



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

ANDRESSA GARBELOTTO FACCIM

MODELAGEM DA CINÉTICA DE SECAGEM DE BATATA-DOCE (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) EM LEITO DE ESPUMA E CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA OBTIDA

ALEGRE - ES
MARÇO- 2016

ANDRESSA GARBELOTTO FACCIM

MODELAGEM DA CINÉTICA DE SECAGEM DE BATATA-DOCE (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) EM LEITO DE ESPUMA E CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA OBTIDA

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

Orientador: Prof. DSc. Luís César da Silva
Coorientador: Prof. DSc. Luciano José Quintão Teixeira

ALEGRE - ES
MARÇO– 2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)

(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

F137m Faccim, Andressa Garbelotto, 1990-
Modelagem da cinética de secagem de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) em leite de espuma e caracterização da farinha obtida / Andressa Garbelotto Faccim. – 2016.
72 f. : il.

Orientador: Luís César da Silva.

Coorientador: Luciano José Quintão Teixeira.

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

1. Secagem em leite de espuma. 2. Batata-doce. 3. Farinhas. I. Silva, Luís César da. II. Teixeira, Luciano José Quintão. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU: 664

ANDRESSA GARBELOTTO FACCIM

**“ MODELAGEM DA CINÉTICA DE SECAGEM DE BATATA-DOCE
(Ipomoea batatas L. (Lam.)) EM LEITO DE ESPUMA E
CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA OBTIDA ”**

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

Aprovada em 17 de março de 2016.

COMISSÃO EXAMINADORA



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



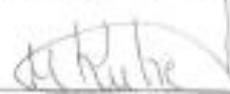
Prof. Dr. Luciano José Quintão Teixeira
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Coorientador



Prof. Dr. Sérgio Henrique Saraiva
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Examinador Interno



Prof. Dr. Antonio Manoel Maradini Filho
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Examinador Externo



Profª. Drª. Maria Isabel Suhet
Instituto Federal do Espírito Santo - IFES
Examinadora Externa

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade de realizar este sonho e por estar sempre guiando o meu caminho.

Ao professor Luís Cesar da Silva pela orientação, apoio, confiança e oportunidade concedida.

Aos professores Sérgio Henriques Saraiva e Luciano José Quintão Teixeira pelas valiosíssimas colaborações, auxílios e orientações. Aos professores Maria Isabel Suhet e Antonio Manoel Maradini Filho por todas as contribuições que enriqueceram o trabalho. A todos os professores do CCA-UFES que contribuíram para a realização deste experimento.

Agradeço à minha família por todo amor, ensinamento e cuidado ao longo da vida.

Agradeço ao meu namorado Herbert Soares por todo amor, carinho, paciência e força ao longo desses anos.

Agradeço à pós-doutoranda Dr^a. Priscila Brigide por toda ajuda durante a realização do experimento.

Agradeço aos colegas do PCTA pela ajuda e pelos momentos de alegria durante esses dois anos de convívio.

Agradeço aos técnicos dos laboratórios Amanda de Souza, Natália Fagundes e Eduardo Fornazier, pelo auxílio, disponibilidade e paciência.

Agradeço a CAPES pelo auxílio financeiro.

A todos que de um modo geral, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição centesimal da matéria fresca de batata-doce.....	16
Tabela 2 - Composição química de 100 gramas de raiz de batata-doce crua.	16
Tabela 3 - Modelos de secagem em camada fina.....	22
Tabela 4- Concentração dos agentes espumantes utilizados para obtenção da espuma, segundo o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR).	28
Tabela 5 - Parâmetros utilizados para o cálculo da função desejabilidade individual para cada variável resposta.	30
Tabela 6 - Análises físico-químicas e tecnológicas realizadas nas farinhas de batata-doce <i>in natura</i> e cozida.	35
Tabela 7 - Modelos ajustados para as diferentes variáveis respostas e forma de ajuste.....	37
Tabela 8 - Caracterização da espuma para batata-doce <i>in natura</i> e cozida. ...	39
Tabela 9 - Parâmetros estimados, coeficiente de determinação ajustado e erro padrão da regressão para os modelos de Page, Lewis e de Henderson e Pabis (H&P) em diferentes temperaturas do ar de secagem para batata-doce <i>in natura</i> e cozida.....	41
Tabela 10 - Tempo de secagem estimado pela Equação 11 para diferentes temperaturas de secagem para batata-doce <i>in natura</i> e cozida.....	48
Tabela 11 - Parâmetros ajustados para o modelo generalizado, Equação 13, para batata-doce <i>in natura</i> e cozida.	51
Tabela 12 - Modelos ajustados para avaliar o efeito da temperatura do ar (T_s) sobre o teor de água (U) das farinhas de batata-doce <i>in natura</i> e cozida.....	54
Tabela 13 - Teor de cinzas das farinhas de batata-doce <i>in natura</i> e cozida	56
Tabela 14 - Médias do pH das farinhas de batata-doce <i>in natura</i> e cozida.....	56
Tabela 15 - Médias de acidez das farinhas de batata-doce <i>in natura</i> e cozida.	57
Tabela 16 - Médias do teor de proteínas das farinhas de batata-doce <i>in natura</i> e cozida.....	58
Tabela 17 - Médias do teor de lipídeos, carboidratos e fibras das farinhas de batata-doce <i>in natura</i> e cozida.	59
Tabela 18 - Média do índice de solubilidade em água (ISA) das farinhas de batata-doce <i>in natura</i> e cozida.	60
Tabela 19 - Médias do índice de absorção de água - IAA (g de gel/ g de farinha) - nas diferentes temperaturas do ar de secagem.	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curvas típicas de secagem.....	21
Figura 2 - Fluxograma do processamento para preparo da polpa de batata-doce..	27
Figura 3 - Espuma formada pelo processo de bateção e disposta em bandeja.	32
Figura 4 - Superfície de resposta para as variáveis codificadas x_1 (Albumina) e x_2 (<i>Emustab</i> [®]), tomando os parâmetros (a) massa específica, (b) razão de volume coalescido, (c) custo e (d) função desejabilidade global.....	40
Figura 5 - Curvas de secagem em leito de espuma da batata-doce <i>in natura</i> para as temperaturas do ar de secagem. A: 40 °C; B: 50 °C; C: 55 °C; D: 60 °C; E: 70 °C.....	43
Figura 6 - Curvas de secagem em leito de espuma da batata-doce cozida para as temperaturas do ar de secagem. A: 40 °C; B: 50 °C; C: 55 °C; D: 60 °C; E: 70 °C.	44
Figura 7 - Curvas de secagem em leito de espuma da batata-doce <i>in natura</i> em diferentes temperaturas do ar de secagem.....	45
Figura 8 - Curvas de secagem em leito de espuma da batata-doce cozida em diferentes temperaturas do ar de secagem.....	46
Figura 9 - Valores preditos pelo modelo generalizado versus valores experimentais para razão de umidade (a) batata-doce <i>in natura</i> , (b) batata-doce cozida.....	52
Figura 10 - Farinha de batata-doce ao utilizar as temperaturas do ar de secagem de 40 (1); 50 (2); 55 (3); 60 (4); 70 °C (5), respectivamente.....	53
Figura 11 - Variação do teor de água das farinhas de batata-doce obtidas pelo processo de secagem em leito de espuma em função da temperatura do ar de secagem.....	55

SUMÁRIO

RESUMO.....	10
ABSTRACT	11
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1. Origem e taxonomia da batata-doce	14
2.2. Importância socioeconômica da batata-doce	14
2.3 Composição da batata-doce	15
2.4 Utilização comercial e tecnológica de processamento da batata-doce ...	18
2.5 Secagem.....	19
2.6 Curvas de secagem	20
2.7 Secagem em leite de espuma.....	23
3. MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1 Local	26
3.2 Preparo das polpas	26
3.3 Produção da espuma	27
3.3.1 Caracterização da espuma e determinação da melhor concentração	28
3.4 Secagem.....	31
3.5 Curva de Secagem	32
3.5.1 Avaliação do efeito da temperatura do ar de secagem sobre a cinética de secagem em leite de espuma da batata-doce <i>in natura</i> e cozida	32
3.5.2 Ajuste de um modelo generalizado para descrição do processo de secagem	34
3.6 Análises físico-químicas e tecnológicas.....	34
3.7 Procedimentos estatísticos	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37

4.1 Caracterização da espuma e determinação da melhor concentração dos emulsificantes	37
4.2 Avaliação do efeito da temperatura do ar de secagem sobre a cinética de secagem em leite de espuma da batata-doce <i>in natura</i> e cozida	40
4.3 Avaliação do efeito da temperatura e do tempo de secagem sobre o teor de umidade da batata-doce <i>in natura</i> e cozida	50
4.4 Caracterização das farinhas de batata-doce <i>in natura</i> e cozida	53
4.4.1 Caracterização físico-química das farinhas de batata-doce	54
4.4.1.1 Teor de água	54
4.4.1.2 Cinzas.....	56
4.4.1.3 pH e acidez.....	56
4.4.1.4 Proteínas	58
4.4.1.5 Lipídeos, carboidratos e fibras.....	59
4.4.2 Análises tecnológicas	60
4.4.2.1 Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)	60
5. CONCLUSÕES	63
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

RESUMO

A batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) é uma hortaliça produzida mundialmente e conhecida como fonte de energia em razão do alto teor de carboidratos. Devido à composição e facilidade de cultivo, a batata-doce apresenta potencial de emprego como matéria-prima na fabricação de produtos alimentícios. Desse modo, pesquisas têm sido desenvolvidas para proposição de tecnologias de produção de derivados, como farinha a partir da secagem. Dessa forma, para o presente estudo foi definido como objetivo a proposição de metodologia tecnológica para produção de farinha a partir de batata-doce *in natura* e cozida, empregando a secagem em leito de espuma. Amostras de batata-doce *in natura* e cozida foram trituradas, misturadas aos agentes espumantes *Emustab*® e albumina em pó para a obtenção da espuma, que foi disposta em bandejas para secagem em secador tipo cabine. As temperaturas do ar de secagem foram 40, 50, 55, 60 e 70 °C e as concentrações dos emulsificantes utilizadas foram de 1,46% de albumina e 8,54% de *Emustab*®, definidas segundo função desejabilidade proposta. Dentre os modelos matemáticos empregados para descrever as curvas de secagem, o de Page foi que apresentou melhor ajuste para todas as temperaturas do ar de secagem avaliadas. Para as formas de produção de farinha avaliadas, recomenda-se a que empregou a batata-doce cozida como matéria prima, em razão das menores alterações das propriedades físico-químicas, como pH, acidez, proteína e índice de solubilidade em água. E dentre as temperaturas do ar de secagem testadas recomenda-se a de 70 °C devido ao menor tempo para execução da operação.

Palavras-chave: secagem em leito de espuma, batata-doce, farinha.

ABSTRACT

The sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) is a vegetable world produced and known with a source of energy due to the high carbohydrate content. In reason of the composition, and easy of cultivation, the sweet potato has potential for use as raw material in the manufacture food products. Then, research has been developed to propose technologies for production of derivatives, such as flour from dry process. Thus, for the present study, it was defined as aimed to propose a technological methodology for obtaining flour from sweet potato raw and cooked, using the drying foam bed. Samples of sweet potato raw and cooked were crushed, mixed with the foaming agents *Emustab*[®] and powdered albumin to obtain foam, which was arranged in trays for drying in a dehydrator tray. The drying air temperature were 40, 50, 55, 60 and 70 °C, and the concentrations of emulsifiers were 1.46% of the powdered albumin and 8.54% of the *Emustab*[®], according the desirability function adopted. Among the mathematical models used to describe the drying curves, the Page was presented the best fit for all evaluated drying air temperatures. For the methods of preparation used, the most applicable for the production of flour is cooked sweet potato, in reason of the minor alterations of properties physicochemical properties such as pH, acidity, protein and water solubility index. And among the tested drying air temperatures is recommended to 70 ° C due to less time for the operation.

Keywords: drying foam bed, sweet potato, flour.

1. INTRODUÇÃO

A batata-doce, *Ipomoea batatas* (L.) Lam., pertence à família Convolvulaceae, que agrupa mais de mil espécies. No entanto, apenas a batata-doce apresenta valor comercial (EMBRAPA, 2008).

No Brasil, a batata-doce é cultivada em todas as regiões, com destaque para as Regiões Sul e Nordeste, particularmente, nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Pernambuco e Paraíba (CEREDA, 2002). O cultivo da batata-doce dá-se, principalmente, por meio de pequenos agricultores, e apresenta-se como alimento base para populações de baixa renda (MOULIN, 2010).

Segundo Falade et al. (2011) a batata-doce possui elevado potencial de produção em razão da tolerância à seca, curto ciclo vegetativo e alto rendimento, produzindo a maior quantidade de energia comestível por hectare por dia, quando comparado a culturas como milho, arroz, sorgo e banana.

A batata-doce é excelente fonte de energia, em razão do alto teor de carboidrato, 85-90% da matéria seca. Esse nutriente apresenta-se fracionado em amido (58-76%), açúcares (sacarose, glicose, frutose, maltose), e pequenas quantidades de pectina, hemicelulose e celulose. Além disso, a batata-doce possui altas concentrações de vitamina C, β -caroteno, magnésio, potássio, fósforo, enxofre e cálcio (EMBRAPA, 1995; CORDEIRO et. al., 2013).

As raízes da batata-doce possuem níveis elevados de polifenóis, destacando antocianinas e ácidos fenólicos, que possuem propriedades antioxidantes e antimutagênicas. A batata-doce é um alimento que possui propriedades medicinais inquestionáveis, sendo que o consumo regular trata-se de uma forma eficaz e econômica para a prevenção e tratamento de diversas doenças, como a cegueira e a mortalidade infantil, além de possuir propriedades anti-carcinogênicas, anti-inflamatórias e anti-alérgicas (FIGUEIREDO, 2010; MAHAN, ESCOTT-STUMP, 2010).

As raízes de batata-doce são consumidas cozidas ou assadas, ou na forma de derivados, como farinha, macarrão, amido, alimentos de panificação e confeitaria, salgadinhos, xarope de amido, corante e álcool. Além desses derivados, também é empregada na fabricação de cerveja (LEBOT et.al., 2011; ABEGUNDE et.al., 2013).

Notadamente, o consumo da batata-doce dá-se na forma tradicional, cozida ou assada, no entanto, pesquisas recentes têm sido conduzidas visando à proposição de tecnologias para produção de derivados (SEBIO, 1996; IWE et. al., 2001).

Uma dessas tecnologias é o emprego da secagem, que proporciona minimização da perda de nutrientes e aumento do tempo de armazenamento, em razão da redução da atividade de água do alimento, conseqüentemente, reduzindo a ação de microrganismos (JING et. al., 2010; SINGH, PANDEY, 2012).

Dentre as modalidades de secagem, emprega-se a em leito de espuma para a obtenção de material particulado na forma de pó ou farinha. Na secagem em leito de espuma, o alimento líquido ou pastoso é transformado em espuma estável por meio de bateção ou com adição de agente espumante. A espuma é espalhada sobre uma superfície para secagem, obtendo-se um produto poroso e quebradiço que é facilmente transformado em pó (SOUZA, 2011).

A secagem em leito de espuma caracteriza-se por empregar menores temperaturas do ar de secagem e propiciar menor tempo de execução, quando da remoção de água de alimentos líquidos ou pastosos (PEREIRA, 2008). O produto poroso obtido, geralmente, é de fácil reidratação e de boa qualidade, sendo indicado para elaboração de alimentos sensíveis ao calor, viscosos e com alto teor de açúcar, e oferece grandes possibilidades comerciais (SOUZA, 2011).

Os dados obtidos de teor de água do produto durante a secagem possibilitam elaborar curvas de secagem, que podem ser descritas por modelos matemáticos como os propostos por Page, Henderson e Pabis, Newton e Segunda Lei de Fick (BIAZUS et al., 2006).

Desse modo, considerando as potencialidades do emprego da secagem em leito de espuma, este trabalho teve por objetivo avaliar processos tecnológicos de obtenção de farinha empregando a secagem em leito de espuma ao utilizar batata-doce *in natura* e cozida. A partir dos estudos, foram elaboradas curvas de secagem e proposto modelos matemáticos para descrevê-las, utilizando os modelos de Lewis, Page, Henderson e Pabis, procedendo-se assim, a análises físico-químicas das farinhas obtidas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Origem e taxonomia da batata-doce

A batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) pertence à família botânica Convolvulaceae, que possui aproximadamente, cinquenta gêneros e mais de mil espécies. Dentre as espécies destaca-se a *Ipomoea batatas* L. em razão das importâncias agrícola, econômica e alimentar (EMBRAPA, 2008; FALADE et al., 2011).

