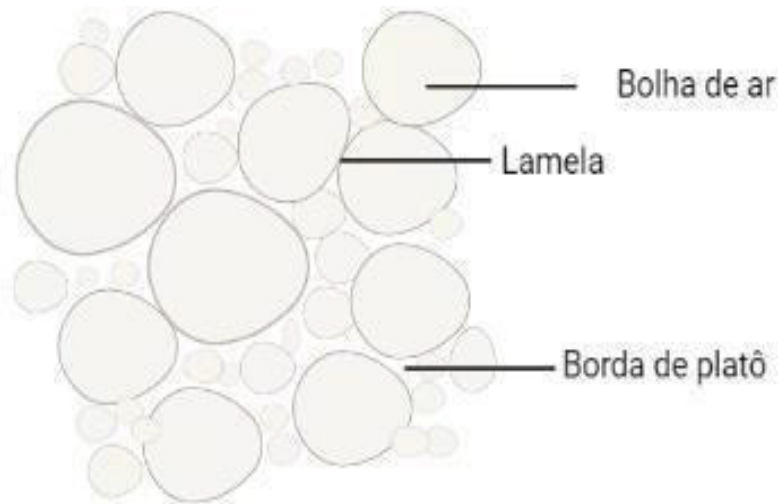
4.3. SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA

As espumas alimentares são sistemas bifásicos compostos por gás disperso homogeneamente em uma fase líquida contínua. A secagem em camada de espuma vem tendo maior notoriedade por cientista de alimentos, devido às suas vantagens inerentes (FRANCO et al., 2017; QADRI; SRIVASTAVA, 2017). Os fatores principais que influenciam nas suas propriedades são, as características do agente espumante e o tempo de batimento, entretanto a natureza do gás incorporado e a fase líquida desempenham maior importância durante o processo (AYETIGBO et al., 2019).

Existem películas ou finas lamelas, planas e líquidas entre as bolhas. As lamelas são encontradas em um ponto chamado borda de platô (Fig. 3). a partir da resistência mecânica da lamela, é determinada a estabilidade da espuma juntamente com suas propriedades de interface ar/água. Se as espumas forem feitas a partir de

líquidos viscosos, produzirá espumas com mais estabilidade, devido ao aumento da elasticidade da lamela. E também à curvatura da interface, a pressão da borda de platô é menor do que na bola (SANGAMITHRA et al., 2015).

FIGURA 3 - ESTRUTURA DE UMA ESPUMA



Fonte: O autor (2023)

A secagem em camada de espuma é um processo onde alimentos líquidos ou semilíquidos são batidos mecanicamente até a formação de uma espuma estável, incorporando um grande volume de gás (principalmente ar) na presença de um agente espumante e estabilizadores, para que essa espuma seja induzida à formação e que haja um aumento da sua estabilidade após sua formação (ABBASI; AZIZPOUR, 2016).

A técnica envolve a mistura de uma polpa ou suco de frutas e vegetais com agente espumante e/ou agente estabilizante para produzir uma espuma estável, que será espalhada em uma bandeja, com temperaturas de secagem ao ar que variam de 40 a 80 °C. Depois de seco, o produto é moído para produzir o pó da secagem (ABBASI; AZIZPOUR, 2016).

Quando comparada com técnicas mais caras, como secagem por pulverização e liofilização, a secagem em camada de espuma possui vantagens devido a simplicidade e baixo custo do processo (CARVALHO et al., 2017).

Devido a maior área de superfície exposta ao ar quente, a evaporação ocorre de maneira acelerada e assim é possível a utilização de temperaturas de secagem mais baixas, podendo ser aplicada em alimentos com maior viscosidade, com grandes quantidades de açúcar e alimentos com maior sensibilidade a altas temperaturas. (BENKOVIĆ et al., 2019). Contribuindo para redução do consumo de energia e elevada qualidade do produto, que se torna mais poroso e com melhor capacidade de reidratação (ABBASI; AZIZPOUR, 2016; CARVALHO et al., 2017).

Para sua obtenção geralmente usa-se um liquidificador, batedeiras ou outro dispositivo projetado para sua formação. A batedura cria uma microestrutura e a distribuição espacial das características dessa microestrutura é importante na percepção da textura do produto (SANGAMITHRA, 2014).

O aumento da temperatura do material está relacionado à diferença entre a temperatura do fluxo de ar e a superfície do material. Entretanto, quando a secagem atinge uma baixa quantidade de umidade no material, a taxa de umidade começa a diminuir, podendo aumentar o tempo final da secagem para retirada da umidade residual (SALINAS et al., 2018).

Outro fator importante na secagem em camada de espuma do yacon, é o escurecimento enzimático sofrido durante a secagem. O escurecimento enzimático ocorre devido a presença da enzima polifenoloxidase (PPO), uma enzima que catalisa a oxidação de compostos fenólicos, produzindo pigmentos escuros em cortes ou superfícies danificadas de frutas e hortaliças. Os autores Rodrigues; Asquiere e Orsi (2014) abordam diferentes condições de secagem nas raízes do yacon, usando agentes como, anti-escurecimento, alta temperatura (SOUSA et al., 2015) ou branqueamento (CAMPOS; AGUILAR-GALVEZ; PEDRESCHI, 2016; LANCETTI et al., 2020). Assim, há a necessidade de encontrar alternativas que mantenham os compostos bioativos ou minimizem a perda de tais substâncias. (BRANCO et al., 2016).

O yacon, que é altamente perecível e sazonal, precisa essencialmente da utilização de processos que prolonguem sua estabilidade e disponibilidade (GRANATO et al., 2011; SCHER; DE OLIVEIRA RIOS; NOREÑA, 2009). Apesar de

seu potencial nutritivo, esta raiz ainda é produzida em pequena escala, com rápida deterioração pós-colheita devido ao alto teor de umidade. Por este motivo, o desenvolvimento de novos produtos é altamente favorável, e um dos principais produtos deste tubérculo, é em forma de farinha, tem boa possibilidade de uso como ingrediente funcional na formulação de vários alimentos industrializados (LISBOA et al., 2018).

O uso de modelos matemáticos para prever fenômenos de secagem e avaliar coeficientes de difusão eficazes em vários produtos tornou-se o assunto de numerosos estudos. A difusão é um processo que corresponde ao movimento de partículas/solutos (moléculas ou íons) do meio mais concentrado para o menos concentrado, ou seja, a favor do gradiente de concentração, tendendo a homogeneizar sua distribuição. Função A principal função da difusão é possibilitar um meio mais homogêneo. A difusividade efetiva representa a velocidade com que a água se move do interior para a superfície do produto. Portanto, quanto mais alta a temperatura, mais rápido a água se move do alimento para o ambiente (LISBOA et al., 2018).

O agente espumante irá atuar na diminuição da tensão superficial entre a fase líquida e a gasosa. Podendo ser utilizadas proteínas, gomas e emulsificantes. A ovoalbumina é muito aplicada em processos de camada de espuma, devido a sua abundância em proteínas que sofrem modificações durante a formação da espuma, aumentando a área superficial exposta ao ar de secagem (BENKOVIĆ et al., 2019; DJAENI et al., 2018).

A ovoalbumina é a principal proteína encontrada nos ovos, contém 40 proteínas diferentes. Ao passar por agitação, as principais proteínas envolvidas na formação de espuma são a ovoalbumina, as globulinas e o ovomucóide, essas proteínas da clara do ovo desnaturam na interface e interagem entre si, para formação de um filme interfacial estável e viscoelástico. As propriedades das espumas de ovoalbumina tem sido averiguada com ênfase em seu aumento de volume e estabilidade. Quando obtida em temperatura ambiente há produção de maior volume do que para aquelas que forma obtidas em temperatura refrigerada (HARDY; JIDEANI, 2017; SANGAMITHRA et al., 2015).

As espumas são termodinamicamente instáveis devido à sua falta de energia interfacial. Essa instabilidade possui dois tipos de classificação: (1) espumas instáveis ou transitórias com tempos de vida curtos (segundos) e (2) espumas metaestáveis ou denominadas de permanentes, com tempos de vida longos podendo ser medido em horas ou dias. O esgotamento da espuma é devido à coalescência da bolha, que é definida em uma fusão de duas bolhas em um fluido para formação de uma bolha maior (HARDY; JIDEANI, 2017).

Esse processo é dividido em três etapas: aproximação da bolha e a criação do filme fino, drenagem do filme e a ruptura do filme. Há uma dificuldade na formação do filme estável em água pura, pois sua tensão superficial é grande e a coalescência leva apenas alguns segundos, porém com a adição de surfactantes, a estabiliza contra a coalescência formando uma espuma que tem maior durabilidade (HARDY; JIDEANI, 2017).

Todas as técnicas de conservação aplicadas aos alimentos afetam suas propriedades organolépticas, físicas, químicas, nutricionais e bioativas. Embora a tecnologia de secagem camada de espuma tenha as vantagens de baixo custo, longa vida útil do produto e baixo volume e peso do produto, ela também pode afetar as propriedades dos alimentos. Alimentos à base de plantas são ricos em compostos bioativos (REIS; DE MORAES; MASSON, 2021).

4.4. ANTIOXIDANTES

Antioxidante é um composto capaz de inibir ou retardar a oxidação de substratos, mesmo que esse composto esteja em concentrações baixas em relação ao substrato oxidado (MATKOWSKI, 2008). Antioxidantes são definidos como “qualquer substância que, quando presente em baixas concentrações em comparação com as de substrato oxidável, retarda ou previne expressivamente a oxidação desse substrato” (SOUSA et al., 2015).

As plantas são fontes excelentes de compostos bioativos, incluindo antioxidantes, que atuam como sequestrantes de radicais livres ou agentes quelantes de metais. Tais compostos são capazes de prevenir os efeitos nocivos do estresse oxidativo das células. Os compostos fenólicos estão presentes como substâncias

bioativas com função antioxidante, no yacon, esses compostos fenólicos são encontrados principalmente na forma de taninos, ácidos fenólicos e flavonóides (PEREIRA et al., 2016).

Os ácidos fenólicos são uma das maiores classes de antioxidantes vegetais, suas propriedades antioxidantes procedem da presença de um anel aromático, um grupo carboxila e um ou mais grupos hidroxila e/ou metoxila na molécula (PEREIRA et al., 2016).

São observados na composição do yacon a presença de alguns peptídeos, vitaminas, ácidos graxos, flavonóides e fitoesteróis. Alguns compostos encontrados em alimentos possuem atividade antioxidante, que são responsáveis por preservar e/ou retardar processos de deterioração (ZHONG; XIAO, 2009).

O yacon possui cinco derivados do ácido cafeíco como principais fenólicos solúveis em água. Foram identificados como ácido clorogênico (3-cafeoilquínico), 3,5-dicafeoilquínico e três ésteres de ácidos cafeico e altrárico (2,4 ou 3,5-dicafeoilaltrárico, 2,5-dicafeoilaltrárico e 2,3,5 ou 2,4 ácidos ,5-tricafeoilaltrárico) (TAKENAKA et al., 2003). E também foram isolados derivados de ácido octulosônico de tubérculos de yacon (TAKENAKA; ONO, 2003), quercetina e dois outros flavonóides também foram encontrados (SIMONOVSKA et al., 2003).

Os compostos fenólicos provenientes das raízes tuberosas de yacon podem sofrer alterações durante o armazenamento e seu processamento. Principalmente as raízes tuberosas que sofrem oxidação enzimática de compostos fenólicos como ácido clorogênico e cafeíco, que são catalisadas pela polifenoloxidase, provenientes do processamento sem uma inativação enzimática, ou mal armazenamento, causando alterações na integridade celular, levando ao escurecimento dos produtos (KHAJEHEI; HARTUNG; GRAEFF-HÖNNINGER, 2018).

Os compostos presentes no yacon possuem notável atividade antioxidante. Além disso, encontraram raros ésteres de ácido cafeico de ácido altrárico em raízes tuberosas de yacon, nomeadamente ácido dicafeoilaltrárico e ácidotricafeoilaltrárico. Esses compostos também apresentam atividade antioxidante (REIS et al., 2021).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Planejamento Experimental

Os planejamentos fatoriais completos estimam quantitativamente a influência das variáveis sobre a resposta de interesse, e também suas possíveis interações. Aliado ao uso do planejamento fatorial, quando o pesquisador possui por objetivo otimizar o seu sistema, ou seja, maximizar ou minimizar algum tipo de resposta, a metodologia de superfície de resposta é utilizada (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001).

A metodologia de superfície de resposta foi amplamente utilizada em investigações industriais e outros tipos de processos para melhoria ou desenvolvimento nutricional de produtos, devido sua utilidade prática para otimização (DRAPER; LIN, 1990; FICHTALI; VAN DE VOORT; KHURI, 1990; FLOROS; CHINNAN, 1988).

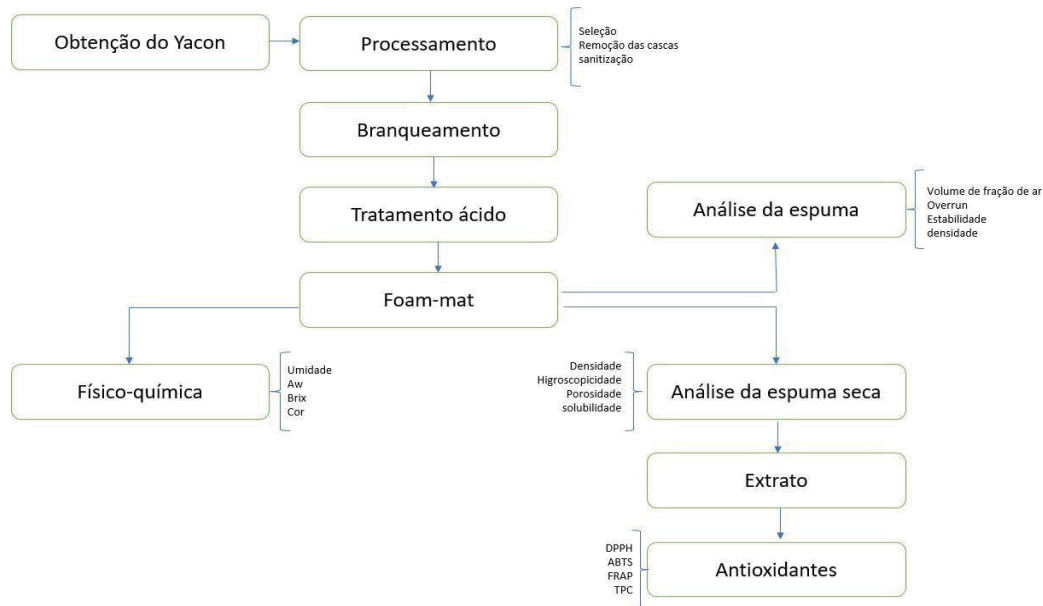
Um planejamento experimental apropriado é fundamental para habilitar um investigador a explorar o processo em estudo e encontrar a partir da otimização, o máximo ou mínimo, caso existirem, ou determinar a região, dentro do espaço total dos fatores, que seja a condição operacional desejável (MYERS; KHURI; CARTER, 1989).

