



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AGRÍCOLA**



TESE

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO
DE PRODUTOS AGRÍCOLAS**

SECAGEM CONVECTIVA DA BATATA YACON EM FORMATO DE CILINDRO

CÍCERA GOMES CAVALCANTE DE LISBÔA

Campina Grande - Paraíba

FEVEREIRO - 2016

SECAGEM CONVECTIVA DA BATATA YACON EM FORMATO DE CILINDRO

CÍCERA GOMES CAVALCANTE DE LISBÔA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas

ORIENTADORES: Prof^a. Dr^a. Josivanda Palmeira Gomes

Prof. Dr^a. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo

Campina Grande - Paraíba

FEVEREIRO – 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

L796s Lisbôa, Cícera Gomes Calvacante de.
 Secagem convectiva da batata yacon em formato de cilindro / Cícera
 Gomes Calvacante de Lisbôa. – Campina Grande, 2017.
 138 f. : il. color.

 Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de
Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2016.

 "Orientação: Prof^ª. Dr^ª. Josivanda Palmeira Gomes, Prof^ª. Dr^ª.
Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo".

 Referências.

 1. Batata Yacon (*Smallanthus sonchifolia*). 2. Encolhimento. 3.
Difusividade Efetiva. 4. Capacidade Antioxidante. 5. Isotermas de
Adsorção de Água. I. Gomes, Josivanda Palemira. II. Figueirêdo,
Rossana Maria Feitosa de. III. Título.

CDU 635. 21(043)



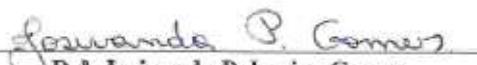
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE

CÍCERA GOMES CAVALVANTE DE LISBOA

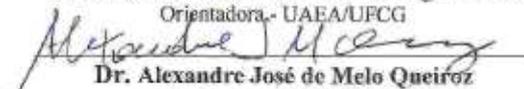
**SECAGEM CONVECTIVA DA BATATA YACON EM FORMATO
DE CILINDRO**

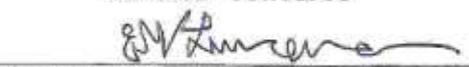
APROVADA: 25 de fevereiro de 2016

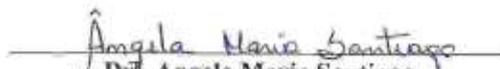
BANCA EXAMINADORA

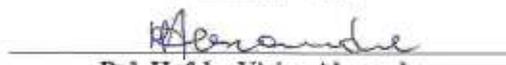

Dr.ª Josivanda Palmeira Gomes
Orientadora - UAEA/UFCG


Dr.ª Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo
Orientadora - UAEA/UFCG


Dr. Alexandre José de Melo Queiroz
Examinador - CCTA/UFCG


Dr. Eliseu Marlônio Pereira de Lucena
Examinador - UECE


Dr.ª Angela Maria Santiago
Examinadora - UFPB


Dr. Hofsky Vieira Alexandre
Examinadora - CNPQ/UFCG

Tudo é do Pai! A Ele, toda honra e glória, agora e para sempre!

É mais uma vitória alcançada em minha vida, tudo pertence a ti Senhor!

“Não tenho palavras para agradecer tua bondade, dia após dia me cerca com fidelidade, nunca me deixe esquecer, que tudo o que eu tenho tudo o que eu sou, e o que vier a ser, vem de Ti Senhor. Dependendo de Ti, preciso de Ti, sozinha nada posso fazer”.

Ó Cristo, embora sejam necessários tão grandes esforços, com a Vossa graça tudo se consegue. (Diário de Santa Faustina nº 1696)

Jesus, eu confio na tua misericórdia infinita; Obrigada Senhor!

Consagro este trabalho a Jesus Misericordioso, a quem devo minha vida, e a Nossa Senhora, por ser sempre tão fiel intercessora.

Dedico e ofereço a meus pais, Lisbôa e Socorro, e a meus irmãos Júnior, Jardel, Lílíane, Jonas e Sílene, como prova do meu eterno e imenso amor.

Dedico e ofereço a meu sobrinho Dante, o qual enche nossa vida de alegria e muito mais amor.

Dedico a Regina Célia Gomes Garcia Nobre, grande amiga, por sua vida, por ser fonte de força, e por ter me incentivado de uma forma singular, a dar este passo na vida profissional.

Eu amo vocês!

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida; por ter me concedido, nesse período tão grande livramento; por sua infinita misericórdia, pela força constante e por ser sempre essa luz a me guiar.

A meus pais, Lisbôa e Socorro, por minha vida, por acreditarem sempre em mim, em todos os momentos, em mim, por ver uma oportunidade onde existia uma dificuldade; por me ajudarem a superar cada fase, pelo aconchego tão importante a cada volta à nossa casa e por todo o amor.

A meus irmãos Júnior, Jardel, Liliane, Jonas e Silene, por me apoiarem sempre, por serem tão companheiros, estando ao meu lado em todos os momentos e por fazerem parte dos meus sonhos.

A meu sobrinho Dante, por me transmitir um amor até então desconhecido, por trazer ainda mais alegria à minha vida, por me fazer tão feliz.

Às minhas cunhadas Ionara e Gabriela, por se tornarem irmãs, por se sentirem felizes a cada etapa vencida; por me amarem e torcerem por mim.

A meus avós (in memoriam), por terem cuidado de nossa família enquanto Deus permitiu e porque, além de sentir suas presenças, sei que onde estiverem estão orgulhosos pela concretização deste sonho.