Quanto à origem da espécie, evidências apontam a região situada entre a Península de Yucatan no México e a foz do rio Irinoco na Venezuela (SRISUWAN et al., 2006).

A *Ipomoea batatas* é uma planta herbácea com caule rasteiro, que atinge três metros de comprimento, e as folhas possuem pecíolo longo. A planta é perene, portanto, pode ser cultivada o ano todo (FIGUEIRA, 2000).

A batata-doce possui dois tipos de raízes: absorventes e de reserva, também denominada de tuberosa. As raízes absorventes, responsáveis pela absorção de água e nutrientes do solo, tem origem a partir do meristema cambial, tanto nos nós, quanto nos entrenós, sendo abundantes e altamente ramificadas, o que favorece a absorção de nutrientes (EMBRAPA, 2008).

Quanto às raízes de reserva, estas constituem a principal parte de interesse comercial, se formam desde o início do desenvolvimento da planta, sendo facilmente identificadas pela maior espessura, pouca presença de raízes secundárias e por se originarem dos nós (EMBRAPA, 2008).

Segundo Amajor et al. (2011) as variedades de batata-doce diferem entre si, principalmente, pela (i) cor da casca branca, creme, castanho, amarelo, vermelho e roxo, (ii) cor da polpa branca, creme, amarelo, laranja, vermelho e roxo, (iii) tamanho e (iv) formato.

2.2. Importância socioeconômica da batata-doce

A batata-doce é a sexta hortaliça mais cultivada no Brasil, e possui importância econômico-social resultante da rusticidade, facilidade de cultivo, boa resistência contra a seca e ampla adaptação. Apresenta custo de produção

relativamente baixo, com investimentos mínimos, e de retorno elevado (EMBRAPA, 2008; SILVA et al., 2012).

A batata-doce é cultivada em cento e onze países, sendo que, aproximadamente 90% da produção é obtida na Ásia, 5% na África e 5% no restante do mundo. Desses montantes, apenas 2% são cultivadas em países industrializados como os Estados Unidos e Japão. A China, maior produtora de batata-doce, alcança anualmente uma produção próxima de 75,5 mil toneladas (FAO, 2011).

Quanto ao Brasil, segundo dados do IBGE (2012), a área plantada de batata-doce em 2011 foi de 40,12 mil hectares com a produção média de 479 mil toneladas, sendo que a maior produção ocorreu na região Sul, com produção média de 229 mil toneladas, seguida da região Nordeste com 139 mil toneladas.

Por constituir um alimento humano de alto valor nutricional, principalmente, como fonte de energia e de proteínas, a batata-doce tem grande importância na alimentação animal e na produção industrial de farinha, amido e álcool (CARDOSO et al., 2005; QUEIROGA, 2007).

Comparada a culturas como arroz, banana, milho e sorgo, a batata-doce é mais eficiente em quantidade de energia líquida produzida por unidade de área e por unidade de tempo. Isso ocorre devido a produção da grande quantidade de raízes em um ciclo relativamente curto, a um menor custo, durante o ano inteiro. Em termos quantitativos, a cultura ocupa o sétimo lugar, mas universalmente é uma cultura de baixo custo, pois é a décima quinta em valor de produção (EMBRAPA, 2008).

2.3 Composição da batata-doce

A batata-doce apresenta composição variada (Tabelas 1 e 2), em função da cultivar, condições climáticas durante o cultivo, traços culturais, época de colheita, condições e duração do armazenamento (EMBRAPA, 1995; QUEIROGA, 2007).

Tabela 1 - Composição centesimal da matéria fresca de batata-doce.

Componente	Quantidade
Teor de água	70%
Carboidratos totais	26,1 g
Proteínas	1,5 g
Lipídeos	0,3 g
Cálcio	32 mg
Fósforo	39 mg
Ferro	0,7 mg
Fibras digeríveis	3,9 g
Energia	111 kcal (466,2 kJ)

Fonte: Woolfe, 1992.

Tabela 2 - Composição química de 100 gramas de raiz de batata-doce crua.

Componente	Quantidade
Água	72,8%
Fibras digeríveis	1,1 g
Potássio	295 mg
Sódio	43 mg
Magnésio	10 mg
Manganês	0,35 mg
Zinco	0,28 mg
Cobre	0,2 mg
Vitamina A - Retinol	300 mg
Vitamina B - Tiamina	96 mg
Vitamina B2 - Riboflavina	55 mg
Vitamina C - Ácido ascórbico	30 mg
Vitamina B5 - Niacina	0,5 mg

Fonte: Luengo et al., 2000.

Em razão do alto teor de água, a batata-doce é susceptível a deterioração microbiana, mesmo sob condições de refrigeração (DOYMAZ, 2011). Os teores de água encontrados em batata-doce foram de 67,73% (LEONEL, CEREDA, 2002), 69,5% (TACO, 2011) e 72,8% (LUENGO et al., 2000).

A fração de carboidratos da batata-doce, 75 a 90%, refere-se a amido, açúcares, celulose, pectina e hemicelulose. O açúcar mais abundante é a sacarose e em menores proporções encontra-se a glicose e frutose (FONTES et al., 2012). Foram encontrados valores de carboidrato em batata-doce de 20

gramas (LEONEL, CEREDA, 2002); 26,1 gramas (WOOLFE, 1992) e 28,2 gramas (TACO, 2011).

O amido é a principal fonte de carboidrato da batata-doce, 16 à 24% e estruturalmente apresenta grânulos grandes e maior comprimento da cadeia de amilose e amilopectina, apresentando formato redondo, oval e poligonal com tamanho variando de 2 à 42 μm . Além disso, o amido possui excelentes propriedades adesivas, com capacidade de formação de gel e alta elasticidade (FONTES et al., 2012; PRAMODRAO, RIAR, 2014).

A batata-doce apresenta baixo teor de lipídeos em sua composição. As quantidades de lipídeos encontrados na batata-doce foram de 0,4 a 0,7 gramas (JANGCHUD et al., 2003); 0,35 gramas (LEONEL, CEREDA, 2002) e 0,1 gramas (TACO, 2011).

Segundo JANGCHUD et al. (2003) o conteúdo protéico na batata-doce geralmente varia entre 1,9 e 2,6 gramas. Foram encontrados ainda valores entre 1,2 a 10 gramas (GRABOWSKI et al., 2007); 1,73 a 9,14 gramas (WALTER, CATIGNANI, 1981); 2,95 a 7,19 gramas (RAVINDRAN et al., 1995); 1,3 gramas (TACO, 2011) e 1,33 gramas (LEONEL, CEREDA, 2002).

As cinzas na batata-doce apresentam valores entre 2,34 e 4,19 gramas (RAVINDRAN et al., 1995); 1,33 gramas (LEONEL, CEREDA, 2002) e 0,9 gramas (TACO, 2011).

JANGCHUD et al. (2003) encontrou teores de fibra bruta na batata-doce variando entre 0,2 a 6,5 gramas. Foram ainda obtidos valores de fibra bruta entre 1,89 e 3,48 gramas (RAVINDRAN et al., 1995); 1,39 gramas (LEONEL, CEREDA, 2002) e 2,6 gramas (TACO, 2011).

A batata-doce é uma excelente fonte de fitoquímicos, como β -caroteno, polifenóis, ácido ascórbico e outros compostos anti-oxidantes, tais como fenólicos, flavonóides e antocianinas (AHMED et al., 2010; LIAO et al., 2011; DOYMAZ, 2012).

Segundo Iwe et al. (2001), o conteúdo de aminoácido em farinha de batata-doce, apresenta valores elevados de ácido glutâmico, seguido de ácido aspártico, leucina e outros (prolina, arginina, lisina, valina).

Os componentes da batata-doce chamam a atenção por exibirem atividades antioxidantes (TEOW et al., 2007; RUMBAOA et al., 2009; WANG et al., 2013), anticancerígenas (HAGIWARA et al., 2002), antimutagênica

(YOSHIMOTO et al., 1999) e hipoglicemiantes (KUSANO et al., 2001; LUDVIK et al., 2008).

2.4 Utilização comercial e tecnológica de processamento da batata-doce

As ramas e as raízes tuberosas da batata-doce são utilizadas na alimentação humana e animal e nas indústrias de alimentos, tecido, papel, cosmético, preparação de adesivos e álcool (CARDOSO et al., 2005).

O consumo humano ocorre em diversas formas, sendo que, os mais tradicionais são nas formas cozida ou assada, com ou sem temperos, substituindo o pão e outros alimentos, principalmente no café da manhã. Em razão da composição nutricional e o potencial de produção, a batata-doce passou a ser empregada como matéria-prima para produção de derivados, com valores agregados e visando atender as necessidades do consumidor final (CARDOSO et al., 2007; SILVA, 2010). Os valores agregados referem à facilidade de preparo para consumo, aumento de vida de prateleira e o atendimento de demandas nutricionais específicas como o caso de atletas.

Segundo Vieira e Moraes (1992), o aumento do interesse pela batata-doce despertou as necessidades de armazenagem visando minimizar perdas qualitativas e quantitativas, e de processamento, resultando em derivados, como chips, doces, féculas e batata-doce em grânulo, flocos, congelada ou desidratada. Além desses derivados, há outros, como biscoitos, bolachas, bolos, macarrão, salgados, produção de álcool pelos setores de cerveja e ainda a utilização do amido da batata-doce como ingrediente na elaboração de molho de macarrão, lanches, sopas, produtos de confeitaria e pães (GUO et al., 2014).

A farinha resultante do processamento da batata-doce tem por características a estabilidade, versatilidade de usos, menor volume para armazenagem e maior vida de prateleira. Essa farinha pode ser utilizada como um agente espessante em sopas, molhos, aperitivos fabricados e produtos panificados. Pode também, ser empregada em substituição a farinhas de cereais, especialmente, para celíacos. Além disso, a farinha de batata-doce agrega cor, sabor e doçura natural aos produtos alimentares (YADAV et al., 2007; AHMED et al., 2010).

Segundo Dominique et al. (2013), a batata-doce é cada vez mais utilizada na indústria alimentícia para a produção de xarope de glicose e frutose, de uso à mesa, panificação, culinária ou para a mistura com outros xaropes para evitar a cristalização.

A batata-doce tem sido considerada um substrato promissor para a produção de álcool, pois apresenta produtividade elevada por área cultivada, quando comparada ao potencial de alguns grãos (FERRARI et al., 2013).

2.5 Secagem

A secagem é um dos tratamentos mais antigos e importantes aplicados à conservação de alimentos. Ao aplicar esse tratamento reduz-se a atividade de água dos alimentos, pela remoção do excesso de água do produto, ao empregar calor sob condições controladas (CANO-CHAUCA et al., 2004). A redução da atividade de água nos alimentos inibe a proliferação microbiana e atividades enzimáticas associadas à auto-deterioração. Desse modo, ocorre o aumento da vida de prateleira dos alimentos.

Com a secagem é reduzida a massa e o volume do alimento, implicando em menores custos de transporte e armazenamento. Para alguns tipos de alimento, a secagem oferece um produto conveniente ao consumidor e um ingrediente de fácil manuseio aos processadores (FELLOWS, 2006; HATAMIPOUR et al., 2007; ZHU, JIANG, 2014).

Segundo Almeida et al. (2002), ao se aplicar o tratamento de secagem deve ser considerado: (i) a diferenciação dos produtos quanto a forma, estrutura, dimensões, (ii) as propriedades psicrométricas do ar de secagem, e (iii) a forma de contato entre ar de secagem e produto, o que está associado ao tipo de secador empregado.

Para os secadores que utilizam o ar nos processos de transporte e de troca de calor e massa, simultaneamente ocorrem: (i) transporte de calor da fonte de energia térmica até o leito de produto a ser seco, (ii) aumento da temperatura do produto devido o aumento do aporte de calor, (iii) aumento da pressão de vapor na superfície do produto em razão da evaporação da água e o translocamento do vapor, (iv) troca de massa de vapor de água entre o produto e o ar, devido a maior pressão de vapor de água na superfície do

produto, (v) transporte de vapor de água para fora do ambiente de secagem (ALMEIDA et al. 2002). Segundo Ribeiro et al. (2005), esse processo pode levar a substanciais alterações na qualidade e nas propriedades físicas do produto.

O processo de secagem visa preparar o produto para o armazenamento, e caso seja mal conduzido, ocorrerá perda da qualidade comercial do produto e aceleração do processo de deterioração (SOUSA et al., 2006).

2.6 Curvas de secagem

O estudo da cinética de secagem objetiva o conhecimento do comportamento do material ao longo do processo e a predição do tempo de secagem, que pode se dar a partir da elaboração de curvas de secagem, e, ou proposição de modelos matemáticos (CARVALHO, 2014).

Segundo Vilela e Artur (2008), as curvas de secagem são de fundamental importância para o desenvolvimento de processos e dimensionamento de equipamentos. Ao determinar o tempo de secagem de certa quantidade de produto, estimam-se gastos energéticos, que refletirá no custo de processamento e, por sua vez, influenciará no preço final do produto. No dimensionamento de equipamento pode-se determinar as condições de operação para secagem e, com isto, a seleção de trocadores de calor, ventiladores e outros. Dessa forma, as curvas de secagem possibilitam a padronização do processo, tendo como consequência, uma produção economicamente viável. Além disso, os modelos matemáticos que descrevem as curvas de secagem podem ser utilizados para simulação do processo de secagem.

A evolução das transferências simultâneas de calor e de massa no decorrer da operação de secagem faz com que esta seja dividida esquematicamente em três períodos, como destacado na Figura 1.

O primeiro período representa o início da secagem, em que ocorre elevação gradual da temperatura do produto e da pressão de vapor de água. Essas elevações prosseguem até o ponto em que a transferência de calor seja equivalente à transferência de massa (água). O segundo período caracteriza-se pela taxa constante de secagem. A água evaporada é a água livre. A

transferência de massa e de calor é equivalente e, portanto, a taxa de secagem é constante. No terceiro período, a taxa de secagem é decrescente. A quantidade de água presente na superfície do produto é menor, reduzindo-se, portanto, a transferência de massa. A transferência de calor não é compensada pela transferência de massa; o fator limitante nessa fase é a redução da migração de umidade do interior para a superfície do produto. A temperatura do produto aumenta com tendência a atingir a temperatura do ar de secagem. No decorrer do processo de secagem, ao ser observado a não ocorrência de troca de massa, tem-se para esta situação o ponto de umidade de equilíbrio, sendo o processo de secagem encerrado (PARK et al., 2001).

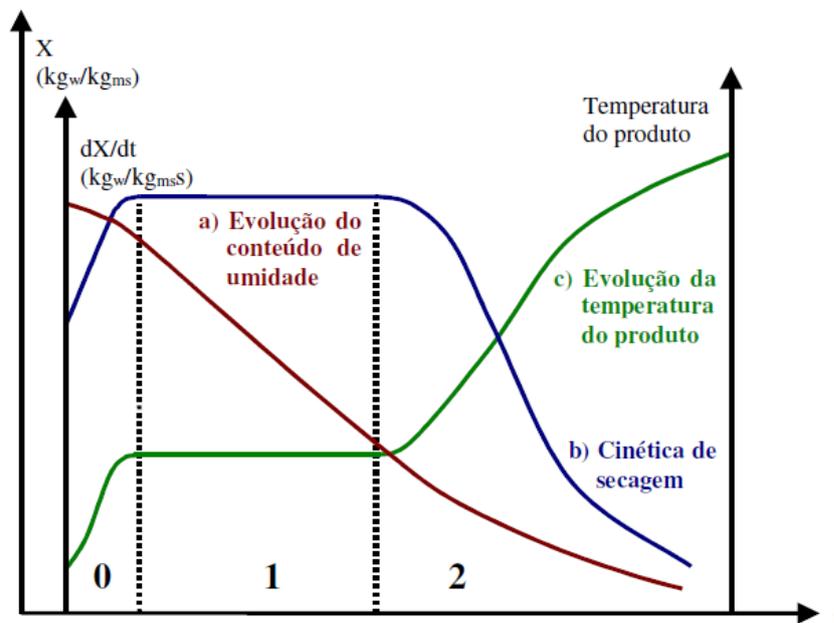


Figura 1 - Curvas típicas de secagem.

Fonte: PARK et al., 2001.

Existem várias teorias para descrever o movimento da água durante a secagem no período de taxa decrescente. Duas delas são: teoria difusional e teoria de fluxo por capilaridade. Uma das mais utilizadas é a teoria difusional, baseada na Lei de Fick, em que é pressuposto a homogeneidade do material, redução de volume do material durante a secagem e a resistência ao fluxo de água é uniformemente distribuído no interior do material. Portanto, difusão não

varia com a umidade local. Desse modo, segundo a Lei de Fick a taxa de secagem pode ser descrita por meio da Equação 1 (PEREIRA, 2008).

$$\frac{dM}{dt} = D \frac{d^2M}{dr^2} \quad (1)$$

em que,

M = umidade local (kg água/kg sólido seco);

r = caminho da difusão, m;

t = tempo, s;

D = difusividade, $m^2.s^{-1}$.