As raízes de yacon foram adquiridas no Mercado municipal de Curitiba, e o desenvolvimento da pesquisa foi feito no Laboratório de Tecnologia de Alimentos (LABTECAL), Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná - (UFPR), Campus Curitiba. O fluxograma (Figura 4) fornece uma visão geral sobre a execução do projeto.

5.2. Processamento das raízes do Yacon

Os tubérculos serão levados para processamento de acordo com a Figura 4.

Figura 4 - DIAGRAMA DE RESUMO DA PESQUISA DESENVOLVIDA PARA O YACON



Fonte: O autor (2023)

5.3. Branqueamento

Como descrito na Figura 4, as raízes tuberosas foram selecionadas e higienizadas com água clorada a 200 ppm.

Muitos estudos com yacon trazem diferentes métodos de branqueamento dessas raízes, de acordo com Scher; Brandelli; Noreña (2015), foram descascadas e cortadas em forma de discos e depois em cubos de aproximadamente 1 cm³ com auxílio de um cortador.

Os cubos foram levados ao branqueamento, que consistiu em imersão total em água por 3 minutos a 100°C. Depois de esquentar, o excesso de água foi removido e as amostras resfriadas rapidamente em água fria (0-4 °C) por 3 minutos. Após o branqueamento, para garantir a total inibição enzimática da polifenoloxidase (PFO) realizou-se tratamento com ácido málico no yacon em cubos, transferindo-o para um recipiente submerso na solução de ácido málico a 1% por 8 minutos.

5.4. Preparo das espumas

Então o yacon foi processado em centrífuga para obtenção do suco concentrado, após a homogeneização completa dos agentes ovoalbumina (Grownt) e

Emustab®, a solução foi submetida a incorporação mecânica de ar por batimento em uma bateadeira doméstica (360W de potência) em velocidade máxima, por tempos pré-determinados. As concentrações máximas e mínimas de agentes espumantes/estabilizantes e os tempos de batimento foram obtidos através de testes preliminares.

As espumas foram obtidas a partir das combinações estatísticas dos tempos de batimentos, concentrações e temperaturas, após a sua formação foram dispostas em bandejas de alumínio com 1cm de espessura e levadas para secagem até peso constante.

5.5. Delineamento composto central rotacional (DCCR)

Para estabelecer a melhor condição de tratamento para obtenção do pó de yacon, foi utilizado um planejamento fatorial 2^3 , constituindo ensaios lineares nos níveis -1 e +1, ensaios nos pontos axiais α e $-\alpha$, definidos em 1,68 e -1,68, respectivamente e repetições no ponto central descrito na Tabela 1.

Tabela 1 - DELINEAMENTO COMPOSTO CENTRAL ROTACIONAL (2^3) COM VALORES CODIFICADOS E REAIS, ONDE (T) REPRESENTA A TEMPERATURA, (C) CONCENTRAÇÃO E (T) TEMPO DE BATIMENTO.

Ensaio	Codificado			Real		
	Y1 T (°C)	Y2 C	Y3 t (min)	Y1 T (°C)	Y2 C	Y3 t (min)
1	-1,00	-1,00	-1,00	50,00	5,00	5,00
2	-1,00	-1,00	1,00	50,00	5,00	15,00
3	-1,00	1,00	-1,00	50,00	10,00	5,00
4	-1,00	1,00	1,00	50,00	10,00	15,00
5	1,00	-1,00	-1,00	70,00	5,00	5,00
6	1,00	-1,00	1,00	70,00	5,00	15,00
7	1,00	1,00	-1,00	70,00	10,00	5,00
8	1,00	1,00	1,00	70,00	10,00	15,00
9	-1,68	0,00	0,00	43,18	7,50	10,00
10	1,68	0,00	0,00	76,82	7,50	10,00
11	0,00	-1,68	0,00	60,00	3,30	10,00
12	0,00	1,68	0,00	60,00	11,70	10,00

13	0,00	0,00	-1,68	60,00	7,50	1,59
14	0,00	0,00	1,68	60,00	7,50	18,41
15	0,00	0,00	0,00	60,00	7,50	10,00
16	0,00	0,00	0,00	60,00	7,50	10,00

Fonte: O autor (2023)

Para a análise dos resultados experimentais, foi utilizada a Metodologia de Superfície de Resposta para verificar o comportamento do sistema no qual estão combinadas as variáveis independentes e as variáveis dependentes (respostas). Assim, após a exclusão dos efeitos não significativos, se obteve as equações e gráficos de influência dos fatores.

5.6. Avaliação da espuma

A concentração do agente espumante foi determinada de acordo com (FRANCO, 2015), de 5, 7,5 e 10% para avaliar os efeitos do agente espumante (ovoalbumina) e o tempo de batimento variando de 5, 10 e 15 minutos. As espumas de polpa de yacon (obtidas com a adição de ovoalbumina em pó) e Emustab® 5%, nas concentrações pré-estabelecidas. Após a homogeneização completa do agente, a solução foi submetida a incorporação mecânica de ar por batimento em uma batedeira doméstica em velocidade máxima, por tempos pré-determinados.

5.6.1. Densidade

A densidade da espuma (ρ_E) foi determinada através da relação entre massa e volume da amostra. Logo após o batimento do extrato, a espuma foi colocada em recipientes cilíndricos de dimensões conhecidas (Figura 5) e a massa foi anotada. O manuseio da espuma foi feito com cuidado para preencher o recipiente completamente sem destruir a estrutura da espuma. A determinação da densidade foi feita em triplicata.

Figura 5 - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DA ESPUMA



Fonte: Autor (2023)

5.6.2. Volume da fração de ar

A partir do valor da densidade (ρ_E), o volume da fração de ar (\emptyset) de cada espuma foi calculado de acordo com a Equação 1.

$$(1) \quad \emptyset = 1 - \frac{\rho_E}{\rho_L}$$

Sendo esta equação válida se a densidade do ar é negligenciada em relação à densidade do líquido (ρ_L) (RAHARITSIFA; GENOVESE; RATTI, 2006). Para este trabalho, a densidade estabelecida para o suco concentrado de $1,005 \text{ g/cm}^3$

5.6.3. Percentual de expansão

O percentual de expansão ou “overrun” (Figura 6) de cada espuma foi calculado a partir dos valores de densidade das polpas e das suas respectivas espumas, conforme a Equação 2 (CRUZ, 2013).

Figura 6 -- ESPUMA DE YACON COM 30 SEGUNDOS E 10 MINUTOS DE BATIMENTO



Fonte: Autor (2023).

$$(2) \quad \% \text{exp nsão} = \frac{\left(\frac{1}{\rho_{\text{espuma}}} - \frac{1}{\rho_{\text{polpa}}} \right)}{\frac{1}{\rho_{\text{polpa}}}} \times 100$$

Onde ρ_{espuma} é a densidade da espuma e ρ_{polpa} é a densidade da polpa de yacon.

5.6.4. Estabilidade física

O teste de estabilidade consiste em avaliar o volume de líquido drenado por um período de 120 minutos para cada espuma (RAHARITSIFA et al., 2006). O índice de estabilidade foi calculado através da Equação 4.

$$(3) \quad \text{índice de estabilidade} = \frac{V_{\text{espuma}}}{V_{0\text{espuma}}}$$

V_{espuma} corresponde ao volume final da espuma e $V_{0\text{espuma}}$ corresponde ao volume inicial da espuma.

5.7. Caracterização físico-química do yacon em pó

A umidade foi determinada por método gravimétrico com secagem em estufa a 105°C até peso constante, segundo a metodologia da AOAC (2012), método nº 920.107.

A determinação da atividade de água (a_w) foi feita diretamente pelo equipamento Aqualab (modelo series 3 TE, EUA), através da medida do ponto de orvalho a 25°C, conforme a especificação do fabricante.

Os níveis de sólidos solúveis totais do suco de yacon reidratado foi determinado por refratômetro. Uma gota de suco de yacon foi colocada em refratômetro para medir os níveis de sólidos solúveis em %Brix a $25 \pm 1^\circ\text{C}$. O prisma do refratômetro foi limpo com água destilada após cada leitura.

A coloração foi determinada por colorimetria, em colorímetro (Color Quest II Spera – Hunter Lab, Reston, VA), com leitura direta dos valores. A cor então foi determinada pela escala de cores internacional (CIE – *Commission Internationale de l-Eclairage*) que utiliza as coordenadas: L^* que representa a luminosidade variando do branco (100) ao preto (0); a^* que representa a transição da cor verde ($-a^*$) para a cor vermelha ($+a^*$) e b^* que representa a transição da cor azul ($-b^*$) para a cor amarela ($+b^*$). Foi utilizado o iluminante D65 e o ângulo para o observador de 10° .

5.8. Secagem em camada de espuma

Segundo Franco et al. (2017) após a incorporar ar, as espumas foram colocadas em bandejas metálicas não furadas com espessura de 1,0 cm e depois encaminhadas para secagem em um forno convectivo sob temperatura controlada (50, 60 e 70 °C) e velocidade do ar constante (4 m/s), medido por um anemômetro. Para a conclusão da secagem deve ser pesada as massas até três pesos sucessivos.

5.8.1. Densidade Aparente

Para a determinação da densidade, utilizou-se uma proveta de 10 mL até completar certo volume da amostra, cuja massa foi verificada em balança analítica, para a obtenção da massa por volume ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$), através da razão massa da amostra pelo volume de amostra (MOUNIR, 2018), conforme a Equação 4:

$$\rho = m/V \quad (4)$$

Onde: m – Massa da amostra (g); V – Volume ocupado pela amostra na proveta (cm^3).

5.8.2. Densidade Compactada

A determinação da densidade compactada (ρ_{cp}) das amostras foi feita conforme a metodologia adaptada (GOULA; ADAMOPOULOS; KAZAKIS, 2004). Foram colocados aproximadamente 2 g do pó em uma proveta graduada de 10 mL previamente tarada. A massa inicial foi aferida e a densidade ρ_{ap} foi calculada a partir da Equação 5. Em seguida, o topo da proveta foi tampado com uma película e essa batida 100 vezes sobre uma superfície reta a partir de uma altura maior de 10 cm para compactação do pó. Então, a densidade ρ_{cp} foi calculada a através da Equação 5.

$$(5). \quad \rho_{cp} = \frac{mf}{V_f}$$

Em que mf corresponde à massa inicialmente colocada na proveta, V_f ao volume ocupado pelo pó não compactado, é o volume ocupado pelo pó após a compactação e a massa, que foi aferida novamente pois durante a compactação do pó as partículas mais finas foram suspensas e aderiram à película.

5.8.3. Densidade Absoluta

A determinação da densidade absoluta das partículas (ρ_{abs}) foi feita a partir da metodologia adaptada com utilização de tolueno como solvente pela sua capacidade

de penetrar nos menores poros do material sem dissolvê-lo (CAPARINO et al., 2012). Dessa forma, aproximadamente 1 g do material foi transferido para uma proveta de 10 mL com tampa, 5 mL de tolueno foram adicionados e a proveta foi agitada até que todas as partículas fossem suspensas. Então, mais 1 mL de tolueno foi adicionado para lavar as partículas aderidas à parede do recipiente totalizando 6 mL de tolueno adicionados.

O volume final (V_f) da mistura, expresso em mL, foi aferido, e a densidade absoluta foi calculada a partir da relação entre a massa de sólidos (m_s) e o volume ocupado pelas partículas, conforme a Equação 6 (JINAPONG; SUPHANTHARIKA; JAMNONG, 2008).

$$(6). \quad \rho_{abs} = \frac{m_s}{V_f - 6}$$

5.8. Porosidade

A porosidade (ε) foi calculada a partir dos valores de densidade aparente e absoluta, determinados para cada amostra conforme a Equação 7.

$$(7). \quad \varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_{abs}} \right) \times 100$$

Para a realização dos cálculos estatísticos, no cálculo das replicatas da porosidade foi utilizada a média do valor da densidade absoluta (ρ_{abs}) e os valores de cada replicata da densidade aparente (ρ_{ap}).

5.8.1. Higroscopicidade

A higroscopicidade do material (HG) foi determinada de acordo com a metodologia adaptada de (CAI; CORKE, 2000). Aproximadamente 1 g de amostra foi colocada em um dessecador contendo uma solução saturada de NaCl (aproximadamente 75,5% de umidade relativa) e armazenado durante 7 dias em estufas do tipo BOD reguladas a ± 25 °C. Então, a massa da amostra foi aferida e a higroscopicidade calculada de acordo com a Equação 9.

$$(8). \quad HG \% = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$$

em que (m_i) é a massa inicial do pó e (m_f) é a massa da amostra após os 7 dias.

5.8.2. Solubilidade

A solubilidade foi medida conforme descrito por Abbasi e Azizpour (2016) com algumas modificações. Pesou-se 1 g de amostra que foi diluída em 15 ml de água destilada, homogeneizada e centrifugada a 2500 rpm por 15 minutos, o sobrenadante foi transferido para uma placa de Petri que foi seca em estufa a 105°C por 5 horas. A solubilidade foi calculada de acordo com a Equação 9.

$$(9). \quad S = \frac{m_2 - m_1}{0,25} \times 100$$

Onde o m_2 corresponde a massa final e m_1 a massa inicial do pó de yacon.

5.9. Extração dos fitoquímicos

A extração foi realizada pela adição de 5 mL de metanol a 0,25 g de yacon em pó. Seguiu-se agitando a mistura durante 30 minutos à temperatura ambiente. Após a agitação, a mistura foi centrifugada a 4000 rpm por 10 minutos para separar o sobrenadante dos resíduos sólidos. Os extratos obtidos foram utilizados nas análises a seguir (KHAJEHEI; HARTUNG; GRAEFF-HÖNNINGER, 2018).