A toda a minha família, Cavalcante e Pereira, indistintamente; aos tios (as) e primos (as), que sempre torceram por mim de uma forma muito especial e por entenderem, em muitos momentos, minha ausência.

Às minhas professoras orientadoras, Josivanda Palmeira Gomes e Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo, por todos os ensinamentos repassados, pela orientação indispensável durante esta pesquisa e para a conclusão deste trabalho, por todo o apoio prestado em todos os momentos; saibam que, para sempre serão lembradas e que os conhecimentos transmitidos foram além da vida profissional, e que os levarei para sempre comigo; a vocês, minha eterna gratidão.

Ao professor Alexandre José de Melo Queiroz, por me orientar e ajudar sempre que precisei, mesmo não sendo sua competência; muito grata, professor.

Aos professores que se dispuseram a fazer parte da banca examinadora.

A Dyalla e Regilane, por terem compartilhado comigo este momento da minha vida, pela companhia, amizade construída, por tudo que me ensinaram, pelos conhecimentos compartilhados, tudo foi providência divina, minha eterna gratidão.

A João Carlos, pela amizade e pelos conhecimentos transmitidos e por ter me auxiliado nesta pesquisa, contribuindo para o meu aprendizado.

A Suzy, Regina, Fran e Girlene, amigas de valor incalculável, por terem sido meu apoio em tantos momentos, por ouvirem minhas angústias, medos, por me ajudarem a vencer cada um deles; mesmo distante, foram pilares de sustentação; a vocês minha eterna gratidão e amor.

À amiga Jane e família, por terem me acolhido de forma muito especial, pela amizade tão importante.

À amiga Silvana Nazareth, por todos os momentos vividos, por ser uma companheira fiel; por todo o auxílio prestado, por tudo; a você minha amizade, amor e gratidão.

Ao amigo Carlos Pedro, pela companhia durante as viagens, por seu apoio e sua amizade.

Aos amigos Adelino, Marcela, Rodrigo, Alison, Inácia, Deise, Maria, Jemima, Luzia Márcia, Nalva, Daniele, Elizabete, Dyego, Fran e Jade, por terem compartilhado tantos momentos juntos, por todas as vezes que me ajudaram de alguma forma, pela companhia no laboratório; por todas as horas de estudo e por todas as conversas boas, durante nossos encontros.

À professora Líbia Conrado, por ter disponibilizado os laboratórios para parte da realização dessa pesquisa e a todos com quem convivi durante este tempo.

À professora Wanda, por ter sido companheira em vários momentos e por ter contribuído, de alguma forma para a pesquisa.

A Katarina e Vânia, pelo apoio e conhecimentos transmitidos, minha gratidão.

Ao diretor da Faculdade de Tecnologia do Cariri- FATEC, Emerson Lacerda, e à técnica de laboratório e amiga Karine, por terem me apoiado nesta fase.

À Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade concedida e por todo o apoio prestado

À Capes, pelo apoio financeiro.

A todos que contribuíram, de forma direta ou indireta, para a realização deste trabalho, a todos, minha eterna gratidão!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	vi
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - Objetivo Geral.....	2
1.1.1 – Objetivos específicos.....	3
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 – Batata yacon.....	4
2.1.1 – Composição físico-química da batata yacon.....	5
2.2.1.1 – Frutanos (Inulina e frutooligossacarídeos).....	8
2.2 – Secagem.....	9
2.2.1 – Difusividade efetiva.....	12
2.2.2 – Encolhimento.....	14
2.3 – Processamento da batata yacon: estado da arte.....	16
2.4 – Isotermas de adsorção de água.....	22
3 – MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1 – Matéria-prima.....	26
3.2 – Processamento da batata yacon.....	26
3.3 – Caracterização do tubérculo de yacon in natura.....	27
3.3.1 – pH.....	28
3.3.2 – Sólidos solúveis totais (°Brix).....	28
3.3.3 – Teor de água.....	28
3.3.4 – Acidez total titulável.....	28
3.3.5 – Ácido ascórbico.....	28
3.3.6 – Açúcares totais, redutores e não redutores.....	28
3.3.7 – Cinzas.....	29
3.3.8 – Minerais.....	29
3.3.9 – Proteínas.....	29
3.3.10 – Lipídeos.....	29
3.3.11 – Amido.....	29

3.3.12 – Fibra bruta.....	29
3.3.13 – Cor.....	30
3.3.14 – Atividade de água.....	30
3.3.15 – Densidade.....	31
3.3.16 – Flavonoides.....	31
3.3.17 – Compostos fenólicos totais.....	31
3.3.18 – Atividade antioxidante (DPPH).....	31
3.3.19 – Atividade antioxidante (FRAP).....	32
3.4 - Secagem das amostras.....	32
3.4.1 – Cinética de secagem.....	33
3.4.2 – Difusividade efetiva.....	35
3.4.2.1 – Modelos de difusão sem encolhimento.....	35
3.4.2.2 – Modelos de difusão com encolhimento.....	38
3.4.3 – Cinética de encolhimento.....	39
3.4.3.1 – Modelagem da cinética de encolhimento.....	39
3.4.4 – Caracterização dos cilindros de yacon após o processo de secagem	41
4.4.5 – Análise estatística.....	41
3.5 – Isotermas de adsorção de água.....	41
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1 – Caracterização física, química e físico-química de batata yacon in natura.....	43
4.1.1 – Perfil dos minerais da batata yacon in natura.....	48
4.2 – Secagem dos cilindros de batata yacon.....	51
4.2.1 – Cinética de secagem.....	51
4.2.2 – Modelo difusional de Fick.....	61
4.2.2.1 – Difusividade efetiva sem considerar o encolhimento.....	61
4.2.2.2 – Difusividade efetiva considerando o encolhimento.....	64
4.2.3 – Estudo do encolhimento.....	70
4.3 - Caracterização dos cilindros de batata yacon após o processo de secagem.....	74
4.3.1 – Teor de água.....	75