O estudo de sistemas de secagem, dimensionamento, otimização e a determinação da viabilidade de aplicação comercial podem ser feitos por meio da modelagem e simulação matemática. Dentre os modelos, há os que se fundamentam na secagem sucessiva de camadas delgadas do produto sobrepostas. Para elaboração desses modelos, empregam-se modelos matemáticos das curvas de secagem de produtos propostas segundo métodos teóricos, semi teóricos e, ou empíricos (SOUSA et al., 2011), como os citados na Tabela 3, que segundo Santos et al. (2010) devem ser testados para condições de secagem específicas.

Tabela 3 - Modelos de secagem em camada fina.

Newton	$RU = \exp(-kt)$
Page	$RU = \exp(-kt^n)$
Page Modificado	$RU = \exp[(-kt)^n]$
Henderson ePabis	$RU = a \exp(-kt)$
Logarítmico	$RU = a \exp(-kt) + c$
Dois termos	$RU = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$
Dois termos exponenciais	$RU = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-kat)$
Wang e Singh	$RU = 1 + at + bt^2$
Aproximação por difusão	$RU = a\exp(-kt) + (1-a)\exp(-kbt)$
Henderson ePabis Modificado	$RU = a\exp(-kt) + b\exp(-gt) + c\exp(-ht)$
Vermaet al.	$RU = a\exp(-kt) + (1-a)\exp(-gt)$
Midilli-Kucuk	$RU = a\exp(-kt^n) + bt$

Fonte: PEREIRA, 2008.

Conhecendo o valor da Razão de Umidade (RU) é possível prever o teor de umidade no instante t, conforme a Equação 2.

$$RU = \frac{U_t - U_e}{U_o - U_e} \quad (2)$$

em que:

RU = razão de umidade (adimensional)

U_t = teor de água no instante t, base seca (kg água / kg ms)

U_e = umidade de equilíbrio entre o ar de secagem e a espuma (kg água / kg ms)

U_o = teor de umidade inicial, base seca (decimal)

2.7 Secagem em leito de espuma

A técnica de secagem em leito de espuma tem sido avaliada no processamento de diferentes matérias-primas, como por exemplo, acerola (SOARES et al., 2001), goiaba (CRUZ, 2013), manga (GUTIÉRREZ, 2015), jenipapo (PINTO, 2009), tomate (KADAM et al., 2012), suco de maçã (RAHARITSIFA et al., 2006), tamarindo (SILVA et al., 2008), soro de leite (PAULA, 2015), abacaxi (FURTADO et al., 2014), dentre outros.

O processo associado a secagem em leito de espuma compreende basicamente três etapas: (i) transformação do alimento líquido ou pastoso em uma espuma estável por meio de agitação em batedeiras ou outros equipamentos geradores de espuma, e adição de agentes espumantes. E em alguns casos, incorporação de gases inertes como o N_2 e CO_2 ; (ii) espalhamento da espuma sobre uma superfície, perfurada ou não, em camada com espessura em torno de 2 a 5 mm; e (iii) processo de desidratação, geralmente por corrente de ar quente. Durante a secagem, a espuma mantém o volume, resultando em um produto poroso e quebradiço que é facilmente transformado em pó (SILVA et al., 2008; MARQUES, 2009; AZIZPOUR et al., 2013; FRANCO et al., 2015).

A secagem em leito de espuma é relativamente simples e de baixo custo, pois utilizam-se menores temperaturas do ar de secagem, quando

comparado a secagem convencional, diminuindo o tempo de secagem devido à maior área de superfície exposta ao ar de secagem, o que propicia maior transferência de calor e massa, acelerando assim o processo de remoção de água e a obtenção de um produto poroso, de fácil reidratação e que preserva melhor o sabor e o valor nutricional (RAJKUMAR et al., 2007; MARQUES, 2009).

Muitos alimentos naturalmente contêm proteínas e monoglicérides e produzem espumas quando batidos. Entretanto, as espumas produzidas geralmente não são satisfatórias para uma posterior secagem, por isso a adição de agentes espumantes, quase sempre, é necessária (FILHO, 2012).

Os agentes estabilizantes de espuma comumente empregados são carboximetilcelulose, monoestearato de sobitana (Tween 60), gomaxantana, albumina em pó, pectina cítrica, Emustab (produto a base de monoglicérides destilados, monoestearato de sorbitana e polissorbatato 60) e Super Liga Neutra (produto a base de sacarose, carboximetilcelulose e goma guar) (BREDA et al., 2013).

A espuma é considerada um sistema de duas fases, constituídas de bolhas de gás envolvidas por uma fase líquida contínua. Para formação da espuma é necessário o emprego de energia mecânica, que tem por fonte a bateção, agitação e, ou aeração (FOLEGATTI, 2001).

Na etapa de escolha do agente espumante, que será utilizado para o processo de secagem em leito de espuma, a densidade é um parâmetro de fundamental importância, visto que a sua redução (causada pela incorporação de ar durante a agitação da polpa com o aditivo) caracterizará a formação da espuma. Assim, é desejável que se forme uma espuma estável, para que a secagem seja rápida e facilite a remoção do material (SOUZA, 2011; AZIZPOUR et al., 2013; FRANCO et al., 2015).

A secagem em leito de espuma propicia a obtenção de produtos com maior estabilidade, protegidos contra as deteriorações microbianas, químicas e bioquímicas, além de promover a redução de custos relativos ao manuseio, embalagem, transporte e armazenamento. A aplicação dessa tecnologia possibilita a (i) produção de produtos com boas características quanto as retenção de cor, sabor, vitaminas (especialmente o ácido ascórbico), valor nutricional; (ii) preservação das qualidades organolépticas; (iii) aumento da vida

de prateleira; e (iv) obtenção de produto seco com propriedades desejáveis, como a reconstituição, reidratação e a densidade controlada (KADAM, BALASUBRAMANIAN, 2011; FALADE, OKOCHA, 2012; KANDASAMY et al., 2014).

As principais desvantagens da secagem em leite de espuma em relação a outras técnicas de secagem de líquidos são: (i) o uso dos aditivos podem modificar as características de sabor, aroma e cor do alimento; (ii) o produto obtido apresenta teor de água inferior a 5%, e, geralmente, são altamente higroscópicos, exigindo ambientes com baixa umidade relativa para moagem, tamisação e envase (MARQUES, 2009).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

O estudo foi desenvolvido no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA/UFES), nos Laboratórios de Química de Alimentos, Bromatologia e de Operações Unitárias.

3.2 Preparo das polpas

A batata-doce foi adquirida no comércio local da cidade de Alegre-ES e armazenada sob refrigeração até o processamento por período máximo de sete dias.

Para o processamento (Figura 2), as raízes foram lavadas em água corrente para remoção de sujidades e imersas em solução de 50 ppm de cloro residual livre por dez minutos para sanitização. Após a lavagem, as batatas foram colocadas para escorrimento e enxugadas com papel-toalha descartável para retirada do excesso de água externa. Em seguida, as cascas foram removidas com auxílio de faca inox, e, porções inadequadas, apodrecidas ou escurecidas foram retiradas. Posteriormente o material foi cortado em pequenos cubos (SILVA, 2010).

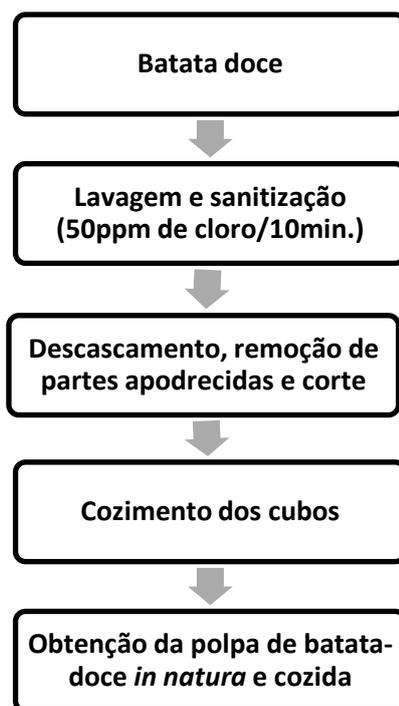


Figura 2 - Fluxograma do processamento para preparo da polpa de batata-doce. *Fonte:* Autor.

Para o preparo da polpa da batata-doce *in natura*, 200 gramas de batata-doce em cubos foram triturados com adição de 140 mL de água em um liquidificador doméstico, por um período de três minutos. Quanto ao preparo da polpa de batata-doce cozida, a amostra foi cozida em panela de pressão por quinze minutos, em seguida, 250 gramas de batata-doce foram homogeneizadas e trituradas com adição de 250 mL de água em liquidificador por aproximadamente dois minutos.

3.3 Produção da espuma

Para produção da espuma, foram utilizados dois agentes espumantes: (i) albumina em pó à base da proteína do ovo e (ii) *Emustab*® à base de monoglicerídeos destilados, monoestearato de sorbitana e polisorbato 60 (SOUZA, 2011; RONCHETI, 2014).

Para definir as proporções de uso dos agentes espumantes o experimento foi conduzido utilizando-se o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) com rotabilidade $\alpha = \sqrt[4]{[2^2]} = 1,41$. Os resultados foram

avaliados através da aplicação de Metodologia de Superfície de Resposta e função desejabilidade individuais.

A produção da espuma deu-se pela mistura dos agentes espumantes, nas proporções apresentadas na Tabela 4, com 100 gramas da polpa de batata-doce *in natura* ou cozida, e a agitação da mistura em batedeira doméstica durante vinte minutos.

Tabela 4 – Concentração dos agentes espumantes utilizados para obtenção da espuma, segundo o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR).

Ensaio	Variáveis codificadas		Concentração dos agentes espumante (%)	
	X_1	X_2	Albumina	Emustab[®]
1	-1	-1	1,46	1,46
2	-1	1	1,46	8,54
3	1	-1	8,54	1,46
4	1	1	8,54	8,54
5	0	-1,41	5	0
6	-1,41	0	0	5
7	1,41	0	10	5
8	0	1,41	5	10
9	0	0	5	5
10	0	0	5	5
11	0	0	5	5
12	0	0	5	5
13	0	0	5	5

Para definição das concentrações adotou-se os limites mínimos e máximo iguais a 0,0 e 10,0%, respectivamente, valor médio de 5% e o delta calculado foi de 3,54%.

3.3.1 Caracterização da espuma e determinação da melhor concentração

A caracterização da espuma foi realizada para determinar a melhor concentração dos agentes espumantes. A espuma ideal não deve coalescer ao ser submetida à temperatura de secagem.

Assim, para caracterização da espuma foram determinados: (a) massa específica, dividindo a massa pelo volume; e (b) estabilidade: a espuma formada era disposta em proveta de 2000 mL onde seu volume era verificado pela graduação da mesma e sua massa era determinada por peso em balança analítica. Durante 2 horas, a cada 30 minutos foram registrados o volume de espuma coalescida depositada ao fundo da proveta.

A variável custo foi calculada com base nas seguintes equações.

$$\text{Custo}_E : (Q_E \times P_E) / P_{TE} \quad (3)$$

em que,

Custo_E = custo do emulsificante (albumina e *Emustab*[®])

Q_E = quantidade de emulsificante utilizada;

P_E = preço comercial do emulsificante;

P_{TE} = peso total da embalagem do emulsificante.

$$\text{Custo}_T : \text{Custo}_A + \text{Custo}_{Emu} \quad (4)$$

em que,

Custo_T = custo total ao somar os dois emulsificantes;

Custo_A = custo da albumina;

Custo_{Emu} = custo do *Emustab*[®].

Para os casos, das regiões ótimas serem distintas, foi utilizado à técnica de otimização simultânea por meio da função desejabilidade (DERRINGER, SUICH, 1980). Cada variável resposta, y_i , foi convertida em uma função desejabilidade individual, d_i , dentro do intervalo $0 \leq d_i \leq 1$ usando a seguinte equação:

$$d_i = \begin{cases} 1 & \hat{y}_i < T_i \\ \left(\frac{U_i - \hat{y}_i}{U_i - T_i}\right)^{r_i} & T_i \leq \hat{y}_i \leq U_i \\ 0 & \hat{y}_i > U_i \end{cases} \quad (5)$$

em que,

d_i = desejabilidade individual;

U_i = valor máximo para variável resposta;

T_i = valor mínimo para variável resposta;

y_i = variável resposta

Nesse trabalho utilizou-se uma função desejabilidade linear. Os valores que foram considerados para cada variável resposta são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros utilizados para o cálculo da função desejabilidade individual para cada variável resposta.

Variável resposta	T_i	U_i
Densidade	0,3	0,4
Razão de volume coalescido	0,0	0,1
Custo	0,0	0,5

A definição para os valores associados às variáveis densidade da espuma e razão de volume coalescido deu-se pelos seguintes motivos: (i) valores de densidade acima de 0,4 indicam que houve pouca incorporação de ar no processo de formação da espuma, dificultando o processo de secagem; (ii) valores abaixo de 0,3 indicam ótima incorporação de ar e boas características para a secagem; (iii) razão de volume coalescido acima de 10% (0,1) indica baixa estabilidade de espuma, e (iv) espumas com estabilidade ótima teriam coalescência nula, ou seja, razão de volume coalescido igual a zero.

Para a variável custo, uma vez que não foi realizada nenhuma análise de mercado para avaliar o custo máximo admissível, definiu-se o valor de R\$ 0,50, por estar próximo ao valor médio dentro do intervalo estudado (Figura 4c) e o custo zero, por ser um valor alvo (embora não seja atingível), para garantir que a formulação de menor custo apresentasse a maior desejabilidade individual relacionada à variável.

A partir dos valores das desejabilidades individuais, calculou-se o valor da desejabilidade global, D , pela equação:

$$D = (\prod_{i=1}^3 d_i)^{1/3} \quad (6)$$

3.4 Secagem

Para condução da secagem a espuma foi elaborada segundo a concentração selecionada, conforme metodologia discutida no item 3.3.

Para cada experimento da secagem, a espuma obtida era disposta em duas bandejas lisas de aço inoxidável com 10 mm de altura (Figura 3), previamente pesadas, e posteriormente colocadas em um secador convectivo tipo cabine.

Para medir a massa ao longo do tempo, as bandejas foram pesadas no tempo zero, de 15 em 15 minutos durante a primeira hora, de 30 em 30 minutos na segunda hora, e de uma em uma hora até atingir massa constante.

Ao recolocar as bandejas no secador, após cada pesagem, as bandejas foram giradas em 180° para inverter as faces frontais e traseiras, e alternar a posição dentro do secador.

Os experimentos foram conduzidos utilizando-se temperaturas do ar de secagem de 40, 50, 55, 60 e 70 °C, com três repetições para cada temperatura.



Figura 3 - Espuma formada pelo processo de bateção e disposta em bandeja.
 Fonte: Autor.

3.5 Curva de Secagem

3.5.1 Avaliação do efeito da temperatura do ar de secagem sobre a cinética de secagem em leito de espuma da batata-doce *in natura* e cozida

Para cada temperatura do ar de secagem, a razão de umidade foi calculada a partir das massas das bandejas registradas ao longo do tempo, conforme a equação 7:

$$RU = \frac{U_t - U_e}{U_o - U_e} = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \quad (7)$$

em que,

RU = Razão de umidade;

M_t = Massa do produto na bandeja no tempo t ;

M_e = Massa do produto na bandeja no equilíbrio;

M_o = Massa do produto na bandeja no tempo inicial (tempo zero).

A partir dos resultados experimentais de razão de umidade ao longo do tempo de secagem foram ajustados os seguintes modelos de cinética de secagem:

- Modelo de Lewis:

$$RU = e^{-kt} \quad (8)$$

em que:

k = parâmetro do modelo.

- Modelo de Page:

$$RU = e^{-kt^n} \quad (9)$$

em que:

k e n = parâmetros do modelo.

- Modelo de Henderson e Pabis:

$$RU = a \cdot e^{-kt} \quad (10)$$

em que:

a e k = parâmetros do modelo.

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 (S).

3.5.2 Ajuste de um modelo generalizado para descrição do processo de secagem

Escolhido o modelo que melhor descreveu a cinética de secagem, foi avaliado o efeito da temperatura do ar de secagem de cada parâmetro do modelo. Um modelo matemático foi proposto para descrever esse efeito. A escolha sobre qual tipo de modelo ajustar foi feita após a plotagem dos gráficos desses parâmetros versus a temperatura. Escolhidas as funções que melhor representam os parâmetros, um modelo generalizado, em que os parâmetros originais são substituídos por essa função na cinética de secagem, foi ajustado por regressão não linear.