5.9.1. ABTS

A atividade de captura do radical ABTS foi realizada de acordo com o procedimento descrito por Rufino *et al.* (2007). A partir de soluções estoque de ABTS (7 mmol/L) e persulfato de potássio (140 mmol/L), a solução do radical de ABTS+• foi preparada misturando 5 mL da solução de ABTS com 88 µL da solução de persulfato. A mistura foi armazenada em temperatura ambiente e no escuro durante 16 horas,

essa solução foi diluída o suficiente para obtenção de uma faixa de absorvância adequada para as leituras no espectrofotômetro. Em cada célula da microplaca foram adicionados 30 µL de amostra e 3,0 mL da solução do radical ABTS^{•+} e homogeneizadas em agitador de tubos. As amostras foram armazenadas em local escuro durante 30 minutos e, então, foram realizadas as leituras no comprimento de onda de 734 nm.

5.9.2. DPPH

A atividade de captura do radical DPPH foi determinada a partir da metodologia de Rufino *et al.* (2007). Uma solução etílica de DPPH (0,24 mmol/L) foi preparada. foram adicionados 3,9 mL da solução de DPPH juntamente com 0,1 mL da amostra. O conjunto foi homogeneizado e armazenado em local escuro durante 30 minutos e, então, foram realizadas as leituras no comprimento de onda de 515 nm.

5.9.3. FRAP

A determinação da atividade antioxidante a partir da redução do íon ferro (FRAP) foi realizada conforme metodologia adaptada de Benzie e Strain (1996). O reagente FRAP foi preparado utilizando 100 mL de uma solução tampão acetato (pH 3,6 e 300 mmol/L); 10 mL de cloreto férrico (20 mmol/L) e 10 mL de uma solução de tripidil-s-tri-azine (TPTZ, 10 mmol/L) dissolvido em uma solução de ácido clorídrico (40 mmol/L). 45 µL de amostra, 135 µL de água destilada e 1,35 mL do reagente FRAP e foi agitado em agitador de tubos. Os tubos foram armazenados em local escuro durante 30 minutos, então foram realizadas as leituras no comprimento de onda de 595 nm.

5.9.4. RMN

As amostras foram preparadas dissolvendo 5mg do extrato do pó de yacon otimizado em 550 µL e metanol (CD₃OD). Os espectros de RMN HR-MAS de ¹H foram adquiridos em um espectrômetro Bruker Avance II 400 (9,4 T) 3456 Hz Os experimentos foram realizados com uma velocidade de giro do rotor de 5 kHz. Os

espectros foram processados com o software TopSpin (versão 3.6.5, Bruker TopSpin Inc.).

5.9.5. MEV

A amostra foi colocada em uma fita adesiva dupla face de carbono fixada em um suporte (stub) e metalizada com ouro-paládio até uma espessura de 6-9nm, utilizando-se um metalizador SC7620 Quorum Mini Sputter Coater/Glow Discharge System. O microscópio de varredura utilizado foi o Zeiss EVO-MA10 operando em voltagem de 10 kV. As micrografias foram fotografadas a magnificações de 600 e 2000 vezes.

5.10. Desejabilidade

A estimativa das condições ótimas para a obtenção de pó de yacon otimizado foi realizada com base nos modelos estatísticos propostos e também com o auxílio da técnica de otimização simultânea denominada “Função Desejabilidade” por meio do programa Statistica® versão 13.0 (STATSOFT Inc., 2004).

5.11. Análise estatística

Os resultados das análises foram avaliados com o auxílio do software Microsoft Office Excel 2010. A análise estatística dos resultados foi realizada por meio do programa Statistica® versão 13.0 (STATSOFT Inc., 2004), utilizando análise de variância e análise de superfície de resposta para o delineamento composto central rotacional.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Avaliação da espuma

6.1.1. Densidade, Volume da fração de ar e percentual de expansão

O suco de yacon concentrado não possui capacidade de formação de espuma sem adição de agentes espumantes e/ou estabilizantes. Algumas matrizes possuem essa capacidade naturalmente, como o extrato de erva mate estudado por Cieslinski (2021) que houve a formação de espuma sem a utilização de agente espumante.

O yacon possui uma composição com baixa quantidade de proteínas e abundância em água e carboidratos, então para obtenção das espumas foi indispensável a utilização de agentes espumantes e estabilizantes. A ovoalbumina foi o agente espumante escolhido, possui proteínas que permitem a formação de espumas com maior facilidade, porém a espuma não apresentou uma boa estabilidade apenas com a ovoalbumina, o que levou a utilização de um agente estabilizante.

O Emustab® foi desenvolvido pela empresa Duas Rodas para atuação como coadjuvante na produção de sorvetes e picolés. O Emustab® é um produto à base de mono e diglicerídeos de ácidos graxos (atuando mais como estabilizante). Para o yacon, foi importante a adição de agentes espumantes e estabilizantes para a formação de uma espuma com maior qualidade para secagem (MOUNIR, 2018).

Os valores de densidade, volume de fração de ar e percentual de expansão estão descritos na Tabela 2.

Os valores de densidade para cada ensaio variaram de 0,14 a 0,2 cm³/g, valores baixos de densidade apresentam maior capacidade de difusividade da água através da amostra durante a secagem (FRANCO, 2015).

Franco (2015) estudou desidratação de suco de yacon pelo método de camada de espuma e teve resultados variando de 0,16 a 0,83 cm³/g para espumas em diversas concentrações, os valores encontrados são semelhantes ao do presente estudo.

Mei Ling Ng e Rabiha Sulaiman (2018), ao desenvolver um pó de beterraba usando a secagem em camada de espuma encontrou o valor de 0,60 cm³/g para 10%

de concentração e 0,73 cm³/g para 5% de concentração, para densidade da espuma, ao utilizar a ovoalbumina como agente espumante, valores acima aos encontrados nos ensaios de secagem de suco de yacon concentrado utilizando diferentes concentrações de ovoalbumina e emustab®.

Aktas e Tontul (2021) estudaram a usabilidade de extratos de saponina e saponina de castanha-da-índia como agentes espumantes na secagem em esteira de espuma de suco de romã e obtiveram como resposta de densidade valores de 0,60 a 0,75 cm³/g, os valores encontrados na espuma de yacon foram bem menores, favorecendo a secagem dos mesmos.

Para espumas desenvolvidas de pós de topo de cenoura usando secagem em esteira de espuma estudado por Nunes; Nascimento e Lima-Corrêa (2022) 0,69 a 0,50 cm³/g para experimentos com 10% e 5% de ovoalbumina respectivamente e 0,34 cm³/g para 5% de emustab®, os valores corroboram com os resultados encontrados no estudo da espuma de yacon.

Tabela 2 - DENSIDADE, VOLUME DE FRAÇÃO DE AR E PERCENTUAL DE EXPANSÃO DAS ESPUMAS EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES E TEMPOS DE BATIMENTO

Ensaio (concentração- t batimento)	Densidade (g/cm ³)	Volume de fração de ar	Percentual de expansão (%)
5%-15 min	0,15 ^a ±0,00	0,85 ^a ±0,00	587,20 ^a ±4,83
5%-5 min	0,2 ^a ±0,01	0,79 ^a ±0,01	401,32 ^a ±16,40
7,5%-10 min	0,17 ^a ±0,01	0,83 ^a ±0,01	462,51 ^a ±15,06
7,5%-1,59 min	0,21 ^a ±0,01	0,79 ^a ±0,01	369,99 ^a ±3,84
7,5%-18,4 min	0,16 ^a ±0,00	0,84 ^a ±0,00	546,88 ^a ±3,25
10%-5 min	0,14 ^a ±0,00	0,86 ^a ±0,00	643,66 ^a ±8,43
10%-15 min	0,15 ^a ±0,01	0,85 ^a ±0,01	606,09 ^a ±9,78
3,29%-10 min	0,27 ^a ±0,13	0,74 ^a ±0,13	195,87 ^a ±6,99
11,7%-10 min	0,20 ^a ±0,09	0,80 ^a ±0,09	558,15 ^a ±1,24

Os resultados estão expressos como a média das triplicatas ± desvio padrão. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste de Tukey (p<0,05) entre as amostras do mesmo estudo.

Outra importante propriedade física de espumas é a quantidade de gás que pode ser incorporado em sua estrutura, ou seu volume da fração de ar (ϕ), que também serve como parâmetro de qualidade de uma espuma (FRANCO, 2015)

Essa propriedade pode variar teoricamente de 0 (sem ar disperso) a 1 (apenas ar). A transição do volume de fração de ar de 0 para um valor próximo 0,64 é a responsável pela mudança na textura da espuma, que passa de líquida-viscosa para sua estrutura semissólida (FRANCO, 2015).

Os valores encontrados para o volume de fração de ar variaram de 0,74 a 0,86 e os ensaios não diferiram entre si estatisticamente Sramek et al. (2015) encontraram ao estudar a secagem em camada de espuma sob vácuo de extrato de tomate adicionado de maltodextrina. Espumas com volume de fração de ar inicial de 0,2 a 0,7 após a incorporação mecânica de ar foram expandidas sob vácuo até um volume de fração de ar igual a 0,7, o valor foi próximo ao encontrado para espuma de suco de yacon concentrado.

Franco (2015) encontrou para espuma de suco de yacon valores que variavam de 0,48 a 0,83 para volume de fração de ar em diferentes concentrações e tempos de batimento, o emustab® apresentou melhores resultados com relação a ovoalbumina para volume de fração de ar.

Cielinski (2020) obteve resultados de 0,75 a 0,85 para volume de fração de ar, ao estudar produção de extrato de erva-mate (*ilex paraguariensis*) em pó por secagem convectiva em camada de espuma e liofilização, os resultados com a adição de agentes espumantes ovoalbumina e emustab® diferiram entre si estatisticamente, porém os maiores resultados foram os extratos sem adição de agentes espumantes e estabilizantes.

Valores elevados de percentual de expansão da espuma, como os obtidos para o suco de yacon concentrado (195,87-643,66%) indicam uma elevada incorporação de ar à mistura e conseqüente aumento da área superficial. Foi possível perceber que a concentração do extrato não apresentou uma influência significativa ($p < 0,05$) sobre as propriedades da espuma formada, e quanto maior a concentração de sólidos solúveis do extrato, maior a densidade e menor o percentual de expansão registrados.

Franco (2015) que estudou a desidratação de suco de yacon pelo método de camada de espuma encontrou valores para percentual de expansão que variaram entre 94,40 a 506%. Pode-se observar que o resultado de 506% corresponde a sua maior concentração e maior tempo de batimento, corroborando com os resultados encontrados para o presente estudo.

Mei Ling Ng e Rabiha Sulaiman (2018) ao avaliar espumas produzidas a partir de beterraba obteve valores de 40% e 34% de percentual de expansão para espumas preparadas com concentrações de 5 e 10% de ovoalbumina respectivamente. Os valores encontrados pela espuma de yacon foram muito maiores, os tempos de batimentos podem ter influenciado no resultado, pois quanto maior é o tempo de batimento, mais incorporação de ar a espuma irá ter e maior será seu percentual de expansão.

Cieslisnki (2021) observou valores de 329 a 638% para o percentual de expansão ao estudar produção de extrato de erva-mate (*ilex paraguariensis*) em pó por secagem convectiva em camada de espuma e liofilização. As espumas produzidas com adição de agente espumante e sem adição apresentaram comportamentos semelhantes.

Nunes; Nascimento e Lima-Corrêa (2022) estudaram o desenvolvimento de pós de topo de cenoura usando secagem em camada de espuma e obtiveram o valor de percentual de expansão de 221,81, o valor é próximo ao encontrado pela espuma de yacon.

6.1.2. Estabilidade física

O líquido drenado mostra a capacidade de retenção de água da espuma, sua estabilidade é influenciada pela densidade, espessura e sua permeabilidade na interface líquido-agente espumante, a extensão do tamanho da bolha de ar e a tensão superficial. Entretanto o agente espumante é o principal fator a ser levado em consideração na alteração dessa propriedade (FRANCO, 2015).

Ao observar a Tabela 3, é possível notar que a combinação do agente espumante e o Emustab® foram capazes de formar espumas estáveis ao final do período de repouso.

Tabela 3 - ESTABILIDADE DAS ESPUMAS EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES E TEMPOS DE BATIMENTO

Ensaio (concentração- t batimento)	Estabilidade (%)
5%-15 min	100 ^a
5%-5 min	100 ^a
7,5%-10 min	100 ^a
7,5%-1,59 min	100 ^a
7,5%-18,4 min	100 ^a
10%-5 min	100 ^a
10%-15 min	100 ^a
3,29%-10 min	100 ^a
11,7%-10 min	100 ^a

Os resultados estão expressos como a média das triplicatas. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) entre as amostras do mesmo estudo.

Todas as combinações de concentrações e tempos de batimento não apresentaram diferença estatística entre si. A estabilidade alta está relacionada diretamente ao agente espumante, pois as espumas formadas apenas com suco de yacon não possuem proteínas o suficiente para formação de uma espuma de alta estabilidade.

A alta estabilidade encontrada no presente estudo, pode ser explicada devido a combinação da ovoalbumina com o emustab®, o agente espumante é responsável pela espuma, porém não possui estabilidade ao longo do tempo, então a adição de emustab® na concentração de 5% para todos os ensaios trouxe uma maior estabilidade, tornando a espuma mais adequada para secagem em camada de espuma.

Franco (2015) encontrou valores de estabilidade de espumas de suco de yacon concentrado que variavam de 80,83 a 100%, os valores estão próximos aos encontrados no presente estudo.

Autores estudaram o comportamento da espuma de beterraba e obtiveram a variação de 82,5% a 97,5, tais valores se aproximam do encontrado no presente estudo, é possível observar que a adição de agentes espumantes tem influência direta na estabilidade da espuma (MEI LING NG; RABIHA SULAIMAN, 2018).

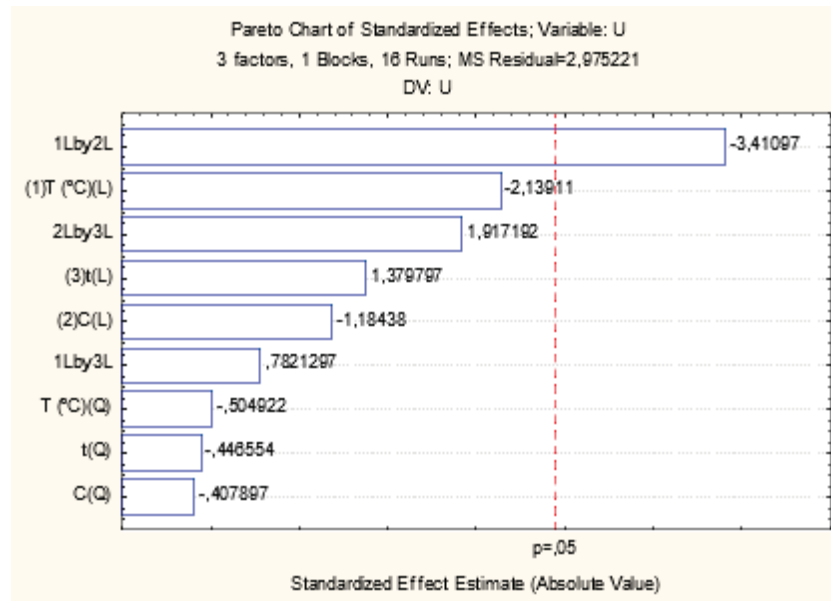
Cól et al. (2021) encontraram valores de estabilidade na espuma de bacaba que variou de 94 a $\geq 97\%$, utilizando ovoalbumina e emustab® na formulação da espuma, a alta estabilidade está diretamente relacionada aos agentes espumantes e estabilizantes adicionado na formulação das espumas.