4.3.2 – Atividade de água.....	76
4.3.3 – Açúcares.....	78
4.3.4 – Proteínas.....	79
4.3.5 – Acidez total titulável.....	82
4.3.6 – pH.....	83
4.3.7 – Compostos fenólicos totais.....	87
4.3.8 – Flavonóides.....	88
4.3.9 – Atividade antioxidante (DPPH).....	89
4.3.10 – Atividade antioxidante (FRAP).....	90
4.3.11 – Parâmetros de cor.....	91
4.3.12 – Densidade.....	92
4.3.13 – Minerais.....	93
4.4 – Isotermas de adsorção de água.....	96
5 – CONCLUSÕES.....	105
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 -	Batata yacon in natura.....	4
Figura 2.2 -	Classificação das isotermas de BRUNAUER (1940).....	24
Figura 3.1 -	Fluxograma de armazenamento de yacon in natura.....	27
Figura 3.2 -	Fluxograma geral do processo de secagem dos cilindros de batata yacon.....	32
Figura 3.3 -	Batatas yacon: a) in natura; b) batatas cortadas no formato de cilindro; c) cilindros no secador.....	33
Figura 4.1 -	Cinéticas de secagem dos cilindros de batata yacon nas diferentes temperaturas com ajuste pelo modelo de Aproximação de difusão com velocidade do ar de 1,0 m/s	54
Figura 4.2 -	Cinéticas de secagem dos cilindros de batata yacon nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Aproximação da difusão com velocidade do ar de 1,5 m/s.....	57
Figura 4.3 -	Cinéticas de secagem dos cilindros de batata yacon nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Aproximação da difusão com velocidade do ar de 2,0 m/s.....	59
Figura 4.4 -	Ajuste ao modelo de difusão aos dados experimentais da secagem dos cilindros de batata yacon, sem considerar o encolhimento, nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem: a) 1,0 m/s; b) 1,5 m/s; c) 2,0 m/s.....	64
Figura 4.5 -	Ajuste ao modelo de difusão, considerando o encolhimento, aos dados experimentais da secagem dos cilindros de batata yacon com velocidade de ar de secagem de 1,0 m/s nas diferentes temperaturas.....	67
Figura 4.6 -	Ajuste ao modelo de difusão, considerando o encolhimento, aos dados experimentais da secagem dos cilindros de batata yacon com velocidade de ar de secagem de 1,5 m/s nas diferentes temperaturas.....	68
Figura 4.7 -	Ajuste ao modelo de difusão, considerando o encolhimento, aos dados experimentais da secagem dos cilindros de batata yacon com velocidade de ar de secagem de 2,0 m/s nas diferentes temperaturas..	69

Figura 4.8 -	Ajuste ao modelo Central aos dados experimentais da razão da área (A/A_0) em função da razão do teor de água (X/X_0) na secagem de cilindros de batata yacon em diferentes temperaturas de secagem na velocidade de ar de 1,0 m/s.....	73
Figura 4.9 -	Ajuste ao modelo Central aos dados experimentais da razão da área (A/A_0) em função da razão do teor de água (X/X_0) na secagem de cilindros de batata yacon em diferentes temperaturas de secagem na velocidade de ar de 1,5 m/s.....	73
Figura 4.10 -	Ajuste ao modelo Central aos dados experimentais da razão da área (A/A_0) em função da razão do teor de água (X/X_0) na secagem de cilindros de batata yacon em diferentes temperaturas de secagem na velocidade de ar de 2,0 m/s.....	74
Figura 4.11 -	Isoterma de adsorção de água, a 25 °C, dos cilindros da batata yacon secados a 50 °C com ajustes pelo modelo de Peleg.....	98
Figura 4.12 -	Isoterma de adsorção de água, a 25 °C, dos cilindros da batata yacon secados a 60 °C com ajustes pelo modelo de Peleg.....	102
Figura 4.13 -	Isoterma de adsorção de água, a 25 °C, dos cilindros da batata yacon secados a 70 °C com ajustes pelo modelo de Peleg.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 -	Composição de físico-química da batata yacon in natura.....	7
Tabela 2.2 -	Composição relativa de sacarídeos em raízes de yacon.....	8
Tabela 3.1 -	Primeiras 10 raízes da função de Bessel de primeiro tipo e de ordem zero.....	38
Tabela 4.1 -	Valores médios e desvios padrão dos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos da batata yaco in natura.....	44
Tabela 4.2 -	Valores médios dos minerais avaliados na batata yacon (<i>Smallanthus sonchifolius</i>) in natura.....	49
Tabela 4.3 -	Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem dos cilindros da batata yacon para temperaturas avaliadas com velocidade do ar 1,0 m/s.....	51
Tabela 4.4 -	Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem dos cilindros da batata yacon para temperaturas avaliadas com velocidade do ar 1,5 m/s.....	55
Tabela 4.5 -	Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem dos cilindros da batata yacon para temperaturas avaliadas com velocidade do ar 2,0 m/s.....	58
Tabela 4.6 -	Valores da difusividade efetiva de água (Def) dos cilindros da batata yacon em função das diferentes temperaturas de secagem e velocidades do ar com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).....	61
Tabela 4.7 -	Valores da difusividade efetiva de água (Def) dos cilindros da batata yacon em função das diferentes temperaturas de secagem e velocidades do ar com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), considerando o encolhimento.....	65