3.6 Análises físico-químicas e tecnológicas

As análises físico-químicas e tecnológicas foram realizadas na farinha de batata-doce *in natura* e cozida, segundo metodologias descritas na Tabela 6.

Tabela 6 - Análises físico-químicas e tecnológicas realizadas nas farinhas de batata-doce *in natura* e cozida.

N°	Parâmetros avaliados	Metodologia empregada nas análises
1	Teor de água	Secagem da amostra em estufa a 105 °C até peso constante (IAL, 2005)
2	pH	Método eletrométrico utilizando um pHmetro de bancada (IAL, 2005)
3	Acidez	Acidez titulável (IAL, 2005)
4	Teor de cinzas	Incineração da amostra em mufla a 550 °C (IAL, 2005)
5	Proteínas	Método de Kjeldhal modificado, utilizando o fator de conversão de 6,25 (IAL, 2005)
6	Lipídeos	Método de extração direta em Soxhlet utilizando éter de petróleo (IAL, 2005)
7	Carboidratos	Cálculo por diferença (AOAC, 1990)
8	Fibra bruta	Determinação por digestão ácida e básica (SILVA, 2002)
9	Índice de solubilidade em água (ISA)	Centrifugação da amostra e posterior secagem do líquido sobrenadante em estufa à 105 °C (Anderson et al., 1969)
10	Índice de absorção de água (IAA)	Peso do tubo após centrifugação da amostra, com retirada do líquido sobrenadante (Anderson et al., 1969)

3.7 Procedimentos estatísticos

Os procedimentos estatísticos para avaliação dos resultados consistiram na elaboração de Análises de Variância (ANOVA), considerando nível de significância de 5%, e para os casos em que houve rejeição das hipóteses de nulidade, foi aplicado o Teste de Tukey a 5% de significância.

Para elaboração das Análises de Variância e dos testes de Tukey foi utilizado o software Action® (2013).

Para construção e análise das curvas de secagem foi utilizado o programa SigmaPlot versão 11.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da espuma e determinação da melhor concentração dos emulsificantes

Com base nos resultados obtidos da caracterização das espumas, modelos matemáticos foram utilizados e ajustados para as diferentes variáveis respostas, como demonstrado na Tabela 7.

Tabela 7 - Modelos ajustados para as diferentes variáveis respostas e forma de ajuste.

Variável Resposta	Equação/ Forma de ajuste
Massa específica	$\rho = 0,3561 - 0,2154x_2 + 0,05840x_2^2 + 0,1052 x_1x_2$ <p>Ajuste: regressão linear</p>
Razão de volume coalescido	$\frac{V_{coalescido}}{V_{total}} = 0,01712 - 0,05083x_1 - 0,07815x_2 + 0,04619x_2^2 + 0,1017 x_1x_2$ <p>Ajuste: regressão linear</p>
Custo	$Custo = 0,4208 + 0,2711x_1 + 0,02914x_2$ <p>Ajuste: cálculo direto a partir do custo unitário de cada um dos espumantes</p>

Na Tabela 8 é apresentado dados da caracterização da espuma para amostras de batata-doce *in natura* e cozida ao utilizar os agentes espumantes Albumina e *Emustab*[®]. Para análise considerou três variáveis respostas: massa específica, razão dos volumes coalescido e o custo da elaboração da espuma.

Conforme representado nas Figuras 4 as três variáveis resposta apresentaram regiões ótimas distintas. Especificamente, na Figura 4a, o ótimo para massa específica da espuma corresponde às regiões de menores valores. Pois quanto menor a massa específica da espuma maior é a incorporação de

ar. Isso torna a espuma mais porosa facilitando a passagem do ar de secagem. Para os experimentos conduzidos o ponto ótimo para as variáveis codificadas seria o ponto (-1,1), que corresponderia às concentrações de 1,46% de albumina e 8,54% de *Emustab*[®].

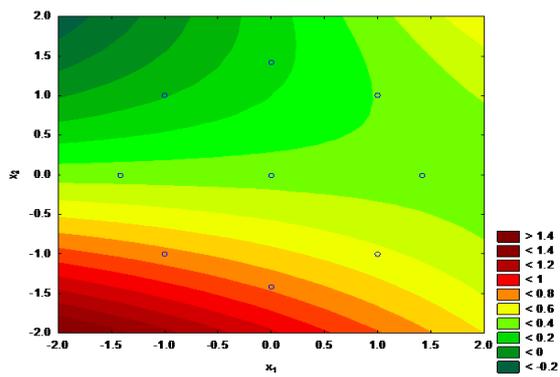
Segundo a Figura 4b, a região ótima para a razão de volume coalescido corresponde às regiões de menores valores, visto que quanto menor o volume coalescido maior a estabilidade da espuma formada. Como mostra a figura, os pontos ótimos para as variáveis codificadas seriam os pontos (-1;1), (1;-1) e (1,5;0).

Para o custo, representado na Figura 4c, a região que melhor descreve a variável equivale a de menor valor, pois quanto menor o custo, menor o gasto com a produção. Assim, os pontos que melhor descrevem a variável custo seria o ponto codificado -1,5 e 0,0.

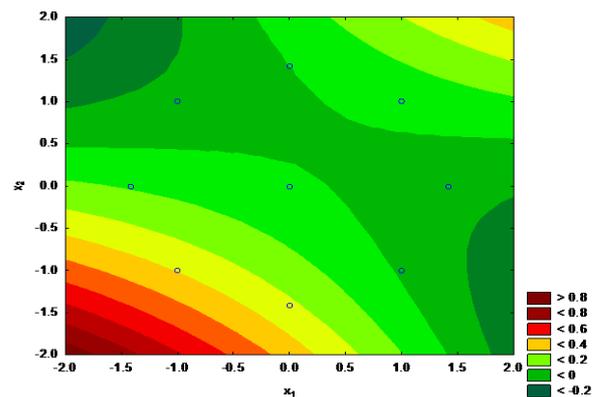
Ao proceder à otimização aplicando a função de desejabilidade global, conforme a Figura 4d, a região de máxima desejabilidade inclui o tratamento codificado x_1 igual a -1 e x_2 igual a 1, que corresponde ao ensaio nas concentrações de 1,46% de albumina e 8,54% de *Emustab*[®].

Tabela 8 - Caracterização da espuma para batata-doce *in natura* e cozida.

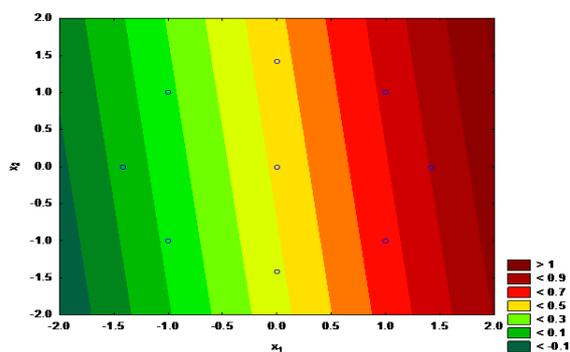
Concentrações		<i>Batata-doce in natura</i>						<i>Batata-doce cozida</i>					
Albumina	Emustab	Massa (g)	Volume (mL)	Massa específica (g.mL ⁻¹)	Volume Total (cm ³)	Volume Coalescido (cm ³)	Custo (R\$)	Massa (g)	Volume (mL)	Massa específica (g.mL ⁻¹)	Volume Total (cm ³)	Volume Coalescido (cm ³)	Custo (R\$)
1,46	1,46	122	135	0,9037	5,1	2,22	0,12	110	165	0,6667	8,5	0,3	0,12
1,46	8,54	128	960	0,1333	34	0	0,18	132	440	0,3000	15,7	0	0,18
8,54	1,46	112	180	0,6222	9,7	0,28	0,66	112	229	0,4891	20,63	0,3	0,66
8,54	8,54	120	440	0,2727	15,8	0	0,72	140	420	0,3333	14,7	0	0,72
5	0	105	170	0,6176	9,1	1,025	0,38	302	149	2,0268	13,2	0,2	0,38
0	5	114	530	0,2151	18,7	0	0,04	128	200	0,6400	6,8	0	0,04
10	5	112	260	0,4308	13,5	0	0,81	130	320	0,4063	17,2	0	0,81
5	10	128	670	0,1910	23,5	0	0,46	134	340	0,3941	12	0	0,46
5	5	112	270	0,4148	9,6	0	0,42	108	230	0,4696	20,45	0	0,42
5	5	122	375	0,3253	13,3	0,1	0,42	132	500	0,264	17,7	0	0,42
5	5	126	435	0,2897	15,2	0	0,42	132	430	0,3070	14,6	0	0,42
5	5	104	320	0,3250	16,8	0,1	0,42	112	395	0,2835	20,4	0	0,42
5	5	88	248	0,3548	21,9	0	0,42	66	211	0,3128	19,3	0	0,42



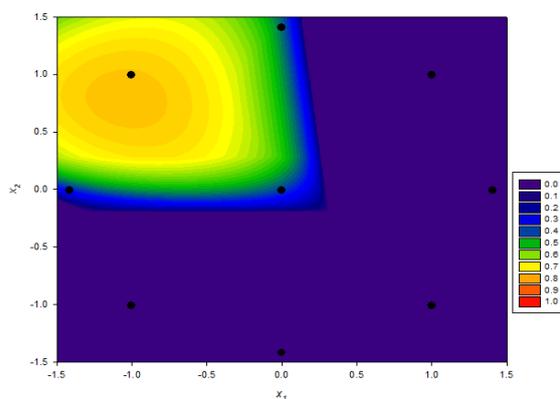
(a) massa específica



(b) razão de volume coalescido



(c) custo



(d) função desejabilidade global

Figura 4 - Superfície de resposta para as variáveis codificadas x_1 (Albumina) e x_2 (*Emustab*[®]), tomando os parâmetros (a) massa específica, (b) razão de volume coalescido, (c) custo e (d) função desejabilidade global.

4.2 Avaliação do efeito da temperatura do ar de secagem sobre a cinética de secagem em leito de espuma da batata-doce *in natura* e cozida

A Tabela 9 traz os valores dos parâmetros ajustados para os modelos de Lewis, Page, Henderson e Pabis, o coeficiente de determinação ajustado e do erro padrão da regressão para as temperaturas do ar de secagem avaliadas.

Tabela 9 - Parâmetros estimados, coeficiente de determinação ajustado e erro padrão da regressão para os modelos de Page, Lewis e de Henderson e Pabis (H&P) em diferentes temperaturas do ar de secagem para batata-doce *in natura* e cozida.

Temperatura do ar de secagem (°C)	Modelo	Coeficientes batata-doce <i>in natura</i>				Coeficientes batata-doce cozida			
		k	a ou n	R_{adj}^2	S	k	a ou n	R_{adj}^2	S
40	Lewis	0,1748	-	0,9762	0,0584	0,1073	-	0,9852	0,0422
	Page	0,08418	1,3775	0,9918	0,0342	0,07031	1,1942	0,9917	0,0316
	H&P	0,1833	1,0466	0,9779	0,0562	0,1093	1,0143	0,9849	0,0426
50	Lewis	0,2723	-	0,9847	0,0464	0,2003	-	0,9869	0,0429
	Page	0,1782	1,3002	0,9953	0,0257	0,1312	1,2383	0,9952	0,0260
	H&P	0,2870	1,0469	0,9864	0,0437	0,2081	1,0350	0,9879	0,0412
55	Lewis	0,3805	-	0,9829	0,0487	0,2661	-	0,9845	0,0479
	Page	0,2678	1,3595	0,9959	0,0239	0,1674	1,3266	0,9976	0,0186
	H&P	0,4080	1,0596	0,9854	0,0449	0,2847	1,0604	0,9879	0,0415
60	Lewis	0,4493	-	0,9803	0,0562	0,2952	-	0,9825	0,0515
	Page	0,3391	1,3659	0,9951	0,0270	0,2011	1,3006	0,9965	0,0229
	H&P	0,4817	1,0583	0,9827	0,0511	0,3145	1,0540	0,9855	0,0469
70	Lewis	0,5706	-	0,9783	0,0577	0,3970	-	0,9718	0,0634
	Page	0,4728	1,3890	0,9963	0,0237	0,3200	1,2341	0,9906	0,0526
	H&P	0,6158	1,0640	0,9814	0,0534	0,4120	1,0294	0,9707	0,0647

Conforme dados da Tabela 9 o Modelo de Page foi o que apresentou o maior valor do coeficiente de determinação ajustado e o menor erro padrão da regressão para todas as temperaturas do ar de secagem avaliadas. Portanto, o Modelo de Page é o que melhor descreve as curvas de secagem em leito de espuma da batata-doce *in natura* e cozida, como também demonstrado nas Figuras 5 e 6, que trazem as curvas de secagem em leito de espuma da batata-doce *in natura* e cozida.

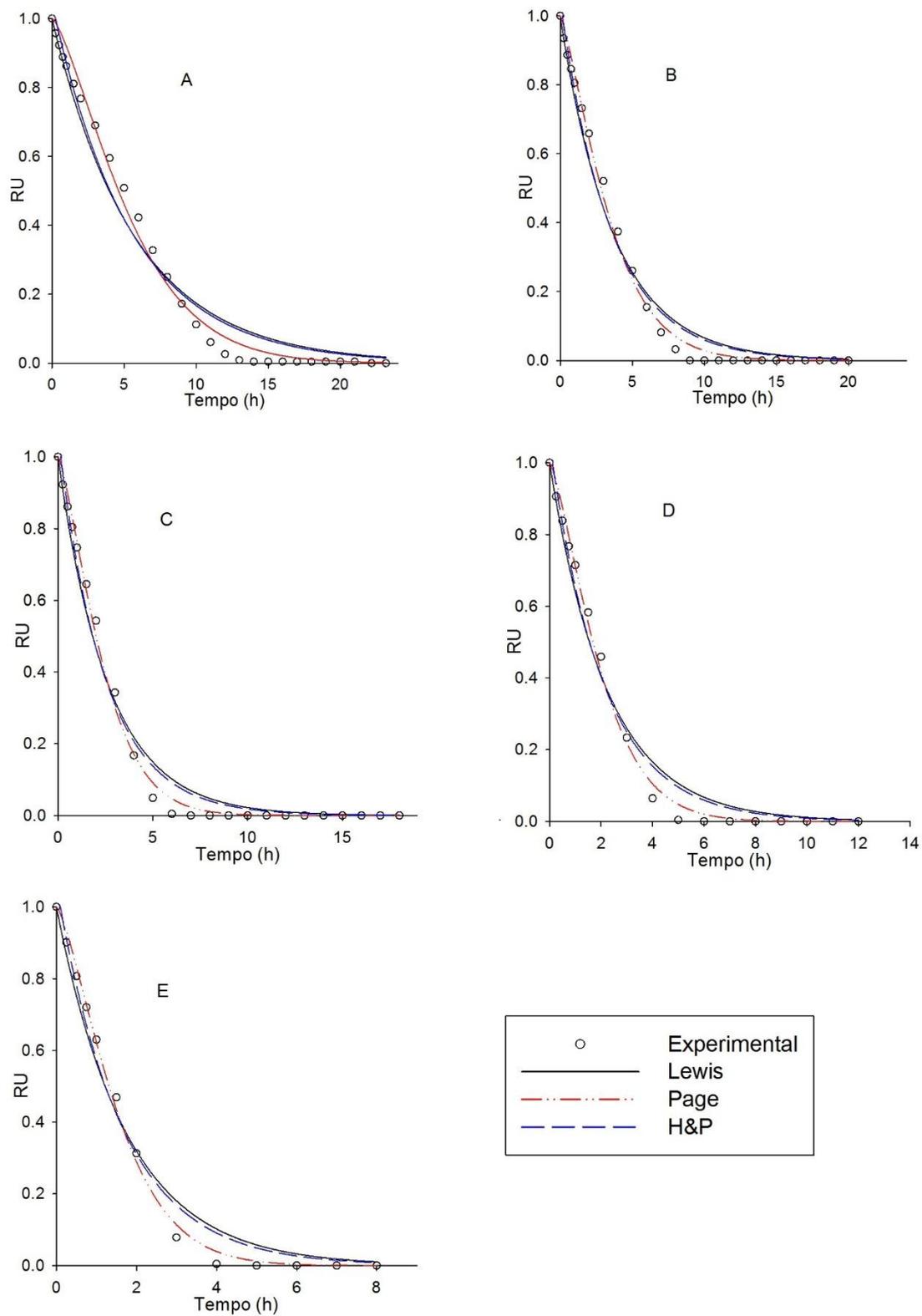


Figura 5 - Curvas de secagem em leito de espuma da batata-doce *in natura* para as temperaturas do ar de secagem. A: 40 °C; B: 50 °C; C: 55 °C; D: 60 °C; E: 70 °C.

