



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DOS  
ALIMENTOS

**ROVENA LEBARCH ROCHA**

**PROPOSIÇÃO E AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE PÓ  
SOLÚVEL DE YACON**

ALEGRE -ES

FEVEREIRO - 2018

ROVENA LEBARCH ROCHA

**PROPOSIÇÃO E AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE PÓ  
SOLÚVEL DE YACON**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia dos Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Luís César da Silva  
Coorientador: Prof. Dr. Sérgio Henriques Saraiva  
Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria das Graças Vaz Tostes.

ALEGRE - ES  
FEVEREIRO - 2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial Sul, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)  
Bibliotecário: Felício Gomes Corteletti – CRB-6 ES-000646/O

---

R672a Rocha, Rovena Lebarch, 1991-  
Proposição e avaliação de tecnologia de pó solúvel de yacon /  
Rovena Lebarch Rocha . – 2018.  
63 f. : il.

Orientador: Luís César da Silva.

Coorientadores: Sérgio Henriques Saraiva, Maria das Graças Vaz  
Tostes.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) –  
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e  
Engenharias.

1. Alimentos – Avaliação Sensorial. 2. Tecnologia de alimentos. 3.  
Raízes. 4. Oligossacarídeos. I. Silva, Luís César da. II. Saraiva, Sérgio  
Henriques. III. Tostes, Maria das Graças Vaz. IV. Universidade Federal  
do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.  
V. Título.

CDU: 664

---

ROVENA LEBARCH ROCHA

**PROPOSIÇÃO E AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE PÓ  
SOLÚVEL DE YACON**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Aprovada em

**Comissão Examinadora**

---

Prof. Dr. Luís César da Silva  
Universidade Federal do Espírito Santo – UFES  
Orientador

---

Prof. Dr. Sérgio Henriques Saraiva  
Universidade Federal do Espírito Santo – UFES  
Coorientador

---

Prof. Dr. Antônio Manoel Maradini Filho  
Universidade Federal do Espírito Santo – UFES  
Examinador

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente a Deus, que me deu energia, saúde e força para concluir esse trabalho.

Ao Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da UFES e ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, pela oportunidade de realização deste trabalho.

À CAPES pela concessão da bolsa.

Ao meu orientador Luís César por toda ajuda, paciência e ensinamentos, que mesmo a distância se manteve disponível.

Aos meus coorientadores Sérgio e Maria das Graças, que com tantos afazeres dispuseram um pouco do seu tempo e paciência em me ajudar sempre que necessitei.

Aos técnicos dos laboratórios Letícia, Silvana e em especial o Eduardo que me ajudou em diversas etapas do trabalho.

Aos amigos do PCTA em especial à Clara que sempre me ajudou quando precisei. E à Paula, Cintia e a Pâmela, por terem me ajudado a realizar a análise sensorial.

Aos avaliadores que participaram da análise sensorial.

À minha mãe Rita de Cássia e meu irmão Rafael pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Por fim, a todos que de alguma forma, me ajudaram a concluir este trabalho, o meu muito obrigada!

## SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT .....	ix
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
<b>2.1. Objetivo Geral</b> .....	3
<b>2.2. Objetivos específicos</b> .....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
<b>3.1. Yacon</b> .....	4
<b>3.2. Composição química</b> .....	5
<b>3.3. FOS (Frutooligossacarídeos)</b> .....	6
<b>3.4. Secagem</b> .....	8
<b>3.4.1. Cinética de secagem</b> .....	10
<b>3.4.2. Secagem em leito de espuma</b> .....	12
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	14
<b>4.1. Local</b> .....	14
<b>4.2. Preparo das polpas</b> .....	14
<b>4.3. Produção da espuma</b> .....	14
<b>4.4. Caracterização da espuma</b> .....	15
<b>4.5. Secagem</b> .....	15
<b>4.5.1. Cinética de secagem</b> .....	16
<b>4.6. Caracterização do pó solúvel de polpa de yacon</b> .....	17
<b>4.6.1. Solubilidade</b> .....	17
<b>4.6.2. Molhabilidade</b> .....	17
<b>4.6.3. Fibra solúvel</b> .....	17
<b>4.6.4. Análise sensorial</b> .....	18

<b>4.7. Seleção da concentração ótima dos agentes espumantes</b> .....	19
<b>4.8. Caracterização do produto final</b> .....	20
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	22
<b>5.1 Densidade e índice de coalescência da espuma</b> .....	22
<b>5.2. Caracterização do pó solúvel</b> .....	24
<b>5.3. Curvas de secagem</b> .....	28
<b>5.4. Análise sensorial</b> .....	33
<b>5.5. Otimização das concentrações dos agentes espumantes</b> .....	37
<b>5.6. Caracterização da espuma para concentração ótima de agentes</b> .....	38
<b>5.6.1. Massa específica e coalescência</b> .....	38
<b>5.7. Cinética de secagem para concentração ótima de agentes</b> .....	39
<b>5.8. Solubilidade, molhabilidade e teor de água do pó para concentração ótima de agentes</b> .....	41
<b>5.9. Caracterização físico-química do pó para concentração ótima de agentes</b> .....	41
<b>5.10. Composição de açúcares e frutooligossacarídeos para concentração ótima de agentes</b> .....	43
<b>5.11. Análise sensorial para concentração ótima de agentes</b> .....	44
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	47
<b>7. REFERÊNCIAS</b> .....	48

## RESUMO

ROCHA, Rovena Lebarch. **Proposição e avaliação de tecnologia de produção de pó solúvel de yacon.** 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre – ES. Orientador: Prof. Dr. Luís César da Silva. Coorientadores: Prof. Dr. Sérgio Henriques Saraiva e Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria das Graças Vaz Tostes.

Pesquisas comprovam que o uso do yacon e derivados trazem benefícios à saúde humana, como melhoria da saúde intestinal, redução dos fatores de risco associados à diabetes, aumento da absorção de minerais, redução de triglicerídeos hepáticos e do ganho de peso e melhoria da resposta imune. Esses benefícios estão relacionados, principalmente, a alta concentração de FOS. Por possuir alto teor de água e, conseqüentemente, alta perecibilidade, a secagem do yacon trata-se de uma tecnologia eficiente por aumentar a vida útil do produto. Dentre os métodos de secagem, a secagem em leito de espuma apresenta como vantagens o menor tempo de execução, emprego de baixas temperaturas e preservação da qualidade nutricional do alimento. Desse modo, os objetivos deste trabalho foram avaliar as características físico-químicas do pó solúvel de polpa de yacon, obtido por meio da secagem de leito em espuma a 60 °C e verificar a aceitação sensorial do pó reconstituído. Para condução dos experimentos foi adotado o Delineamento Composto Central Rotacional, a fim de investigar as concentrações ideais dos agentes espumantes Emustab<sup>®</sup> e Whey Protein na produção da espuma da polpa de yacon. Para definição ótima da concentração dos agentes espumantes foi utilizado uma função desejabilidade considerando as seguintes variáveis respostas, para: (a) espuma: massa específica e índice de coalescência; (b) pó solúvel: teor de água, solubilidade, molhabilidade e fibra solúvel; (c) secagem: tempo de secagem; e (d) análise sensorial do pó reconstituído: aceitação sensorial. Complementando os estudos foram modeladas a cinética da secagem em leito de espuma da polpa de yacon. Constatou-se que os efeitos dos agentes espumantes na produção da espuma de polpa de yacon foram significativos para o índice de coalescência, massa específica e tempo de secagem, molhabilidade, solubilidade, teor de água dos pós e aceitação sensorial (aroma, cor, sabor e impressão global) do pó reconstituído. O modelo de Midili foi o que propiciou melhor ajuste para descrever as curvas de secagem. Verificou-se que a concentração dos agentes espumantes 4,62% de Emustab<sup>®</sup> e 0,48% Whey Protein propiciou o maior índice de desejabilidade global (0,9503). O pó obtido com a concentração ótima dos agentes espumantes apresentou boa solubilidade e boa aceitação sensorial (sabor, aroma e impressão global). O conteúdo de FOS no processamento do pó de polpa de yacon manteve-se alto.

**Palavras chave:** leito de espuma, função desejabilidade, FOS, análise sensorial

## ABSTRACT

ROCHA, Rovena Lebarch. **Proposition and evaluation of yacon soluble powder production technology**. 2018. Dissertation (Master of Science in Food Science and Technology) – Federal University of Espírito Santo, Alegre – ES. Advisor: Dr. Luís César da Silva. Co-Advisors: Dr. Sérgio Henriques Saraiva e Prof.<sup>a</sup> Dr. Maria das Graças Vaz Tostes.

Research has shown that the use of yacon and derivatives brings benefits to human health, such as improved bowel health, reduced risk factors associated with diabetes, increased absorption of minerals, lowered the liver triglycerides and weight gain, and improved immune response. These benefits are mainly associated with high concentration of fructooligosaccharides (FOS). Because, yacon has a high water content and, consequently, high perishability, yacon drying shows an efficient technology for increasing shelf life. Among the drying methods, the foam-mat drying presents advantages as the shortest execution time, low temperatures using and nutritional quality preservation. Thus, the objectives of this work were to evaluate the physico-chemical characteristics of the soluble powder of yacon pulp obtained by using foam-mat drying at 60 °C and verifying the sensorial acceptance of the reconstituted powder. To conduct the experiments, a Central Composite Design was employed to investigate the concentrations of the foam agents Emustab<sup>®</sup> and Whey Protein in production of yacon pulp foam. For optimum definition of foaming agent concentration, a desirability function was used, considering the following response variables: (a) foam: specific mass and coalescing index; (b) soluble powder: water content, solubility, wettability and soluble fiber; (c) drying: drying time; and (d) sensory analysis of reconstituted powder: sensory acceptance. Complementing the studies, the kinetics of foam-mat drying of yacon pulp were modeled. It was found that the effects of the foaming agents on yacon pulp foam production were significant for the coalescence index, specific mass and drying time, wettability, solubility, water content of powders and sensory acceptance (aroma, color, flavor and overall impression) of the reconstituted powder. The Midili model was the best fit to describe the drying curves. It was found that the concentration of the foaming agents 4.62% of Emustab<sup>®</sup> and 0.48% Whey Protein provided the highest overall desirability index (0.9503). The powder obtained with the optimum concentration of the foaming agents presented high solubility and good sensory acceptance (flavor, aroma and overall impression). The content of FOS in processing the yacon pulp powder remained high.

**Key words:** foam-mat drying, desirability function, FOS, sensory analysis

## 1. INTRODUÇÃO

O yacon (*Smallanthus sonchifolius*), espécie da família Asteraceae, é originário dos vales andinos da Colômbia, Equador, Peru, Bolívia e noroeste da Argentina, desenvolvendo em altitudes de 2.000 a 3.100 metros. Nessas regiões, é cultivado desde a antiga civilização Inca e utilizado na alimentação humana (GRAU; REA, 1997). Nas últimas três décadas o cultivo estendeu para países, como Brasil, Paraguai, Estados Unidos, Eslováquia, China, Coreia e Taiwan. No Brasil, o yacon foi introduzido no início dos anos 90, sendo popularmente conhecido como batata yacon ou batata “diet” (SANTANA; CARDOSO, 2008).

As raízes tuberosas do yacon, geralmente, são consumidas cruas e descascadas, pois a casca possui sabor resinoso, enquanto a polpa apresenta sabor doce e textura crocante. Outras formas de consumo compreendem frituras, sucos concentrados, farinhas, xaropes, cocção com água e cocção a vapor, que permite conservar a crocância (VALENTOVÁ; ULRICHOVÁ, 2003; GENTA et al., 2009; BAIOCO, 2013).

Ao contrário da maioria das raízes comestíveis, as de yacon contém carboidratos na forma  $\beta$ -(2  $\rightarrow$ 1) frutooligossacarídeos (FOS). No sistema digestivo moléculas de FOS, cruzam intactas até o cólon, onde são fermentadas por bactérias benéficas da microflora intestinal, principalmente, as bifidobactérias e lactobacilos (FERNÁNDEZ et al., 2013). Devido à alta concentração de FOS, que não é convertido em calorias, o yacon apresenta baixo valor calórico trazendo efeitos benéficos a saúde (VALENTOVÁ; ULRICHOVÁ, 2003).

O alto teor de água, entre 85 a 90%, confere alta perecibilidade, desse modo, a secagem do yacon trata-se de uma técnica eficiente por aumentar a vida útil da raiz e propiciar a incorporação em formulações de alimentos como doces e panificados (SILVA, 2007). Durante o armazenamento *in natura*, normalmente, ocorre a despolimerização dos FOS pela enzima frutano hidrolase, que os convertem em glicose, frutose e sacarose. Por meio da secagem é mantida a alta concentração de FOS do yacon e ocorre a desnaturação da enzima frutano hidrolase (GRAEFE et al., 2004). Os FOS são estáveis a valores de pH superiores a três e temperaturas de até 140 °C, desse modo, não são degradados na secagem (NITSCHKE; UMBELINO, 2002). Dentre os derivados do yacon, a produção de farinhas é um processo

tecnológico de baixo custo que possibilita a agregação de valor e a geração de receitas para produtores rurais e indústrias do setor.

Para desidratação de alimentos são empregados métodos, como liofilização, secagem a vácuo, secagem convectiva, secagem em leito de espuma e o spray dryer. No entanto, há de se ater a preservação das qualidades físico-químicas e nutricionais dos alimentos. Nesse sentido, a secagem em leito de espuma tem despertado interesse por propiciar rápida secagem em baixas temperaturas, preservar a qualidade nutricional, produzir um produto de fácil reidratação e reduzir custos de manuseio, embalagem, transporte e armazenamento (KOTOVICZ, 2011; SANGAMITHRA et al., 2014; FACCIM, 2016). Desse modo, considerando os benefícios supra descritos, este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar a qualidade físico-química e sensorial do pó solúvel de polpa de yacon obtido por meio da secagem em leito de espuma.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Desenvolver um pó solúvel de yacon por meio da secagem em leito de espuma a 60 °C.

### **2.2. Objetivos específicos**

Determinar a condição ótima para formação de espuma da polpa de yacon em função das concentrações da proteína do soro de leite (Whey Protein) e Emustab®.

Modelar a cinética de secagem em temperatura a 60 °C.

Realizar a caracterização físico-química do pó solúvel de yacon.

Avaliar a aceitação sensorial do pó reconstituído.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Yacon

De acordo com Grau e Rea (1997), o yacon foi inicialmente classificado como pertencente ao gênero *Polymnia* (Compositae, Heliantheae, subtribo Melampodinae), descrito por Linnaeus em 1751. No entanto, uma perspectiva diferente foi adotada por Robinson em 1978, separando espécies que antes eram consideradas como *Polymnia* em dois gêneros, *Polymnia* e *Smallanthus*, mantendo ambos na subtribo Melampodinae, alegando que existe diferenças significativas entre os dois gêneros. A classificação de Robinson ganhou aceitação pelos pesquisadores norte-americanos sendo mais frequentemente utilizada. O gênero *Smallanthus* inclui 21 espécies, todas originárias das Américas, presentes principalmente no sul do México, América Central e nos Andes.

A taxonomia do yacon é: superreino – Eucariontes; reino – *Plantae*; sub-reino – Embriófita; filo – Tracófito; superclasse – Angiosperma; classe – Dicotiledônia; ordem – Asterales; família – Asteraceae (Compositae); gênero – *Smallanthus*; espécie – *sonchifolius* (SANTANA; CARDOSO, 2008).

O yacon é uma planta perene com altura de 1,5 a 3,0 metros, com quatro a vinte raízes tuberosas atingindo aproximadamente 0,25 m de comprimento e 0,10 m de diâmetro. A pigmentação da polpa varia entre branco, branco com estrias roxas, roxo, rosa e amarelo (GRAU; REA, 1997). Uma planta produz de dois a quatro quilogramas de raízes, sendo a colheita realizada entre dez a doze meses após o plantio, quando a parte aérea apresenta totalmente seca (OLIVEIRA; NISHIMOTO, 2004). Assim, a produção varia de 20 a 40 toneladas por hectare, o que dependerá de fatores como fertilidade do solo, localidade e cultivar. Em Cajamarca, Peru, se produz, com certa facilidade, 50 t ha<sup>-1</sup> de yacon, já em São Paulo, Brasil, a produtividade alcança valores acima de 60 t ha<sup>-1</sup> ao utilizar fertilizantes minerais (MANRIQUE; PÁRRAGA; HERMANN, 2005).