Tabela 4.8 -	Valores do coeficiente de encolhimento (n), coeficiente de determinação (R^2) e o desvio percentual médio (P) dos modelos Uniforme 1, Uniforme 2 e Central em função das diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem.....	70
Tabela 4.9 -	Valores médios do teor de água (% b.u.) dos cilindros de batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem.....	75
Tabela 4.10 -	Valores médios do pH dos cilindros de batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem.....	77
Tabela 4.11 -	Valores médios da acidez total titulável (% ácido cítrico) dos cilindros de batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem.....	78
Tabela 4.12 -	Valores médios de açúcares redutores (% glicose), açúcares totais (% glicose) e açúcares não redutores (% sacarose) dos cilindros de batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem.....	80
Tabela 4.13 -	Valores médios de proteína (%) dos cilindros de batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem.....	82
Tabela 4.14 -	Valores médios dos parâmetros de cor dos cilindros de batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem.....	84
Tabela 4.15 -	Valores médios da atividade de água (a_w) dos cilindros de batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem.....	87
Tabela 4.16 -	Valores médios de densidade (g/cm^3) dos cilindros de batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem.....	88
Tabela 4.17 -	Valores médios dos flavonoides (mg/100 g) dos cilindros de batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem	89

Tabela 4.18 -	Valores médios de compostos fenólicos (mg AG/100 g) dos cilindros de batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem.....	90
Tabela 4.19 -	Valores médios da capacidade antioxidante (DPPH) ($\mu\text{mol Tx/g}$) dos cilindros de batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem.....	91
Tabela 4.20 -	Valores médios da capacidade antioxidante (FRAP) ($\mu\text{mol Tx/g}$) dos cilindros de batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem.....	93
Tabela 4.21 -	Valores médios dos minerais (mg/100 g) dos cilindros de batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem.....	94
Tabela 4.22 -	Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos de ajuste da isoterma de adsorção de água, a 25 °C para os cilindros de batata yacon nas velocidades do ar de 1,0, 1,5 e 2,0 m/s e temperatura de 50 °C.....	97
Tabela 4.23 -	Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos de ajuste da isoterma de adsorção de água, a 25 °C para os cilindros de batata yacon nas velocidades do ar de 1,0, 1,5 e 2,0 m/s e temperatura de 60 °C.....	99
Tabela 4.24 -	Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos de ajuste da isoterma de adsorção de água, a 25 °C para os cilindros de batata yacon nas velocidades do ar de 1,0, 1,5 e 2,0 m/s e temperatura de 70 °C.....	103



RESUMO

A batata yacon (*Smallanthus sonchifolia*) originária dos Andes, foi trazida para o Brasil, tornando-se conhecida popularmente como batata diet, em razão de ser rica em frutooligossacarídeos (FOS) e inulina. Esses constituintes têm efeito benéfico na saúde por possuírem baixo valor calórico e contribuir para redução do colesterol e glicose. Com isto, este trabalho teve, como objetivo, realizar a secagem da batata yacon em formato cilíndrico, em secador de leito fixo em diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C) e velocidades do ar de secagem (1,0; 1,5 e 2,0 m/s). A batata yacon *in natura* foi caracterizada, quanto aos parâmetros físicos, químicos e físico-químicos. Os modelos da Aproximação da difusão, Page, Henderson & Pabis e Dois termos, foram ajustados aos dados da cinética de secagem, sendo determinado o coeficiente de encolhimento e a difusividade efetiva. A batata yacon seca foi caracterizada física, química e físico-quimicamente e determinadas suas isotermas de adsorção de água na temperatura de 25 °C ajustando-se os modelos de GAB, Oswin e Peleg aos dados experimentais. Constatou-se que a batata yacon *in natura* tem baixa acidez e teor de amido e é fonte de antioxidantes e minerais. A temperatura e a velocidade do ar de secagem influenciaram na difusividade efetiva e no encolhimento resultando no aumento dos mesmos com o aumento desses parâmetros. As amostras secas apresentaram baixa atividade de água, aumento na concentração dos açúcares, dos compostos fenólicos e da capacidade antioxidante, e além de tendência ao escurecimento durante a secagem. Verificou-se que os modelos de GAB, Oswin e Peleg podem ser utilizados para estimar as isotermas de adsorção de água e foram classificadas como tipo II e III.

Palavras-chave: *Smallanthus sonchifolia*, encolhimento, difusividade efetiva, capacidade antioxidante, isotermas de adsorção de água



ABSTRACT

The potato yacon (*Smallanthus sonchifolia*) is originally from the Andes and was brought to Brazil for cultivation. It became popularly known as the diet potato because it is rich in fructooligosaccharides (FOS) and inulin. These constituents have a beneficial effect on health because they have low caloric value and contribute to reducing cholesterol and glucose. The objective of this work was to dry the yacon potato in a cylindrical format in a fixed bed dryer at different temperatures (50, 60 and 70 °C) and drying air velocities (1.0, 1.5 And 2.0 m/s). The yacon potato in natura was characterized regarding its physical, chemical and physicochemical parameters. The Page, Henderson & Pabis, and Two terms diffusion approximation models were adjusted to the drying kinetics data, and the shrinkage coefficient and effective diffusivity were determined. The dry yacon potato was characterized physically, chemically and physico-chemically and its moisture adsorption isotherms were determined at 25 °C and adjusting the GAB, Oswin and Peleg models to the experimental data. Potato yacon in natura has been found to have low acidity and starch content, and is a source of antioxidants and minerals. The temperature and the drying air velocity influenced the effective diffusivity and the shrinkage, resulting in an increase in these measurements with the increase of these parameters. The dry samples showed low water activity, increased sugar concentration, phenolic compounds and antioxidant capacity, as well as a tendency for browning during drying. It was found that the GAB, Oswin and Peleg models can be used to estimate the moisture adsorption isotherms and were classified as type II and III.