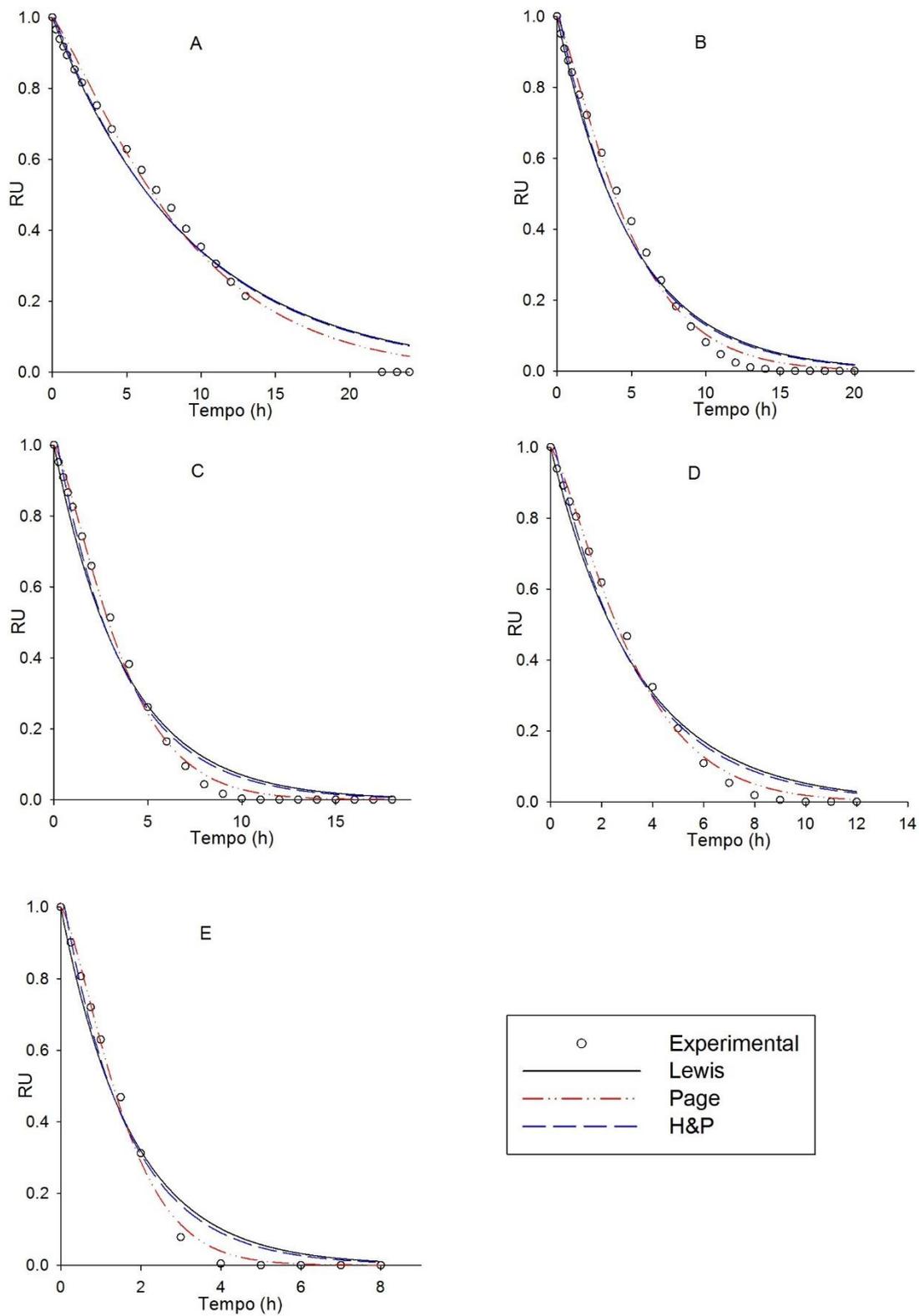


Figura 6 - Curvas de secagem em leito de espuma da batata-doce cozida para as temperaturas do ar de secagem. A: 40 °C; B: 50 °C; C: 55 °C; D: 60 °C; E: 70 °C.

Nas Figuras 7 e 8 são apresentadas as curvas de secagem em leito de espuma da batata-doce *in natura* e cozida para as cinco temperaturas testadas utilizando o modelo de Page, em que o aumento da temperatura de secagem reduz o tempo de secagem.

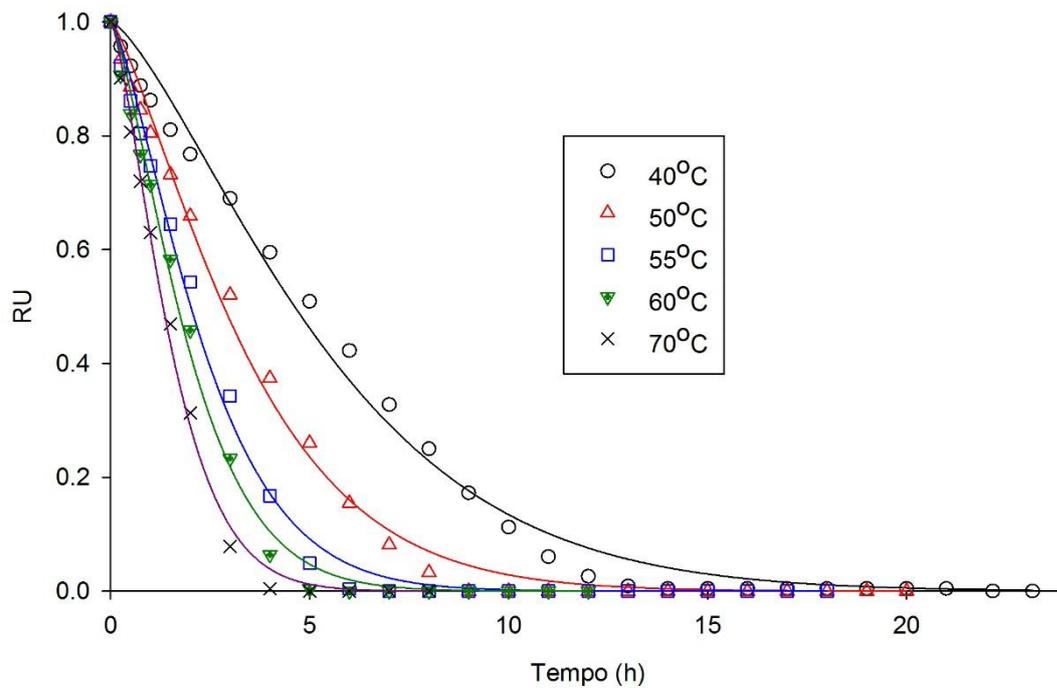


Figura 7 - Curvas de secagem em leito de espuma da batata-doce *in natura* em diferentes temperaturas do ar de secagem.

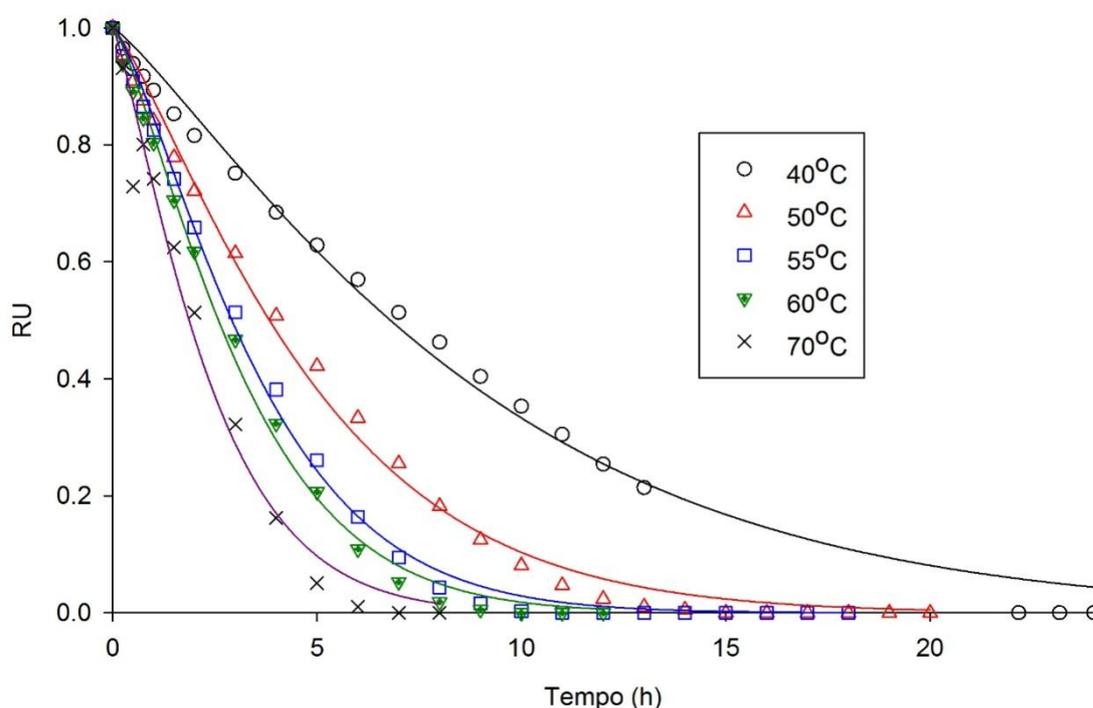


Figura 8 - Curvas de secagem em leito de espuma da batata-doce cozida em diferentes temperaturas do ar de secagem.

Alexandre et al. (2009) avaliaram a cinética de secagem de abacaxi cv pérola em fatias, ajustando os modelos matemáticos de Page, Henderson & Pabis e Lewis. De acordo com os modelos testados, o de Page foi o que apresentou os melhores ajustes com coeficiente de determinação, R^2 0, 991.

Em estudo realizado por Santos et al. (2010), modelos matemáticos foram empregados para ajustar a cinética de secagem de carambola (*Averrhoa carambola L.*). Dentre os modelos, o de Page foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, apresentando maior valor de R^2 (0, 999) e menor erro médio relativo. Os autores ainda observaram que a taxa de secagem variou em função da temperatura do ar. Temperaturas maiores produzem maior taxa de secagem e, conseqüentemente, maior taxa de redução na razão de umidade. Isso se explica devido o aumento da taxa de fornecimento de calor para o produto e a aceleração das migrações de água no interior das carambolas.

Madureira et al. (2012) também encontraram resultados semelhantes ao descrever a cinética de secagem da polpa do figo-da-índia. De acordo com os resultados os autores verificaram que todos os modelos de Lewis, Page,

Henderson & Pabis, Logarítmico e Midilli et al. podem ser utilizados para representar o processo de secagem da formulação, com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,99 e desvios quadráticos médios inferiores a 0,2. Dentre os modelos testados o melhor foi o de Page, que apresentou os maiores valores de R^2 e os menores desvios quadráticos médios, para as temperaturas do ar de secagem de 50, 60 e 70 °C.

Khanlari et al. (2014) avaliaram a cinética de secagem da polpa de tomate. Ao ajustar seis diferentes modelos matemáticos, foi verificado que o modelo de Page apresentou o maior valor de R^2 (0,999), sendo o modelo escolhido para representar o comportamento da secagem de polpa de tomate em diferentes condições de secagem.

Resultados semelhantes foram encontrados por Perez et al. (2013) ao avaliar a cinética de secagem da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*). Os dados experimentais das curvas de secagem foram ajustados utilizando os modelos de Page e Midilli, Kucuk e Yapar. De acordo com os resultados, nota-se que o modelo de Page se ajustou bem aos dados experimentais de secagem para os tratamentos estudados, apresentando coeficientes de determinação (R^2) superiores a 99% e erros percentuais médios (P) inferiores a 8,5%, podendo ser usados na predição da cinética de secagem da polpa de cupuaçu. Já o modelo de Midilli, Kucuk e Yapar apresentou valores de P superiores a 70% não podendo representar o processo. O fato do modelo de Page ser exponencial (natureza de todas as curvas de cinética de secagem) e ainda possuir dois parâmetros ajustáveis (k e n) favorece um melhor ajuste.

Em estudo realizado por Dantas (2010), os modelos matemáticos de Henderson & Pabis e Page foram ajustados aos dados para analisar a cinética de secagem de polpa de manga, seriguela, umbu e abacaxi. Foi verificado que o modelo de Page se ajustou satisfatoriamente aos dados experimentais da secagem das espumas de todas as frutas em estudo, nas temperaturas de 60 e 70 °C.

A razão de umidade varia de um (tempo zero) a zero (tempo tendendo a infinito). Uma vez que o valor zero para a razão de umidade é na realidade uma assíntota horizontal, não há como definir o tempo final do processo de secagem como aquele no qual a razão de umidade seja zero, pois este tempo seria infinito. Sendo assim, o final do processo de secagem poderia ser definido

como o tempo no qual a razão de umidade atingisse um valor suficientemente próximo de zero. Para comparar os diferentes tratamentos quanto ao tempo necessário para o processo de secagem, adotou-se como critério o tempo final aquele associado ao valor da razão de umidade igual a 0,01. Assim, o tempo de secagem pode ser calculado por meio da Equação 11:

$$t_s = \left(-\frac{\ln(0,01)}{k} \right)^{1/n} \quad (11)$$

em que,

t_s -tempo de secagem, h.

A partir dos parâmetros ajustados para o Modelo de Page, foi estimado o tempo de secagem para cada tratamento, Tabela 10, conforme Equação 11.

Tabela 10 - Tempo de secagem estimado pela Equação 11 para diferentes temperaturas de secagem para batata-doce *in natura* e cozida.

Temperatura do ar de secagem (°C)	Batata-doce <i>in natura</i>		Batata-doce cozida	
	t_s (h)	$\Delta t_s / \Delta T$ (h/°C)	t_s (h)	$\Delta t_s / \Delta T$ (h/°C)
40	18,27		33,18	
50	12,20	-0,61	17,70	-1,55
55	8,10	-0,82	12,16	-1,11
60	6,75	-0,27	11,10	-0,21
70	5,15	-0,16	8,68	-0,24

Observa-se que ao aumentar a temperatura do ar de secagem para a batata-doce *in natura*, o tempo de secagem diminui. Ao aumentar a temperatura no intervalo de 40 a 50 °C, a redução média no tempo de secagem é de 0,61h para cada 1 °C de aumento na temperatura. A redução no tempo de secagem torna-se menor com o aumento da temperatura, atingindo o valor médio de 0,16h para cada 1 °C de aumento na temperatura no intervalo de 60 a 70 °C.

Verifica-se que o tempo de secagem da batata-doce cozida é maior ao comparar com a batata-doce *in natura*. Isso pode ser explicado devido à maior adição de água no processo de obtenção da polpa de batata-doce cozida.

Para a batata-doce cozida, ao aumentar a temperatura no intervalo de 40 a 50 °C, a redução média no tempo de secagem é de 1,55h para cada 1 °C de aumento na temperatura. A redução no tempo de secagem torna-se menor com o aumento da temperatura, atingindo o valor médio de 0,24h para cada 1 °C de aumento na temperatura no intervalo de 60 a 70 °C.

Essas informações são úteis no projeto de otimização de secadores, pois o custo da secagem se dá em função do tempo de secagem e da temperatura do ar de secagem. O custo aumenta com o aumento do tempo de secagem, e o custo por unidade de tempo aumenta com a temperatura de secagem.

Doymaz (2011) ao estudar as características de secagem de fatias de batata-doce, constatou que o tempo de secagem reduz significativamente ao aumentar a temperatura de secagem. O tempo de secagem para atingir o teor de umidade final das amostras controle foram de 6; 5,25 e 4,25 horas, para as temperaturas do ar de secagem de 50, 60 e 70 °C, respectivamente.

Semelhante ao presente estudo, Singh, Pandey (2012) ao avaliar as características de secagem de batata-doce em cubos, concluíram que o aumento da temperatura provocou aumento na taxa de secagem, reduzindo o tempo de secagem. O tempo necessário para reduzir a umidade dos cubos de batata-doce foi de 3,33; 2,66; 2; 1,8 e 1,6 horas para as temperaturas do ar de secagem de 50, 60, 70, 80 e 90 °C, respectivamente. Com o aumento da temperatura de 50 para 90 °C, o tempo de secagem reduziu em aproximadamente 28%.