O yacon é cultivado nos Andes, principalmente, para consumo próprio, e menos frequentemente, com o objetivo de comercialização em mercados locais, representando importante alternativa nutricional por ocupar o lugar de frutas e vegetais na dieta de pequenas comunidades. Por ser um alimento de baixo valor calórico, o cultivo foi negligenciado por anos, sendo substituído pela batata e o milho,

que são culturas essenciais à sobrevivência (GRAU; REA, 1997; SANTANA; CARDOSO, 2008).

Nas últimas três décadas o cultivo do yacon estendeu para outros continentes. Nos Estados Unidos da América o cultivo não tem importância comercial, na Nova Zelândia, o yacon chegou aos supermercados. No Japão é cultivado por pequenos produtores e, a partir do Japão, chegou à Coreia e ao Brasil. O cultivo do yacon, provavelmente, não estendeu à maior parte da Europa Central devido ao longo período de inverno (GRAU; REA, 1997).

### **3.2. Composição química**

O teor de água em raízes de yacon varia de 85 a 90%, conseqüentemente, o valor energético é baixo, e a vida de prateleira em condições ambientais não ultrapassa a sete dias, pois, os tecidos internos das raízes são delicados e propensos a rompimentos e rachaduras durante a colheita, armazenamento e transporte (SANTANA; CARDOSO, 2008).

O yacon contém carboidratos na forma de frutanos, principalmente, frutooligosacarídeos (FOS), e açúcares livres (frutose, glicose e sacarose). A proporção de açúcares varia, devido a fatores como cultivar, época de cultivo e colheita, o tempo e a temperatura na pós-colheita. Em média a composição dos carboidratos é: FOS 40 a 70%, sacarose 5 a 15%, frutose 5 a 15% e glicose menos de 5%. Proteínas e lipídeos são encontrados em pequenas quantidades representando de 2,4 a 4,3% e 0,14 a 0,43% da massa de matéria seca, respectivamente. O mineral mais abundante é o potássio (230 mg/100 g de matéria úmida), em menor quantidade são encontrados o cálcio, fósforo, magnésio, sódio e ferro (SEMINARIO; VALDERRAMA, 2003; MANRIQUE; PARRAGA; HERMANN, 2005). O yacon contém traços de vitaminas como retinol, caroteno, tiamina, riboflavina e niacina (SANTANA; CARDOSO, 2008).

Além disso, como todos os membros da família Asteraceae, o yacon contém quantidades consideráveis de compostos fenólicos, sendo mais abundante o ácido clorogênico e quatro fenóis solúveis derivados do ácido cafeico (HABIB et al., 2015).

### 3.3. FOS (Frutooligossacarídeos)

Os frutanos são carboidratos de reserva na forma de polímeros de D-frutose, unidos por ligações tipo  $\beta$ -(2  $\rightarrow$ 1), e apresentam uma glicose na extremidade da cadeia (ROBERFROID, 2007). Dependendo do comprimento da cadeia, definido pelo número de unidades de monossacarídeos, é estimado o grau de polimerização (DP – degree of polymerization) dos frutanos, em que, por exemplo, a inulina apresenta de 2 a 60 DP, enquanto os frutooligossacarídeos de 2 a 9 DP (GUSSO; MATTANNA; RICHARDS, 2015). Os frutooligossacarídeos são componentes naturais encontrados em produtos como: alho, cebola, aspargo, alcachofra, banana, trigo e yacon que apresenta maior concentração desse carboidrato (CAETANO et al., 2016).

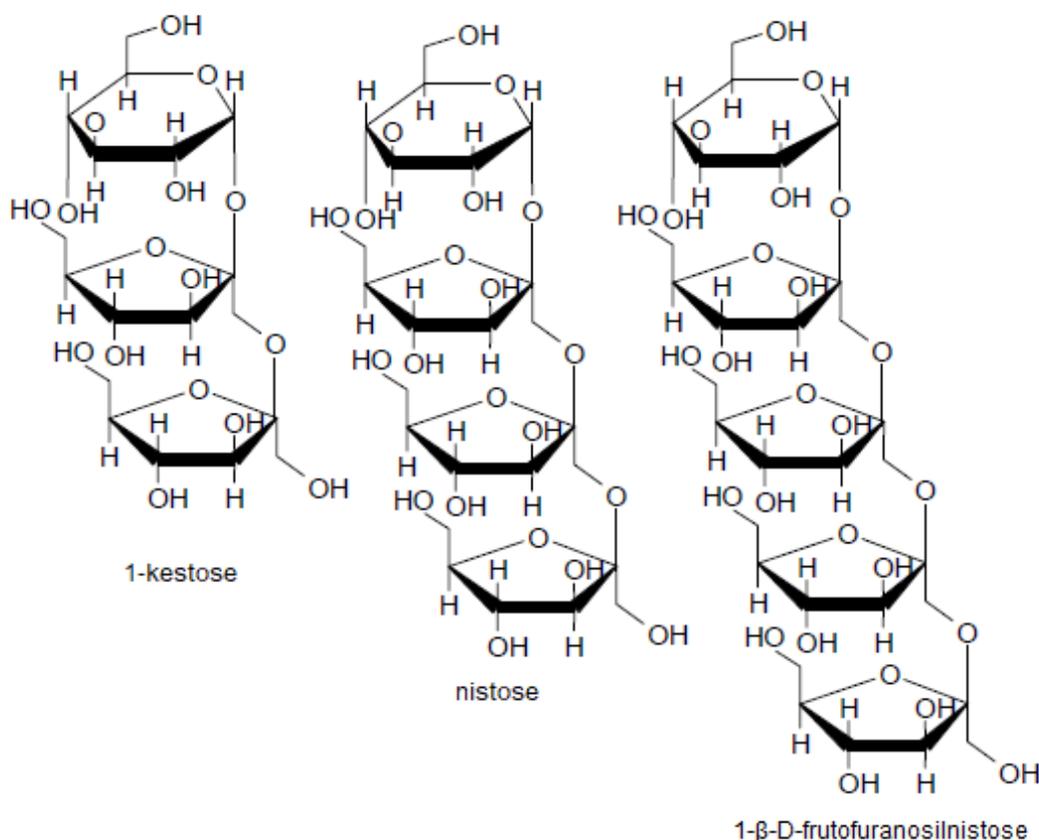


Figura 1: Estrutura química dos três principais frutooligossacarídeos - FOS (LACHMAN et al., 2004).

As ligações, que unem as moléculas de frutose, resistem à hidrólise das enzimas digestivas humanas e por isso, os FOS alcançam o cólon, última porção do intestino grosso, sem modificação química. Por essa razão, os FOS possuem um

baixo valor calórico para os humanos (GENTA et al., 2009). No cólon, os FOS são hidrolisados e fermentados pela microbiota, principalmente, as bifidobactérias, trazendo benefícios à microflora intestinal. Por essa razão, os FOS são classificados como prebióticos (GENTA et al., 2005).

Segundo Roberfroid (2007) os prebióticos ao serem fermentados, promovem mudanças na composição e na atividade da microflora intestinal, beneficiando a saúde e bem-estar ao hospedeiro.

Os FOS também são reconhecidos como fibras solúveis que geram efeitos favoráveis na digestão, como: aumento do peristaltismo, redução do tempo do trânsito intestinal e aumento da retenção de água no bolo alimentar causando uma resposta laxante. Esses efeitos previnem e controlam a constipação (CHEN et al., 2000).

Os FOS são capazes de modular a produção de peptídeos gastrointestinais, como o peptídeo semelhante ao Glucagon 1 (GLP-1), peptídeo inibidor gástrico (GIP) e grelina. Esses peptídeos são responsáveis pela supressão da secreção do glucagon, que aumenta a glicemia agindo contra a insulina, retardo do esvaziamento gástrico e regulação do consumo alimentar ao aumentar a sensação de saciedade. Dessa forma, o yacon atua no controle da obesidade, síndrome metabólica e diabetes (GENTA et al., 2009).

Um estudo *in vivo*, empregando o extrato líquido das raízes de yacon, demonstrou que o consumo reverteu patologias, como, hiperglicemia e dislipidemia, causadas pela diabetes mellitus induzida quimicamente, além de apresentar função protetora do fígado (OLIVEIRA; BRAGA; FERNANDES, 2013). Em outro estudo com idosos, foi demonstrado que o consumo de yacon por nove semanas diminuiu significativamente a glicemia e promoveu melhoria no sistema imune (SCHEID, 2013).

Estudos *in vivo* demonstraram que dietas com farinha de yacon aumentam a superfície de contato da mucosa intestinal do cólon devido à maior profundidade das vilosidades e densidade celular, resultando em melhor saúde intestinal (CAMPOS et al., 2012). Além disso, verificou-se aumento da produção de ácidos graxos de cadeia curta resultantes da fermentação bacteriana dos FOS e, conseqüentemente, diminuição do pH intestinal e aumento da absorção e biodisponibilidade de minerais como cálcio, magnésio, fósforo e ferro (PEREZ-CONESA et al., 2007).

Em estudo realizado com crianças pré-escolares alimentadas com yacon durante 18 semanas, verificou-se aumento na produção de sgA e IL-4 promovendo

melhoria na resposta imune sistêmica, efeito também atribuído ao alto conteúdo de FOS (VAZ-TOSTES et al., 2014). Os FOS maximizam a preservação do estado anti-inflamatório nos macrófagos peritoneais e melhora a imunidade da mucosa intestinal (DELGADO et al., 2012).

Grancieri et al. (2017) ao realizar estudo com animais com câncer colorretal induzido, verificaram que o consumo de farinha de yacon promoveu efeitos na saúde intestinal, atenuando as mudanças causadas pelo câncer. Além de promover benefícios no tratamento do câncer colorretal, o yacon propiciou a redução da incidência desses tumores, tendo potencial quimiopreventivo na carcinogênese do cólon.

Genta et al. (2005), demonstraram que o alto consumo de yacon, 6.800 mg FOS.kg corporal/dia, não produz efeitos adversos ao organismo, provando assim, que o yacon é um alimento seguro para o consumo humano devido à falta de toxicidade e promoção de efeitos benéficos à saúde.

Quando a planta de yacon atinge a maturidade, a tendência é a degradação dos FOS em compostos menores como frutose, glicose e sacarose, o que se deve à ação da enzima frutano hidrolase (GRAEFE et al., 2004). Para que a concentração de FOS do yacon se mantenha alta, é indicado o consumo logo após a colheita, ou o processamento visando a inativação de enzimas relacionadas a degradação da qualidade do produto. Por esta razão é indicada a desidratação, por ser de fácil implementação, baixo custo e possibilitar o aumento da vida útil do yacon e a manutenção da alta concentração de FOS.

### **3.4. Secagem**

A secagem é um tratamento, que a depender do tipo de secador empregado, como os convectivos, envolve simultaneamente os processos de transporte e de troca de calor e massa de água entre o produto e o ar, com o objetivo de reduzir o teor de água de alimentos, e conseqüentemente a atividade de água. Parte da água contida no produto, por ação do calor é dessorvida, toma o estado gasoso, migra para a superfície do produto e é transferida ao ar. Métodos tradicionais, como a secagem por irradiação solar são empregados na produção artesanal de alimentos, porém são lentos e não podem ser totalmente controlados. Com o aumento da demanda por

alimentos, novas tecnologias de secagem mais eficientes têm sido propostas (CROWLEY; O'MAHONY, 2016).

Ao reduzir a atividade de água nos alimentos, empregando a secagem, é minimizada a degradação associada às atividades microbianas e, ou enzimáticas (BRUIJIN; BORQUEZ, 2014). Desse modo, frutas e vegetais, como o yacon, ao terem os teores de água reduzidos reduzem a perecibilidade (PROSAPIO; NORTON, 2017).

Na secagem, o calor transferido ao alimento promove a evaporação de parte da água adsorvida. A transferência de massa de água durante a secagem ocorre em dois passos sucessivos: do interior para a superfície (transferência interna) e evaporação da superfície para o ar (transferência externa) (PEREIRA, 2008). A taxa de transferência de calor depende da temperatura do ar, fluxo de ar, pressão, área da superfície de contato, natureza física do material e a forma de transporte do calor até o produto que pode ser por condução, convecção ou radiação (RAGHAVAN; ORSAT, 2007).

Além da preservação, a secagem promove a redução do volume e, ou massa do produto ou matéria prima, o que otimiza o armazenamento e transporte, reduz a necessidade de refrigeração ou congelamento, e propicia o desenvolvimento de novos produtos a partir dos alimentos secos (BARAT; GRAU, 2016).

São vários os métodos de secagem, e um dos mais utilizados para produção de farinhas e pós é a secagem por convecção, que, normalmente, emprega ar aquecido trazendo o risco de depreciar atributos de qualidade dos alimentos devido aos danos térmicos. Para minimizar esses efeitos, pode-se utilizar a liofilização que consiste no congelamento do produto seguido de sublimação da água. Essa técnica preserva a qualidade e estrutura do alimento, no entanto é de alto custo (PROSAPIO; NORTON, 2017). Outro método utilizado nas indústrias é o spray dryer, em que o alimento em estado líquido, é atomizado em pequenas gotículas que tem a fração de água removida resultando o pó seco. É um método rápido e econômico em relação à liofilização, no entanto, as temperaturas empregadas variam entre 150 a 220 °C, podendo causar danos a compostos sensíveis como antocianinas e vitamina C (SHISHIR; CHEN, 2017).

### 3.4.1. Cinética de secagem

Segundo Park; Yado; Brod (2001), o processo de secagem didaticamente pode ser dividido em três períodos, Figura 2. No primeiro ocorre a elevação gradual da temperatura do produto e da taxa de secagem. Essas elevações prosseguem até o ponto em que o fluxo de calor recebido pelo produto é utilizado para evaporação da água do produto, o que caracteriza o segundo período, em que a taxa de secagem é constante. No terceiro período, taxa de secagem é decrescente, com tendência a zero, devido à maior demanda de calor para dessorção da água do produto. Sendo assim, parte do calor cedida ao produto é destinada ao aumento da temperatura do produto, que com o decorrer da secagem tende a equiparar a temperatura do ar de secagem. Quando a taxa de secagem se aproxima de zero o produto atinge a umidade de equilíbrio, para a condição psicrométrica do ar de secagem (PARK; YADO; BROD, 2001).

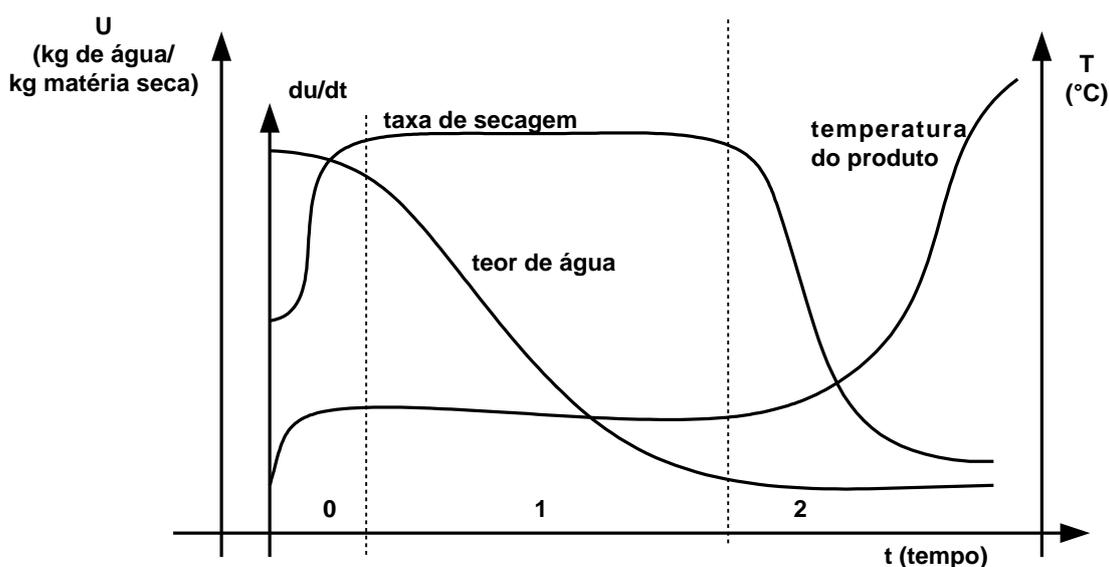


Figura 2: Curvas típicas de secagem (PARK; YADO; BROD, 2001).