Keywords: *Smallanthus sonchifolia*, shrinkage, effective diffusivity, antioxidants, moisture adsorption isotherms.

1 - INTRODUÇÃO

A batata yacon (*Smallanthus sonchifolia*), originária dos Andes, começou a ser plantada no Brasil através da colonização japonesa, na região de Capão Bonito-SP, cuja raiz se tornou conhecida popularmente como batata yacon ou batata diet, sendo cultivada também em outras regiões (MOSCATTO et al., 2006; SANTANA e CARDOSO, 2008).

A cor da casca varia do marrom até uma tonalidade arroxeada enquanto a polpa comestível pode ser branca, amarela, laranja ou roxa, dependendo da variedade (VALENTOVÁ et al., 2003; MANRIQUE et al., 2005). Apesar de ser um tubérculo, alguns autores consideram a batata yacon como fruta, devido a sua polpa ser suculenta e ter aparência e sabor parecidos com maçã e pera (SEMINÁRIO e VALDERRAMA, 2003).

A batata yacon é uma planta perene da família Asteraceae que apresenta um nível energético relativamente baixo, apesar de seu sabor doce (CAZETTA et al., 2005).

Existe um crescimento constante no consumo de alimentos nutraceuticos, que são alimentos que possuem características nutricionais e terapêuticas. As raízes tuberosas e rizóforos da batata yacon são uma fonte particularmente abundante de frutooligossacarídeos (FOS) e inulina, os quais têm efeito benéfico para a saúde dos seres humanos, visto que possuem baixo valor calórico, diminuem o colesterol e o nível de glicose no sangue, melhorando a saúde de quem a consome, sendo utilizado como auxiliar no tratamento contra diabetes e colesterol, além de melhorar o equilíbrio da microflora intestinal, impedindo e controlando a constipação (GENTA et al., 2009; OJANSIVU et al., 2011; PROBST, 2013).

Apesar de todo o potencial nutritivo, este tubérculo ainda é produzido em pequena escala e tem rápida deterioração pós-colheita. Por essas razões, o desenvolvimento de produtos a base da batata yacon, que mantêm sua qualidade nutricional e permitem maior vida útil, é uma alternativa para os problemas citados (SILVEIRA, 2009).

Novos produtos estão sendo desenvolvidos a partir da yacon, como xaropes, sucos, *chips* (yacon cortado em lâminas desidratadas) e chás provenientes das folhas (OJANSIVU et al., 2011). No Japão, as raízes da batata yacon são popularmente conhecidas e transformadas em produtos de panificação, bebida láctea fermentada, pó, picles, entre outros, dentre esses produtos pode ser citados aqueles provenientes da tecnologia de fermentação, como as bebidas alcoólicas, cada vez mais estudadas no Brasil (RECAMALES et al., 2011).

A batata yacon vem despertando interesse científico pelos efeitos benéficos para a saúde humana, devido à presença de FOS e outros componentes bioativos aumentando assim os estudos acerca do tubérculo e seus derivados, a fim de aprimorar o conhecimento sobre esse vegetal para um aproveitamento melhor dos benefícios (BORGES et al., 2012; SOUSA, 2013). Devido ao alto teor de água, em média 90%, a batata yacon é suscetível a uma rápida degradação, o que diminui consideravelmente sua vida útil (SOUSA, 2013).

Deste modo, a secagem surge como alternativa para ampliar o período de armazenagem do produto e para assegurar um abastecimento contínuo ao longo do ano. Este método de conservação é usado pela humanidade desde a antiguidade para a preservação de alimentos (OLIVEIRA et al., 2012). A secagem é um processo que melhora a estabilidade dos alimentos, uma vez que reduz consideravelmente a atividade de água, minimizando as alterações físicas, químicas e microbiológicas durante seu armazenamento, proporcionando maior vida útil ao produto obtido no final do processo (OCHOA et al., 2002; HATAMIPOUR et al., 2007). Durante o processo a água é removida do alimento para o ambiente, através da transferência de calor. A secagem também influencia as propriedades sensoriais do alimento, fornecendo sabor único, cor e textura (LEWICKI, 2006; RUIZ-LÓPEZ et al., 2008).

O efeito antioxidante das raízes da batata yacon foi avaliado no estudo realizado por Castro et al. (2012), tendo-se verificado que a capacidade antioxidante permanece nas amostras secas e que sua retenção depende do método de secagem e da geometria das amostras, constatando que em temperaturas de secagem próximas a 50 °C as batatas cortadas na forma de tiras resultaram na melhor retenção da capacidade antioxidante. De acordo com Maydata (2002), os compostos fenólicos têm como propriedades gerais serem antioxidantes. Desta forma, exercem efeitos quelantes e modulam as atividades de vários sistemas enzimáticos de modo a atuar majoritariamente na dieta, como elementos que promovem saúde ante os fatores químicos e físicos estressantes para o organismo.