Falade, Solademi (2010) ao estudar a cinética de secagem de fatias de batata-doce, verificaram que o tempo necessário para reduzir a umidade a um valor específico, diminui com o aumento da temperatura de secagem. Foi observado que o tempo necessário para reduzir a taxa de umidade era dependente das condições de secagem, sendo mais alta a 50 °C e menor a 80 °C. Assim, a velocidade de secagem aumentou ao elevar a temperatura do ar de secagem, sendo a temperatura do ar o principal fator que influencia na velocidade do processo.

4.3 Avaliação do efeito da temperatura e do tempo de secagem sobre o teor de umidade da batata-doce *in natura* e cozida

A partir dos parâmetros do Modelo de Page estimados para as temperaturas do ar de secagem avaliadas, verificou-se que o parâmetro k apresentou um coeficiente de variação de 49,66% para batata-doce *in natura* e de 46,73% para batata-doce cozida, enquanto o parâmetro n apresentou um coeficiente de variação de 2,27% e 3,82% para batata-doce *in natura* e cozida, respectivamente. Desse modo, optou-se por considerar, no modelo generalizado, o parâmetro n independente da temperatura do ar de secagem.

Verificou-se graficamente que o parâmetro k do Modelo de Page tem tendência de aumentar exponencialmente com a temperatura. Assim, propõe-se a seguinte relação funcional para o parâmetro k :

$$k = k_1 e^{\frac{-k_2}{T}} \quad (12)$$

em que,

T = temperatura do ar de secagem, em °C

k_1 e k_2 = parâmetros do modelo.

O modelo proposto, Equação 12, é semelhante ao modelo de Arrhenius, pelo fato do parâmetro k variar exponencialmente com a variação da temperatura do ar de secagem e estar relacionado à difusividade efetiva do material. O modelo de Arrhenius é tradicionalmente utilizado para explicar a difusividade efetiva em função da temperatura.

Substituindo a Equação 12 na Equação 8, obtém-se o modelo generalizado descrito na Equação 13.

$$RU = e^{\left[- \left(k_1 e^{\frac{-k_2}{T}} \right) t^n \right]} \quad (13)$$

em que,

RU - razão de umidade, adimensional;

T - temperatura, °C;

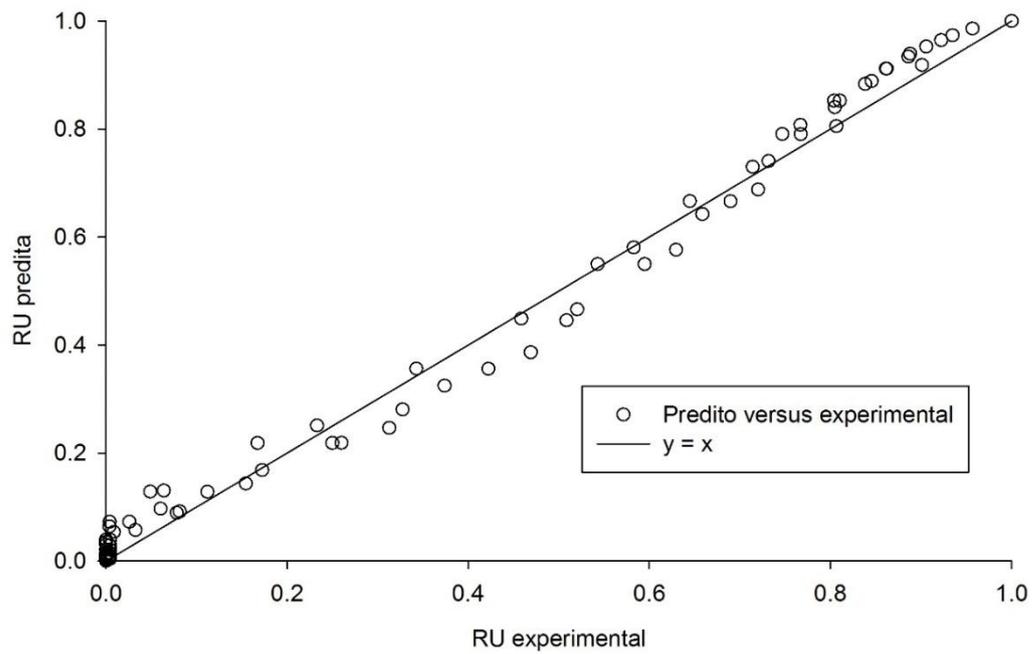
t -tempo, h.

Utilizando os dados experimentais das curvas de secagem, o modelo generalizado foi ajustado por meio de regressão não linear, sendo os parâmetros ajustados apresentados na Tabela 11. Esses ajustes apresentam coeficiente de determinação de 0,9928 e 0,9910 para batata-doce *in natura* e cozida, respectivamente.

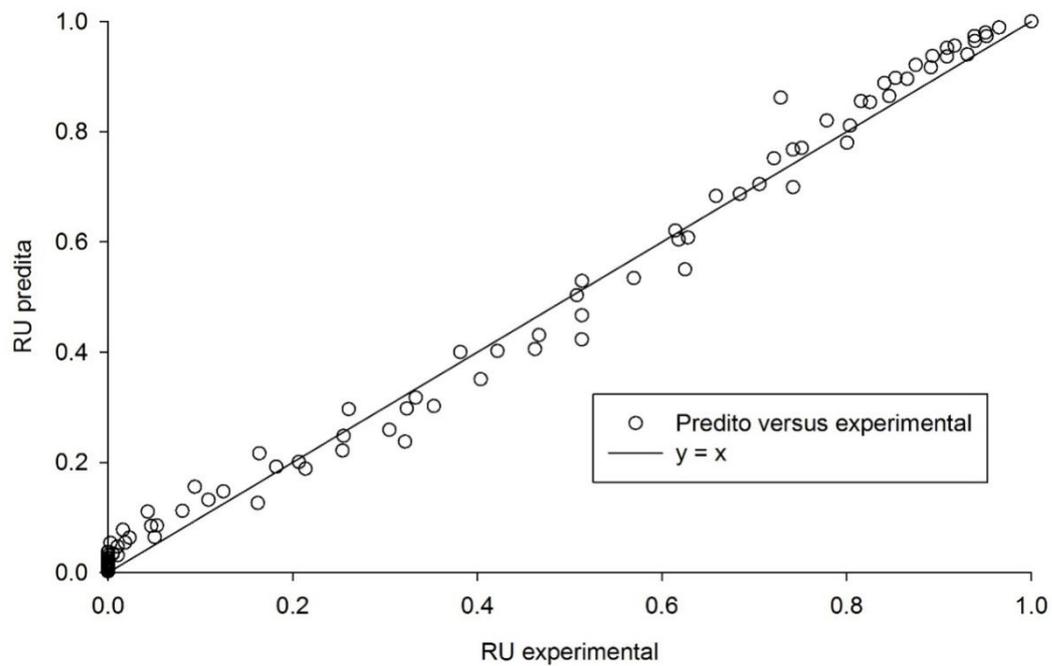
Tabela 11 - Parâmetros ajustados para o modelo generalizado, Equação 13, para batata-doce *in natura* e cozida.

Parâmetro	Batata-doce <i>in natura</i>	Batata-doce cozida
	Estimativa	Estimativa
k_1	$6,7495 \times 10^7$	$1,9473 \cdot 10^7$
k_2	6390,53	6112,24
n	1,3464	1,2655

As Figuras 9a e 9b apresentam os gráficos dos valores preditos pelo modelo generalizado versus os valores experimentais. Observa-se que o modelo generalizado apresenta um alto valor de coeficiente de determinação, o que significa que esse modelo tem um bom ajuste à secagem da batata-doce *in natura* e cozida em leito de espuma. Além disso, observa-se nas Figuras que os pontos estão próximos e aleatoriamente distribuídos em torno da reta $y=x$, o que confirma que o modelo generalizado ajustado é adequado para estimar a razão de umidade da batata-doce *in natura* e cozida como função da temperatura do ar de secagem e do tempo de secagem para o sistema de secagem em leito de espuma.



(a) batata-doce *in natura*.

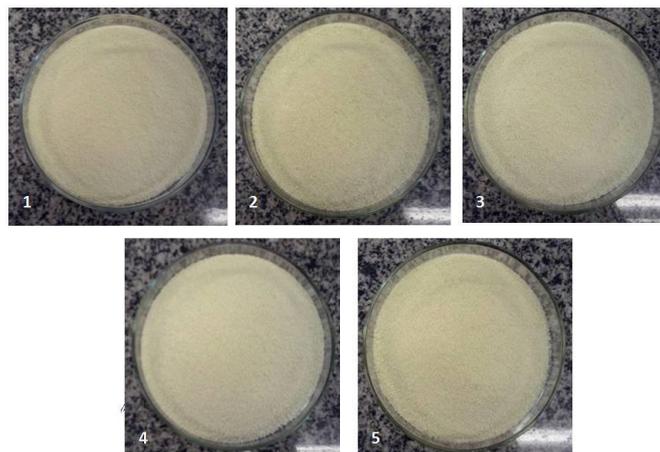


(b) batata-doce cozida

Figura 9 - Valores preditos pelo modelo generalizado versus valores experimentais para razão de umidade (a) batata-doce *in natura*, (b) batata-doce cozida.

4.4 Caracterização das farinhas de batata-doce *in natura* e cozida

Nas Figuras 10a e 10b são apresentados os aspectos das farinhas obtidas ao utilizar como matéria-prima batata doce *in natura* e cozida, respectivamente.



(a) batata-doce *in natura*



(b) batata-doce cozida

Figura 10 - Farinha de batata-doce ao utilizar as temperaturas do ar de secagem de 40 (1); 50 (2); 55 (3); 60 (4); 70 °C (5), respectivamente.

4.4.1 Caracterização físico-química das farinhas de batata-doce

4.4.1.1 Teor de água

A análise de variância para o teor de água das farinhas de batata-doce *in natura* e cozida foi significativa para o processamento e para a temperatura. Desse modo, modelos foram ajustados para avaliar o efeito da temperatura do ar de secagem sobre o teor de água das farinhas, conforme apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 - Modelos ajustados para avaliar o efeito da temperatura do ar (T_s) sobre o teor de água (U) das farinhas de batata-doce *in natura* e cozida.

Processamento	Equação	r^2
<i>In natura</i>	$U = 1,8779 + 18,7482 e^{-0,03488 T}$	0,9278
Cozida	$U = 3,3255 + 46,6559 e^{-0,05641 T}$	0,9958

A Figura 11 mostra a variação do teor de água das farinhas de batata-doce obtidas pelo processo de secagem em leito de espuma em função da temperatura do ar de secagem. Com base na mesma, nota-se que a temperatura de secagem apresentou efeito significativo para o teor de água das farinhas. É possível notar que à medida que a temperatura do ar de secagem aumenta, o teor de água das farinhas de batata-doce diminuem.

Verifica-se que as farinhas de batata-doce *in natura* apresentam menor teor de água comparada com as farinhas de batata-doce cozida. Pode-se verificar que a farinha de batata-doce cozida, seca a 40 °C foi a que apresentou maior teor de água, comparada as demais farinhas, assim como a farinha de batata-doce *in natura*, seca a 70 °C foi a que apresentou menor teor de água em sua composição.

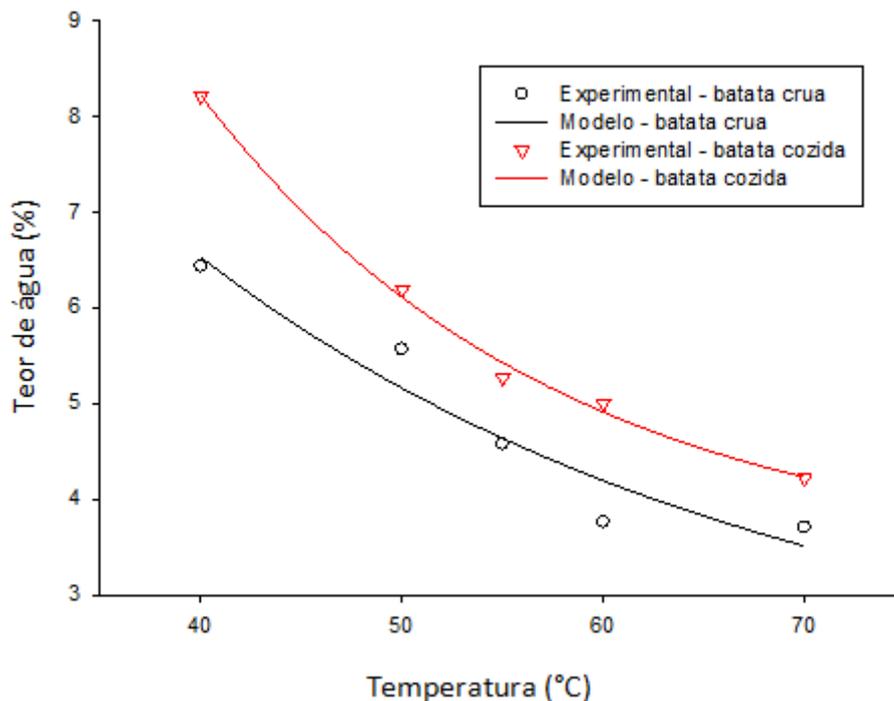


Figura 11 - Variação do teor de água das farinhas de batata-doce obtidas pelo processo de secagem em leito de espuma em função da temperatura do ar de secagem.

As médias do teor de água das farinhas de batata-doce *in natura* e cozida variaram entre 3,7 e 8,20%, como mostra a Figura 11. Em estudo realizado por Ahmed et al. (2010) foram encontrados teor de água em farinhas de batata-doce crua, variando entre 6,45 e 7,47% e 7,01 e 8,67%, secas a 55 e 60 °C, respectivamente. Fetuga et al. (2014) encontrou valor de 5,16% em farinha de batata-doce, Borba (2005) de 8,7% e Mais, Brennan (2008) de 4,4%. Para obtenção da farinha, todos os autores utilizaram fatias de batata-doce, secas em secador convectivo e estufa com posterior trituração. Não foi encontrado na literatura trabalhos utilizando a secagem em leito de espuma para obtenção de farinha ou pó de batata-doce.

A avaliação do teor de água de farinhas tem grande importância em razão da definição do período de vida de prateleira, tendo em vista que níveis maiores que 13% podem proporcionar desenvolvimento microbiano e deterioração em curto tempo. Dessa forma, baixos teores de água proporcionam maior estabilidade e maior vida de prateleira (CHISTÉ et al., 2006).

4.4.1.2 Cinzas

De acordo com a análise de variância dos valores de cinzas obtidos, o processamento da batata-doce não foi significativo para as farinhas de batata-doce processadas a partir da batata-doce *in natura* e cozida.

A Tabela 13 mostra o teor médio de cinzas das farinhas de batata-doce *in natura* e cozida.

Tabela 13 - Teor de cinzas das farinhas de batata-doce *in natura* e cozida

		Temperatura do ar de secagem (°C)				
		40	50	55	60	70
Teor de cinzas (%)	<i>In natura</i>	2,19	2,23	2,29	2,82	2,34
	Cozida	2,19	2,04	2,50	3,67	2,98

O teor de cinzas das farinhas de batata-doce variaram de 2,13 à 3,24%, valores próximos ao encontrado por Borba (2005) de 2,7%. Ahmed et al. (2010) e Silva (2010) encontraram valores superiores ao do presente trabalho, com teor de cinzas variando de 3,45 à 3,91% e 4,16%, respectivamente. Entretanto, foram inferiores ao encontrado por Fetuga et al. (2014), que foi de 1,82% e de Yadav et al. (2006), que variou de 1,1 à 1,3%.

4.4.1.3 pH e acidez

A análise de variância para o parâmetro pH das farinhas de batata-doce, não apresentou diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade, para o tratamento temperatura do ar de secagem, mas foi significativo para a forma de processamento, Tabela 14.

Tabela 14 - Médias do pH das farinhas de batata-doce *in natura* e cozida.

Processamento	<i>In natura</i>	Cozida
pH	6,00	6,60

As médias diferem pelo teste F ($p < 0,05$)

Observa-se que o pH da farinha obtida a partir da batata-doce *in natura* é menor que o da farinha obtida da batata-doce cozida.

A avaliação do pH de alimentos é importante principalmente pela influência desse fator no desenvolvimento de microrganismos, que podem causar alterações e contaminação. A maioria dos microrganismos tem melhor desenvolvimento para valores de pH próximos de 7,0 (6,6 - 7,5) (JAY, 2005).

No presente trabalho foram obtidas farinhas com pH próximos a neutralidade. Valores de pH semelhantes foram encontrados por Silva (2010) 5,5 e Borba (2005) 5,7.