As espumas produzidas a partir de topo de cenoura apresentou uma estabilidade de 99,05%, valores que corroboram ao encontrado para espumas de suco concentrado de yacon (NUNES; NASCIMENTO; LIMA-CORRÊA, 2022)

6.2. Delineamento central composto rotacional

Para o delineamento central composto rotacional (DCCR), foi observado os parâmetros que apresentaram diferença significativa nos modelos nos Gráficos 1, 2, 3, 4, 5 e 6 a seguir. O efeito de interação entre os termos lineares de concentração de ovoalbumina e temperatura de secagem mostrou-se significativo ao nível de 5%. O efeito apresentou sinal negativo, ou seja, levando em conta o sinal dos efeitos lineares, quanto maior o valor destes fatores, menor o valor de umidade.

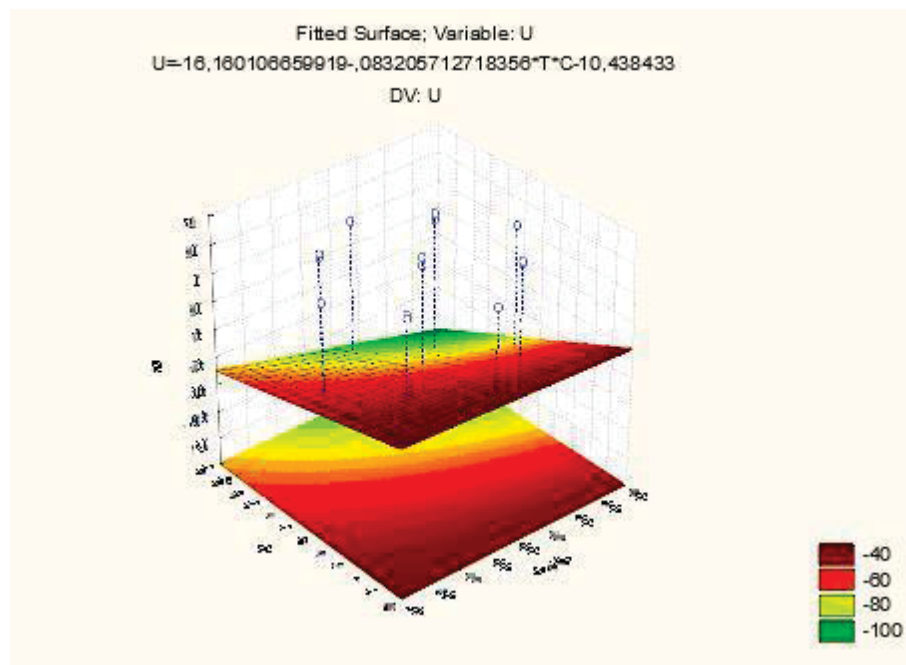
Gráfico 1 - DIAGRAMA DE PARETO UMIDADE



Fonte: O autor (2023)

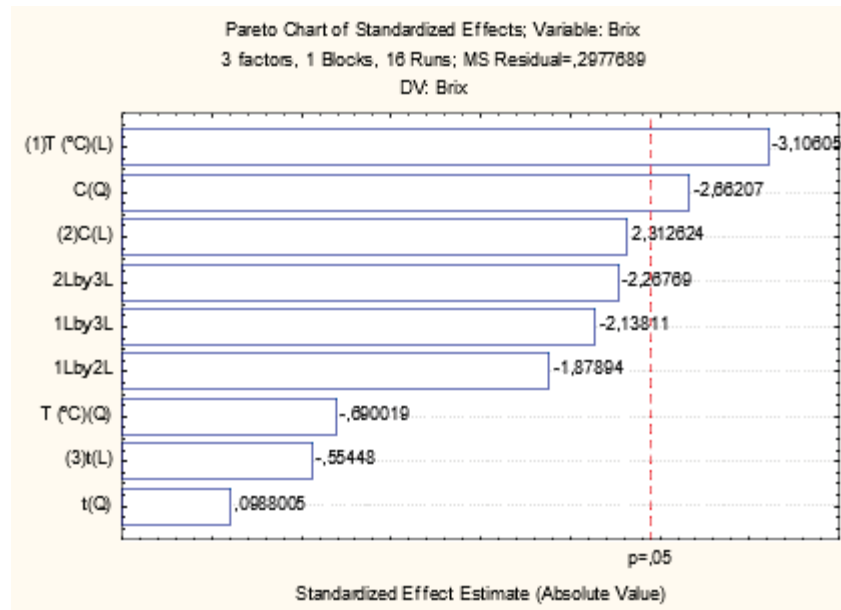
O ajuste gerou um $R^2 = 0,80098$. Tal efeito pode ser atribuído ao fato de que a adição de ovoalbumina aumenta o teor de sólidos do sistema, e o uso de altas temperaturas de secagem resulta em menor umidade final de um produto.

Gráfico 2 - SUPERFÍCIE DE RESPOSTA UMIDADE



Fonte: O autor (2023)

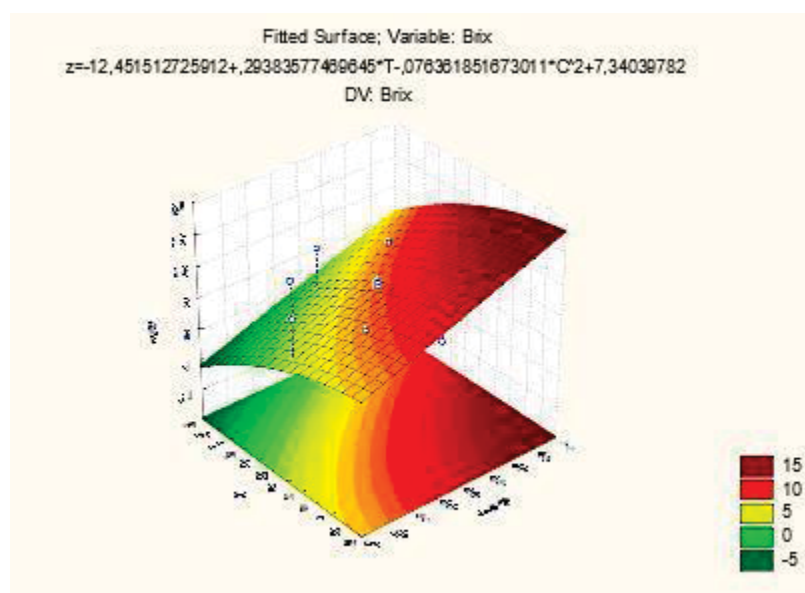
Gráfico 3 - DIAGRAMA DE PARETO SÓLIDOS SOLÚVEIS



Fonte: O autor (2023)

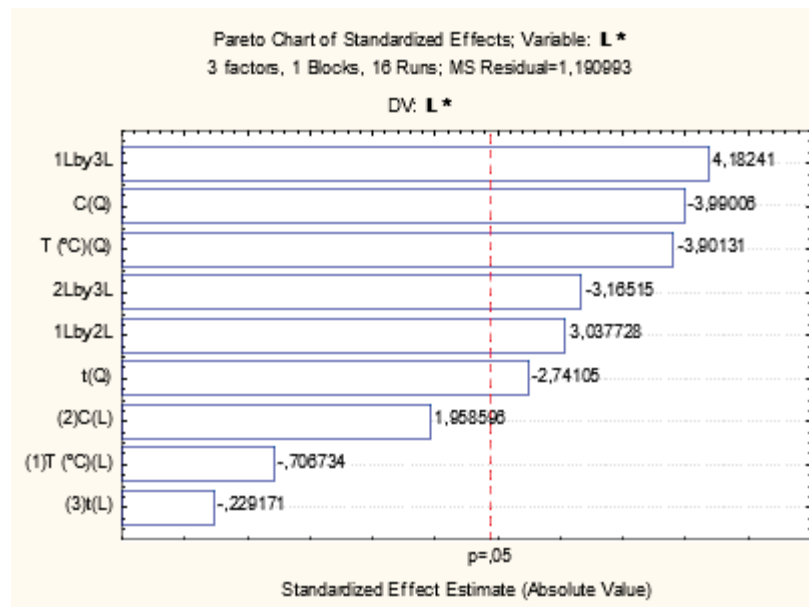
O efeito linear da temperatura de secagem e o efeito quadrático de concentração de ovoalbumina apresentaram-se significativos ao nível de 5% de probabilidade. Os efeitos foram negativos, ou seja, quanto maior a concentração de ovoalbumina e a temperatura de secagem, menor o teor de sólidos solúveis. Contudo, este resultado foi afetado pela hidrólise de FOS e inulina em carboidratos simples durante a execução dos experimentos, o que explica a variabilidade dos dados. O ajuste apresentou um $R^2 = 0,86557$.

Gráfico 4 - SUPERFÍCIE DE RESPOSTA SÓLIDOS SOLÚVEIS



Fonte: O autor (2023)

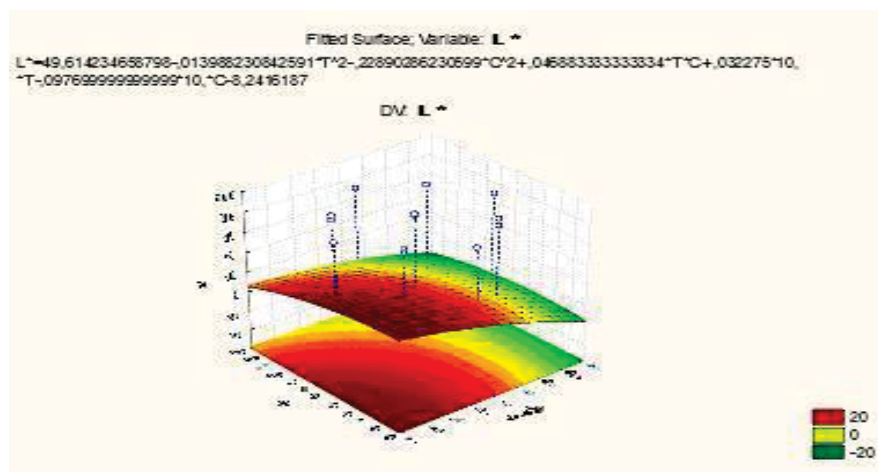
Gráfico 5 - DIAGRAMA DE PARETO L*



Fonte: O autor (2023)

O efeito de interação entre temperatura e tempo de secagem, o efeito quadrático de concentração de ovoalbumina, e o efeito quadrático de temperatura de secagem apresentaram-se significativos ao nível de 5% de probabilidade. O sinal do efeito de interação foi negativo, ou seja, levando em conta os sinais dos efeitos que o compõe, pode-se afirmar que quanto maior a temperatura e o tempo de secagem, mais escuro se torna o pó resultante. Ainda, o efeito quadrático de concentração de ovoalbumina teve sinal negativo, ou seja, quanto maior esta concentração, mais escuro o pó, o que pode ser explicado pela cor escura deste ingrediente. A análise dos demais efeitos já está contemplada nas sentenças acima colocadas. O ajuste apresentou um $R^2 = 0,91337$.

Gráfico 6 - SUPERFÍCIE DE RESPOSTA L*



Fonte: O autor (2023)

6.3. Desejabilidade

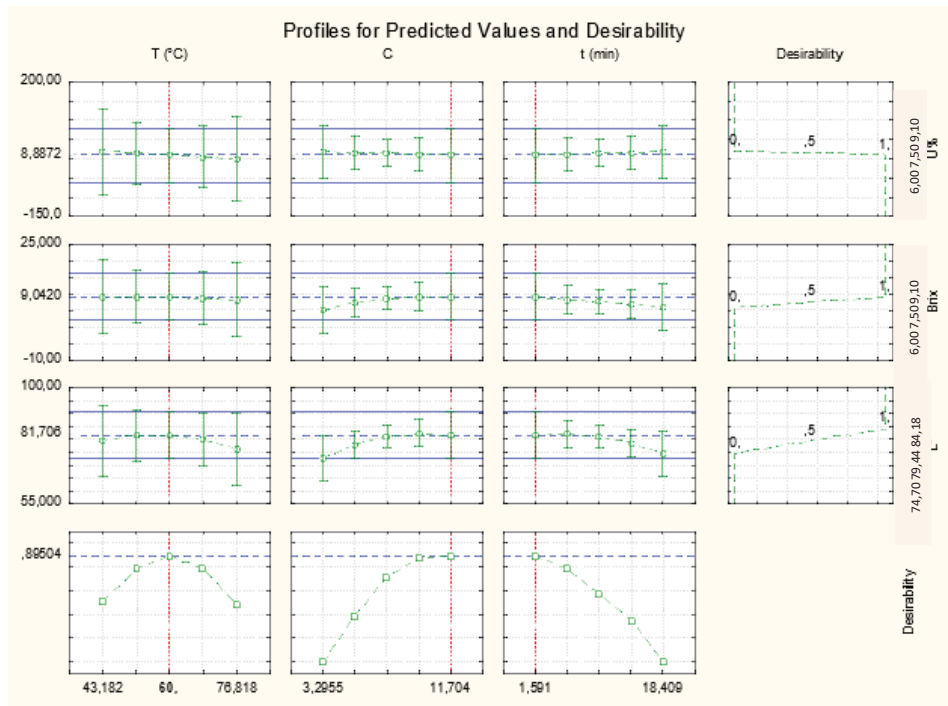
A estimativa das condições ótimas para a obtenção da espuma foi realizada através dos modelos estatísticos propostos e também com a utilização da técnica de otimização simultânea denominada “Função Desejabilidade”.

Os perfis de desejabilidade são apresentados (Gráfico 7) descrevendo as condições otimizadas na obtenção da espuma, dentro das faixas de valores estabelecidas nos ensaios experimentais.