Na operação de secadores convectivos a taxa de secagem pode ser aumentada mediante o aumento da temperatura do ar de secagem e, ou da intensidade do fluxo de ar, e redução da espessura do leito de produto (BORGES et al., 2008; SOARES, 2009).

A modelagem matemática das curvas de secagem é fundamental, visto as demandas quanto ao controle do processo de secagem e a preservação dos atributos

de qualidade dos alimentos. Os modelos matemáticos empregados fundamentam em descrever matematicamente a relação das variáveis do processo, como temperatura do ar de secagem, intensidade do fluxo de ar e as propriedades dos alimentos (GARAU et al., 2006). Essas variáveis impactam diretamente a taxa de secagem, teor de umidade final, tempo de secagem e alterações das propriedades físico-química dos produtos (BORGES et al., 2008).

A partir dos modelos de curva de secagem é possível o estabelecer metodologias para o controle de processos e dimensionamento de equipamentos. Por exemplo, no controle de processo torna-se possível calcular o tempo de secagem, e conseqüentemente, estimar os custos, consumo de energia térmica e elétrica e o preço final do produto (VILELA; ARTUR, 2008).

Vários modelos empíricos e teóricos têm sido propostos para modelar a cinética da secagem, Tabela 1, e consistem em descrever a variação da razão de umidade em relação do tempo de secagem, equação 01. O valor da razão de umidade varia de zero a um, um corresponde ao início do processo de secagem, e a tendência à zero corresponde ao momento em que é alcançado o teor de umidade de equilíbrio.

Tabela 1 - Modelos para previsão da razão de umidade.

<b>Modelo</b>	<b>Descrição matemática</b>
Lewis	$RU = \exp(-kt)$
Page	$RU = \exp(-kt^n)$
Page modificado	$RU = \exp[(-kt)^n]$
Henderson e Pabis	$RU = a \cdot \exp(-kt)$
Logarítmico	$RU = a \cdot \exp(-kt) + c$
Dois termos	$RU = a \cdot \exp(-k_0t) + b \cdot \exp(-k_1t)$
Dois termos exponenciais	$RU = a \cdot \exp(-kt) + (1 - a)\exp(-kat)$
Wang Singh	$RU = 1 + at + bt^2$
Aproximação por difusão	$RU = a \cdot \exp(-kt) + (1 - a)\exp(-kbt)$
Henderson e Pabis modificado	$RU = a \cdot \exp(-kt) + b\exp(-gt) + c\exp(-ht)$
Verma et al.	$RU = a \cdot \exp(-kt) + (1 - a)\exp(-gt)$
Midilli	$RU = a \cdot \exp(-kt^n) + bt$

Fonte: Pereira, 2008.

$$RU = \frac{(U_t - U_e)}{(U_o - U_e)} = \frac{(M_t - M_e)}{(M_o - M_e)} \quad \text{Equação 01}$$

em que,

$RU$  = razão de umidade, adimensional;

$U_t$  = teor de umidade do produto no instante  $t$ , base seca;

$U_e$  = teor de umidade de equilíbrio, base seca;

$U_o$  = teor de umidade inicial, base seca;

$M_t$  = massa do produto no tempo  $t$ , g;

$M_e$  = massa do produto na condição de equilíbrio, g, e;

$M_o$  = massa do produto no tempo inicial, g.

### 3.4.2. Secagem em leito de espuma

No processo de secagem em leito de espuma, a um líquido, suco, ou extrato líquido, são adicionados agentes espumantes; e ao agitar é formado a espuma que é acondicionada em bandeja. O agente espumante pode ser substâncias, como proteínas, polímeros ou gomas. As bandejas com espuma são submetidas a secagem em secadores convectivos operando com temperaturas entre 50 a 80 °C (AZIZPOUR et al., 2016).

A espuma, a ser seca, trata-se da dispersão macroscópica de gás, cuja existência e propriedades são controladas por forças coloidais, forças de superfície e interações entre filmes individuais que separam as bolhas de gás (SANGAMITHRA et al., 2014). Na obtenção da espuma o agente espumante trata-se de um material surfactante que reduz a tensão superficial entre líquidos ou entre um sólido e um líquido facilitando a formação de espuma. Um bom agente espumante deve adsorver rapidamente a interação ar e água, reduzir a tensão interfacial, interagir mutuamente entre as proteínas que se desdobram na interface e formam um filme coeso, viscoelástico, capaz de suportar agitação térmica e mecânica (SANGAMITHRA, 2014).

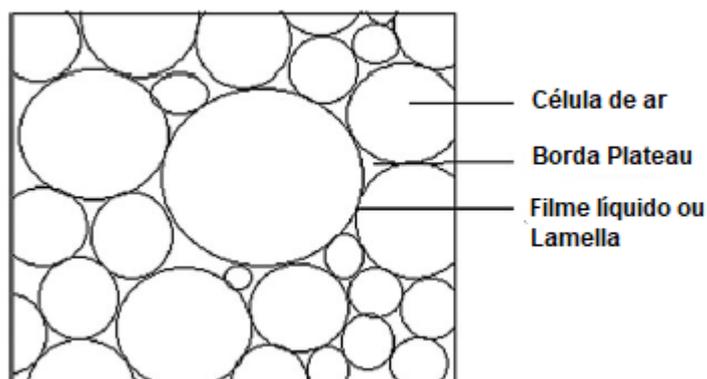


Figura 3: Representação esquemática da estrutura da espuma. Fonte: Sangamithra et al., 2014.

Devido à estrutura porosa da espuma e maior área superficial, a taxa de secagem é maior o que reduz o tempo de exposição a secagem reduzindo a depreciação da qualidade do produto (LOBO et al., 2017). Assim, a secagem em leito de espuma (“*foam mat drying*”) é um método promissor na desidratação de alimentos por propiciar menor degradação de compostos bioativos (CARVALHO et al, 2017). No entanto, há de se ater a legislações específicas quanto ao emprego de aditivos, fato que pode restringir o emprego de alguns agentes espumantes (CARVALHO et al., 2017).

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Local**

A pesquisa foi conduzida no Centro de Ciências Agrárias e Engenharias - CCAE da Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Campus de Alegre, nos laboratórios de Química de Alimentos, Operações Unitárias, Laboratório de Técnica Dietética, Nutrição Experimental e Análise Sensorial.

### **4.2. Preparo das polpas**

As raízes tuberosas de yacon foram adquiridas de um produtor rural do município de Viçosa, Minas Gerais e armazenadas sob refrigeração por um período máximo de sete dias.

Essas raízes foram selecionadas, lavadas em água corrente para retirada de sujidades e partes inadequadas foram removidas com o auxílio de uma faca. Para sanitização, as raízes foram imersas por dez minutos em água clorada na concentração de 200 ppm (BRASIL, 2004). Posteriormente, foram descascadas utilizando um descascador de vegetais e cortadas em cubos. Para obtenção da polpa do yacon, foram trituradas 200 gramas da raiz, com adição de 20 mL de água, em um liquidificador doméstico, por um período de três minutos.

### **4.3. Produção da espuma**

Para a produção da espuma foram usados dois agentes espumantes: Emustab<sup>®</sup> e Whey Protein - proteína de soro de leite. O Emustab<sup>®</sup> é composto de monoglicerídeos destilados, monoestearato de sorbitana e polisorbato 60, enquanto o Whey Protein é um subproduto do processamento de queijo, sendo uma fonte potencial de proteínas funcionais que podem ser utilizadas como espumantes, estabilizante de congelamento e descongelamento e agente branqueador (SOARES, 2009; SANGAMITHRA, 2014).

A produção da espuma deu-se pela mistura dos agentes espumantes, nas proporções apresentadas na Tabela 2, com 100 gramas da polpa de yacon, e a agitação da mistura em batedeira planetária, na velocidade dois, durante vinte minutos.

Para definir as proporções dos agentes espumantes, foi aplicado o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) com rotabilidade  $\alpha = \sqrt[4]{[2^2]} = 1,41$  (TEÓFILO; FERREIRA, 2006). O limite mínimo adotado para as concentrações foi de 0,0% e o máximo de 6,0%, valor médio de 3,0% de acordo com a Tabela 2. Foram feitas três repetições para cada tratamento, totalizando 27 amostras.

Tabela 2 - Concentração dos agentes espumantes utilizados para obtenção da espuma, segundo o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR).

Ensaio	Variáveis Codificadas		Concentração de agentes espumantes (%)	
	$X_1$	$X_2$	Emustab®	Whey Protein
1	-1	-1	0,88	0,88
2	-1	1	0,88	5,12
3	1	-1	5,12	0,88
4	1	1	5,12	5,12
5	0	-1,41	3,00	0,00
6	-1,41	0	0,00	3,00
7	1,41	0	6,00	3,00
8	0	1,41	3,00	6,00
9	0	0	3,00	3,00

#### 4.4. Caracterização da espuma

Para caracterização da espuma foram avaliados a massa específica e o índice de coalescência, que consistiu em dispor a espuma em proveta de 1000 mL e medir o volume de espuma coalescida a cada 30 minutos no período de duas horas (FACCIM, 2016).

#### 4.5. Secagem

Para a secagem, a espuma foi disposta em bandejas lisas de aço inoxidável medindo 150 mm x 250 mm e a altura do leito de espuma de 10 mm de altura, previamente pesadas, e posteriormente em um secador convectivo do tipo cabine com temperatura de 60 °C.

Para os ensaios 1, 2 e 6 (Tabela 2) as bandejas foram pesadas no tempo zero, a cada 15 minutos na primeira hora da secagem, a cada 30 minutos durante a segunda hora e posteriormente a cada hora até peso constante. Para os demais ensaios, as bandejas foram pesadas no tempo zero e a cada 15 minutos até peso constante, em razão da maior da taxa de secagem.

Ao recolocar as bandejas no secador, após cada pesagem, as bandejas foram giradas em 180° para inverter as faces frontais e traseiras, e reposicionadas dentro do secador a fim de que a secagem ocorresse de uniformemente.

#### 4.5.1. Cinética de secagem

A razão de umidade foi calculada a partir das massas das bandejas registradas ao longo do tempo, conforme a Equação 01, página 11.

A partir dos resultados experimentais foram ajustados modelos descritos por meio das equações 2, 3, 4 e 5.

Modelo de Lewis:

$$RU = e^{kt} \quad \text{Equação (02)}$$

Modelo de Page:

$$RU = e^{-kt^n} \quad \text{Equação (03)}$$

Modelo de Henderson e Pabis:

$$RU = a \cdot e^{-kt} \quad \text{Equação (04)}$$

Modelo de Midilli

$$RU = e^{-kt^n} + bt \quad \text{Equação (05)}$$

em que,

$a$ ,  $k$ ,  $b$  e  $n$  = parâmetros dos modelos, e;

$t$  = tempo de secagem em minutos.

Os ajustes dos parâmetros dos modelos foram feitos por meio da minimização da soma de quadrados dos desvios, usando regressão não linear. Os modelos ajustados foram comparados pelo coeficiente de determinação ajustado ( $R_{adj}^2$ ) e pelo erro padrão da regressão.

#### **4.6. Caracterização do pó solúvel de polpa de yacon**

A caracterização do pó solúvel de polpa de yacon foi realizada a partir dos valores obtidos por meio de análises de solubilidade, teor de água, molhabilidade e fibra solúvel.

##### **4.6.1. Solubilidade**

A solubilidade corresponde a razão percentual entre a massa do resíduo seco do sobrenadante e a massa inicial da amostra (CRUZ, 2013). Desse modo, foi pesado 1,0 g do pó e diluído em 100 mL de água sob agitação por cinco minutos. Essa solução foi centrifugada a 4.000 rpm por 30 minutos. Posteriormente, foi retirado o sobrenadante e transferido para uma placa de Petri previamente tarada, que foi seca em estufa a 105 °C até massa constante. E por fim foi calculada a solubilidade.

##### **4.6.2. Teor de água**

Foi pesado 3,0 g da amostra em placas de Petri previamente taradas e colocadas em estufa à 105 °C até peso constante (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

##### **4.6.2. Molhabilidade**

Foi adicionado 1 g de amostra a 0,04 m de distância do líquido em 200 mL de água destilada em um béquer de 250 mL. Foi anotado o tempo necessário para submersão de todas as partículas (LANNES; MEDEIROS, 2003).

##### **4.6.3. Fibra solúvel**

Foi realizada pelo método enzimático-gravimétrico, utilizando o kit Dietary Fiber Total, marca Sigma. Amostras, em duplicata, foram adicionadas em solução de tampão fosfato, passando por três digestões enzimáticas, começando pela adição de  $\alpha$ -amilase, protease e amiloglucosidase. Após a digestão as amostras foram filtradas, utilizando bomba a vácuo e cadinhos filtrantes de vidro, para separação da fibra solúvel e insolúvel. A porção contendo a fibra solúvel foi adicionada de etanol a 98% para precipitação da fibra solúvel para posterior filtragem da mesma. Foi retirado dois cadinhos contendo a fibra solúvel de cada amostra, um para incineração em mufla, e outro para determinação do teor de proteína. O teor de fibra solúvel foi calculado utilizando a equação 06:

$$FS = \frac{RT - P - C - BT}{m} \times 100 \quad \text{Equação (06)}$$

em que:

FS = teor de fibra solúvel, mg 100 mg<sup>-1</sup>;

RT = resíduo total da amostra, mg;

BT = resíduo total do branco, mg;

C = cinzas da amostra, em mg;

m = massa da amostra, mg, e;

P = teor de proteína, mg.

#### 4.6.4. Análise sensorial

Foi conduzido um teste de aceitação sensorial de suco de laranja adicionado de yacon em substituição ao açúcar, na concentração de 2% (4 g de pó solúvel de polpa de yacon para 200 mL de suco de laranja), sendo avaliado as seguintes características: cor, sabor, aroma e impressão global. Participaram oitenta e seis avaliadores não treinados, seguindo a escala hedônica de nove pontos, Tabela 3 (REIS; MINIM, 2013).

Tabela 3 - Escala hedônica de nove pontos utilizada para análise da aceitação sensorial.

<b>Escala</b>	<b>Descrição</b>
1	Desgostei extremamente
2	Desgostei muito
3	Desgostei moderadamente
4	Desgostei ligeiramente
5	Indiferente
6	Gostei ligeiramente
7	Gostei moderadamente
8	Gostei muito
9	Gostei extremamente

#### 4.7. Seleção da concentração ótima dos agentes espumantes

Para a seleção da melhor concentração dos agentes espumantes, foram ajustados modelos de superfície de resposta considerando as seguintes variáveis resposta, para (i) espuma: massa específica e índice de coalescência; (ii) pó solúvel de polpa de yacon obtido por secagem em leito de espuma a 60 °C: solubilidade, fibra solúvel, teor de água e molhabilidade; (iii) análise sensorial do pó reconstituído: respostas sensoriais; (iv) processo de secagem: tempo de secagem.

Para os casos, em que as regiões ótimas foram distintas, aplicou-se a técnica da otimização simultânea por meio da função desejabilidade (DERRINGER; SUICH, 1980). Desse modo, cada variável resposta,  $y_i$ , foi descrita em função da desejabilidade individual,  $d_i$ , para o intervalo  $0 \leq d_i \leq 1$ .