1.1 - Objetivo geral

Este trabalho foi realizado com o objetivo de secar a batata yacon (*Smallanthus sonchifolia*), em formato cilíndrico, em secador de leito fixo em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem.

1.1.1 – Objetivos específicos

- Caracterizar a batata yacon quanto aos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos;
- Realizar a secagem da batata yacon em formato cilíndrico, nas temperaturas de 50, 60, 70 °C e se variando a velocidade do ar de secagem (1,0; 1,5 e 2,0 m/s);
- Ajustar os modelos de Aproximação da difusão, Page, Henderson e Pabis e Dois Termos aos dados experimentais da cinética de secagem;
- Determinar o coeficiente de encolhimento da batata yacon nas diferentes condições de secagem;
- Caracterizar as amostras secas obtidas quanto aos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos;
- Determinar as isotermas de adsorção de água das amostras secas na temperatura de 25 °C.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Batata yacon

A batata yacon (Figura 2.1), cujo nome científico é *Smallanthus sonchifolius*, foi classificada inicialmente por Poeppig e Endlicher, como pertencente ao gênero *Polymnia*. Contudo, em 1978 H. Robinson restabeleceu e a incorporou ao gênero *Smallanthus*, consagrando seu nome botânico *Smallanthus sonchifolius*, espécie da família Asteraceae, considerando que há diferenças importantes separando os gêneros (VALENTOVÁ et al., 2005; KOTOVICZ, 2011).

Este tubérculo originário dos Andes tem aparência semelhante à batata doce; entretanto, possui sabor mais adocicado e textura mais crocante. É uma espécie extremamente adaptável quanto ao clima, altitude e tipo de solo, sendo que sua alta resistência ao frio e à seca está relacionada à grande quantidade de carboidratos de reserva nos órgãos subterrâneos. As raízes tuberosas da yacon são fusiformes, apresentando grande variação no tamanho, formato e peso, podendo atingir até 40 cm de comprimento e pesar até 2 kg (VILHENA et al., 2000; LACHMAN et al., 2003; SILVA et al., 2003).



Figura 2.1 – Batata yacon in natura

A batata yacon é cultivada em regiões próximas às florestas úmidas, em microambientes temperados e chuvosos. Dependendo do índice pluviométrico, completa seu ciclo produtivo em 7 meses, que pode ser mais longo em altitudes mais elevadas. No

Brasil, a safra vai de março a setembro mas é possível encontrar uma pequena oferta em outros meses (QUINTEROS, 2000). O cultivo da raiz tem proporcionado vantagens para os produtores pois a batata yacon possui características que têm sido vinculadas a inúmeros benefícios para a população em geral, representando um novo produto a ser explorado e aplicado em níveis agrícola, tecnológico e científicos (SANTANA e CARDOSO, 2008).

A batata yacon é consumida tradicionalmente na forma in natura mas também é encontrada na forma desidratada, com alto valor agregado no comércio internacional, como no Chile e na Alemanha; é utilizada também como ingrediente em formulações de produtos para diabéticos como por exemplo, geleia e xarope de yacon (MOURA, 2004).

Apesar dos notórios benefícios provenientes do cultivo da batata yacon tanto para obtenção das raízes e desenvolvimento de produtos, no Brasil as áreas onde a planta é cultivada geralmente se restringem ao estado de São Paulo. Logo, são requeridas mais pesquisas e divulgação a respeito das potencialidades da espécie para o plantio em diferentes tipos de condições climáticas. Igualmente são necessárias implementações de técnicas e processamentos para que a raiz, na pós-colheita e seus subprodutos, contenham maiores teores de componentes, como os frutooligossacarídeos (FOS) e os polifenóis, desde que apresentem características que tornem o consumo mais atrativo e popular, tendo em vista que se trata de um alimento promissor (BORGES et al., 2012).

2.1.1 - Composição da batata yacon

A água é o maior componente desta raiz, por volta de 90%, o que a torna suscetível a uma rápida degradação e a uma vida útil, em condições ambientes, de aproximadamente 7 (sete) dias (MOURA, 2004). As raízes tuberosas da batata yacon contêm entre 10 a 14% de matéria seca, fração composta por aproximadamente 90% de carboidratos (digeríveis e não digeríveis) dentre os quais frutose e glicose, sacarose e FOS, além de traços de amido e inulina. A composição dos açúcares varia em função de fatores como: cultivar, estágio de maturação, época de cultivo e colheita, tempo e temperatura pós-colheita e condições de processamento (SEMINARIO e VALDERRAMA, 2003; KANASHIRO et al., 2008, VASCONCELOS et al., 2010; RODRIGUES et al., 2011).

A composição físico-química média da batata yacon (base seca) por tipo de carboidratos totais varia de 40 a 70% de frutooligossacarídeos (FOS), 5 a 15% de sacarose,

5 a 15% de frutose e menos de 5% de glicose (MANRIQUE et al., 2005; MADRIGAL e SANGRONIS, 2007).

Em oposição à maioria dos tubérculos e raízes que armazenam carboidratos na forma de amido, a batata yacon armazena essencialmente frutooligossacarídeos (FOS), açúcares que não podem ser digeridos diretamente pelo organismo humano devido à ausência de enzimas necessárias para o metabolismo desses elementos sendo, portanto, considerados componentes bioativos na alimentação humana (GENTA et al., 2009). Segundo Dupont e Dupont (2011), esses açúcares são utilizados por bactérias ácido lácticas presentes no intestino grosso.