Três grupos de gráficos podem ser observados. Nos localizados acima (os seis primeiros) apresentam a desejabilidade individual com os valores preditos desejáveis para as três respostas: Umidade, sólidos solúveis e L^* .

Apresentam-se as tendências reveladas pelas variáveis onde a linha azul tracejada representa o valor ótimo. Os gráficos correspondentes indicam que no caso da umidade, sólidos solúveis e L^* , o intercepto da linha pespontada com o máximo do gráfico demonstra claramente seus valores ótimos, a qual corresponde aos valores de 8,89 g/ 100g para umidade, próximo ao encontrado experimentalmente de 8,3 g/100g, para a resposta de sólidos solúveis o valor ótimo mostrado pela desejabilidade foi de 9,04, equivalente a 9 e para resposta L^* o valor ótimo apresentado pela desejabilidade foi de 81,71, valor próximo ao encontrado experimentalmente de 81,62 encontrado experimentalmente nesse estudo.

Gráfico 7 - DESEJABILIDADE DO PÓ DE YACON

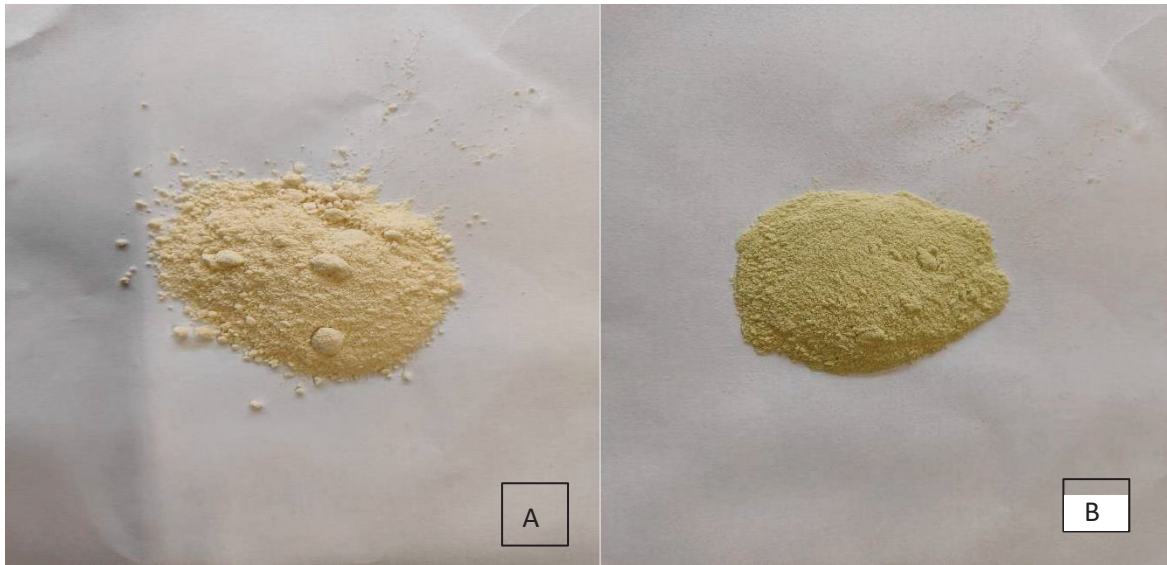


No segundo grupo, mostram os perfis das desejabilidade para as três respostas, definidas de acordo com os valores escolhidos para os limites e níveis de acordo com a Tabela 1. As linhas tracejadas verticais (em vermelho) sinalizam as condições de máxima desejabilidade global, por tanto, o ponto ótimo encontrado pela avaliação dos resultados foi de 0,895 o que correspondem a mais 89% de confiança.

6.4. Secagem em camada de espuma

Após o processo de secagem, as espumas secas foram retiradas das bandejas e leva levadas para processamento para transformação em pó, após o seu processamento, os ensaios foram peneirados em peneiras de 150 mesh e armazenados em sacos levados ao vácuo. As amostras foram armazenadas em local escuro, longe da luz. A Figura 7 mostra como os pós ficaram após seu processamento.

Figura 7 - IMAGEM (A) ENSAIO 12 E IMAGEM (B) ENSAIO OTIMIZADO



Fonte: O autor (2023)

6.4.1. Umidade, atividade de água, solubilidade, higroscopicidade

Nenhuma secagem apresentou umidade inferior à 5 g/100 g (5%) de pó de suco de yacon, valor estabelecido pela Anvisa para produtos solúveis para o limite superior (BRASIL, 2005). A amostra seca em 70°C apresentou o menor valor de umidade (10,05 g/100 g) enquanto o maior valor foi observado para o suco concentrado de yacon em camada de espuma foi a 50 °C (19,51 g/100 g), esses valores altos podem ser devido ao armazenamento da amostra, mesmo estando em embalagens a vácuo, ocorreu uma perda de vácuo nas embalagens e uma absorção de umidade.

A atividade de água apresentou comportamento semelhante, variando de 0,321 a 0,544 indicando que todos os processos estudados produzem produtos que possuem baixa disponibilidade de água para crescimento microbiano, os produtos secos devem possuir baixa aw, tornando-os menos susceptíveis a degradações enzimáticas e contaminação microbiológicas.

Os resultados de umidade, atividade de água, solubilidade e higroscopicidade estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - UMIDADE, ATIVIDADE DE ÁGUA, SOLUBILIDADE E HIGROSCOPICIDADE DOS EXTRATOS SECOS PRODUZIDOS POR DIFERENTES CONCENTRAÇÕES E TEMPERATURAS DE SECAGEM

Ensaio	Umidade (%)	Atividade de água (aw)	Solubilidade (%)	Higroscopicidade (%)
OVO-50-5-5	15,58 ^c ±0,37	0,366 ^f ±0,01	85,59 ^a ±0,64	18,28 ^a ±1,94
OVO-50-5-15	12,41 ^d ±0,47	0,471 ^{b,c} ±0,01	98,38 ^a ±0,50	19,81 ^a ±0,56
OVO-50-10-5	16,16 ^{b,c} ±0,90	0,544 ^a ±0,00	83,38 ^a ±0,40	14,74 ^a ±0,91
OVO-50-10-15	19,51 ^a ±0,12	0,537 ^a ±0,00	78,41 ^a ±0,22	15,48 ^a ±1,40
OVO-70-5-5	15,94 ^c ±0,70	0,486 ^b ±0,00	61,44 ^a ±0,62	15,98 ^a ±0,86
OVO-70-5-15	16,53 ^{b,c} ±0,54	0,452 ^{c,d} ±0,01	74,52 ^a ±0,65	13,45 ^a ±0,16
OVO-70-10-5	10,05 ^e ±0,57	0,426 ^{d,e} ±0,01	88,76 ^a ±0,00	18,78 ^a ±0,43
OVO-70-10-15	13,46 ^d ±0,12	0,401 ^e ±0,00	79,57 ^a ±0,50	18,52 ^a ±0,24
OVO-43,18-7,5-10	16,33 ^{b,c} ±0,27	0,541 ^a ±0,00	98,42 ^a ±0,58	10,12 ^a ±6,49
OVO-76,81-7,5-10	12,78 ^d ±0,01	0,406 ^e ±0,01	99,24 ^a ±0,07	13,90 ^a ±4,04
OVO-60-3,29-10	16,58 ^{b,c} ±0,24	0,337 ^{g,h} ±0,01	94,47 ^a ±0,61	19,43 ^a ±5,56
OVO-60-11,7-10	12,85 ^d ±0,28	0,321 ^h ±0,01	78,30 ^a ±0,25	13,14 ^a ±0,81
OVO-60-7,5-1,59	13,28 ^d ±1,03	0,324 ^h ±0,02	78,53 ^a ±0,54	18,22 ^a ±0,78
OVO-60-7,5-18,4	16,02 ^c ±0,23	0,433 ^d ±0,00	84,64 ^a ±0,46	16,22 ^a ±4,08
OVO-60-7,5-10	13,12 ^d ±0,04	0,360 ^{f,g} ±0,01	92,70 ^a ±0,42	18,02 ^a ±5,28
OVO-60-7,5-10	18,10 ^{a,b} ±0,65	0,435 ^d ±0,02	73,40 ^a ±0,43	13,14 ^a ±7,71

Os resultados estão expressos como a média das triplicatas ± desvio padrão. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) entre as amostras do mesmo estudo.

Franco (2015) umidade de 3,51 a 6,58% para secagem de yacon em camada de espuma, valores bem menores aos avaliados no presente estudo sobre espumas de yacon, os maiores valores de umidade foram encontrados nas menores temperaturas, enquanto que os menores valores foram as secagens a 60 e 70°C, comportamento semelhante ao observado no presente estudo.

Cól et al. (2021) observou valores de umidade para espuma de bacaba que variaram de 5,25 a 13,1%, os principais parâmetros observados para aumento na umidade foram baixas temperaturas e maiores espessuras da camada de espuma.

Panato e Muller (2022) encontrou valores de umidade que variavam de 0,03 a 0,05% para farinha de abóbora produzida através da camada de espuma, em temperaturas de 45 e 65°C utilizando espessura de 1 cm.

Os resultados obtidos para atividade de água nas secagens do suco concentrado de yacon por camada de espuma estão de acordo com os encontrados em outros estudos que utilizaram a secagem em camada de espuma. Franco (2015) onde valores que variam de 0,10 a 0,22 de a_w . Cól et al. (2021) obtiveram pós com a_w que variaram de 0,110 a 0,789 para espuma de bacaba em pó. Panato e Muller (2022) gerou valores que variavam de 0,33 a 0,43 de atividade de água.

Os resultados de solubilidade corroboraram com outros autores que utilizaram o método de camada de espuma, como Franco (2015) encontrou valores para espuma de yacon para solubilidade que variavam de 80,49 a 84,16%. Cól et al. (2021) encontrou valores de solubilidade de 3,09 a 44,9% para espuma de bacaba, valores bem distintos aos do yacon, pode se considerar que a bacaba possui uma diferente composição, o que pode causar a menor taxa de solubilidade.

Cieslinski (2021) encontrou de 91,4 a 94,8% de solubilidade na espuma de extrato de erva mate, valores bem próximos ao encontrados no estudo do pó de yacon. Panato e Muller (2022) 27,8 a 35,9 para solubilidade de purê de abóbora seco em camada de espuma, a composição da abóbora possui alguns compostos com baixa solubilidade, tornando o pó menos interativo com a água.

A higroscopicidade é a habilidade de um pó absorver água a partir de um ambiente com umidade relativa superior à de equilíbrio. Ela está relacionada a diversos parâmetros de qualidade, como a sua estabilidade física, química e microbiológica, portanto, é importante o conhecimento desse comportamento higroscópico (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Franco (2015) encontrou valores de higroscopicidade que variam de 15,24 a 22,31%, os valores corroboram aos encontrados no atual estudo. Mei Ling Ng e Rabiha Sulaiman (2018) observaram valores de higroscopicidade de 16,03 a 23,37% para espumas de beterraba, semelhantes aos do pó de yacon. Esse comportamento pode ser explicado devido a composição química estrutural dos alimentos serem

semelhantes, no yacon devido ao alto teor de açúcares encontrados na sua composição, eles são responsáveis pela absorção de água devido à capacidade dos grupamentos hidroxílicos neles contidos de formarem pontes de hidrogênio com moléculas de água (FRANCO, 2015).

Cieslisnki (2021) encontrou valores de 14 a 16,5% para higroscopicidade de espuma de extrato de erva mate, observou a influência da umidade no valor encontrado na higroscopicidade.

Nunes; Nascimento; Lima-Corrêa (2022) obtiveram resultados de higroscopicidade com variação de 1,27 a 2,57% para topos espumas de topo de cenoura, os valores bem menores aos delineados pelo yacon, podem ter relação a estrutura química dos topos de cenoura, que possuem menor quantidade de carboidratos, assim ocorrendo uma menor quantidade de interações com a água.

6.4.2. Densidades e Porosidade

A densidade aparente das partículas é uma análise útil para produtos em pó para gerar resultados que indicam características importantes das partículas e seu baixo custo de análise. Está relacionado com a facilidade de reconstituição do pó e também com a embalagem, transporte e comercialização dos produtos em pó. Valores maiores de densidade do pó representam um menor volume ocupado pelo produto e, conseqüentemente, menores custos de transporte e armazenamento. Os valores de densidade e porosidade estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5 - DENSIDADES E POROSIDADES DOS PÓS DE YACON PRODUZIDOS POR DIFERENTES CONCENTRAÇÕES E TEMPERATURAS DE SECAGEM

Ensaio	DensidadeAparente (g/cm ³)	Densidade		Porosidade Intragranular (%)
		Compactada (g/cm ³)	Densidade Absoluta (g/cm ³)	
OVO-50-5-5	0,20 ^{e,f} ±0,00	0,31 ^f ±0,00	0,81 ^{c,d} ±0,04	76,03 ^{a,b,c,d,e} ±0,68
OVO- 50-5-15	0,19 ^{e,f,g} ±0,01	0,29 ^{f,g} ±0,01	0,94 ^{a,b,c,d} ±0,02	79,74 ^{a,b,c} ±1,36
OVO- 50-10-5	0,21 ^{d,e} ±0,01	0,34 ^{b,c,d} ±0,02	0,97 ^{a,b,c} ±0,02	78,57 ^{a,b,c} ±0,25
OVO- 50-10-15	0,21 ^{d,e} ±0,01	0,32 ^{c,d,e,f} ±0,00	1,12 ^{a,b} ±0,15	81,32 ^{a,b,c} ±1,55
OVO-70-5-5	0,21 ^{d,e} ±0,00	0,32 ^{d,e,f} ±0,01	0,82 ^{c,d} ±0,04	74,25 ^a ±0,98
OVO- 70-5-15	0,24 ^{b,c} ±0,00	0,36 ^{b,c} ±0,00	0,82 ^{c,d} ±0,11	69,84 ^{a,b,c,d,e} ±3,90
OVO- 70-10-5	0,21 ^{d,e} ±0,00	0,31 ^{e,f} ±0,01	0,81 ^{c,d} ±0,03	73,93 ^e ±0,37
OVO- 70-10-15	0,18 ^{e,f,g} ±0,00	0,23 ⁱ ±0,00	0,67 ^d ±0,03	72,70 ^{b,c,d,e} ±0,58
OVO-43,18-7,5-10	0,29 ^a ±0,00	0,45 ^a ±0,01	0,99 ^{a,b,c} ±0,01	70,85 ^{c,d,e} ±0,71
OVO-76,81-7,5-10	0,23 ^{c,d} ±0,02	0,27 ^{g,h,i} ±0,01	1,18 ^a ±0,04	80,86 ^{d,e} ±0,73
OVO-60-3,29-10	0,26 ^{b,c} ±0,01	0,38 ^b ±0,01	0,87 ^{b,c,d} ±0,02	70,49 ^{a,b} ±0,37
OVO-60-11,7-10	0,16 ^g ±0,01	0,25 ^{h,i} ±0,00	0,70 ^{c,d} ±0,08	76,83 ^{a,b,c,d,e} ±1,76
OVO- 60-7,5-1,59	0,23 ^{b,c,d} ±0,01	0,34 ^{c,d,e} ±0,01	0,86 ^{b,c,d} ±0,14	73,07 ^{c,d,e} ±3,11
OVO- 60-7,5-18,4	0,17 ^{f,g} ±0,01	0,27 ^{g,h} ±0,00	0,81 ^{c,d} ±0,05	78,47 ^{a,b,c} ±0,62
OVO- 60-7,5-10	0,19 ^{e,f,g} ±0,00	0,32 ^{d,e,f} ±0,01	0,79 ^{c,d} ±0,05	76,16 ^{a,b,c,d,e} ±1,53

OVO- 60-7,5- 10	0,19 ^{e,f,g} ±0,01	0,29 ^{f,g} ±0,01	0,87 ^{b,c,d} ±0,12	77,95 ^{a,b,c,d} ±4,04
--------------------	-----------------------------	---------------------------	-----------------------------	--------------------------------

Os resultados estão expressos como a média das triplicatas ± desvio padrão. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) entre as amostras do mesmo estudo.