Para as variáveis a serem minimizadas foi aplicado o modelo descrito por meio da equação 07, enquanto para aquelas a serem maximizadas, a equação 08.

$$d_i = \begin{cases} 1 & \hat{y}_i < T_i \\ \left(\frac{U_i - \hat{y}_i}{U_i - T_i}\right)^{r_i} & T_i \leq \hat{y}_i \leq U_i \\ 0 & \hat{y}_i > U_i \end{cases} \quad \text{Equação (07)}$$

$$d_i = \begin{cases} 0 & \hat{y}_i < L_i \\ \left(\frac{\hat{y}_i - L_i}{T_i - L_i}\right)^{r_i} & L_i \leq \hat{y}_i \leq T_i \\ 1 & \hat{y}_i > T_i \end{cases} \quad \text{Equação (08)}$$

em que,

$d_i$ = desejabilidade individual, adimensional;

$U_i$ = valor máximo admissível para a variável resposta que se deseja minimizar;

$T_i$ = valor alvo para a variável resposta;

$L_i$ = valor mínimo admissível para a variável resposta que se deseja maximizar, e;

$\hat{y}_i$ = variável resposta.

Foi utilizada uma função desejabilidade linear ( $r_i = 1 \forall i$ ). Os valores  $T_i$ ,  $U_i$  e  $L_i$  foram definidos segundo resultados experimentais.

A partir dos valores das desejabilidades individuais, o valor da desejabilidade global, D, foi calculado por meio da equação 09:

$$D = \left( \prod_{i=1}^N d_i \right)^{1/N}$$

Equação (09)

em que,

N = número de variáveis respostas avaliadas.

Foi considerada como condição ótima a correspondente ao maior valor da desejabilidade global.

#### **4.8. Caracterização do produto final**

Após a definição da concentração ótima, foi realizada uma nova secagem, em três repetições, empregando os agentes espumantes na concentração ótima, para avaliar a qualidade do produto final.

Nessa fase, foram avaliadas as características da espuma: massa específica e estabilidade; e foi realizada a caracterização físico-química do pó solúvel avaliando, além dos valores de solubilidade, teor de água e molhabilidade, os valores de pH, acidez titulável, higroscopicidade, teor de cinzas, lipídeos, proteínas, carboidratos e FOS, esse último em substituição à fibra solúvel. Os métodos utilizados são reportados na Tabela 4.

Tabela 4 - Análises físico-químicas do pó solúvel de polpa de yacon

<b>Parâmetros</b>	<b>Metodologia a ser empregada</b>
pH	Método eletrométrico utilizando pHmetro de bancada (IAL, 2008)
Acidez	Titulação com solução de hidróxido de sódio 0,1M (IAL, 2008)
Higroscopicidade	Aproximadamente 3 g da amostra seca, secada em estufa a 105 °C até peso constante, foi acondicionada em dessecador contendo solução saturada de NaCl ( $A_w = 0,75$ aproximadamente) a 25 °C em uma BOD (Demanda bioquímica de Oxigênio). Após uma semana, a amostra foi pesada e a higroscopicidade foi expressa em gramas de umidade adsorvida por 100 g de sólidos secos (FRANCO et al., 2016).
Proteínas	Método de Kjeldhal modificado, utilizando fator de correção de 6,25 (IAL, 2008)
Lipídeos	Método de extração em Soxhlet utilizando éter de petróleo (IAL, 2008)
Carboidratos	Cálculo por diferença (SOUCI; FACHMANN; KRAUT, 2000)
FOS	Por HPLC, realizado pelo laboratório CERAT (Centro de Raízes e Amidos Tropicais) localizado em Botucatu – SP.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Densidade e índice de coalescência da espuma

As concentrações do espumante Emustab® influenciaram significativamente a massa específica e o índice de coalescência das espumas produzidas, conforme análise de variância (Tabela 5) em que é demonstrado a significância ao nível de probabilidade de 5% para os modelos de regressão e da falta de ajuste.

Tabela 5 - Análise de variância da regressão e da falta de ajuste para a massa específica e índice de coalescência das espumas.

Variável	F. V.	G. L.	S. Q.	Q. M.	F	p
Massa específica	Regressão	2	2,8180	1,4090	90,6120*	0,0000
	Resíduo	24	0,3732	0,0155		
	F. A.	6	0,3664	0,0611	161,0517*	0,0000
	E. P.	18	0,0068	0,0004		
Índice de coalescência	Regressão	2	0,2798	0,1399	42,6863*	0,0000
	Resíduo	24	0,0787	0,0033		
	F. A.	6	0,0663	0,0110	16,0269*	0,0000
	E. P.	18	0,0124	0,0007		

\* Significativo ( $p < 0,05$ ); F. A.: falta de ajuste; E. P.: erro puro

Os modelos matemáticos ajustados e os respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) são apresentados na Tabela 6. Mesmo com a falta de ajuste significativa os modelos propostos podem ser aceitos pois apresentaram bons valores de  $R^2$ .

Tabela 6 - Modelos ajustados para a massa específica e índice de coalescência das espumas.

Variável resposta	Modelos ajustados	$R^2$
Massa específica	$\hat{Y} = 0,310485 - 0,317261 x_1 + 0,165621 x_1^2$	0,8831
Índice de coalescência	$\hat{Y} = -0,003964 - 0,087749 x_1 + 0,080492 x_1^2$	0,8316

\*\* em que  $x_1$  é a variável codificada para as concentrações do espumante Emustab®.

A Figura 4 traz as projeções de superfície de resposta para massa específica e índice de coalescência em relação às concentrações dos agentes utilizados. É observado que, para maior a concentração de Emustab® ( $x_1$ ), os valores da massa

específica e índice de coalescência foram menores. A situação ótima para massa específica corresponde a concentração do espumante Emustab® de 5,04%, coordenada 0,96; enquanto para coalescência 4,14%, coordenada 0,54. A concentração do Whey Protein não influenciou ambas variáveis.

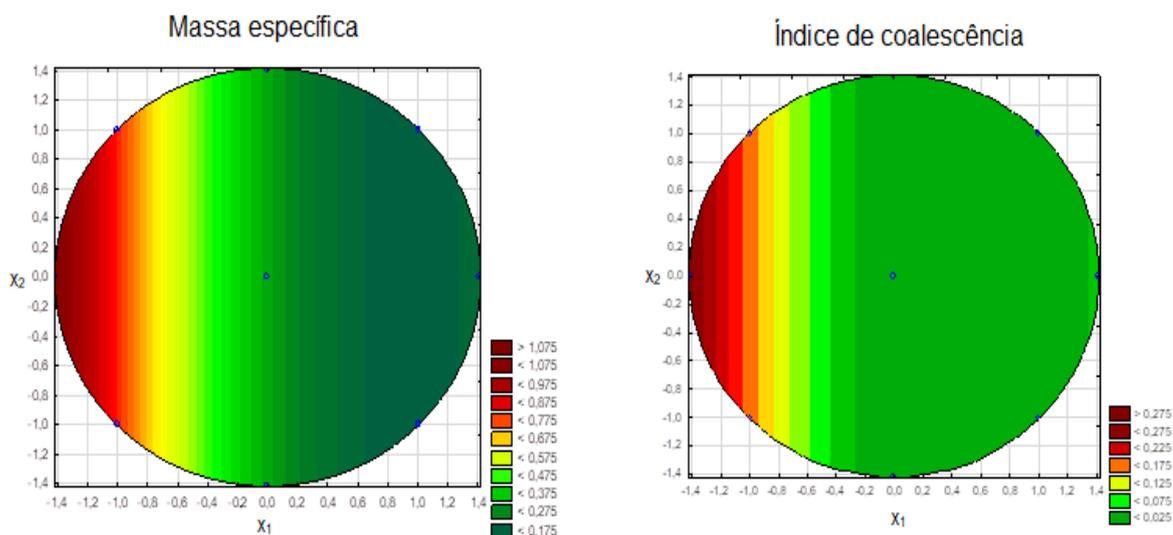


Figura 4: Projeções de superfície de resposta para massa específica e índice de coalescência das espumas em função das variáveis codificadas para concentração de Emustab® ( $x_1$ ) e Whey Protein ( $x_2$ ).

A massa específica está relacionada com a agregação de ar e formação de espuma, e conseqüentemente na eficiência do processo de secagem. Espumas com baixa massa específica propiciam maior taxa de secagem, mesmo empregando menores temperaturas. Situação inversa é observada para espumas com alta massa específica, pois implica em maiores tempos de secagem e maior risco de depreciação da qualidade do produto em virtude da degradação térmica (RATTI; KUDRA, 2006).

A obtenção de uma espuma com baixo índice de coalescência é fundamental para condução da secagem em leito de espuma, pois além de implicar em menores tempos de secagem, o material seco é mais facilmente removido das bandejas, aumentando o rendimento operacional. Para os casos em que a espuma coalesce durante a secagem, liberando líquidos, o tempo de secagem aumenta, e a qualidade do produto é depreciada. A natureza e a concentração do agente utilizado na produção da espuma, são os atributos principais que afetam essa propriedade (KANDASAMY, et al., 2012).

Gutiérrez (2015), verificou que o agente Emustab<sup>®</sup> propicia baixos valores de massa específica e menores índices de coalescência em espumas, ao trabalhar com polpa de manga. Comportamento semelhante foi descrito por Franco et al. (2015) ao avaliar o efeito do Emustab<sup>®</sup> e albumina na produção de espumas a partir do suco de yacon. Os benefícios associados ao Emustab<sup>®</sup>, podem ser explicados pela concentração de monoglicérides, que reduzem substancialmente a tensão superficial e interfacial a níveis que mantêm a estabilidade da espuma, impedindo o coalescimento.

## 5.2. Caracterização do pó solúvel

Na Tabela 7 são apresentadas as análises de variância para regressão e falta de ajuste para os modelos ajustados para as variáveis resposta teor de água, solubilidade e molhabilidade associadas ao pó solúvel de polpa de yacon.

Tabela 7 - Análise de variância da regressão e da falta de ajuste para teor de água, solubilidade e molhabilidade do pó solúvel de polpa de yacon.

Variável	F. V.	G. L.	S. Q.	Q. M.	F	p
Teor de água	Regressão	5	10,0279	2,0056	5,9832*	0,0014
	Resíduo	21	7,0392	0,3352		
	F. A.	3	5,4219	1,8073	20,1142*	0,0000
	E. P.	18	1,6173	0,0899		
Solubilidade	Regressão	5	530,8415	106,1683	40,3447*	0,0000
	Resíduo	21	55,2621	2,6315		
	F. A.	3	11,7090	3,9030	1,6131 <sup>ns</sup>	0,2214
	E. P.	18	43,5531	2,4196		
Molhabilidade	Regressão	5	77389682	15477936	79,7373*	0,0000
	Resíduo	21	4076343,9	194111,6		
	F. A.	3	1251573,9	417191,3	2,6584 <sup>ns</sup>	0,0794
	E. P.	18	2824770	156931,7		

\* Significativo ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup> Não significativo; F. A.: falta de ajuste; E. P.: erro puro.

Para as variáveis solubilidade e molhabilidade, os modelos ajustados foram significativos ( $p < 0,05$ ) e a falta de ajuste não significativa ( $p > 0,05$ ) com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,91 e 0,95 respectivamente (Tabela 8). Pode-se concluir que os modelos propostos são adequados para explicar o comportamento dos agentes para essas variáveis. Foi verificado que a falta de ajuste do modelo para o teor de

água foi significativa ( $p < 0,05$ ), porém o modelo ajustado foi aceito visto que o mesmo também foi significativo ( $p < 0,05$ ).

Tabela 8 - Modelos ajustados para teor de água, solubilidade e molhabilidade do pó solúvel de polpa de yacon.

Variável resposta	Modelos ajustados	R <sup>2</sup>
Teor de água	$\hat{Y} = 7,4183 - 0,2837 x_1 - 0,01197 x_2 - 0,9409 x_1^2 - 0,6093 x_2^2 + 0,1742 x_1 x_2$	0,59
Solubilidade	$\hat{Y} = 69,7067 - 4,2435 x_1 + 1,261 x_2 + 1,8415 x_1^2 + 1,9415 x_2^2 + 1,3608 x_1 x_2$	0,91
Molhabilidade	$\hat{Y} = 3122,33 + 1709,17 x_1 + 121,588 x_2 - 195,458 x_1^2 - 728,958 x_2^2 + 320,167 x_1 x_2$	0,95

\*\* em que,  $x_1$  e  $x_2$  são as variáveis codificadas dos espumantes Emustab<sup>®</sup> e Whey Protein, respectivamente.

Na Figura 5 está representado a projeção da superfície de resposta para o teor de água, solubilidade e molhabilidade dos pós em função dos agentes espumantes. Para o teor de água é observado que os maiores valores ocorreram próximos ao ponto central (3% de Emustab<sup>®</sup> e 3% de Whey Protein), enquanto menores foram encontrados ao aumentar a concentração do Emustab<sup>®</sup>. O ponto ótimo para o teor de água encontra-se nas coordenadas (1,36; -0,40) que corresponde a concentração de 5,88% de Emustab<sup>®</sup> e 2,16% de Whey Protein. Ao avaliar a solubilidade é possível observar que quanto maior for a concentração de Emustab<sup>®</sup>, menor será a solubilidade, já a molhabilidade, é observado que quanto maior a concentração de Emustab<sup>®</sup>, maior será o tempo de necessário para que o pó se molhe. Em contrapartida o Whey Protein teve um efeito positivo em ambas as variáveis, produzindo um pó mais solúvel e molhável. Os pontos ótimos para solubilidade e molhabilidade são, respectivamente, (-1,39; -0,25) que corresponde a concentração de 0,06% de Emustab<sup>®</sup> e 2,46% de Whey Protein; e (-1,33; 0,48) que corresponde a 0,18% de Emustab<sup>®</sup> e 4,02% de Whey Protein.

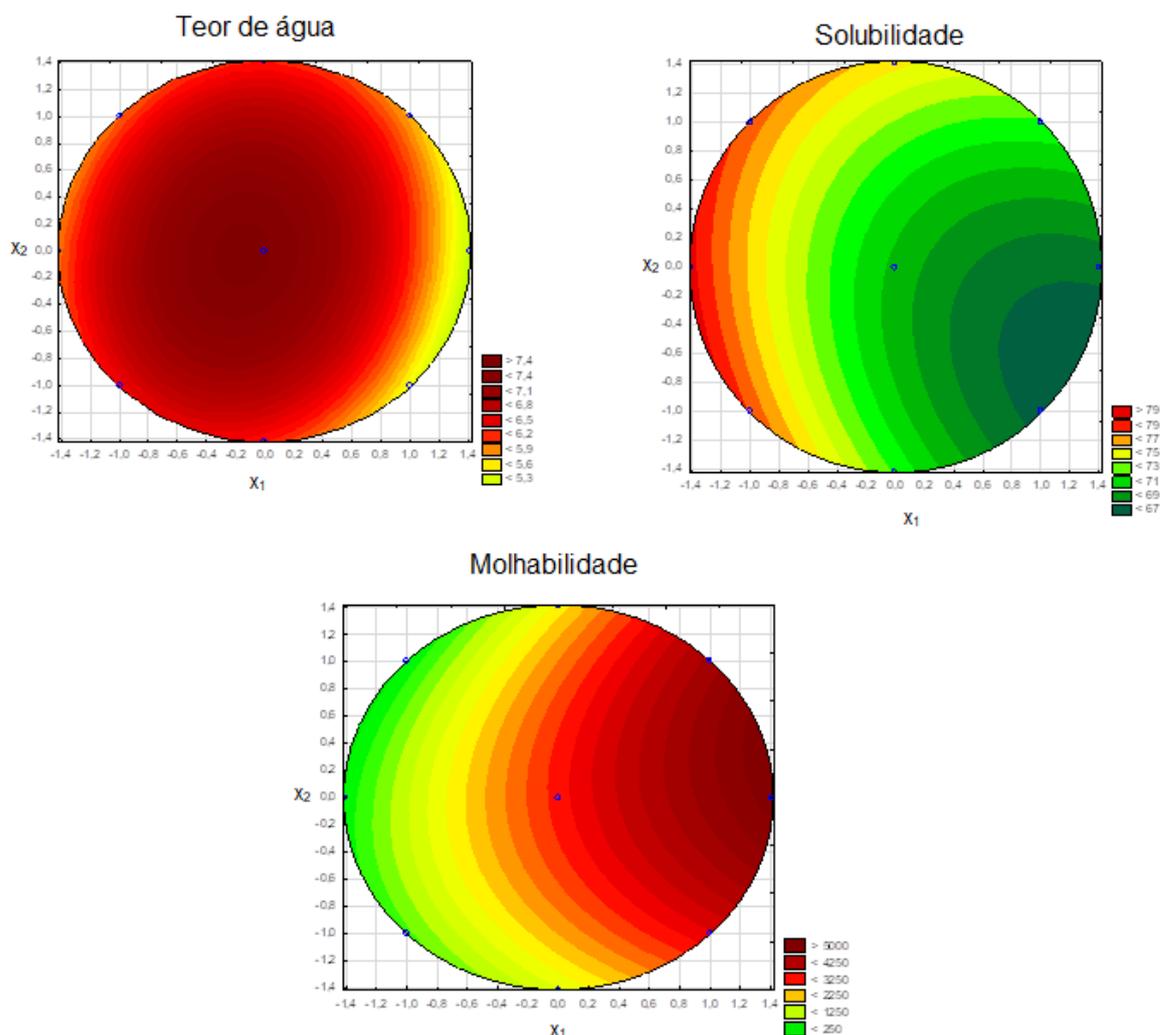


Figura 5: Projeção de superfície de resposta para o teor de água, solubilidade e molhabilidade do pó solúvel em função das variáveis codificadas para concentração de Emustab® ( $x_1$ ) e Whey Protein ( $x_2$ ).