O mineral mais abundante na batata yacon é o potássio (230 mg/100 g de matéria fresca comestível ou de 1 a 2% de peso seco), presente em quantidades superiores às daquelas de frutas geralmente consumidas no Brasil como banana, laranja, limão, goiaba, maçã, mamão, manga, melancia, melão e pera, dentre outras. Em menores quantidades são encontrados cálcio, fósforo, magnésio, sódio, ferro, zinco, manganês e cobre (MANRIQUE e PÁRRAGA, 2005; RODRIGUES et al., 2011; NEPA, 2011). A batata yacon apresenta em sua composição, compostos fenólicos e antioxidantes (SALES et al., 2010).

Em comparação a outras raízes e tubérculos, as raízes da batata yacon possuem elevada quantidade de compostos fenólicos, cerca de 200 mg/100 g de matéria fresca comestível, sendo o ácido clorogênico presente em $48,5 \pm 12,9$ µg/g de polpa fresca (MAYDATA 2002; SIMONOVSKA et al., 2003).

Ainda que a concentração de compostos fenólicos nas raízes seja alta, a concentração se apresenta ainda mais elevada em outros órgãos da planta, como as folhas. Esses compostos devem como propriedades gerais, ser antioxidantes, exercer efeitos quelantes e modular a atividade de vários sistemas enzimáticos, de modo a atuar majoritariamente na dieta como elementos que promovem saúde perante fatores químicos e físicos estressantes para o organismo (MAYDATA, 2002).

A batata yacon possui quantidade superior de fenólicos totais/grama de matéria fresca in natura (cerca de 200 mg/100 g de matéria fresca comestível) quando comparada à batata doce (161 mg/100 g de matéria fresca comestível) (VALENTOVÁ et al., 2003).

A presença desses fenólicos torna a raiz suscetível a reações de escurecimento, causadas pelas enzimas peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO). Nesta reação ocorre a formação de melanina (pigmento escuro), que deprecia a qualidade do produto (NEVES e SILVA, 2007), sendo seu controle ou prevenção facilmente realizado por meio da

desidratação, do armazenamento em baixas temperaturas, do tratamento térmico, da eliminação do oxigênio do meio e da utilização de agentes químicos, dentre outros (CABELLO, 2005; LUPETTI et al., 2005)

Observa-se, na Tabela 2.1, o elevado teor de água da batata yacon, e também os minerais, sendo o potássio o que se apresenta em maior quantidade.

Tabela 2.1 - Composição físico-química da batata yacon in natura

Parâmetro	Valores (faixa)
Teor de água (g/100 g)	70-93
Carboidratos (g/100 g)	9-13,8
Proteínas (g/100 g)	0,1-4,9
Lipídeos (g/100 g)	0,1-0,464
Cinzas (g/100 g)	0,3-6,0
Fibras (g/100 g)	0,3-4,1
Valor calórico (Kcal/100 g)	14-22
Potássio (mg/100 g)	180-334
Cálcio (mg/100 g)	6-131
Fósforo (mg/100 g)	21-309
Ferro (mg/100 g)	0,2-0,3
Retinol (mg/100 g)	10
Caroteno (mg/100 g)	0,08-0,13
Tiamina (mg/100 g)	0,01-0,07
Riboflavina (mg/100 g)	0,1-0,31
Niacina (mg/100 g)	0,33
Ácido ascórbico (mg/100 g)	5-13

Fonte: OJANSIVU et al. (2011).

Algumas vitaminas (retinol, caroteno, tiamina, riboflavina, niacina), encontradas na batata yacon, geralmente representam elementos em traço em sua composição, exceto o ácido ascórbico. Outro composto também presente é o triptofano, existente em quantidades médias de 14,6 µg/g (TAKENAKA et al., 2003; VALENTOVÁ e ULRICHOVÁ, 2003).

O teor de oligofrutanos encontrado na batata yacon tem despertado o interesse de muitos pesquisadores por ser um componente bioativo com alegação de prebiótico (KEENAN et al., 2011; SOLEIMANI et al., 2012).

Na Tabela 2.2 tem-se os principais açúcares presentes na raiz da batata yacon, com destaque para a concentração de frutooligossacarídeos (FOS).

Tabela 2.2 - Composição relativa de sacarídeos na batata yacon

Açúcares	Composição (%)
Frutooligossacarídeos	46,1
Sacarose	9,7
Glicose	14,6
Frutose	29,6

Fonte: PEREIRA (2009).

2.1.1.1 – Frutanos (inulina e frutooligossacarídeos)

Evidências científicas reconhecem a batata yacon como fonte promissora de frutanos, tais como inulina e frutooligossacarídeos (FOS), que atuam como fibra alimentar com função prebiótica e são fermentados pelas bactérias intestinais, proporcionando inúmeros benefícios à saúde humana (SOUSA, 2013), visto que atuam no organismo afetando benéficamente o hospedeiro pelo estímulo seletivo do crescimento de bactérias no cólon (SALES et al., 2010). Além disso, atuam como antioxidantes, não são metabolizados pelo organismo, seu consumo não eleva o nível de glicose no sangue e sua contribuição calórica é muito reduzida. Sendo assim, a batata yacon é considerada um excelente alimento para indivíduos com diabetes ou excesso de peso (MANRIQUE et al., 2003).

A inulina é proveniente da frutose, não digerível, sem sabor e com baixo aporte calórico. É empregada na preparação de alimentos auxiliando na textura, na consistência, na viscosidade e na umidade. Tais características proporcionam sensação gustativa similar à da gordura e aumento no aporte de fibras de produtos alimentícios (TEIXEIRA et al., 2009; MORRIS e MORRIS, 2012). Culturas ricas em oligofrutanos têm grande versatilidade industrial porque esses açúcares podem substituir sacarose, gordura e farinha com baixo índice calórico, proporcionando muitos benefícios para a saúde dos consumidores (SUMIYANTO et al., 2012).