Os pós de yacon produzidos a partir de secagem em camada de espuma apresentaram resultados de 0,16 a 0,29 g/cm³ para densidade aparente, valores abaixo dos estudados por Franco et al. (2016) de 0,47 a 0,69 g/cm³ para espumas de yacon. E mesmo comportamento observado por Mei Ling Ng e Rabiha Sulaiman (2018) que obtiveram valores de 0,69 a 0,83 g/cm³ para densidade aparente de espuma de beterraba.

Para Nunes; Nascimento e Lima-Corrêa (2022) os valores de 0,34 e 0,39 g/cm³ para densidade aparente de espuma de topo de cenouras, são próximos aos do presente estudo sobre o pó de yacon. Cieslisnki (2021) também encontrou valores de 0,32 a 0,79 g/cm³ para densidade aparente de extrato de erva mate, valor que varia entre o encontrado para pó de yacon.

Os valores de densidade compactada para os diferentes ensaios das espumas produzidas por suco de yacon concentrados variaram de 0,23 a 0,38 g/cm³. Autores como Jalal Dehghannya et al. (2019) 0,53 a 0,58 para densidade compactada de suco de limão. E Cieslisnki (2021) encontrou valores 0,48 a 0,95 g/cm³ para densidade compactada. Obtiveram valores maiores para densidade compactada, os valores diferem também devido a diferença existente entre a densidade aparente ser baixa, levando a uma densidade compactada também baixa.

A redução no valor obtido na densidade aparente em comparação a densidade absoluta pode estar relacionada a quantidade de ar incorporado durante o processo para formação das espumas. Os resultados para densidade absoluta variaram entre 0,67 a 1,18 g/cm³. Valores aproximados foram encontrados na literatura como Franco et al. (2016) achou valores de densidade absoluta variando de 1,19 a 1,21 g/cm³ para espumas de yacon. E Cieslisnki (2021) obteve valores de densidade absoluta de 0,71 a 1,70 g/cm³ para espumas de extrato de erva mate. Os resultados corroboram com as espumas obtidas por suco concentrado de yacon.

A porosidade intragranular possui grande importância para alimentos sólidos, pois ela indica a facilidade que os componentes da matriz podem sofrer oxidação

devido ao grau de exposição da matriz ao ar, e desempenha um papel importante nas propriedades de reidratação dos materiais (RATTI, 2009).

Os pós de yacon apresentaram valores de porosidade intragranular de 69,84 a 81,32%. Franco et al (2016) ao estudar os pós obtidos de espumas de yacon teve valores de porosidade variando de 41,3% a 60,6%, um percentual menor ao relatado no presente estudo. Jalal Dehghannya et al. (2019) 81,1 a 83,5% para porosidade de suco de limão em camada de espuma, relataram resultados próximos aos do pó de suco de yacon. Cieslisnki (2021) 51,7 a 62,3% para porosidade de extrato de ervamate. Os valores de porosidade intragranular são inversamente proporcionais aos de densidade aparente, mostrando que o ar incorporado para formação das espumas proporcionou o acúmulo de ar dentro das partículas secas, causando uma maior porosidade e menor densidade (FRANCO, 2015).

6.5. Cor

A cor é um dos indicativos de maior importância para os alimentos, pois demonstra a atratividade sensorial e a sua qualidade. Ela pode ser influenciada por vários fatores, entre eles a variedade do fruto e seu grau de maturação, além do processo de secagem aplicado que pode alterar este parâmetro (VIUDA-MARTOS et al., 2012).

A cor é um aspecto importante das propriedades sensoriais dos alimentos e, conseqüentemente, da aceitação dos consumidores. Os resultados das coordenadas L^* , a^* e b^* estão dispostos na Tabela 6.

Tabela 6 - COORDENADAS L*, A* E B* RELACIONADOS À COR DOS PÓS DE SUCO CONCENTRADO DE YACON SECOS OBTIDOS POR DIFERENTES CONCENTRAÇÕES E TEMPERATURAS DE SECAGEM

Ensaio	L*	a*	b*	Sólidos solúveis
OVO-50-5-5	81,27 ^{c,d,e} ±0,76	2,42 ^{c,d,e} ±0,12	22,89 ^e ±0,13	6,57 ^h ±0,15
OVO-50-5-15	79,31 ^f ±0,41	3,02 ^{b,c} ±0,12	28,18 ^{b,c} ±0,29	8,73 ^{a,b} ±0,12
OVO-50-10-5	81,81 ^{b,c,d} ±0,59	-0,91 ⁱ ±0,11	19,65 ^f ±0,20	8,67 ^{b,c} ±0,15
OVO-50-10-15	76,66 ^g ±0,81	1,47 ^{f,g} ±0,30	24,35 ^{d,e} ±0,91	8,77 ^{a,b} ±0,15
OVO-70-5-5	74,70 ^h ±0,35	5,60 ^a ±0,51	30,95 ^a ±0,35	7,66 ^f ±0,14
OVO-70-5-15	80,89 ^{c,d,e,f} ±0,57	3,56 ^b ±0,09	29,46 ^{a,b} ±0,43	7,67 ^f ±0,23
OVO-70-10-5	81,62 ^{c,d,e} ±0,15	-0,10 ^h ±0,05	19,92 ^f ±0,07	8,1 ^{d,e} ±0,10
OVO-70-10-15	81,23 ^{c,d,e} ±0,26	-0,01 ^h ±0,02	19,80 ^f ±0,22	6,6 ^h ±0,17
OVO-43,18-7,5-10	81,40 ^{c,d,e} ±0,88	0,92 ^g ±0,29	20,28 ^f ±0,46	9,1 ^a ±0,10
OVO-76,81-7,5-10	80,06 ^{d,e,f} ±0,37	1,79 ^{f,g} ±0,15	24,99 ^d ±0,45	7,1 ^g ±0,10
OVO-60-3,29-10	79,83 ^{e,f} ±0,90	2,59 ^{c,d} ±0,24	26,69 ^c ±0,35	6,03 ⁱ ±0,06
OVO-60-11,7-10	81,46 ^{c,d,e} ±0,79	-0,51 ^{h,i} ±0,13	19,06 ^f ±0,64	8,03 ^{d,e,f} ±0,06
OVO-60-7,5-1,59	81,79 ^{b,c,d} ±0,57	1,02 ^g ±0,11	24,71 ^d ±0,07	9,13 ^a ±0,15
OVO-60-7,5-18,4	82,03 ^{b,c} ±0,48	2,29 ^{d,e} ±0,25	22,84 ^e ±0,46	7,7 ^{e,f} ±0,17
OVO-60-7,5-10	84,1 ^a ±0,65	0,07 ^h ±0,01	18,80 ^f ±0,46	8,27 ^{c,d} ±0,12
OVO-60-7,5-10	83,56 ^{a,b} ±0,50	2,13 ^{d,e,f} ±0,34	22,85 ^e ±1,20	8,77 ^{a,b} ±0,12

Os resultados estão expressos como a média das triplicatas ± desvio padrão. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) entre as amostras do mesmo estudo.

O parâmetro (L*) em alimentos pode estar relacionada a diversos fatores, como a concentração e os tipos de pigmentos que a amostra possui, o conteúdo de água e a concentração de água na superfície (VIUDA-MARTOS et al., 2012).

Os resultados obtidos para o parâmetro L* variaram de 74,7 a 83,56, foi possível observar diferença significativa ($p < 0,05$) em todos os ensaios. Diversos autores encontraram resultados que corroboram com o presente estudo, como Franco et al. (2016) variações de 62,60 a 83,12 para coordenada L* em espumas de suco concentrado de yacon. Campos; Aguilar-Galvez e Pedreschi (2016) encontrou valores

de L^* variando de 58,4 a 79,2 para farinhas obtidas de yacon com diferentes aditivos. E Garzón-García; Dussán-Sarria e Melo-Sevilla (2018) encontrou valores de L^* para yacon variando de 67,34 a 80,78 em diferentes temperaturas.

Saldaña et al. (2014) apresentou estudo de L^* variando de 65,99 a 60,84 em yacon minimamente processado, obteve valores menores ao estudado, devido a fatores como temperatura, concentração de ovoalbumina influenciarem diretamente no processo final da cor.

O pré-tratamento através do branqueamento e a imersão em ácido málico 1% do yacon tem influência direta na coloração, pois evita o escurecimento enzimático (que produz um suco com cor verde intensa), produzindo um suco com uma melhor qualidade, sem o escurecimento enzimático.

Alguns autores encontraram resultados que são próximos aos do pó de yacon, como Saldaña et al. (2014) encontrou valores de a^* 7,33 a 17,70 para yacon minimamente processado. Campos; Aguilar-Galvez e Pedreschi (2016) valores de a^* variando de 0,5 a 2,1 em yacon com diferentes usos de aditivos. Franco et al. (2016) encontrou valores de a^* de -1,89 a 14,72.

A parâmetro (b^*) correspondente ao amarelo – azul, teve efeito significativo, os valores se mostraram correspondentes à coordenada amarela para todas as amostras, com predominância desta cor, pois foram obtidos os maiores coeficientes, 18,8 a 30,95. Franco (2015) obteve valores entre 45,86 e 54,99 para os pós de suco e entre 22,57 e 41,87 para os pós de suco concentrado. Os valores corroboram aos encontrados. Saldaña et al. (2014) encontrou valores de b^* de 35,11 a 41,49 para yacon. A coloração amarelada pode ser devido à presença de carotenoides nas raízes de yacon.

Os pós de yacon apresentaram 6,03 a 9,13 °Brix, essa variação entre o teor de sólidos solúveis foi devido a variabilidade do yacon para a produção da espuma, o yacon foi processado em diversos momentos e levou a um aumento nos sólidos solúveis, provavelmente devido ao produto da degradação enzimática sofrida durante o armazenamento dele in natura.

Autores que utilizaram o método de camada de espuma, obtiveram resultados semelhantes aos do pó de yacon Mei Ling Ng e Rabiha Sulaiman (2018) 7 a 7,5 °Brix para espuma de beterraba e Sifat et al. (2021) 5° a 8°Brix para secagem em camada

de espuma de ameixas.

6.6. Antioxidantes

O método de atividade de eliminação de radicais DPPH é utilizado para determinar a capacidade dos antioxidantes em uma amostra de eliminar os radicais livres de DPPH através da doação de hidrogênio. Os radicais de DPPH possuem coloração roxa, que a partir da reação com hidrogênio a cor sofre uma neutralização. Então a intensidade da descoloração avaliada em 515 nm, é uma medida da capacidade antioxidante. Os seus resultados podem ser expressos como equivalentes de uma substância de referência (trolox, ácido ascórbico, entre outros (SHAHIDI; ZHONG, 2015)).

Os pós de suco concentrado de yacon estão descritos na Tabela 7 e obtiveram valores de DPPH de 14,75 a 17,67 mg.g⁻¹, os maiores valores encontrados foram nos ensaios de 60, 70 e 76,81°C, a espuma forma uma película que protege os compostos de possível oxidação pelo ar ou alta temperatura, permitindo que temperaturas altas sejam aplicadas sem degradar completamente os compostos antioxidantes presentes na amostra.

Khajehei; Hartung e Graeff-Hönninger (2018) estudou o efeito da atividade antioxidante em chips de yacon processados de diversas formas, para amostras secas em temperaturas de 40, 50 e 60 respectivamente e pré-tratamento ácido com suco de limão, obteve valores de 874,72, 1039 e 1074,84 mg AAE.100⁻¹ para DPPH. É possível observar a diminuição considerável em relação a outros tipos de secagem como a liofilização.