Os valores de teor de água do presente estudo variaram de 4,9 a 7,42 g 100 g<sup>-1</sup>. Franco et al. (2016) encontraram valores semelhantes de teor de água de pó de yacon (3,51 a 6,58 g 100 g<sup>-1</sup>). Ambos produtos possuem baixo teor de água indicando baixa disponibilidade de água para a ocorrência de reações químicas e crescimento microbiológico.

A solubilidade é um indicador importante da habilidade do alimento em pó em permanecer misturado de forma homogênea em água (FRANCO et al., 2016). No presente estudo, a solubilidade variou de 65,95 a 78,8% para os diferentes

tratamentos, sendo o maior valor encontrado para o tratamento que não continha Emustab®.

Franco et al. (2016) encontraram valores de solubilidade superiores a 80% para suco em pó de yacon obtido por secagem em leito de espuma, porém o autor utilizou a albumina como agente espumante na concentração de 20%.

A solubilidade do pó de yacon encontrada no presente estudo foi maior que a do suco em pó de manga (51,83 a 66,65%) (WILSON et al., 2014) e que o pó de camarão (18,06 a 19,58%) (AZIZPOUR et al., 2016), ambos obtidos pelo método de secagem em leito de espuma.

A boa solubilidade do pó do suco de yacon pode ser atribuída ao alto teor de carboidratos e baixo teor de lipídeos (FAZAELI et al., 2012).

A molhabilidade de particulados alimentícios é definida pela fração de tempo necessário, para que uma quantidade conhecida de sólido seja completamente molhada por um líquido (FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2013). A molhabilidade de um alimento é um importante fator na indústria de alimentos ao se considerar processos, como aglomeração, granulação e revestimento, além da definição de importantes características finais do produto, como dispersibilidade e solubilidade (FORNY; MARABI; PALZER, 2011).

No presente estudo, os pós com as maiores concentrações de Emustab® apresentaram altos valores de molhabilidade que chegaram a uma hora. Esse alto tempo pode ser explicado pela composição do Emustab®, composto por mono e diglicerídeos de ácidos graxos, que são substâncias hidrofóbicas, dificultando a adesão com a água.

Fernandes, Borges e Botrel (2013) encontraram valores de molhabilidade entre 155 a 481 segundos para o pó de óleo essencial de alecrim microencapsulado com goma arábica. Já Maciel (2017), para pó de café solúvel obtido por secagem em leito de espuma, obteve um tempo máximo de 60 segundos de molhabilidade.

As concentrações de Emustab® e Whey Protein utilizadas na formulação do pó de yacon, não tiveram efeito significativo para o teor de fibra solúvel do yacon.

A média de fibra solúvel encontrada foi de 3,12 g 100 g<sup>-1</sup>, sendo maior aos constatados por Rolim et al. (2010) e Vasconcelos et al. (2010) que encontraram valores de 2,76 e 2,24 g 100 g<sup>-1</sup>, respectivamente, em farinhas de yacon.

### **5.3. Curvas de secagem**

Na Figura 6 são apresentadas as curvas de secagem para as nove concentrações de agentes espumantes empregadas para a temperatura do ar de secagem igual a 60 °C. Na Tabela 9 são apresentados os valores dos parâmetros ajustados, o coeficiente de determinação ajustado e o erro padrão da regressão para cada modelo.

Os tratamentos 1, 2 e 6 que continham baixa concentração de Emustab® levaram 16 horas, em média, para atingir o ponto de equilíbrio. Já os tratamentos 3, 5 e 7 que continham alta concentração de Emustab® e baixa concentração de Whey Protein, levaram apenas quatro horas em média para atingir o ponto de equilíbrio. O tempo de secagem deve ser reduzido para evitar a perda de nutrientes e qualidade sensorial, dessa forma, a utilização do agente Emustab® foi importante para redução do tempo de secagem.

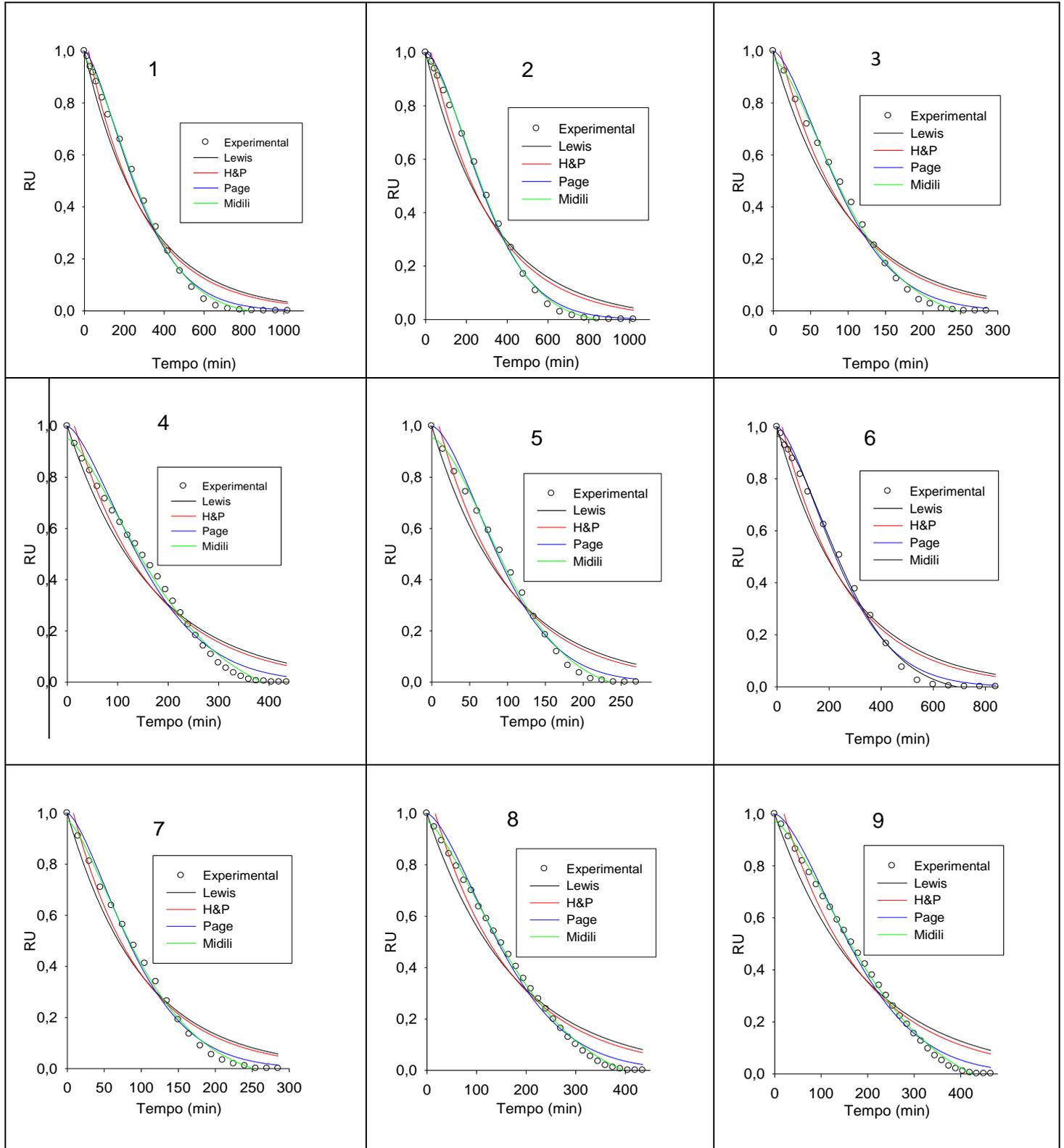


Figura 6: Curvas de secagem do suco de yacón na temperatura de 60 °C para os tratamentos 1 (0,88% Em.; 0,88% W.P.), 2 (0,88% Em.; 5,12% W.P.), 3 (5,12% Em.; 0,88% W.P.), 4 (5,12% Em.; 5,12% W.P.), 5 (3% Em.; 0% W.P.), 6 (0% Em.; 3% W.P.), 7 (6% Em.; 3% W.P.), 8 (3% Em.; 6% W.P.), 9 (3% Em.; 3% W.P.). Em.: Emustab®; W.P.: Whey Protein.

Tabela 9 - Parâmetros estimados, coeficiente de determinação ajustado e erro padrão da regressão para os modelos ajustados em diferentes concentrações de agentes espumantes.

<b>Tratamento</b>	<b>Modelo</b>	<b>k</b>	<b>n</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b><math>R^2_{adj}</math></b>	<b>S</b>
1	Lewis	0,0033	-	-	-	0,9720	0,0663
	Page	0,0002	1,4607	-	-	0,9962	0,0243
	H&P	0,0036	-	1,0758	-	0,9782	0,0585
	Midili	0,0001	1,5313	0,9691	-0,00002	0,9977	0,0190
2	Lewis	0,0031	-	-	-	0,9621	0,0785
	Page	0,00009	1,6008	-	-	0,9975	0,0203
	H&P	0,0034	-	1,0956	-	0,9724	0,0671
	Midili	0,00006	1,6549	0,977	-0,00002	0,9984	0,0162
3	Lewis	0,0101	-	-	-	0,9500	0,0765
	Page	0,0008	1,5382	-	-	0,9922	0,0302
	H&P	0,0110	-	1,1053	-	0,9591	0,0691
	Midili	0,0007	1,5298	0,9676	-0,0001	0,9952	0,0238
4	Lewis	0,006	-	-	-	0,9455	0,0764
	Page	0,0004	1,4940	-	-	0,9863	0,0382
	H&P	0,0065	-	1,0974	-	0,9541	0,0701
	Midili	0,0004	1,4575	0,9517	-0,0002	0,9945	0,0244
5	Lewis	0,0099	-	-	-	0,9371	0,0871
	Page	0,0005	1,6310	-	-	0,9899	0,0350
	H&P	0,0109	-	1,1099	-	0,9469	0,0801
	Midili	0,0003	1,6735	0,9532	-0,0002	0,9943	0,0262
6	Lewis	0,0036	-	-	-	0,9632	0,0770
	Page	0,0002	1,5298	-	-	0,9945	0,0297
	H&P	0,0040	-	1,0817	-	0,9705	0,0689
	Midili	0,0001	1,6168	0,9646	-0,00003	0,9967	0,0231
7	Lewis	0,0100	-	-	-	0,9565	0,0702
	Page	0,0010	1,4758	-	-	0,9924	0,0292
	H&P	0,0109	-	1,0945	-	0,9639	0,0639
	Midili	0,0011	1,4400	0,9705	-0,0002	0,9958	0,0218
8	Lewis	0,0058	-	-	-	0,9467	0,0761
	Page	0,0004	1,52457	-	-	0,9925	0,0286
	H&P	0,0064	-	1,1126	-	0,9589	0,0668
	Midili	0,0005	1,4453	0,9699	-0,0002	0,9979	0,0149
9	Lewis	0,0052	-	-	-	0,9389	0,0820
	Page	0,0002	1,5765	-	-	0,9917	0,0301
	H&P	0,0058	-	1,1231	-	0,9538	0,0713
	Midili	0,0003	1,4809	0,9712	0,000228	0,9978	0,0157

De acordo com a Tabela 9, os ajustes para os modelos de Page e Midili apresentaram maiores coeficientes de determinação ajustado, acima de 0,99, e menor erro padrão da regressão, sendo que, o modelo Midili apresentou melhores ajustes que o de Page. Dessa forma, o modelo de Midili foi o que melhor descreveu a cinética de secagem de polpa de yacon em leite de espuma. Esse resultado pode ser observado na Figura 6, em que a curva ajustada de Midili ficou mais próxima dos resultados experimentais para todos os tratamentos.

Morais et al. (2013) avaliaram a cinética de secagem dos grãos de feijão-caupi, ajustando 12 modelos matemáticos e verificaram que o modelo de Midili apresentou o melhor ajuste, para as temperaturas de secagem de 45 e 55 °C, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) 1,00 e 0,99, respectivamente. Pereira (2008) verificou que o modelo de Midili foi o mais representativo, com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,99, para a secagem em leite de espuma do extrato aquoso de própolis.

Para estimar o tempo de secagem considerou-se o tempo no qual a razão de umidade atingiu o valor de equilíbrio. Para isso utilizou-se o modelo de Midili, devido aos resultados obtidos (equação 10).

$$a e^{-k t_s^n} + b t_s = 0 \quad \text{Equação (10)}$$

Para calcular a solução da equação 10 utilizou-se o método de Newton com tolerância utilizada de  $10^{-5}$ . A partir dos resultados ajustou-se o modelo matemático apresentado na Equação 11.

Tabela 10 - Análise de Variância da regressão e da falta de ajuste para o tempo de secagem do yacon em leite de espuma.

<b>F.V.</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.Q.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
Regressão	5	1186127,9102	237225,5820	18,7214*	0,0000
Resíduo	21	266098,9339	12671,3778		
Falta de ajuste	3	253423,5128	84474,5043	119,9598*	0,0000
Erro puro	18	12675,4211	704,1901		
Total	26	1452226,8440			

\*: Significativo ( $p < 0,05$ )

Foi observado que os agentes espumantes influenciaram significativamente no tempo de secagem, pois a análise da variância da regressão foi significativa ( $p < 0,05$ ).

A falta de ajuste também foi significativa, porém o modelo foi aceito, visto que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,8168.

$$\hat{t}_s = 421,501 - 208,69 x_1 + 50,396 x_2 + 61,494 x_1^2 - 12,867 x_2^2 + 24,617 x_1 x_2 \quad (11)$$

em que,

$\hat{t}_s$  = tempo de secagem estimado, em minutos;

$x_1$  = variável codificada para a concentração do espumante Emustab®.

$x_2$  = variável codificada para a concentração do espumante Whey Protein.

Conforme a Figura 7, o tempo de secagem diminuiu com o aumento da concentração de Emustab® ( $x_1$ ), o que era esperado, devido a obtenção de espumas de menor massa específica e menor índice de coalescência, fatores importantes para que a secagem em leito de espuma ocorra de forma rápida e eficiente. O ponto ótimo encontrado foi em (1,07; -0,91) que corresponde a concentração de 5,28% Emustab® e 1,02% de Whey Protein.

O tratamento que teve somente a adição de Whey Protein (variável codificada: -1,41; 0,0), que corresponde à concentração de 0,0% de Emustab® e 3,0% de Whey Protein), dentro do espaço experimental, levou ao maior tempo de secagem, quatorze horas. Isso porque a concentração utilizada não foi suficiente para produzir espuma. Uma camada de espuma é seca em menor tempo, quando comparada à mesma quantidade de líquido sob as mesmas condições de secagem, pois as moléculas de água dessorvem mais facilmente em um leito de espuma do que em uma densa camada do mesmo material (KARIM; WAI, 1999).