Conforme análise de variância realizada, para acidez foi verificado não haver diferença estatística entre as médias para parâmetro temperatura do ar de secagem, mas houve diferença ao nível de significância de 5% quanto ao uso das matérias-primas batata-doce *in natura* e cozida, Tabela 15.

Tabela 15 - Médias de acidez das farinhas de batata-doce *in natura* e cozida.

Processamento	<i>In natura</i>	Cozida
Acidez (meq NaOH.100 g⁻¹)	13,98	10,18

As médias diferem pelo teste F ($p < 0,05$)

A farinha obtida a partir da batata-doce *in natura* possui maior acidez que a farinha obtida de batata-doce cozida. Isso pode ser explicado uma vez que muitos alimentos perdem nutrientes por lixiviação durante o cozimento. Assim, supõe-se que durante o cozimento da batata-doce ácidos solúveis em água foram perdidos, tornando a farinha de batata-doce cozida menos ácida que a *in natura*.

Os resultados de pH demonstrados na Tabela 14 podem ainda ser explicados por esta perda de ácidos, visto que a redução da acidez de um alimento eleva seu pH, tornando-o menos ácido.

Os valores encontrados foram superiores ao observado por Reschsteiner (2005), para a farinha de batata-doce, que foi de 6,00. Fernandes et al. (2008) encontraram valor de 10,92 para acidez da farinha da casca, sendo esse valor próximo aos apresentados neste trabalho. Segundo Fernandes et al. (2008), a acidez de um alimento pode ser originada dos

próprios compostos naturais do alimento, pode ser formada pela fermentação ou pelo tipo de processamento pelo qual o alimento passou e, ainda, ser o resultado da deterioração que o mesmo sofreu.

A acidez da farinha varia ao longo do período de armazenamento (FERREIRA NETO et al., 2003). Dessa forma, é adequado que os alimentos comercializados apresentem teor de acidez reduzida durante todo o período de estocagem (ÁLVARES et al., 2013).

4.4.1.4 Proteínas

De acordo com a ANOVA, a interferência da temperatura do ar de secagem não foi detectada estatisticamente para o teor de proteínas das farinhas de batata-doce *in natura* e cozida. Entretanto, o processamento foi significativo, Tabela 16.

Tabela 16 - Médias do teor de proteínas das farinhas de batata-doce *in natura* e cozida.

Processamento	<i>In natura</i>	Cozida
Teor de proteínas (%)	8,5807	10,089

As médias diferem pelo teste F ($p < 0,05$)

A farinha da batata-doce *in natura* apresentou menor teor de proteínas que a farinha da batata-doce cozida. Isso pode ser explicado, pois durante o cozimento da batata-doce alguns nutrientes se perdem por lixiviação, por exemplo, o amido. Com essa perda, alguns nutrientes, como a proteína, se tornam mais concentrados, aumentando seu teor no alimento.

O valor de proteína encontrado na farinha de batata-doce no presente estudo, foi superior ao encontrado por Ahmed et al. (2010), 3,28 à 3,69%, por Fetuga et al. (2014) que verificaram valor de 3,94% e também aos valores encontrados por Mais, Brennan (2008), Yadav et al. (2006), Borba (2005) e Silva (2010) que foram de 4,3 à 8,8%, 6,3 à 6,5%, 6,7% e 6,62%, respectivamente. A diferença no teor de proteína pode ser atribuída ao fato de

ter sido adicionado albumina em pó (produto à base da proteína do ovo), no processo de obtenção da espuma utilizada para secagem.

4.4.1.5 Lipídeos, carboidratos e fibras

Na Tabela 17 encontram-se as médias do teor de lipídeos, carboidratos e fibras das farinhas de batata-doce *in natura* e cozida. De acordo com os resultados, o teor de lipídeos, carboidratos e fibras não diferiram entre as farinhas, além disso, verificou-se que a temperatura de secagem não interferiu no teor desses nutrientes pela análise de variância ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 17 - Médias do teor de lipídeos, carboidratos e fibras das farinhas de batata-doce *in natura* e cozida.

		Temperatura do ar de secagem (°C)				
		40	50	55	60	70
Lipídeos (%)	<i>In natura</i>	5,70	5,68	6,05	5,25	6,21
	Cozida	5,65	5,88	6,20	7,02	5,74
Carboidratos (%)	<i>In natura</i>	83,29	82,11	81,41	80,67	80,12
	Cozida	80,67	80,07	78,91	76,92	79,25
Fibras (%)	<i>In natura</i>	1,48	1,81	1,56	1,86	2,03
	Cozida	1,91	2,02	1,75	2,07	2,11

As médias diferem pelo teste F ($p < 0,05$)

No presente estudo, os teores de lipídeos encontrados variam entre 5,25 e 7,02%, valores superiores aos verificados por Borba (2005), Yadav et al. (2006), Fetuga et al. (2014) e Ahmed et al. (2010), com os respectivos teores de 0,7%, 1,1%, 0,07% e 0,74 à 1,29%.

O elevado teor de lipídeos encontrado na farinha de batata-doce no presente estudo, em comparação com os valores da literatura, pode ser justificado pela adição do produto *Emustab*® (produto à base de

monoglicéridos destilados, monoestearato de sorbitana e polisorbato 60), no processo de obtenção da espuma utilizada para secagem.

Em relação aos carboidratos, os valores encontrados na literatura foram semelhantes. Ahmed et al. (2010) encontraram valores de carboidrato variando de 83,89 à 85,90%, os valores verificados por Yadav et al. (2006) variaram de 73,6 à 73,8% e Fetuga et al. (2014) obteve um valor de 87,68%. Entretanto, o valor encontrado por Silva (2010) foi inferior aos demais, sendo de 58,7%.

O teor de fibras das farinhas de batata-doce variaram de 1,48 à 2,11%, valores próximos ao encontrado por Fetuga et al. (2014) de 1,36%. Ahmed et al. (2010), Yadav et al. (2006) e Mais, Brennan (2008) encontraram valores superiores ao do presente trabalho, com teor de fibras variando de 5,26 à 7,14%, 17,2 à 17,6% e 12,4 à 13,6%, respectivamente.

4.4.2 Análises tecnológicas

4.4.2.1 Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)

De acordo com os resultados, a temperatura do ar de secagem não interferiu no índice de solubilidade em água das farinhas de batata-doce *in natura* e cozida de acordo com a ANOVA.

Entretanto, com base na Tabela 18, nota-se que houve diferença estatística entre o ISA da farinha de batata-doce *in natura* e cozida.

Tabela 18 - Média do índice de solubilidade em água (ISA) das farinhas de batata-doce *in natura* e cozida.

Processamento	<i>In natura</i>	Cozida
ISA (%)	19,594	25,345

As médias diferem pelo teste F ($p < 0,05$)

Observa-se que a farinha obtida a partir da batata-doce *in natura* possui menor solubilidade em água que a farinha obtida a partir da batata-doce cozida.

O índice de solubilidade em água (ISA) está relacionado à quantidade de sólidos solúveis em uma amostra seca, permitindo verificar o grau de severidade do tratamento, em função da degradação, gelatinização, dextrinização e consequente solubilização do amido (MERCIER, FEILLET, 1975).

De acordo com Torres et al. (2005) o tratamento térmico degrada os grânulos de amido, aumentando assim a solubilidade do produto. Assim, os valores encontrados podem ser justificados pela diferença no processamento, uma vez que a batata-doce passou pela etapa de cozimento à elevada temperatura.

Os valores de ISA encontrados no presente trabalho, foram superiores ao valor encontrado por Borba (2005) que foi de 16,6% e próximos aos valores encontrados por Ahmed et al. (2010), que variaram de 22,40 à 25,75%.

Para o índice de absorção de água, a temperatura do ar de secagem apresentou efeito significativo nas farinhas de batata-doce *in natura* e cozida. A Tabela 19 mostra os valores de IAA obtidos para cada temperatura.

Tabela 19 - Médias do índice de absorção de água - IAA (g de gel/ g de farinha) - nas diferentes temperaturas do ar de secagem.

Processamento	Temperatura (°C)				
	40	50	55	60	70
<i>In natura</i>	2,73 a	2,70 a	3,36 a	3,54 a	3,49 a
Cozida	4,51 b	5,37 b	4,23 a	4,48 a	4,10 a

Médias seguidas por uma mesma letra, dentro de uma mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

De acordo com os resultados, verifica-se que o IAA da farinha de batata-doce cozida, obtida a 40 e 50 °C diferem das farinhas obtidas a partir da batata-doce *in natura*, secas a 40 e 50 °C.

O índice de absorção de água indica a quantidade de água absorvida pelos grânulos de amido inchados e/ou embebidos em água (Anderson et al., 1969). O maior ou menor valor de IAA é determinado pela intensidade de ocorrência da gelatinização e fragmentação do amido. Segundo Cardoso Filho (1993), os grãos de amido gelatinizados absorvem mais água que os grãos de

amido naturais, em virtude das mudanças conformacionais em suas estruturas, como alteração no seu balanço hidrofílico-hidrofóbico.

Os valores de IAA encontrados no presente trabalho, foram semelhantes aos valores encontrado por Borba (2005) que foi de 3,1 g de gel/g de farinha e os valores encontrados por Ahmed et al. (2010), que variaram de 2,18 à 2,53 g de gel/g de farinha.

5. CONCLUSÕES

A utilização dos agentes emulsificantes albumina em pó e *Emustab*® para a produção de espuma apresentaram características satisfatórias com relação à estabilidade nas concentrações de 1,46% de albumina e 8,54% de *Emustab*®. Essas concentrações foram escolhidas conforme resultados da função desejabilidade, por possibilitar a obtenção de espuma com menor massa específica, menor volume coalescido, maior estabilidade da espuma formada e menor custo na elaboração.

Dentre os modelos ajustados para descrever as curvas de secagem, o modelo de Page apresentou maiores coeficientes de determinação para secagem em leito de espuma de batata-doce *in natura* e cozida.

Dentre as formas de processamento estudadas, a secagem em leito de espuma da batata-doce cozida foi preterida, em razão das menores alterações das propriedades físico-químicas como pH, acidez, proteína e índice de solubilidade em água. As farinhas de batata-doce cozida apresentaram maior pH, menor acidez, maior teor de proteína e maior índice de solubilidade em água, comparado as farinhas de batata-doce *in natura*.

Considerando as variáveis estudadas, observou-se que a temperatura do ar de secagem interferiu apenas no teor de água e no índice de absorção de água das farinhas. Desse modo, em razão do menor tempo para condução da secagem é indicado o uso da temperatura do ar de secagem igual a 70 °C.

Neste trabalho não foi objeto de estudo a aplicação das farinhas em produtos, sua aceitabilidade sensorial e nem a avaliação das características microbiológicas. Portanto, recomenda-se a continuidade dos estudos abordando esses temas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEGUNDE, O. K.; MU, T. H.; CHEN, J. W.; DENG, F. M. Physicochemical characterization of sweet potato starches popularly used in Chinese starch industry. **Food Hydrocolloids**, v. 33, p.169-177, 2013.

ACTION. [pacote estatístico] Disponível em: <<http://portalaction.com.br/>>. Acesso em novembro de 2015.

AHMED, M.; AKTER, M. S.; EUN, J. B. Peeling, drying temperatures, and sulphite-treatment affect physicochemical properties and nutritional quality of sweet potato flour. **Food Chemistry**, v. 121, p.112–118, 2010.

ALEXANDRE, H. V.; GOMES, J. P.; NETO, A. L. B.; SILVA, F. L. H.; ALMEIDA, F. A. C. Cinética de secagem de abacaxi cv pérola em fatias. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.11, n.2, p.123-128, 2009.

ALMEIDA, F. A. C.; GOUVEIA, J. P. G., VILLAMIL, J. M. P.; SILVA, M. M. Secagem natural e artificial de vagens de algaroba. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 48 57, 2002.

ÁLVARES, V. S.; COSTA, D. A.; FELISBERTO, F. A. V.; SILVA, S. F.; MADRUGA, A. L. S. Atributos físicos e físico-químicos da farinha de mandioca artesanal em Rio Branco, Acre. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.26, n.2, p.50-58, abr.-jun., 2013.

AMAJOR, J. U.; ELEAZU, C. O.; OTI, E.; IKPEAMA, A. I.; UDOH, E. F. Effect of Variety on the Physico-Chemical, Carotenoid and Microbial Loads of Flours of Five New Varieties of Sweet Potato. **Biotechnology**, n.10, v.3, p.286-291, 2011.

ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN JUNIOR, L. Gelatinization of Corn Grits by Roll-and Extrusion-Cooking. **Cereal Science Today**, St. Paul, v.14, n.1, p. 4-12, 1969.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of the Association of the Analytical Chemists**, 15 ed. Washington, 1990. v. 2.

AZIZPOUR, M.; MOHEBB, M.; KHODAPARAST, M. H. H.; VARIDI, M. Foam-mat drying of shrimp: characterization and drying kinetics of foam. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, v.15, n.3, p. 159–165, 2013.

BIAZUS, J. P. M.; SOUZA, R. R.; CURVELO-SANTANA, J. C. TAMBOURGI, E.B. Otimização da Secagem do malte de *Zeamays*. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 4, p. 787-792, 2006.

BORBA, A. M. **Efeito de alguns parâmetros operacionais nas características físico, físico-químicas e funcionais de extrusados da farinha de batata-doce (*Ipomoea batatas*)**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" -Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP. 2005.

BREDA, C. A.; JUSTI, P. N.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J. Efeito da Desidratação Foam Mat na Retenção da Vitamina C da Polpa de Cajamanga. *Alimentos e Nutrição = Brazilian Journal of Food and Nutrition Araraquara*, v.24, n.2, p. 189-193, abr./jun. 2013.

CANO-CHAUCA, M. et. al., Curvas de secagem e avaliação da atividade de água da banana passa. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 22, p. 121 -132, 2004.

CARDOSO, A. D.; VIANA, A. E. S.; RAMOS, P. A. S.; MATSUMOTO, S. N.; AMARAL, C. L. F.; SEDIYAMA, T.; MORAIS, O. M. Avaliação de clones de batata-doce em Vitória da Conquista. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.4, p. 911-914, out-dez 2005.

CARDOSO, A. D.; VIANA, A. E. S.; MATSUMOTO, S. N.; NETO, H. B.; KHOURI, C. R.; MELO, T. L. Características físicas e sensoriais de clones de batata-doce. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1760-1765, nov./dez., 2007.

CARDOSO FILHO, N. **Efeito de algumas variáveis no processo de extrusão e nas características funcionais da farinha de feijão comum**. 1993. 128p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos)-Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

CARVALHO, M. S. **Produção de polpa de abóbora em pó pelo processo de secagem em leito de espuma**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 2014.

CEREDA, M. P. **Agricultura: tuberosas amiláceas latino americano**. São Paulo: Fundação Cargil, v.2, cap.22, p.448-504, 2002.

CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. O.; MATHIAS, E. A.; JÚNIOR, A. G. A. R. Qualidade da farinha de mandioca do grupo seca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 4, p. 861-864, 2006.

CORDEIRO, N.; FREITAS, N.; FARIA, M.; GOUVEIA, M. *Ipomoea batatas* (L.) Lam.: A Rich Source of Lipophilic Phytochemicals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.61, p.12380–12384, 2013.

CRUZ, W. F. **Obtenção de polpa de goiaba (*Psidiumguajava* L.) em pó pelo método de secagem em camada de espuma**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 2013.

DANTAS, S. C. M. **Desidratação de polpas de frutas pelo método foam-mat**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2010.

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous Optimization of Several Response variables. **Journal of Quality Technology**, v.12, p.214–219, 1980.

DOMINQUE B.; GICHUHI, P. N.; RANGARI, V.; BOVELL-BENJAMIN, A. C. Sugar Profile, Mineral Content, and Rheological and Thermal Properties of an Isomerized Sweet Potato Starch Syrup. **International Journal of Food Science**, p.1-9, 2013.

DOYMAZ, I. Thin-layer drying characteristics of sweet potato slices and mathematical modelling. **Heat Mass Transfer**, v.47, p.277–285, 2011.

DOYMAZ, I. Infrared drying of sweet potato (*Ipomoea batatas L.*) slices. **Journal of Food Science and Technology**, v.49, n.6, p.760–766, 2012.

EMBRAPA. A cultura da batata-doce. Brasília: 94p. Coleção plantar. 1995.

EMBRAPA, 2008. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Batata-doce/Batata-doce_Ipomoea_batatas/apresentacao.html>. Acessado em 10 de novembro de 2015.

FALADE, K.; SOLADEMI, O. J. Modelling of air drying of fresh and blanched sweet potato slices. **International Journal of Food Science and Technology**, v.45, p.278–288, 2010.