Tabela 7 - ATIVIDADE ANTIOXIDANTE (FRAP, DPPH E ABTS) DOS EXTRATOS DO YACON IN NATURA, DOS PÓS DE YACON E PÓ OTIMIZADO, PRODUZIDOS POR DIFERENTES CONCENTRAÇÕES E TEMPERATURAS DE SECAGEM

Ensaio	DPPH (mg.g ⁻¹)	FRAP (mM Fe ²⁺ .100g ⁻¹)	ABTS (μmol trolox.g ⁻¹)
Yn	16,83 ^{a,b,c} ±0,09	26,91 ^{a,b,c,d} ±93,82	8,65 ^{a,b} ±475,46
OVO-50-5-5	14,75 ^f ±0,41	20,30 ^{a,b,c} ±178,09	4,87 ^{a,b} ±91,97
OVO-50-5-15	15,25 ^{e,f} ±0,52	17,95 ^{a,b,c,d} ±96,71	2,31 ^{a,b} ±17,11
OVO-50-10-5	16,34 ^{b,c,d,e} ±0,43	15,31 ^{b,c,d} ±113,83	0,64 ^b ±30,55
OVO-50-10-15	15,47 ^{d,e,f} ±0,36	18,64 ^{a,b,c,d} ±55,17	5,56 ^{a,b} ±33,39
OVO-70-5-5	16,02 ^{b,c,d,e} ±1,23	14,24 ^{b,c,d} ±41,93	3,66 ^{a,b} ±66,69
OVO-70-5-15	15,19 ^{e,f} ±0,19	14,11 ^{b,c,d} ±158,93	3,82 ^{a,b} ±29,06
OVO-70-10-5	17,16 ^{a,b} ±0,20	9,88 ^d ±67,38	1,04 ^b ±12,02
OVO-70-10-15	16,98 ^{a,b} ±0,22	15,69 ^{b,c,d} ±240,02	0,92 ^b ±30,25
OVO-43,18-7,5-10	16,68 ^{a,b,c,d} ±0,09	14,02 ^{b,c,d} ±62,52	2,06 ^{a,b} ±16,44
OVO-76,81-7,5-10	17,25 ^{a,b} ±0,25	11,96 ^{c,d} ±95,47	2,24 ^{a,b} ±23,09
OVO-60-3,29-10	15,61 ^{c,d,e,f} ±0,35	25,82 ^a ±179,97	6,45 ^{a,b} ±41,68
OVO-60-11,7-10	16,79 ^{a,b,c} ±0,29	14,85 ^{b,c,d} ±65,38	3,63 ^{a,b} ±16,67
OVO-60-7,5-1,59	17,03 ^{a,b} ±0,36	17,98 ^{a,b,c,d} ±73,75	4,98 ^{a,b} ±22,69
OVO-60-7,5-18,4	16,30 ^{b,c,d,e} ±0,23	21,98 ^{a,b} ±78,44	6,69 ^{a,b} ±59,85
OVO-60-7,5-10	16,87 ^{a,b} ±0,34	14,52 ^{b,c,d} ±380,12	7,30 ^{a,b} ±161,12
OVO-60-7,5-10	16,05 ^{b,c,d,e} ±0,02	14,59 ^{b,c,d} ±258,52	8,17 ^{a,b} ±96,74
OTI	17,67 ^a ±0,07	14,96 ^{b,c,d} ±50,33	8,97 ^a ±110,07

Os resultados estão expressos como a média das triplicatas ± desvio padrão. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste de Tukey (p<0,05) entre as amostras do mesmo estudo.

Pereira et al. (2016) estudaram a polpa de yacon e a farinha, obtendo valores para DPPH EC50 de 2,99 e 5,05 mg/mL respectivamente. Os valores encontrados pelo autor, são menores aos do presente estudo. Em temperaturas de secagem mais

altas, a produção de compostos antioxidantes como resultado do escurecimento enzimático e não enzimático pode contribuir para uma maior atividade antioxidante.

O método FRAP é baseado na transferência de elétrons para medir as características antioxidantes de alimentos. O poder antioxidante é determinado a partir de uma condição ácida através da redução do complexo férrico 2,4,6-tripiridil-s-triazina ao complexo ferroso. Ele apresenta uma coloração azul intensa e sua absorbância pode ser medida a 595 nm. Os resultados dos ensaios FRAP são expressos como equivalentes de concentração de íons ferrosos (mM) (SHAHIDI; ZHONG, 2015).

Os ensaios com espumas de suco concentrado de yacon, apresentaram um valor de FRAP que variou de 11,96 a 26,91 mM $\text{Fe}^{2+} \cdot 100\text{g}^{-1}$, ele apresentou maiores valores para as temperaturas de 50 e 60°C. Autores como Khajehei; Hartung e Graeff-Hönninger (2018) observaram valores de 13.067,62, 14.344,79 e 14.276,69 mM $\text{Fe}^{2+} \cdot 100\text{g}^{-1}$ de FRAP para chips de yacon, valores bem menores aos encontrados para as mesmas amostras liofilizadas. Esses valores para chips de yacon foram muito superiores aos encontrados nos pós de yacon, essa diferença pode ser explicada devido a variabilidade de yacon utilizada no estudo, as condições de secagem e armazenamento, o tipo de processamento utilizado influencia diretamente na capacidade antioxidante, que podem levar a uma diminuição drástica no seu potencial antioxidante.

A atividade de eliminação de radicais ABTS consiste em um método rápido e simples, que determina a capacidade antioxidante total em alimentos. Ela é feita através da medição da redução na cor azul-esverdeada do cátion radical ABTS em 734 nm a partir da doação de hidrogênio ou elétrons pelos compostos antioxidantes presente no alimento (SHAHIDI; ZHONG, 2015).

Os valores de ABTS foram relativamente menores aos encontrados para DPPH e FRAP, eles variaram de 0,64 a 8,97 $\mu\text{mol trolox} \cdot \text{g}^{-1}$. Os dados encontrados na literatura são maiores aos do estudo Khajehei; Hartung e Graeff-Hönninger (2018) observou valores de 3.567.287, 2.963.810 e 3.031.599 $\mu\text{M TE } 100.\text{g}^{-1}$ para ABTS, a secagem em camada de espuma apresentou comportamento semelhante para todos os tipos de antioxidantes, obtendo menores resultados do que a utilização de outros métodos, como liofilização, a vácuo entre outros.

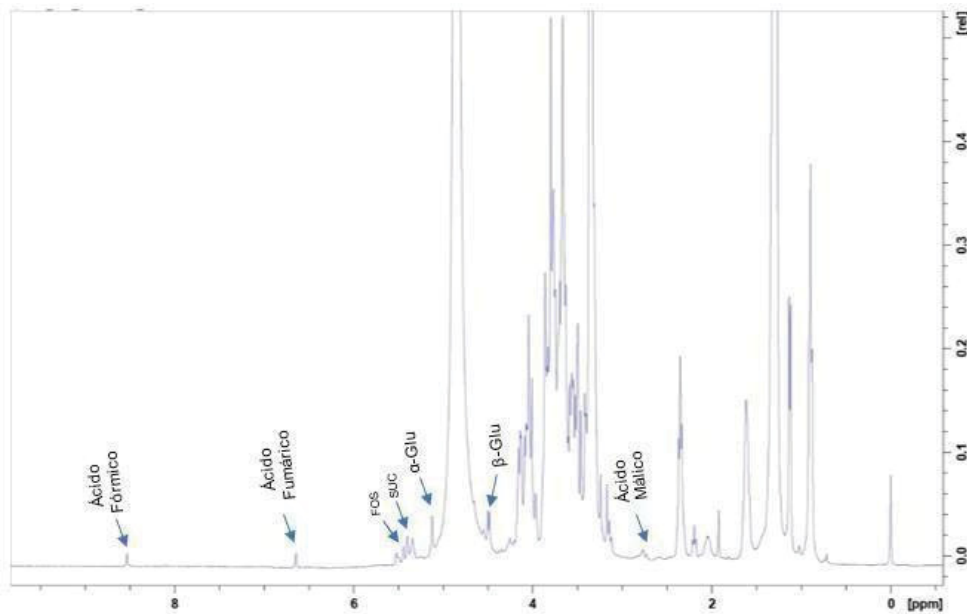
Sousa et al. (2015) observaram valores de ABTS variando de 200 a 300

mg/100g equivalentes de ácido ascórbico ao avaliar farinhas de yacon com diferentes tipos de extração de compostos bioativos. Pereira et al. (2016) estudaram a polpa de yacon e a farinha, obtendo valores para ABTS de 274,8 e 2.564 $\mu\text{mol TE}\cdot\text{g}^{-1}$. Campos et al. (2012) avaliaram a capacidade antioxidante usando o ensaio ABTS de trinta e cinco diferentes yacon variaram de 23 a 136 $\mu\text{mol TE}\cdot\text{g}^{-1}$.

6.7. RMN

O espectro de ^1H NMR do xarope de yacon (Fig. 8) mostra metabólitos primários de baixo peso molecular, como aminoácidos, açúcares e ácidos orgânicos.

Figura 8 - RMN DO YACON OTIMIZADO



Fonte: O autor (2023)

Foi possível identificar diversos compostos a partir das análises de RMN, a presença de açúcares como a α -Glicose (duplo a 5,22 δ para $-\text{CH}-$) e β -Glicose (duplo a 4,65 δ para $-\text{CH}-$), a presença de sacarose (duplo a 5,42 δ $-\text{CH}-$) para também foi encontrada na amostra junto com o pico de FOS (singleto largo de 5,41 a 5,44 δ para $-\text{CH}-$). A estrutura alifática encontra corresponde ao ácido málico (duplo a 2,70 e 2,72 δ de CH_2). Na região aromática encontrou-se o ácido fórmico (singleto a 8,34 δ) e ácido fumárico (singleto a 6,68 δ).

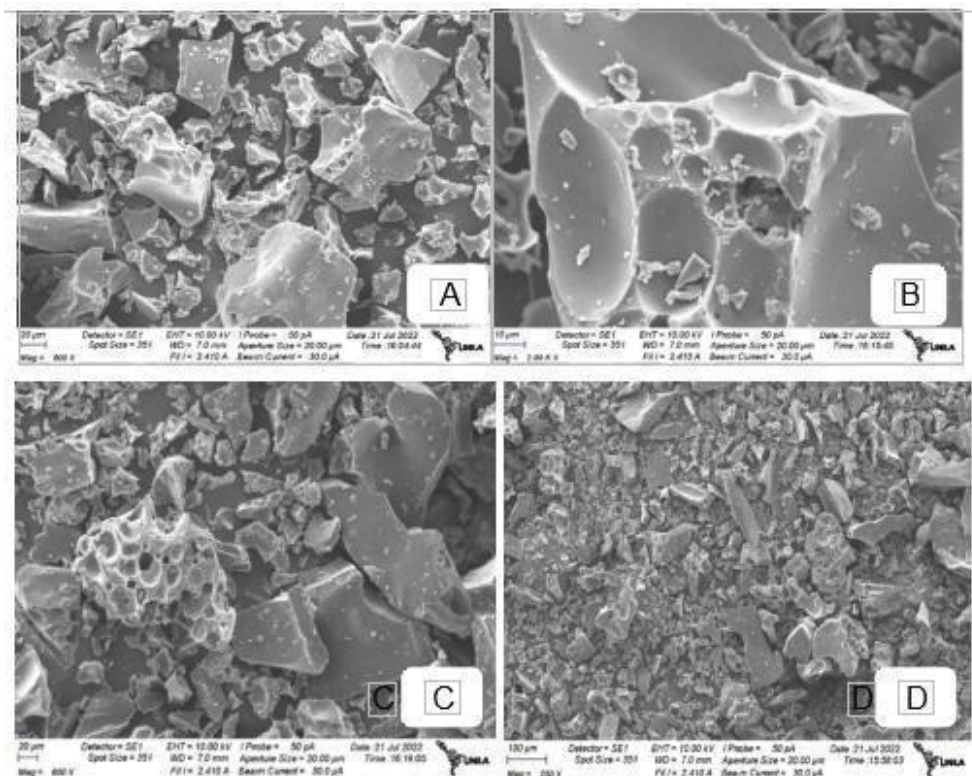
Silva et al. (2018) identificaram compostos; etanol; treonina; alanina; glutamina e glutamato; ácido málico; ácido cítrico; ácido málico; frutose; glicose beta; alfa glicose; sacarose; FOS; uracila; sinais de ácido fumárico; tirosina e ácido fórmico de xarope de yacon através do método de RMN.

Paredes et al. (2018) identificaram os principais açúcares no yacon através de RMN, o sinal em δ 104,3 ppm corresponde ao carbono anomérico da extremidade redutora de β -Fru *f*, deslocamentos em δ 103,6, δ 103,5, δ 103,1 e δ 102,9 ppm correspondem ao carbono anomérico de frutose em β - ligação de FOS.

6.8. MEV

Através de microscopia eletrônica de varredura, verificaram-se as características morfológicas e estruturais do suco concentrado de yacon em pó otimizado. De uma maneira geral, a morfologia das partículas (Fig. 9) não foi afetada pelo suco utilizado ou pela condição de secagem aplicada, se mostrando todas com estrutura porosa e irregular.

Figura 9 - MICROGRAFIAS OBTIDAS POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DE PARTÍCULAS DE SUCO CONCENTRADO DE YACON OTIMIZADO. RESOLUÇÃO DE 250X A 2.000X



Fonte: O autor (2023)

É possível observar o formato das bolhas nas estruturas do pó de yacon, e também fragmentos parecidos com os de vidros quebrados, o que contribuiu para a porosidade dos sucos de yacon em pó. Estruturas semelhantes às encontradas por Franco (2015).

7. CONCLUSÃO

O yacon pode ser formulado em menores tempos de batimento e menores concentrações de agente espumante sem diferença significativa para estabilidade de espuma, percentual de expansão e volume de fração de ar, tornando-a mais adequada para secagem em camada de espuma.

Foi possível observar que apesar de altas temperaturas aplicadas durante o processamento, o yacon ainda apresentou atividade antioxidante nas maiores temperaturas utilizadas (70 e 76,18 °C) os valores encontrados para os ensaios diferiram estatisticamente, apesar de possuir uma fragilidade em relação ao seu armazenamento após a secagem, pode ser considerado uma alternativa para utilização de formulação de alimentos.

A otimização obteve respostas melhores, sendo assim a utilização da sua formulação atribuiria um produto de maior qualidade.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, E.; AZIZPOUR, M. Evaluation of physicochemical properties of foam mat dried sour cherry powder. **LWT - Food Science and Technology**, v. 68, p. 105–110, maio 2016.
- AKTAS, R. N.; TONTUL, I. Usability of soapwort and horse chestnut saponin extracts as foaming agents in foam mat drying of pomegranate juice. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 2, p. 786–793, 30 jan. 2021.
- ARAL, S.; BEŞE, A. V. Convective drying of hawthorn fruit (*Crataegus* spp.): Effect of experimental parameters on drying kinetics, color, shrinkage, and rehydration capacity. **Food Chemistry**, v. 210, p. 577–584, 1 nov. 2016.
- AYETIGBO, O. et al. Preparation, optimization and characterization of foam from white-flesh and yellow-flesh cassava (*Manihot esculenta*) for powder production. **Food Hydrocolloids**, v. 97, p. 105205, 1 dez. 2019.
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos**. 3ª ed ed. Campinas: UNICAMP: [s.n.].
- BENKOVIĆ, M. et al. Optimization of the foam mat drying process for production of cocoa powder enriched with peppermint extract. **LWT**, v. 115, p. 108440, nov. 2019.
- BERNSTEIN, A.; NOREÑA, C. P. Z. Study of Thermodynamic, Structural, and Quality Properties of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) During Drying. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, n. 1, p. 148–160, 1 jan. 2014.
- BISINELLA, R. Z. B. et al. **Thermal analysis as screening technique to assess spray-drying process of encapsulated “yacon” juice - Documento - Gale Academic OneFile**. Disponível em: <<https://go-gale.ez1.periodicos.capes.gov.br/ps/i.do?p=AONE&u=capes&id=GALE|A470604919&v=2.1&it=r>>. Acesso em: 16 ago. 2022.
- BRANCO, I. G. 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, jul. 2016.