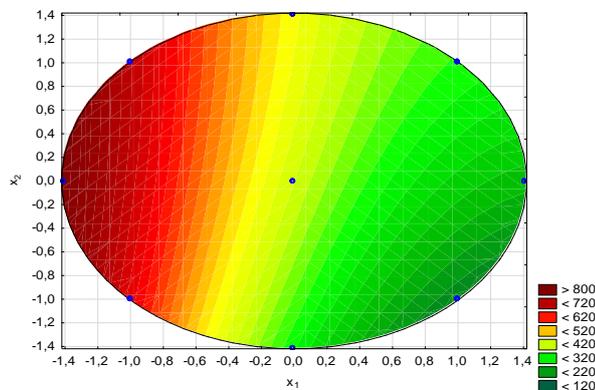


Figura 7: Projeção de superfície de resposta para o tempo de secagem de polpa de yacon em leito de espuma em função das variáveis codificadas para concentração de Emustab® ( $x_1$ ) e Whey Protein ( $x_2$ ).

#### 5.4. Análise sensorial

Visto que os agentes adicionados à polpa de yacon para a produção da espuma podem alterar as características sensoriais, o teste de aceitação sensorial foi aplicado para avaliar qual agente e concentração corresponderiam aos melhores resultados. Para a análise sensorial, o pó de polpa de yacon de cada tratamento foi adicionado a um suco de laranja natural sem adição de açúcar, na concentração de 2% (4 g do pó da polpa de yacon para 200 mL de suco).

O suco de laranja foi escolhido por ser uma das formas tradicionais de consumo do yacon in natura (SEMINARIO; VALDERRAMA, 2003).

Para o atributo aroma, as médias hedônicas dos sucos adicionados dos pós referentes aos tratamentos 1, 2, 4, 7, 8 e 9 encontraram-se entre a classificação “indiferente” (nota 5) e “gostei ligeiramente” (nota 6), e os demais tratamentos 3, 5 e 6, entre a classificação “gostei ligeiramente” e “gostei moderadamente” (nota 7).

O atributo cor apresentou a menor média hedônica de todos os atributos. Todos os tratamentos apresentaram médias hedônicas que variaram entre “desgostei ligeiramente” (nota 4) e “gostei ligeiramente” (nota 6), chegando a uma média final de 5,3. A menor aceitação da cor pode ser explicada pelo escurecimento que o pó da polpa yacon sofreu durante a formação de espuma e secagem, pois não foi adicionado agentes que minimizassem o escurecimento, levando à alteração da coloração do suco de laranja, Figura 8.



Figura 8: Suco de laranja com adição de pó de polpa de yacon na concentração de 2% para análise sensorial.

Todo produto possui uma aparência e cor esperadas que são associadas às reações pessoais de aceitação, indiferença ou rejeição, pois esse é o primeiro contato do consumidor com o produto (TEIXEIRA, 2009). De um suco de laranja natural espera-se a cor amarela, porém com a adição do pó de polpa de yacon a cor ficou escurecida, descaracterizando a cor do suco de laranja natural.

Para os atributos sabor e impressão global, para tratamento 1 foi constatado a menor média hedônica, variando entre “desgostei ligeiramente” (nota 4) e “indiferente” (nota 5). Já os demais tratamentos apresentaram médias hedônicas variando entre “indiferente” (nota 5) e “gostei moderadamente” (nota 7).

Tabela 11 - Análise de variância da regressão e da falta de ajuste para os atributos sensoriais do suco de laranja com adição de pó da polpa de yacon.

<b>Atributos</b>	<b>F.V.</b>	<b>G.L.</b>	<b>S. Q.</b>	<b>Q. M.</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
Aroma	Regressão	5	34,8286	6,9657	2,9635*	0,0118
	Bloco	85	363,440			
	Resíduo	683	1605,3968	2,3505		
	F. A.	3	19,4298	6,4766	2,7769*	0,0405
	E. P.	680	1585,9670	2,3323		
Cor	Regressão	5	55,9511	11,1902	3,7608*	0,0023
	Bloco	85	550,100			
	Resíduo	683	2032,2693	2,9755		
	F. A.	3	14,4158	4,8053	1,6193 <sup>ns</sup>	0,1836
	E. P.	680	2017,8535	2,9674		
Sabor	Regressão	5	115,1991	23,0398	6,6152*	0,0000
	Bloco	85	506,860			
	Resíduo	683	2378,8001	3,4829		
	F. A.	3	70,4159	23,4720	6,9143*	0,0001
	E. P.	680	2308,3842	3,3947		
Impressão Global	Regressão	5	56,0113	11,2023	4,4040*	0,0006
	Bloco	85	465,060			
	Resíduo	683	1737,3266	2,5437		
	F. A.	3	48,0378	16,0126	6,4457*	0,0003
	E. P.	680	1689,2888	2,4842		

\*: Significativo ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup>: Não significativo ( $p > 0,05$ ); F. A.: falta de ajuste; E. P.: erro puro.

Ao proceder a análise da variância da regressão e falta de ajuste para os atributos da avaliação sensorial (Tabela 11) foi constatado significância ( $p < 0,05$ ) para regressão em todas atributos. À exceção do atributo cor, a falta de ajuste foi significativa. Visto que para todos os atributos a variância da regressão foi

significativa, os modelos ajustados foram aceitos, pois os agentes espumantes influenciaram na resposta dos atributos sensoriais. Os coeficientes de determinação e os modelos ajustados estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Modelos ajustados para os atributos sensoriais

Variável resposta	Modelos ajustados	R <sup>2</sup>
Aroma	$\hat{Y} = 5,7907 - 0,01777 x_1 - 0,1124 x_2 + 0,01381 x_1^2 + 0,09811 x_2^2 - 0,2558 x_1 x_2$	0,6419
Cor	$\hat{Y} = 4,9535 - 0,1031 x_1 + 0,1063 x_2 + 0,1541 x_1^2 + 0,189 x_2^2 - 0,3023 x_1 x_2$	0,7951
Sabor	$\hat{Y} = 6,186 + 0,1593 x_1 + 0,07855 x_2 - 0,3016 x_1^2 - 0,194 x_2^2 - 0,4535 x_1 x_2$	0,6206
Impressão global	$\hat{Y} = 5,814 + 0,05345 x_1 + 0,05434 x_2 - 0,06686 x_1^2 + 0,03488 x_2^2 - 0,375 x_1 x_2$	0,5383

\*\* em que,  $x_1$  e  $x_2$  são as variáveis codificadas dos espumantes Emustab® e Whey Protein, respectivamente.

Conforme representado na Figura 9, altas concentrações de Emustab® e baixas de Whey Protein correspondem às maiores notas para o atributo aroma e impressão global. Para o atributo cor foi constatado que a região de maior concentração de Whey Protein ( $x_2$ ) e menor de Emustab® ( $x_1$ ), obteve as maiores notas. Para o atributo sabor, as maiores notas foram encontradas na região próxima ao ponto central.

Dentro da região estudada, os pontos máximos de cada atributo sensorial ocorreram nos seguintes valores de variáveis codificadas e suas concentrações: aroma (0,76; -1,19) que corresponde às concentrações de 4,62% de Emustab® e 0,48% de Whey Protein; cor (-0,85; 1,13) 1,20% de Emustab® e 5,40% de Whey Protein; sabor (0,91; -0,85) 4,92% de Emustab® e 1,20% de Whey Protein; impressão global (-0,76; 1,19) 1,38% de Emustab® e 5,52% de Whey Protein.

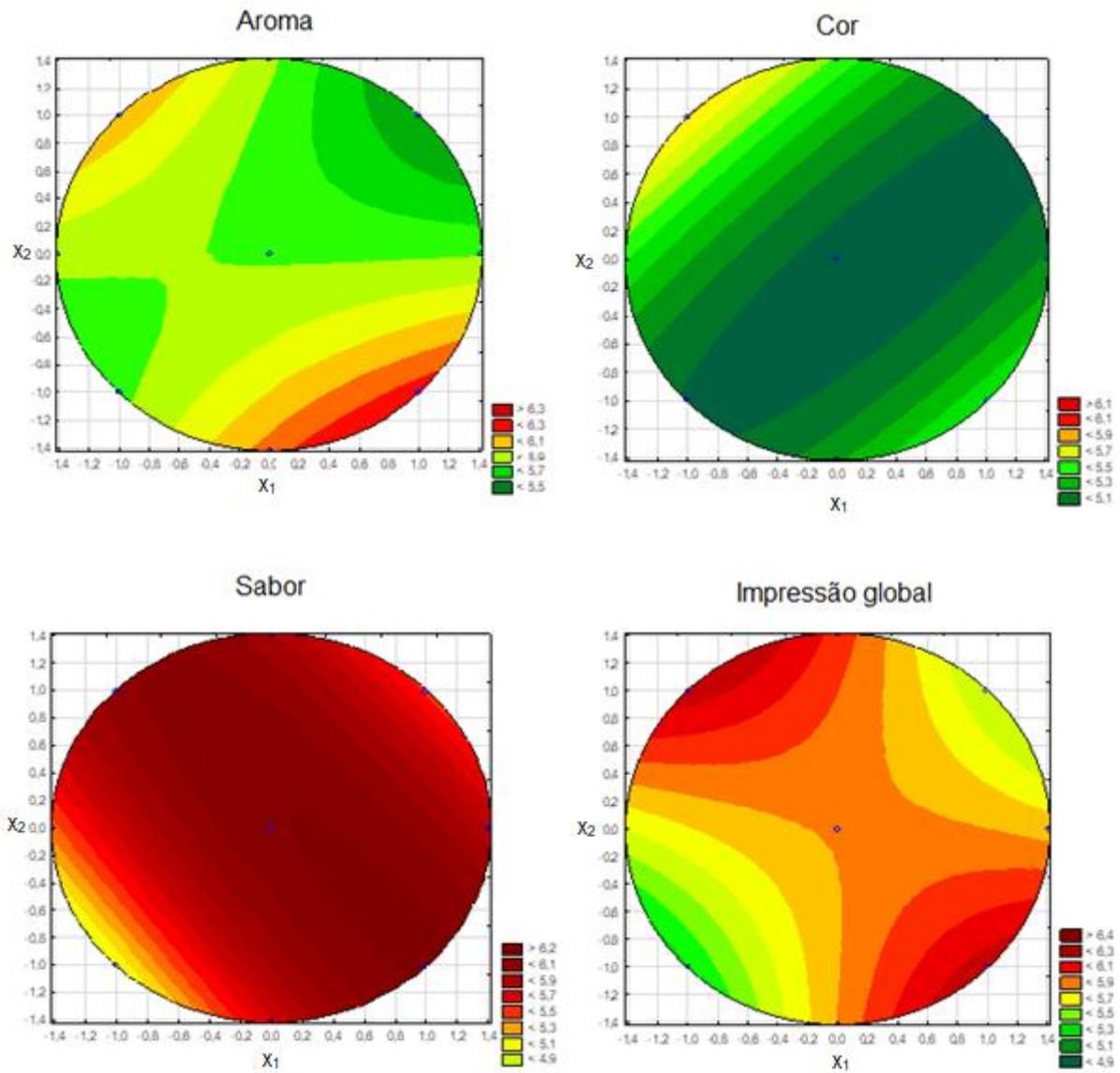


Figura 9: Projeção de superfícies de resposta dos atributos sensoriais aroma, cor, sabor e impressão global do pó de yacon adicionado ao suco de laranja em função das variáveis codificadas para concentração de Emustab® ( $x_1$ ) e Whey Protein ( $x_2$ ).

## 5.5. Otimização das concentrações dos agentes espumantes

Para os cálculos da desejabilidade individual das variáveis respostas que se deseja minimizar, o valor alvo (T) corresponde ao valor mínimo estimado pelos modelos ajustados dentro do intervalo estudado, enquanto o limite superior admissível trata-se do valor máximo estimado (U) dentro do mesmo intervalo. Para maximizar, os valores alvos (T) foram considerados os valores máximos estimados pelos modelos ajustados do intervalo, e o limite inferior admissível (L), foi o valor mínimo. Apenas para a variável coalescência optou-se por valores mais rigorosos, pois o alto índice de coalescência comprometeria o processo de secagem em leito de espuma. Os valores estabelecidos para as variáveis respostas são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Valores alvo e limites das variáveis respostas utilizados na função desejabilidade.

Variável	L	T	U
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	-	0,1586	1,0904
Coalescência (cm <sup>3</sup> )	-	0	0,08
Teor de água (g 100 g <sup>-1</sup> m.s.)	-	5,1144	7,4402
Solubilidade (g 100 g <sup>-1</sup> m.s.)	66,1772	79,4099	-
Molhabilidade (s)	-	190,0898	5212,3595
Tempo de secagem (min)	-	188,1365	839,6228
Aroma	5,5	6,3	-
Cor	4,9	5,8	-
Sabor	5,0	6,2	-
Impacto Global	5,3	6,2	-

Realizado os cálculos da desejabilidade, obteve-se o gráfico de superfície de resposta, Figura 10, que apresenta o perfil da desejabilidade global, definida de acordo com os valores limites escolhidos. A desejabilidade global máxima foi igual a 0,9503, para  $x_1$  igual a 0,7637 e  $x_2$  igual a -1,1879, que correspondem, respectivamente, a concentração de 4,62% de Emustab<sup>®</sup> e 0,48% de Whey Protein.

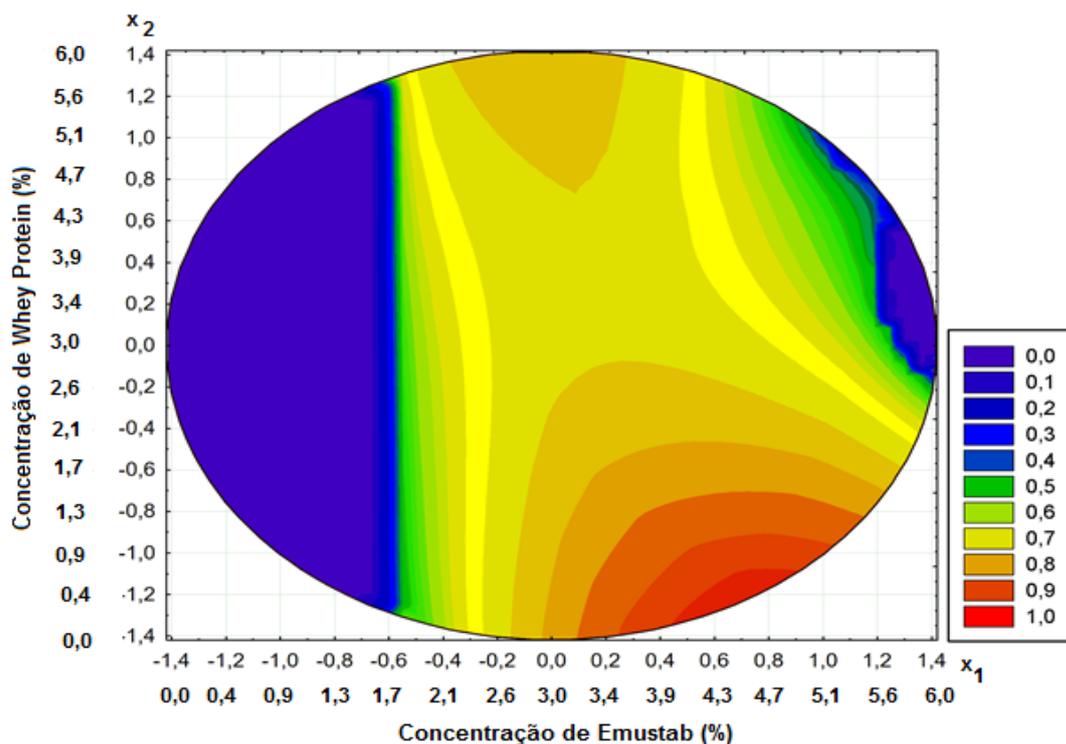


Figura 10: Projeção superfície de resposta da desejabilidade global para as concentrações de Emustab® e Whey Protein.

### 5.6. Caracterização da espuma para concentração ótima de agentes

A partir do resultado da desejabilidade global foi conduzido um novo experimento utilizando a concentração dos agentes em concentração de 4,62% de Emustab® e 0,48% de Whey Protein. Foi realizada a produção de espuma utilizando o mesmo método, e foi avaliada a massa específica e coalescência.