FALADE, K. O.; IGHRAVWE, E.; IKOYO, S. S. Physico-chemical characteristics of non-irradiated and c-irradiated yams cultivars (*Dioscorea rotundata*, *Dioscorea alata*) and sweet potato (*Ipomoea batatas (L) Lam*). **International Journal of Food Science and Technology**, v.46, p.1186–1193, 2011.

FALADE, K. O.; OKOCHA, J. O. Foam-Mat Drying of Plantain and Cooking Banana (*Musa spp.*). **Food Bioprocess Technol**, v.5, p.1173–1180, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Food and agricultural commodities production Faostat (2011). Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>. Acesso em: 20 de dezembro de 2015.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos – Princípios e Práticas**. 2ª Edição – Porto Alegre: Editora Artmed, 2006. 602p.

FERREIRA NETO, C. J.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Avaliação físico-química de farinhas de mandioca durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 25-31,

2003.

FERNANDES, A. F.; PEREIRA, J.; GERMANI, R.; OIANO-NETO, J. Efeito da substituição parcial da farinha de trigo por farinha de casca de batata (*Solanum Tuberosum Lineu*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28, p.56-65, 2008.

FERRARI, M. D.; GUIGOU, M.; LAREO, C. Energy consumption evaluation of fuel bioethanol production from sweet potato. **Bioresource Technology**, v.136, p.377–384, 2013.

FETUGA, G.; TOMLINS, K.; HENSHAW, F.; IDOWU, M. Effect of variety and processing method on functional properties of traditional sweet potato flour (“elubo”) and sensory acceptability of cooked paste (“amala”). **Food Science & Nutrition**, v.2, n.6, p.682– 691, 2014.

FIGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV, 2000. 402p.

FIGUEIREDO, J. A. **Seleção de clones de batata-doce com potencial de utilização na alimentação humana e animal**. 2010. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina - MG. 2010.

FILHO, E. D da S. **Obtenção e Avaliação da Qualidade de Polpa de Manga cv. Haden em Pó, pelo Método de Secagem em Camada de Espuma**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba. 2012.

FOLEGATTI, M. I. S.; **Estudo do efeito do uso de diferentes agentes aerantes e gelificantes e do processamento nas características físicas e sensoriais e na estabilidade do produto mousse de maracujá**. 2001. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos). UNICAMP, Campinas - SP, 2001.

FONTES, L. C. B.; SIVI, T. C.; RAMOS, K. K.; QUEIROZ, F. P. C. Efeito das condições operacionais no processo de desidratação osmótica de batata-doce. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.14, n.1, p.1-13, 2012.

FRANCO, T. S.; PERUSSELLO, C. A.; ELLENDERSEN, L. S. N.; MASSON, M. L. Foam mat drying of yacon juice: Experimental analysis and computer simulation. **Journal of Food Engineering**, v.158, p.48–57, 2015.

FURTADO, G. F.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; SANTOS, P. Secagem de abacaxi (*Ananás Comosus (L.) Merri*), variedade pérola utilizando a técnica de camada de espuma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.16, n.4, p.387-394, 2014.

GRABOWSKI J.; TRUONG V.; DAUBERT C. Nutritional and rheological characterization of spray dried sweet potato powder. **LWT- Food Science and Technology**, v.41, p.206–216, 2007.

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

GUO, J.; LIU, L.; LIAN, X.; LI, L.; WU, H. The properties of different cultivars of Jinhai sweet potato starches in China. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.67, p.1–6, 2014.

HAGIWARA, A.; YOSHINO, H.; ICHIHARA, T.; KAWABE, M.; TAMANO, S.; AOKI, H.; KODA, T.; NAKAMURA, M.; IMAIDA, K.; ITO, N.; SHIRAI, T. Prevention by natural food anthocyanins, purple sweet potato color and red cabbage color, of 2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo[4,5-b]-pyridine (PhIP)-associated colorectal carcinogenesis in rats initiated with 1,2-dimethylhydrazine. **Journal Toxicology Science**, v.27, p.57–68, 2002.

HATAMIPOUR, M. S.; KAZEMI, H. H.; NOORALIVAND, A.; NOZARPOOR, A. Drying characteristics of six varieties of sweet potatoes in different dryers. **Food and Bioproducts Processing**, v.85, n.C3, p.171–177, 2007.

IAL. **Instituto Adolfo Lutz**. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz, 4 ed. São Paulo, 2005.

IBGE. Produção Agrícola Municipal: Culturas Temporárias e Permanentes. Rio de Janeiro, v.39, p.1-101, 2012.

IWE, M. O.; VAN ZUILICHEM, D. J.; NGODDY, P. O.; LAMMERS, W. Amino acid and protein dispersibility index (PDI) of mixtures of extruded soy and sweet potato flours. **Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie**, v.34, n.2, p.71-75, 2001.

JANGCHUD K.; PHIMOLSIRIPOL Y.; HARUTHAITHANASAN V. Physicochemical properties of sweet potato flour and starch as affected by blanching and processing. **Starch**, v. 55, p.258–264, 2003.

JAY, J. M. **Microbiologia de Alimentos**. 6ª Ed. Porto Alegre: Artmed, 2005.

JING, Y.; JIN-FENG, C.; YU-YING, Z.; LIN-CHUN, M. Effects of Drying Processes on the Antioxidant Properties in Sweet Potatoes. **Agricultural Sciences in China**, v.9, n.10, p.1522-1529, 2010.

KADAM, D. M.; BALASUBRAMANIAN, S. Foam Mat Drying of Tomato Juice. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.35, p.488–495, 2011.

KADAM, D. M.; WILSON, R. A.; KAUR, S.; MANISHA. Influence of Foam Mat Drying on Quality of Tomato Powder. **International Journal of Food Properties**, v.15, p.211–220, 2012.

KANDASAMY, P.; VARADHARAJU, N.; KALEMULLAH, S.; MALADHI, D. Optimization of process parameters for foam-mat drying of papaya pulp. **Journal of Food Science and Technology**, v.51, n.10, p.2526–2534, 2014.

KHANLARI, Y.; AROUJALIAN, A.; FAZEL, S.; FATHIZADEH, M. An experimental work and mathematical modeling on kinetic drying of tomato pulp under different modified atmosphere conditions. **International Journal of Food Properties**, v.17, p.1–12, 2014.

KUSANO, S.; ABE, H.; TAMURA, H. Isolation of antidiabetic components from white-skinned sweet potato (*Ipomoea batatas L.*). **Bioscience Biotechnology Biochemistry**, v.65, 109–114, 2001.

LEBOT, V.; NDIAYE, A.; MALAPA, R. Phenotypic characterization of sweet potato [*Ipomoea batatas (L.) Lam.*] genotypes in relation to prediction of chemical quality constituents by NIRS equations. **Plant Breeding**, v.130, p. 457–463, 2011.

LEONEL, M; CEREDA, MP. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.22, n.1, p.65-69, jan.-abr. 2002.

LIAO, W. C.; LAI, Y. C.; YUAN, M. C.; HSU, Y. L.; CHAN, C. F. Antioxidative activity of water extract of sweet potato leaves in Taiwan. **Food Chemistry**, v.127, p.1224–1228, 2011.

LUENGO, R. de F. A.; PARMAGNANI, R. M.; PARENTE, M. R.; LIMA, M. F. B. F. **Tabela de composição nutricional de hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2000.

LUDVIK, B., HANEFELD, M., PACINI, M. Improved metabolic control by *Ipomoea batatas* (Caiapo) is associated with increased adiponectin and decreased fibrin-ogen levels in type 2 diabetic subjects. **Diabetes, Obesity and Metabolism**, v.10, p.586–592, 2008.

MADUREIRA, I. A.; FIGUEIRÊDO, M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FILHO, E. D. S. Cinética de secagem da polpa de figo-da-índia. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.14, n.Especial, p.525-534, 2012.

MAHAN, L. K.; ESCOTT-STUMP, S. **Krause-Alimentos, Nutrição e Dietoterapia**. 12^a ed. São Paulo: Elsevier, 2010.

MAIS, A.; BRENNAN, C. S. Characterization of flour, starch and fibre obtained from sweet potato (kumara) tubers, and their utilization in biscuit production.

International Journal of Food Science and Technology, v.43, p.373–379, 2008.

MARQUES, G. M. R. **Secagem de caldo de cana em leito de espuma e avaliação sensorial do produto**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Itapetinga-BA, 2009.

MERCIER, C.; FEILLET, P. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. **Cereal Chemistry**, v.52, n.3, p.283-297, 1975.

MOULIN, M. M. **Coleta, caracterização e conservação de variedades locais de batata-doce (*Impomoea batatas L. Lam*) do norte do estado do Rio de Janeiro**. 2010. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos do Goytacazes - RJ. 2010.

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo da Secagem de Pêra Bartlett (*Pyrus* sp.) em Fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, n.21, v.3, p.288-292, set-dez. 2001.

PAULA, R. R de. **Estudo da cinética e influência dos métodos de secagem sobre as propriedades físico-químicas de soro de leite**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre. 2015.

PEREIRA, D. A. **Extração Aquosa de Própolis e Secagem em Leito de Espuma Para Uso em Alimentos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Bahia. 2008.

PEREZ, L. G.; OLIVEIRA, F. M. N.; ANDRADE, J. S.; FILHO, M. M. Cinética de secagem da polpa cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) pré desidratada por imersão-impregnação. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.1, p.102-106, jan-mar, 2013.

PINTO, E. G. **Caracterização da Espuma de Jenipao (*Genipa americana L.*) com Diferentes Aditivos Visando à Secagem em Leito de Espuma**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, Bahia. 2009.

PRAMODRAO, K. S.; RIAR, C. S. Comparative study of effect of modification with ionic gums and dry heating on the physicochemical characteristic of potato, sweet potato and taro starches. **Food Hydrocolloids**, v.35, p.613-619, 2014.

QUEIROGA, R. C. F; SANTOS, M. A; MENEZES, M. A; VIEIRA, C. P. G; SILVA, M. C. 2007. Fisiologia e produção de cultivares de batata-doce em função da época de colheita. **Horticultura Brasileira**, v.25, n. 3, p. 371-374, 2007.

RAHARITSIFA, N.; GENOVESE, D. B.; RATTI, C. Characterization of Apple Juice Foams for Foam-mat Drying Prepared with Egg White Protein and Methylcellulose. **Journal of Food Science**, v.71, n.3, p.142-151, 2006.

RAJKUMAR, P.; KAILAPPAN, R.; VISWANATHAN, R.; RAGHAVAN, G. S. V. Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. **Journal of Food Engineering**, v.79, p.1452–1459, 2007.

RAVINDRAN V.; RAVINDRAN G.; SIVAKANESAN R.; RAJAGURU S. Biochemical and nutritional assessment of tubers from 16 cultivars of sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.43, n.10, p.2646–2651, 1995.

RESCHSTEINER, M. S. **Produção, digestibilidade e amido resistente em biscoitos extrusados a partir de farinha e fécula de batata-doce e mandioca**. 2005. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Botucatu - São Paulo. 2005.

RIBEIRO, D. M.; CORRÊA, P. C.; RODRIGUES, D. H.; GONELI, A. L. D. Análise da Variação das Propriedades Físicas dos Grãos de Soja Durante o Processo de Secagem. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n.3, p.611-617, jul.-set. 2005.

RONCHETI, E. F. S. **Estudo do Processo de Secagem em Leito de Espuma de Cenoura, Tomate, Beterraba e Morango**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre. 2014.

RUMBAOA, R. G. O.; CORNAGO, D. F.; GERONIMO, I. M. Phenolic content and antioxidant capacity of Philippine sweet potato (*Ipomoea batatas*) varieties. **Food Chemistry**, v.113, 1133–1138, 2009.

SANTOS, C. T.; BONOMO, R. F.; CHAVES, M. A.; FONTAN, R. C. I.; BONOMO, P. Cinética e modelagem da secagem de carambola (*Averrhoa carambola* L.) em secador de bandeja. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v.32, n.3, p.309-313, 2010.

SEBIO, L. **Efeito de alguns parâmetros operacionais de extrusão nas propriedades físico-químicas da farinha de Inhame (*Dioscorea rotundata*)**. Campinas. 106p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. 1996.

SILVA, DIRCEU JORGE. **Análise de Alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. – Viçosa: UFV, 2002. 235p.

SILVA, A. S.; GURJAO, K. C. O.; ALMEIDA, F. A. C.; BRUNO, R. L. A.; PEREIRA, W. E. Desidratação da Polpa de Tamarindo pelo Método de Camada de Espuma. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.6, p.1899-1905, nov./dez., 2008.

SILVA, R. G. V. **Caracterização Físico-química de Farinha de Batata-doce para Produtos de Panificação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Bahia. 2010.

SILVA, G. O.; PONIJALEKI, R.; SUINAGA, F. A. Divergência genética entre acessos de batata-doce utilizando caracteres fenotípicos de raiz. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 4, p. 595-599, 2012.

SINGH, N. J.; PANDEY, R. K. Convective air drying characteristics of sweet potato cube (*Ipomoea batatas L.*). **Food and Bioproducts Processing**, v.90, p.317–322, 2012.

SOARES, E. C.; OLIVEIRA, G. S. F.; MAIA, G. A.; MONTEIRO, J. C. S.; SILVA Jr., A. S.; FILHO, M. de S. de. Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata D.*) pelo processo foam-mat. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, v. 21, n. 2, p.164-170, 2001.

SOUSA, M. de B.; PEDROZA, J. P.; BELTRÃO, N. E. de M.; SEVERINO, L. S.; DANTAS, F. P. Cinética de secagem do farelo de mamona. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.8, n.2, p.139-146, 2006.

SOUSA, K. A.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H.; COSTA, L. M. Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus L.*). **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 4, p. 883-892, out-dez, 2011.

SOUZA, V. C. **Efeito da Liofilização e Desidratação em Leito de Espuma sobre a Qualidade do Pó de Polpa de Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, Bahia. 2011.

SRISUWAN, S., SIHACHAKR, D., YAKOVLEV, S. S. The origin and evolution of sweet potato (*Ipomoea batatas Lam.*) and its wild relatives through the cytogenetic approaches. **Plant Science**, Elsevier, Paris, v.171, p.424-433, 2006.

TACO: **Tabela brasileira de composição de alimentos** / NEPA – UNICAMP.- 4. ed. rev. e ampl. -- Campinas: NEPAUNICAMP, 2011. 161 p.

TEOW, C. C.; TRUONG, V. D.; MCFEETERS, R. F.; THOMPSON, R. L.; PECOTA, K. V.; YENCHO, G. C. Antioxidant activities, phenolic and β -carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours. **Food Chemistry**, v.103, p.829–838, 2007.

TORRES, L. L. G.; EL-DASH, A. A.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R.; GERMANI, R.; MIGUEZ, M. Efeito da umidade e da temperatura no processamento de farinha de banana verde (*Musa acuminata*, grupo AAA) por extrusão termoplástica. **B. CEPPA**, Curitiba, v.23, n.2, p.273-290, jul./dez, 2005.

VIEIRA, J. A. G.; MORAES, I. O. Propriedades físicas e secagem de batata-doce (*Ipomoea batatas*, L). **Alimentos e Nutrição**, v.4, p.79-87, 1992.

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

WANG, H.; FAN, W.; LI, H.; YANG, J.; HUANG, J.; ZHANG, P. Functional Characterization of Dihydroflavonol-4- Reductase in Anthocyanin Biosynthesis of Purple Sweet Potato Underlies the Direct Evidence of Anthocyanins Function against Abiotic Stresses. **Plos One**, v.8, p.1-14, 2013.

WALTER W.; CATIGNANI G. Biological quality and composition of sweet potato protein fractions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 29, n.4, p.797–799, 1981.

WOOLFE, J. **A. Sweet potato: an untapped food resource**. Cambridge: University Press, 1992. 188 p.

ZHU, A.; JIANG, F. Modeling of Mass Transfer Performance of Hot-air Drying of Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.) Slices. **Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly**, v.20, n.2, p.171–181, 2014.

YADAV, A. R.; GUHA, M.; THARANATHAN, R. N.; RAMTEKE, R. S. Changes in characteristics of sweet potato flour prepared by different drying techniques. **LWT - Food Science and Technology**, v.39, p. 20–26, 2006.

YADAV, A. R.; MAHADEVAMMA, S.; THARANATHAN, R. N.; RAMTEKE, R. S.; Characteristics of acetylated and enzyme-modified potato and sweet potato flours. **Food Chemistry**, v.103, p.1119–1126, 2007.

YOSHIMOTO, M.; OKUNO, S.; YOSHINAGA, M.; YAMAKAWA, O.; YAMAGUCHI, M.; YAMADA, J. Antimutagenicity of sweetpotato (*Ipomoea batatas*) roots. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, v.63, p.537–541, 1999.