CAETANO, B. F. R. et al. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) as a Food Supplement: Health-Promoting Benefits of Fructooligosaccharides. **Nutrients**, v. 8, n. 7, p. 436, jul. 2016.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and Properties of Spray-dried *Amaranthus* Betacyanin Pigments. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 7, p. 1248–1252, out. 2000.

CAMPOS, D.; AGUILAR-GALVEZ, A.; PEDRESCHI, R. Stability of fructooligosaccharides, sugars and colour of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) roots during blanching and drying. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 51, n. 5, p. 1177–1185, maio 2016.

CAPARINO, O. A. et al. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine ‘Carabao’ var.) powder. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 1, p. 135–148, 1 jul. 2012.

CARVALHO, T. M. DE et al. Dehydration of jambolan [*Syzygium cumini* (L.)] juice during foam mat drying: Quantitative and qualitative changes of the phenolic compounds. **Food Research International**, v. 102, p. 32–42, 1 dez. 2017.

CASTRO, A. et al. Antioxidants in yacon products and effect of long term storage. **Food Science and Technology**, v. 32, n. 3, p. 432–435, 7 jun. 2012.

CASTRO, A. M.; MAYORGA, E. Y.; MORENO, F. L. Mathematical modelling of convective drying of fruits: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 223, p. 152–167, 1 abr. 2018.

CIESLINSKI, G. M. PRODUÇÃO DE EXTRATO DE ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis*) EM PÓ POR SECAGEM CONVECTIVA EM CAMADA DE ESPUMA E LIOFILIZAÇÃO. p. 110, 2021.

CÓL, C. D. et al. Foam-mat drying of bacaba (*Oenocarpus bacaba*): Process characterization, physicochemical properties, and antioxidant activity. **Food and Bioproducts Processing**, v. 126, p. 23–31, 1 mar. 2021.

CRUZ, P. N. et al. Encapsulation of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) leaf extract by supercritical fluid extraction of emulsions. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 160, p. 104815, 1 jun. 2020.

DAHAL, S.; OJHA, P.; KARKI, T. B. Functional quality evaluation and shelf life study of synbiotic yacon juice. **Food Science & Nutrition**, v. 8, n. 3, p. 1546–1553, mar. 2020.

DETTENBORNDE, C. et al. Foam-mat drying of bacaba (*Oenocarpus bacaba*): Process characterization, physicochemical properties, and antioxidant activity. **Food and Bioproducts Processing**, v. 126, p. 23–31, 1 mar. 2021.

DJAENI, M. et al. Drying Rate and Product Quality Evaluation of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) Calyces Extract Dried with Foaming Agent under Different Temperatures. **International Journal of Food Science**, v. 2018, p. e9243549, 20 mar. 2018.

DRAPER, N. R.; LIN, D. K. J. Small Response-Surface Designs. **Technometrics**, v. 32, n. 2, p. 187–194, 1990.

FICHTALI, J.; VAN DE VOORT, F. R.; KHURI, A. I. MULTIRESPONSE OPTIMIZATION of ACID CASEIN PRODUCTION. **Journal of Food Process Engineering**, v. 12, n. 4, p. 247–258, 1990.

FLOROS, J. OHN D.; CHINNAN, M. ANJEET S. Seven Factor Response Surface Optimization of a Double-Stage Lye (NaOH) Peeling Process for Pimiento Peppers. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 2, p. 631–638, 1988.

FRANCO, T. S. DESIDRATAÇÃO DE SUCO DE YACON PELO MÉTODO DE CAMADA DE ESPUMA. p. 192, 2015.

FRANCO, T. S. et al. Effect of Process Parameters on Foam Mat Drying Kinetics of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and Thin-Layer Drying Modeling of Experimental Data. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, n. 1, p. e12264, fev. 2017.

GARZÓN-GARCÍA, A. M.; DUSSÁN-SARRIA, S.; MELO-SEVILLA, R. E. Estudio de la Variación de Parámetros de Color del Yacón utilizando un Prototipo de Medición de Color y Temperatura. **Información tecnológica**, v. 29, n. 6, p. 75–82, dez. 2018.

GOMES, B. DE O. et al. Uvaia fruit (*Eugenia pyriformis* Cambess) drying: Ethanol as pre-treatment, convective drying kinetics and bioactive compounds. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 46, n. 2, p. e16284, fev. 2022.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G.; KAZAKIS, N. A. Influence of Spray Drying Conditions on Tomato Powder Properties. **Drying Technology**, v. 22, n. 5, p. 1129–1151, 31 dez. 2004.

GRANATO, D. et al. Influence of passion fruit juice on colour stability and sensory acceptability of non-sugar Yacon-based pastes. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 54, p. 149–159, fev. 2011.

HARDY, Z.; JIDEANI, V. A. Foam-mat drying technology: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 12, p. 2560–2572, 13 ago. 2017.

JALAL DEGHANNYA et al. A multivariable approach for intensification of foam-mat drying process: Empirical and three-dimensional numerical analyses. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, v. 135, p. 22–41, 1 jan. 2019.

JINAPONG, N.; SUPHANTHARIKA, M.; JAMNONG, P. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. **Journal of Food Engineering**, v. 84, n. 2, p. 194–205, 1 jan. 2008.

KHAJEHEI, F.; HARTUNG, J.; GRAEFF-HÖNNINGER, S. Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Yacon (*Smallanthus Sonchifolius* Poepp. and Endl.) Chips: Effect of Cultivar, Pre-Treatment and Drying. **Agriculture**, v. 8, n. 12, p. 183, dez. 2018.

KOTOVICZ, V. et al. Influence of Process Conditions on the Kinetics of the Osmotic Dehydration of Yacon (*Polymnia sonchifolia*) in Fructose Solution. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 38, n. 3, p. 1385–1397, jun. 2014.

LAGO, C. C. et al. Characterization of Powdered Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) Juice and Pulp. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 6, p. 2183–2191, ago. 2012.

LANCETTI, R. et al. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) flour obtention: Effect of process conditions on quality attributes and its incorporation in gluten-free muffins. **LWT**, v. 125, p. 109217, 1 maio 2020.

LIMBAGA, J. C.; ESGUERRA, E. B.; CASTILLO-ISRAEL, K. A. T. Enzymatic browning and chemical composition of whole yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob.] tubers as affected by blanching. **Food Research**, v. 4, n. 5, p. 1554–1562, 16 maio 2020.

LISBOA, C. G. C. DE et al. **Effective diffusivity in yacon potato cylinders during drying/Difusividade efetiva em batata yacon com formato cilíndrico durante a secagem - Documento - Gale Academic OneFile**. Disponível em: <<https://go-gale.ez1.periodicos.capes.gov.br/ps/i.do?p=AONE&u=capes&id=GALE|A551340538&v=2.1&it=r>>. Acesso em: 16 ago. 2022.

MACEDO, L. L. et al. Evaluation of different bleaching methods applied to yacon. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, n. 7, p. e13276, nov. 2019.

MARQUES, C. et al. Lactobionic acid as a suitable food preservative for yacon juice. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 64, p. 102400, 1 ago. 2020.

MARTINO, H. S. D.; KOLBA, N.; TAKO, E. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) flour soluble extract improve intestinal bacterial populations, brush border membrane functionality and morphology in vivo (*Gallus gallus*). **Food Research International**, v. 137, p. 109705, 1 nov. 2020.

MATKOWSKI, A. Plant in vitro culture for the production of antioxidants — A review. **Biotechnology Advances**, v. 26, n. 6, p. 548–560, 1 nov. 2008.

MEI LING NG,; RABIHA SULAIMAN,. Development of beetroot (*Beta vulgaris*) powder using foam mat drying. **LWT**, v. 88, p. 80–86, 1 fev. 2018.

MOUNIR, S. Foam Mat Drying FMD. Em: [s.l: s.n.].

MUSIELAK, G.; MIERZWA, D.; KROEHNKE, J. Food drying enhancement by ultrasound – A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 56, p. 126–141, 1 out. 2016.

NEVES, V. A.; DA SILVA, M. A. Polyphenol Oxidase from Yacon Roots (*Smallanthus sonchifolius*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 6, p. 2424–2430, 1 mar. 2007.

NUNES, G.; NASCIMENTO, B. S.; LIMA-CORRÊA, R. A. B. Development of carrot top powders using foam mat drying. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 46, n. 4, p. e16487, abr. 2022.

PANATO, K.; MULLER, C. M. O. Drying kinetics and physicochemical and technological properties of pumpkin purée flour dried by convective and foam-mat drying. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 46, n. 2, p. e16264, fev. 2022.

PAREDES, L. L. et al. Yacon fructans (*Smallanthus sonchifolius*) extraction, characterization and activation of macrophages to phagocyte yeast cells. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 108, p. 1074–1081, 1 mar. 2018.

PEREIRA, J. A. R. et al. Total antioxidant activity of yacon tubers cultivated in Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, p. 596–605, out. 2016.

PERUSSELLO, C. A. et al. Heat and mass transfer modeling of the osmo-convective drying of yacon roots (*Smallanthus sonchifolius*). **Applied Thermal Engineering**, v. 63, n. 1, p. 23–32, 5 fev. 2014.

QADRI, O. S.; SRIVASTAVA, A. K. Microwave-Assisted Foam Mat Drying of Guava Pulp: Drying Kinetics and Effect on Quality Attributes. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, n. 1, p. e12295, fev. 2017.

R. T. **Fundamentals of Food Processing Engineering**, 3.ed. Nova Iorque:

RAHARITSIFA, N.; GENOVESE, D. B.; RATTI, C. Characterization of Apple Juice Foams for Foam-mat Drying Prepared with Egg White Protein and Methylcellulose. **Journal of Food Science**, v. 71, n. 3, p. E142–E151, 2006.

REIS, F. R. et al. Effect of processing methods on yacon roots health-promoting compounds and related properties. **Trends in Food Science & Technology**, v. 113, p. 346–354, 1 jul. 2021.

REIS, F. R.; DE MORAES, A. C. S.; MASSON, M. L. Impact of Foam-Mat Drying on Plant-Based Foods Bioactive Compounds: a Review. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 76, n. 2, p. 153–160, 1 jun. 2021.

REIS, F. R.; LENZI, M. K.; MASSON, M. L. Effect of vacuum drying conditions on the quality of yacon (*smallanthus sonchifolius*) slices: process optimization toward color quality. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 36, n. 1, p. 67–73, fev. 2012.

RODRIGUES, O. R. L.; ASQUIERI, E. R.; ORSI, D. C. Prevention of enzymatic browning of yacon flour by the combined use of anti-browning agents and the study of its chemical composition. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 34, n. 2, p. 275–280, jun. 2014.

SALDAÑA, E. et al. Measurement parameter of color on yacon (*Smallanthus sonchifolius*) slices using a computer vision system. **LWT - Food Science and Technology**, v. 59, n. 2, p. 1220–1226, 1 dez. 2014.

SALINAS, J. G. et al. The influence of convection drying on the physicochemical properties of yacón (*Smallanthus sonchifolius*). **Heat and Mass Transfer**, v. 54, n. 10, p. 2951–2961, out. 2018.

SANGAMITHRA, A. et al. Foam Mat Drying of Food Materials: A Review. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 6, p. 3165–3174, dez. 2015.

SCHER, C. F.; DE OLIVEIRA RIOS, A.; NOREÑA, C. P. Z. Hot air drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and its effect on sugar concentrations. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 44, n. 11, p. 2169–2175, nov. 2009.

SHAHIDI, F.; ZHONG, Y. Measurement of antioxidant activity. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 757–781, 1 out. 2015.

SHI, Q.; ZHENG, Y.; ZHAO, Y. Mathematical modeling on thin-layer heat pump drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) slices. **Energy Conversion and Management**, v. 71, p. 208–216, 1 jul. 2013.

SIFAT, S. A. D. et al. Response Surface Approach to Optimize the Conditions of Foam Mat Drying of Plum in relation to the Physical-Chemical and Antioxidant Properties of Plum Powder. **International Journal of Food Science**, v. 2021, p. e3681807, 20 dez. 2021.

SIMONOVSKA, B. et al. Investigation of phenolic acids in yacon (*Smallanthus sonchifolius*) leaves and tubers. **Journal of Chromatography A**, v. 1016, n. 1, p. 89–98, 17 out. 2003.

SOUSA, S. et al. Antioxidant properties of sterilized yacon (*Smallanthus sonchifolius*) tuber flour. **Food Chemistry**, v. 188, p. 504–509, 1 dez. 2015.

Springer, 2007.

SRAMEK, M. et al. Preparation of High-Grade Powders from Tomato Paste Using a Vacuum Foam Drying Method. **Journal of Food Science**, v. 80, p. 1755–1762, 6 abr. 2015.

TAKENAKA, M. et al. Caffeic Acid Derivatives in the Roots of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 3, p. 793–796, 1 jan. 2003.

TAKENAKA, M.; ONO, H. Novel octulosonic acid derivatives in the composite *Smallanthus sonchifolius*. **Tetrahedron Letters**, v. 44, n. 5, p. 999–1002, 27 jan. 2003.

TALITA SZLAPAK FRANCO et al. Effects of foam mat drying on physicochemical and microstructural properties of yacon juice powder. **LWT - Food Science and Technology**, v. 66, p. 503–513, 1 mar. 2016.

VALENTOVA, K. et al. Antioxidant activity of extracts from the leaves of *Smallanthus sonchifolius*. **European Journal of Nutrition**, v. 42, n. 1, p. 61–66, 1 fev. 2003.

VASCONCELOS, C. M. et al. Evaluating Strategies to Control Enzymatic Browning of Minimally Processed Yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, n. 9, p. 1982–1994, set. 2015.

VIUDA-MARTOS, M. et al. Chemical, physico-chemical and functional properties of pomegranate (*Punica granatum* L.) bagasses powder co-product. **Journal of Food Engineering**, v. 110, n. 2, p. 220–224, 1 maio 2012.

ZARDINI, E. Ethnobotanical notes on “Yacon,” *polymnia sonchifolia* (Asteraceae). **Economic Botany**, v. 45, n. 1, p. 72–85, 1 jan. 1991.

ZHONG, J.-J.; XIAO, J.-H. Secondary Metabolites from Higher Fungi: Discovery, Bioactivity, and Bioproduction. Em: ZHONG, J.-J.; BAI, F.-W.; ZHANG, W. (Eds.). **Biotechnology in China I: From Bioreaction to Bioseparation and Bioremediation**. Advances in Biochemical Engineering / Biotechnology. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009. p. 79–150.