#### 5.6.1. Massa específica e coalescência

As análises da massa específica e coalescência foram realizadas em três repetições, em duplicatas, e os valores estão disponibilizados na Tabela 14.

Tabela 14 - Valores médios de densidade e coalescência experimentais e intervalo com 95% confiança para valores estimados pelos modelos

	Experimental	I.C.95%
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	0,223	[0,02; 0,43]
Coalescência	0,005	[0,01; 0,36]

A densidade da espuma otimizada se encontra dentro do intervalo de confiança dos valores estimados pelos modelos, e esse valor está abaixo dos valores geralmente encontrados em espumas que varia de 0,3 a 0,6 g/cm<sup>3</sup> (NG; SULAIMAN, 2018). Para coalescência, o valor experimental foi menor que o estimado pelos modelos. Isso indica que a concentração resultante do cálculo de fato produz uma espuma adequada para a secagem em leito de espuma visto que espumas de baixa densidade e que não coalescem, aceleram o movimento de remoção de água durante a secagem devido à maior superfície de contato do ar de secagem (NG; SULAIMAN, 2018).

### 5.7. Cinética de secagem para concentração ótima de agentes

Observa-se na Tabela 15 e Figura 11 que, semelhante as concentrações testadas anteriormente, o modelo de Page e Midili foram os que apresentaram melhores ajustes apresentando coeficiente de determinação acima de 0,99. Sendo que o modelo de Midili apresentou R<sup>2</sup> maior que o de Page e menor erro padrão. Dessa forma, o modelo de Midili foi escolhido como o modelo mais adequado.

Tabela 15 - Parâmetros estimados, coeficiente de determinação ajustado e erro padrão da regressão para os modelos ajustados da secagem de polpa de yacon em leito de espuma para concentração ótima dos agentes espumantes.

<b>Modelo</b>	<b>k</b>	<b>n</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>R<sub>adj</sub><sup>2</sup></b>	<b>S</b>
Lewis	0,0059	-	-	-	0,9294	0,0907
Page	0,0002	1,6841	-	-	0,9940	0,0264
H&P	0,0067	-	1,1369	-	0,9470	0,0785
Midili	0,0001	1,6752	0,9646	-0,0001	0,9980	0,0152

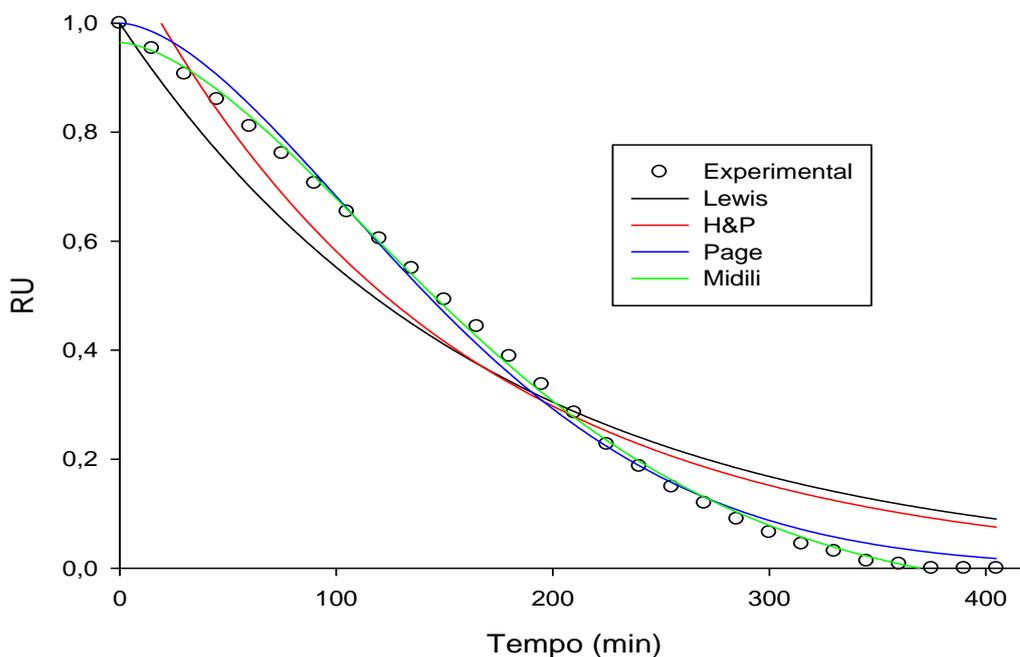


Figura 11: Curva de secagem de pó de polpa de yacon na temperatura de 60 °C na concentração de 4,62% de Emustab® e 0,48% de Whey Protein.

O tempo de secagem obtido para o pó otimizado foi de 400 minutos, valor este que se encontra dentro do intervalo de confiança estimado pelos modelos. Porém o tempo de secagem poderia ter sido menor pois as secagens para a concentração ótima dos agentes espumantes foram realizadas em novembro, que vinha passando por uma forte temporada de chuvas com diminuição da temperatura ambiente e aumento da umidade relativa do ar, que são parâmetros que afetam o tempo de secagem.

Tabela 16 - Valor do tempo de secagem estimado pelo modelo de Midili e intervalo com 95% confiança para o tempo de secagem estimado pela Eq. 16

	Modelo de Midili	I.C. <sub>95%</sub>
Tempo de secagem	370	[34,06; 436,04]

## 5.8. Solubilidade, molhabilidade e teor de água do pó para concentração ótima de agentes

Na Tabela 17 estão apresentados os valores de solubilidade, molhabilidade e teor de água experimental do pó de yacon e os valores estimados pelos modelos.

Tabela 17 - Médias da solubilidade, molhabilidade e umidade experimentais e intervalo com 95% confiança para seus valores estimados pelos modelos.

	<b>Experimental</b>	<b>I.C.95%</b>
Solubilidade (g 100 g <sup>-1</sup> m.u.)	73,38 ± 0,27	[64,11; 70,98]
Molhabilidade (s)	2852 ± 108	[1916,9; 3783,08]
Teor de água (g 100 g <sup>-1</sup> m.u.)	5,11 ± 0,44	[4,42; 6,88]

Conforme dados da Tabela 17, foi constatado que a solubilidade experimental foi maior do que a estimada pelos modelos, apresentando uma alta solubilidade. Já a molhabilidade e o teor de água se encontram dentro do intervalo estimado. A molhabilidade ainda se encontra muito elevada, sendo necessários testes com outros tipos de agentes espumantes a fim de melhorar essa característica. Para que o pó seja considerado instantâneo o tempo de molhabilidade deve ser em torno de 60 segundos (FORNY; MARABI; PALZER, 2011; MACIEL, 2017).

## 5.9. Caracterização físico-química do pó para concentração ótima de agentes

Foi realizada a caracterização físico-química do pó de polpa de yacon para concentração ótima dos agentes espumantes para avaliar a qualidade do produto final. Os valores mensurados experimentalmente são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Parâmetros físico-químicos do pó de polpa de yacon para as concentrações ótimas dos agentes espumantes (4,62% de Emustab® e 0,48% de Whey Protein)

Variável	Pó de polpa de yacon
pH	6,73 ± 0,02
Acidez (g 100 g <sup>-1</sup> m.u.)	5,12 ± 0,20
Atividade de água (decimal)	0,29 ± 0,01
Higroscopicidade (g 100 g <sup>-1</sup> m.u.)	24,12 ± 0,60
Cinzas (g 100 g <sup>-1</sup> m.u.)	2,76 ± 0,25
Proteínas (g 100 g <sup>-1</sup> m.u.)	6,69 ± 0,18
Lipídeos (g 100 g <sup>-1</sup> m.u.)	6,60 ± 0,03
Carboidratos (g 100 g <sup>-1</sup> m.u.)	78,84 ± 0,43

Atividade de água ( $A_w$ ) é definida pela razão entre as pressões de vapor de água do alimento e da água pura em temperatura igual. Segundo Berk (2009) não há crescimento bacteriano se  $A_w < 0,9$ , o limite de bolores e leveduras está entre 0,8 e 0,9, e a maioria das reações enzimáticas ocorrem para  $A_w$  maior que 0,85.

Neste trabalho, a atividade de água para o suco em pó de polpa de yacon foi de 0,29 que é abaixo dos valores que permitem o crescimento microbiano e atividade enzimática, indicando assim, uma boa estabilidade do produto. Ng e Sulaiman (2018), encontraram valores de  $A_w$  entre 0,39 a 0,45, de pó de beterraba produzido em leito de espuma, enquanto Azizpour et al. (2016) encontraram valores entre 0,13 a 0,25 em pós de camarão secos em leito de espuma.

Higroscopicidade é a habilidade de um pó de absorver água de um ambiente de alta umidade relativa do ar e está relacionado com a estabilidade física, química e microbiológica. No caso de pó de frutas, glicose e frutose são os responsáveis pela forte interação com as moléculas de água devido aos terminais polares presentes nessas moléculas (OLIVEIRA; CLEMENTE; COSTA, 2012).

No presente estudo a higroscopicidade média para o pó de polpa de yacon foi 24,12 g 100 g<sup>-1</sup>. Valores de higroscopicidade acima de 20,0 g 100 g<sup>-1</sup> são considerados produtos altamente higroscópicos. Ng e Sulaiman (2018) encontraram valores semelhantes, sendo estes 16,3 a 23,37 g 100 g<sup>-1</sup>, ao avaliar a higroscopicidade do pó

de beterraba. Em ambos os trabalhos os altos valores podem ser explicados pelo alto teor de açúcares dos produtos.

Cinzas de um alimento é o resíduo inorgânico que permanece após a queima da matéria orgânica, em temperatura próxima a 550 e 570 °C, que é transformada em dióxido de carbono, água e óxido nítrico. Nem sempre o resíduo representa toda a substância inorgânica do alimento, pois pode haver perda por volatilização ou alguma interação entre os constituintes da amostra (CECCHI, 2009).

O teor de cinza encontrado para pó da polpa de yacon, Tabela 18, está abaixo do encontrado por Franco et al. (2016) que desenvolveu um pó solúvel de polpa de yacon também em leito de espuma e encontrou valores que variaram de 4,37 a 5,73 g 100 g<sup>-1</sup>. Essa variação pode ser explicada pelos diferentes locais e condições de cultivo do yacon utilizado em ambos os estudos, que podem influenciar no teor de cinzas desse alimento.

Os valores de pH e acidez (Tabela 18) estão próximos aos encontrados por Scher; Rios; Noreña (2009) ao avaliar fatias de yacon desidratadas (pH 6,0-6,38 e acidez 4,08-6,64%). O pH e a acidez em alimentos representam índices importantes para a avaliação da qualidade e grau de deterioração, uma vez que a atividade de microrganismos leva a produção de ácidos pelos caminhos metabólicos ou por reações químicas (GOMES; OLIVEIRA, 2011).

O teor de proteínas verificado no presente estudo (Tabela 18) está acima do encontrado por Rodrigues et al. (2011), que foi 2,7 g 100 g<sup>-1</sup>. Essa diferença pode ser explicada pelo uso do agente espumante de Whey Protein, enquanto Rodrigues et al. (2011) realizaram a secagem convencional sem adição de substâncias.

Franco et al. (2016) encontraram valores de lipídeos que variaram de 0,20 a 0,32 g 100 g<sup>-1</sup> para o pó de yacon, enquanto Rodrigues et al. (2011) encontraram 0,15 g 100 g<sup>-1</sup>, valores inferiores ao encontrado no presente estudo (Tabela 18). Isso pode ser explicado pela composição do agente espumante Emustab<sup>®</sup> que é composto, principalmente, por monoglicerídeos de ácidos graxos.

### **5.10. Composição de açúcares e frutooligossacarídeos para concentração ótima de agentes**

Na Tabela 19 é apresentado a composição dos açúcares e frutooligossacarídeos do pó de polpa de yacon pelo método cromatográfico.

Tabela 19 - Composição de açúcares e frutooligossacarídeos do pó otimizado

<b>Componentes</b>	<b>Concentração em %</b>
Frutose	4,82
Glicose	5,64
Sacarose	12,34
Frutoligossacarídeo	54,67

O valor de FOS encontrado (Tabela 19) está próximo aos mensurados por Lobo et al. (2007), que foi de 55,3% ao produzir farinha de yacon pelo método da liofilização e superior ao de Rodrigues et al. (2011) que encontraram teor de 25,7% de FOS em farinha de yacon obtida por secagem convencional.

Campos et al. (2012) verificaram que o conteúdo de FOS de diferentes cultivares de yacon variou muito (entre 6,4 a 65%). A variabilidade do conteúdo de FOS do yacon está relacionada com a atividade de enzimas que envolvem a síntese e hidrólise do FOS, como a sacarose 1-frutosil transferase (1-SST), frutano 1-frutosil transferase (1-FFT) e frutano 1-exohidrolase (1-FEH). Além disso, o período de cultivo e colheita, tempo de armazenamento e condições de estocagem também influenciam o teor de FOS (RODRIGUES et al., 2011).

Scheid (2013), verificou que uma dose diária de 7,4 g de FOS, diminuiu a concentração de glicose no sangue de homens e mulheres idosas. Genta et al. (2009) obteve uma melhora no estado de resistência à insulina, aumento da frequência de evacuações e da sensação de saciedade de mulheres obesas com dislipidemia leve ao administrar uma dose diária de 0,14 g de FOS/kg de peso. Geyer et al. (2008) verificaram que uma dose diária de 6,4 g de FOS é suficiente para aumentar o trânsito intestinal. Portanto, de acordo com a literatura citada, uma dose diária de 8,0 g de FOS que equivalem a 15,0 g do pó de polpa de yacon, pode ser suficiente para promover os benefícios à saúde consequentes do FOS.

### **5.11. Análise sensorial para concentração ótima de agentes**

Foi realizado uma nova análise sensorial para avaliar a aceitação do pó de polpa de yacon para a concentração ótima dos agentes espumantes, desta vez com 45 julgadores não treinados. O pó foi adicionado ao suco de laranja na concentração

de 2%, processo idêntico ao realizado na primeira análise. Na Figura 12 são apresentados os resultados.

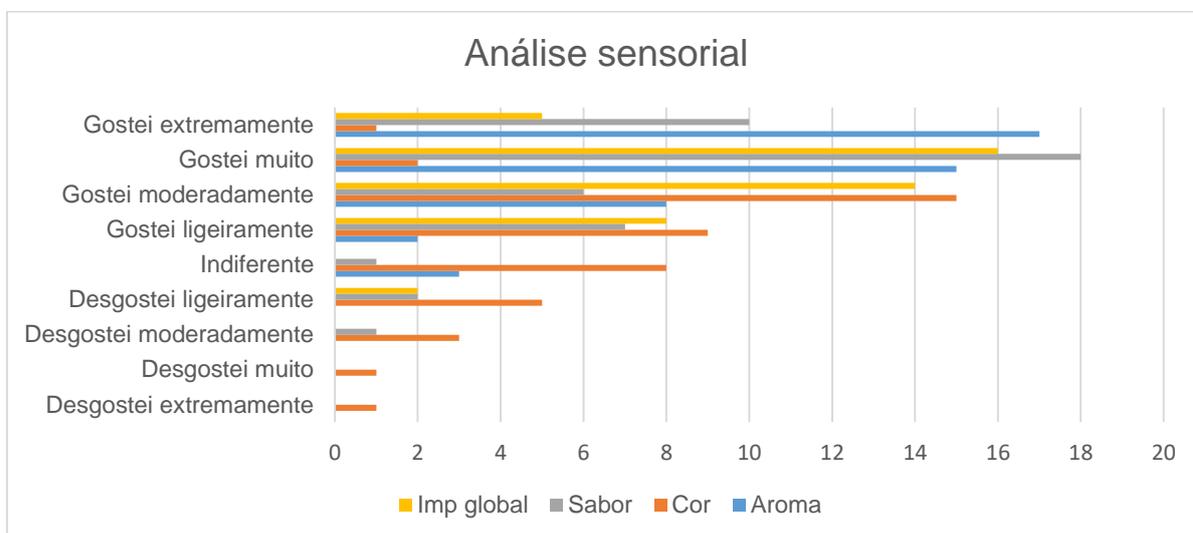


Figura 12: Frequência das notas obtidas na avaliação sensorial para aroma, sabor, cor e impressão global de suco de laranja com adição de pó de polpa de yacon.

Na Tabela 20 estão apresentados as médias dos escores para os atributos sensoriais aroma, sabor, cor e impressão global experimentais e intervalo com 95% confiança para seus valores estimados pelos modelos.

Tabela 20 - Médias dos escores para os atributos sensoriais aroma, sabor, cor e impressão global experimentais e intervalo com 95% confiança para seus valores estimados pelos modelos.

	Experimental	I.C.95%
Aroma	7,91	[3,28; 9,3]
Sabor	7,42	[2,51; 9,84]
Cor	5,69	[1,99; 8,77]
Impressão global	7,27	[3,01; 9,27]

As notas obtidas para todos os atributos sensoriais, aroma, sabor, cor e impressão global se encontram dentro do intervalo de confiança estimado pelos modelos. As médias hedônicas para os atributos aroma, sabor e impressão global se

encontram entre as notas “gostei moderadamente” e “gostei muito”, indicando uma boa aceitação do produto.

Para o atributo cor, a média obtida foi a menor quando comparada às de outros atributos o que é explicado pela alteração da cor do suco de laranja ao adicionar o pó de polpa de yacon, como discutido anteriormente.

## 6. CONCLUSÕES

Os efeitos dos agentes espumantes Emustab® e Whey Protein na produção da espuma de polpa de yacon foram significativos para o índice de coalescência, massa específica da espuma e tempo de secagem, molhabilidade, solubilidade, teor de água dos pós e aceitação sensorial (aroma, cor, sabor e impressão global) do pó reconstituído em suco de laranja. O modelo de Midilli foi o que propiciou o melhor ajuste para descrever as curvas de secagem da polpa de yacon em leito de espuma.

As características da espuma (índice de coalescência e densidade) e tempo de secagem foram influenciadas de forma positiva pela concentração do agente espumante Emustab®, ou seja, quanto maior a concentração de Emustab®, melhores foram os resultados obtidos. Porém ao avaliar a qualidade do pó, os melhores resultados de molhabilidade e solubilidade foram obtidos para as maiores concentrações do agente espumante Whey Protein.

A concentração ótima dos agentes espumante foram 4,62% de Emustab® e 0,48% de Whey Protein, para a secagem de polpa de yacon em secador convectivo empregando temperatura do ar secagem igual a 60 °C.

O pó obtido, ao utilizar as concentrações ótimas dos agentes espumantes, apresentou bons resultados para solubilidade e aceitação sensorial (sabor, aroma e impressão global) e o conteúdo de FOS no processamento do pó de polpa de yacon manteve-se alto.

## 7. REFERÊNCIAS

- AZIZPOUR, M.; MOHEBBI, M.; KHODAPARAST, M. H. H. Effects of foam-mat drying temperature on physico-chemical and microstructural properties of shrimp powder. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 34, p. 122–126, 2016.
- BAIOCO, F. F. **Obtenção e caracterização físico-química de derivados de yacon (*Smallanthus sonchifolius*)**. 2013. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre.
- BARAT, J. M.; GRAU, R. Drying: Principles and types. In CABALLERO, B.; FINGLAS, P. M.; TOLDRÁ, F. (Ed.) **Encyclopedia of Food and Health**. Oxford: Elsevier, 2016. p 456-461.
- BERK, Z. Food process engineering and technology. New York: Academic Press – Elsevier, 2009.
- BORGES, S. V. et al. Secagem de fatias de abóboras (*Cucurbita moschata*, L.) por convecção natural e forçada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 245–251, 2008.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Resolução RDC nº 216, de 15 de setembro de 2004. **Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Boas Práticas para Serviços de Alimentação**. Disponível em: [www.anvisa.gov.br](http://www.anvisa.gov.br). Acesso em: 25 de julho de 2016.
- BRUIJIN, J.; BÓRQUEZ, R. Quality retention in strawberries dried by emerging dehydration methods. **Food Research International**, v. 63, p. 42–48, 2014.
- CAETANO, B. F. R. et al. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) as a food supplement: Health-promoting benefits of fructooligosaccharides. **Nutrients**, v. 8, n. 7, 2016.
- CAMPOS, D. et al. Prebiotic effects of yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl), a source of fructooligosaccharides and phenolic compounds with antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 135, n. 3, p. 1592–1599, 2012.
- CARVALHO, T. I. M. 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, n. June, p. 32–42, 2017.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análises de alimentos**. 2ª ed. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2009.

CHEN, H. L. *et al.* Effects of fructooligosaccharide on bowel function and indicators of nutritional status in constipated elderly men. **Nutrition Research**, v. 20, n. 12, p. 1725–1733, 2000.

CROWLEY, S. V.; O'MAHONY, J. A. Drying: Effect on Nutrients, Composition and Health. In CABALLERO, B.; FINGLAS, P. M.; TOLDRÁ, F. (Ed.) **Encyclopedia of Food and Health**. Oxford: Elsevier, 2016. p 439-445.

CRUZ, C. W. F. **Obtenção de polpa de goiaba (*Psidium guajava* L.) em pó pelo método de secagem em camada de espuma**. 2013. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

DELGADO, G. T. C. *et al.* Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) derived fructooligosaccharides improves the immune parameters in the mouse. **Nutrition Research**, v. 32, n. 11, p. 884–892, 2012.

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several response variables. **Journal of Quality Technology**, v.12, p.214–219, 1980.

FACCIM, A. G. **Modelagem da cinética de secagem de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) LAM.) em leite de espuma e caracterização da farinha obtida**. 2016. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre.

FAZAEI, M. *et al.* Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and Bioprocess Processing**, v. 90, n. 4, p. 667–675, 2012.

FERNANDES, R. V. B.; BORGES, S. V.; BOTREL, D. A. Influência das condições operacionais da secagem por atomização nas propriedades de óleo de alecrim microencapsulado. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, v. 33, n. SUPPL. 1, p. 171–178, 2013.

FERNÁNDEZ, E. C. *et al.* Impact of yacon landraces cultivated in the Czech Republic and their ploidy on the short- and long-chain fructooligosaccharides content in tuberous roots. **LWT - Food Science and Technology**, v. 54, n. 1, p. 80–86, 2013.

FORNY, L.; MARABI, A.; PALZER, S. Wetting, disintegration and dissolution of agglomerated water soluble powders, **Powder Technology**, v. 206, n. 1–2, p. 72–78, 2011.

FRANCO, T. S. et al. Influence of the addition of ovalbumin and emulsifier on the physical properties and stability of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) juice foams prepared for foam mat drying process. **Food and Bioprocess Technology**, v. 8, n. 10, p. 2012–2026, 2015.

FRANCO, T. S. 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, 2016.

GARAU, M. C. et al. Drying of orange skin: Drying kinetics modelling and functional properties. **Journal of Food Engineering**, v. 75, n. 2, p. 288–295, 2006.

GENTA, S. B. et al. Subchronic 4-month oral toxicity study of dried *Smallanthus sonchifolius* (yacon) roots as a diet supplement in rats. **Food and Chemical Toxicology**, v. 43, n. 11, p. 1657–1665, 2005.

GENTA, S. B. et al. Yacon syrup: beneficial effects on obesity and insulin resistance in humans. **Clinical nutrition**, v. 28, n. 2, p. 182–7, 2009.

GEYER, M. et al. Effect of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) on colonic transit time in healthy volunteers. **Digestion**, v. 78, n. 1, p. 30–33, 2008.

GOMES, J. C.; OLIVEIRA, G. F. **Análises físico-químicas de alimentos**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2011.

GRAEFE, S. et al. Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes. **Field Crops Research**, v. 86, n. 2–3, p. 157–165, 2004.

GRANCIERI, M. et al. Yacon flour (*Smallanthus sonchifolius*) attenuates intestinal morbidity in rats with colon cancer. **Journal of Functional Foods**, v. 37, p. 666–675, 2017.

GRAU, A.; REA, J. Yacon. *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. In Andean roots and tuberous roots: Ahipa, Arracacha, Maca and Yacon. **Promoting the conservation and use of underutilized crops**, Vol. 174, p. 199-256. Rome: IPK, Gatersleben/IPGRI, 1997.

GUSSO, A. P.; MATTANNA, P.; RICHARDS, N. Yacon: benefícios à saúde e aplicações tecnológicas. **Ciência Rural**, v. 45, n. 5, p. 912–919, 2015.

GUTIÉRREZ, A. M. C. **Desidratação de polpa de manga em leito de espuma com e sem intermitência térmica**. 2015. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto.

HABIB, N. C. et al. Yacon roots (*Smallanthus sonchifolius*) improve oxidative stress in diabetic rats. **Pharmaceutical Biology**, v. 53, n. 8, p. 1183–1193, 2015.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. 1. ed. digital. São Paulo, SES - CCD –IAL, 2008, 1020 p.

KANDASAMY, P. et al. Preparation of Papaya Powder under Foam-Mat Drying Technique using Egg Albumin as Foaming Agent. **International Journal of Bio-resource and Stress Management** v. 3, n. 3, p. 324–331, 2012.

KARIM, A. A.; WAI, C. C. Characteristics of foam prepared from starfruit (*Averrhoa carambola L.*) puree by using methyl cellulose. **Food Hydrocolloids**, v. 13, n. 3, p. 203–210, 1999.

KOTOVICZ, V. **Otimização da desidratação osmótica e secagem do yacon (*Polymnia sonchifolia*)**. 2011. 89 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LACHMAN, J. et al. Saccharides of yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] tubers and rhizomes and factors affecting their content. **Plant, Soil and Environment**, v. 50, n. 9, p. 383–390, 2004.

LANNES, S. C. S.; MEDEIROS, M. L. Processamento de achocolatado de cupuaçu por spray-dryer. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 39, n. 1, p. 115–123, 2003.

LOBO, A. R. et al. Effects of fructans-containing yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp & Endl.) flour on caecum mucosal morphometry, calcium and magnesium balance, and bone calcium retention in growing rats. **British Journal of Nutrition**, v. 97, n. 4, p. 776–785, 2007.

LOBO, F. A. et al. Foam mat drying of Tommy Atkins mango: Effects of air temperature and concentrations of soy lecithin and carboxymethylcellulose on phenolic

composition, mangiferin, and antioxidant capacity. **Food Chemistry**, v. 221, p. 258–266, 2017.

MACIEL, K. S. **Otimização das condições do processo de secagem do extrato de café em leite de espuma e aplicação em mistura para cappuccino**. 2017. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciencia e Tecnologia dos Alimentos), Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre.

MANRIQUE, I.; PÁRRAGA, A.; HERMANN, M. Yacon syrup: Principles and processing. Series: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003). **International Potato Center**, Lima, Peru, 2005.

MORAIS, S. J. S. et al. Modelagem matemática das curvas de secagem e coeficiente de difusão de grãos de feijão-caupi (*vigna unguiculata* (L.) walp.), **Revista Ciencia Agronomica**, v. 44, n. 3, p. 455–463, 2013.

NG, M. L.; SULAIMAN, R. Development of beetroot (*Beta vulgaris*) powder using foam mat drying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 88, p. 80–86, 2018.

NITSCHKE, M.; UMBELINO, D. C. Frutooligossacarídeos: novos ingredientes funcionais. **Boletim SBCTA**, Campinas, v. 36, n. 1, p. 27-34, 2002.

OLIVEIRA, D. M.; CLEMENTE, E.; COSTA, J. M. C. Hygroscopic behavior and degree of caking of grugru palm (*Acrocomia aculeata*) powder. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 10, p. 2783–2789, 2012.

OLIVEIRA, G. O.; BRAGA, C. P.; FERNANDES, A. A. H. Improvement of biochemical parameters in type 1 diabetic rats after the roots aqueous extract of yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp.& Endl.)] treatment. **Food and Chemical Toxicology**, v. 59, p. 256–260, 2013.

OLIVEIRA, M. A.; NISHIMOTO, E. K. Avaliação do desenvolvimento de plantas de yacon (*Polymnia sonchifolia*) e caracterização dos carboidratos de reserva em HPLC. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 7, n. 2, p. 215-220, 2004.

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus* sp.) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 3, p. 288–292, 2001.

- PEREIRA, D. A. **Extração aquosa de própolis e secagem em leite de espuma para uso em alimentos**. 2008. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2008.
- PEREZ-CONESA, D.; LOPEZ, G.; ROS, G. Effect of probiotic, prebiotic and synbiotic follow-up infant formulas on iron bioavailability in rats. **Food Science and Technology International**, v. 13, n. 1, p. 69–77, 2007.
- PROSAPIO, V.; NORTON, I. Influence of osmotic dehydration pre-treatment on oven drying and freeze drying performance. **LWT - Food Science and Technology**, v. 80, p. 401–408, 2017.
- RAGHAVAN, G. S. V.; ORSAT, V. Recent advances in drying of biomaterials for superior quality bioproducts. **Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering**, v. 2, p. 20-29, 2007.
- RATTI, C.; KUDRA, T. Drying of foamed biological materials: Opportunities and challenges. **Drying Technology**, v. 24, n. 9, p. 1101–1108, 2006.
- REIS, R. C.; MINIM, V. P. R. Testes de aceitação. In: MINIM, V. P. R. (Ed.). **Análise sensorial: estudos com consumidores**. 3ª ed. atual. e ampl. Viçosa: Editora UFV, cap. 3, p. 65–81, 2013.
- ROBERFROID, M. B. Inulin-type fructans: functional food ingredients. **The Journal of Nutrition** n. 5, p. 2493–2502, 2007.
- RODRIGUES, F. C. et al. Farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): produção e caracterização química. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 70, n. 3, p. 3–8, 2011.
- ROLIM, P. M. et al. Principal component analysis of sliced bread formulated with yacon meal (*Smallanthus sonchifolius*(Poepp.) H. Rob.), **Revista Ceres**, v. 57, n. 1, p. 12–17, 2010.
- 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, 2014.
- SANTANA, I.; CARDOSO, M. H. Raiz tuberosa de Yacon (*Smallanthus sonchifolius*): potencialidades de cultivo, aspectos tecnológicos e nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 3, p. 898–905, 2008.

SCHEID, M. M. A. **Avaliação do efeito de consumo de yacon liofilizado por idosos**. 2013. 103 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

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

SEMINARIO, J.; VALDERRAMA, M. **El yacon: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio**. Lima, Peru: Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), 2003.

SHISHIR, M. R. I.; CHEN, W. Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. **Trends in Food Science and Technology**, v. 65, p. 49–67, 2017.

SILVA, A. S. S. **A raiz de Yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepping & Endlicher) como fonte de fibras alimentares, sua caracterização físico-química, uso na panificação e influência na glicemia pós-prandial**. 2007. 158 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SOARES, E. C. **Caracterização de aditivos para secagem de araçá-boi (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) em leite de espuma**. 2009. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga.

SOUICI, S. W.; FACHMANN, W.; KRAUT, H. **Food Composition and nutrition tables**. 6. Ed., Stuttgart: Medpharm, 2000.

TEIXEIRA, L. V. Análise sensorial na indústria de alimentos. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 64, n. 366, p. 12–21, 2009.

TEÓFILO, R. F.; FERREIRA, M. M. C. Quimiometria II: Planilhas eletrônicas para cálculos de planejamentos experimentais, um tutorial. **Química Nova**, v. 29, n. 2, p. 338–350, 2006.

VALENTOVÁ, K.; ULRICHOVÁ, J. *Smallanthus sonchifolius* and *Lepidium meyenii* – Prospective andean crops for the prevention of chronic diseases. **Biomedical Papers**, v. 147, n. 2, p. 119–130, 2003.

VASCONCELOS, C. M. et al. Determination of the soluble dietary fiber fraction in yacon (*Smallanthus sonchifolius*) root and flour by enzymatic-gravimetric method and high pressure liquid chromatography, **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 69, n. 2, p. 188–193, 2010.

VAZ-TOSTES, M. G. et al. Yacon effects in immune response and nutritional status of iron and zinc in preschool children. **Nutrition**, v. 30, n. 6, p. 666–72, 2014.

VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O.. Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 387–394, 2008.

WILSON, R. A. et al. Evaluation of physical and chemical properties of foam-mat dried mango (*Mangifera Indica*) powder during storage. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 38, n. 4, p. 1866–1874, 2014.