Os frutooligossacarídeos (FOS) e a inulina possuem propriedades importantes para a indústria de alimentos, como ausência de cor e odor, estabilidade em pH neutro e em temperaturas superiores a 140 °C, sendo aplicáveis em vários produtos alimentícios. São utilizados no sentido de conferir consistência a produtos lácteos, maciez a produtos de panificação, diminuir o ponto de congelamento de sobremesas congeladas, conferir crocância a biscoitos com baixo teor de gordura, além de atuar como ligante em barras de cereais (PRATI et al., 2009; VASCONCELOS et al., 2010). No entanto, esses compostos podem hidrolisar rapidamente após a colheita, o que afeta as características funcionais da yacon (SHI et al., 2013).

Graefe et al. (2004) verificaram após uma semana de armazenamento da batata yacon a temperatura ambiente, que cerca de 30 a 40% dos frutooligossacarídeos (FOS) foram transformados em açúcares simples. Porém a velocidade desta conversão é mais lenta se a yacon é armazenada em temperaturas de refrigeração.

Segundo Vilhena et al. (2000), as raízes para consumo in natura podem ser armazenadas em câmara fria, em temperatura de 4 °C, por período de até 30 dias, preservando suas características físicas e químicas.

Os fenômenos de escurecimento e perdas nutritivas são comuns durante o transporte e armazenamento, o que restringe o uso da batata yacon na indústria, dificultando seu desenvolvimento, resultando em grandes perdas econômicas pós-colheita (SHI et al., 2011). Além disso, em virtude da batata yacon ser uma planta sazonal, é imperativo aplicar tecnologias industriais, tais como secagem, para preservá-la e torná-la disponível para o processamento durante todo o ano (SHER et al., 2009).

As características da planta e da raiz têm sido vinculadas aos inúmeros benefícios para o consumidor em geral, representando um novo produto a ser explorado e aplicado em níveis social, agrícola, tecnológico e científico. A continuidade das investigações sobre alimentos com propriedades nutracêuticas, como a batata yacon, é importante inclusive para a conscientização da população quanto aos seus benefícios e estímulo de consumo (BORGES et al., 2012).

2.2 - Secagem

Como forma de processamento a secagem tem apresentado relevância crescente no panorama da alimentação mundial, uma vez que contribui para o aumento da vida útil dos

produtos, além de possibilitar novas formas, por vezes mais práticas, de consumo dos alimentos com propriedades prebióticas (SILVA, 2007).

O conhecimento das características de materiais biológicos é essencial para a criação, otimização e controle do processo secagem (SHI et al., 2013).

Dentre os fatores que influenciam a taxa de secagem estão o tipo de processamento utilizado, a composição, a estrutura, o volume do material a ser secado e a temperatura do ar, a quantidade de vapor de água presente no ambiente e ainda a quantidade e a velocidade do ar que escoar pelo alimento (FELLOWS, 2006).

Segundo Holtz et al. (2010) os altos valores de taxa de secagem e baixo tempo total de processo podem ser atribuídos ao mecanismo dominante de transferência de calor que se dá da periferia para o interior da partícula fazendo com que tanto a remoção da água superficial quanto da interna tenham início imediatamente após iniciado o processo de secagem.

Quando um sólido úmido é submetido à secagem, observa-se que dois fenômenos ocorrem simultaneamente: a transferência de energia (calor) do ambiente para evaporar a água superficial que depende de condições externas de temperatura, umidade do ar, fluxo e direção de ar, área de exposição do sólido (forma física) e pressão e transferência de massa (umidade) do interior para a superfície do material e sua subsequente evaporação devido ao primeiro processo. O movimento interno da água no material sólido é função da natureza física do sólido, da sua temperatura e conteúdo de água. Este processo se manifesta sob um comportamento típico, que pode ser observado na curva de secagem; no entanto, cada sólido possui uma curva característica (PARK et al., 2007).

A secagem é uma das operações unitárias mais influente aplicada ao processamento de alimentos. Trata-se de uma maneira exequível de aumentar a vida útil de alimentos de alto teor de água, em especial de frutas e vegetais, que na fase de pós-colheita, se torna o processo mais utilizado para assegurar sua qualidade e estabilidade considerando que a diminuição da quantidade de água do material reduz a atividade biológica e as reações químicas e físicas indesejáveis que ocorrem durante o armazenamento (RUIZ-LOPÉZ et al., 2008; ULLMANN et al., 2010).

As vantagens de utilizar o processo de secagem são várias, dentre as quais se tem: facilidade na conservação do produto; estabilidade dos componentes aromáticos a temperatura ambiente durante longos períodos de tempo; proteção contra degradação enzimática e oxidativas; redução do peso; economia de energia por não necessitar de

refrigeração e a disponibilidade do produto, durante qualquer época do ano (PARK et al., 2001). Além de ajudar a vida de prateleira, sua redução de peso auxilia no transporte e armazenamento (AGUIRRE e GASPARINO FILHO, 2002).

Michels (2005), afirmou que para prolongar a conservação da batata yacon recomenda-se transformá-la em fatias desidratadas, que podem ser conservadas por até um ano, quando guardadas em recipientes herméticos.

Moura (2004) estudou a secagem osmo convectiva de fatias da batata yacon a fim de avaliar o tempo necessário para que ocorresse a máxima transferência de massa entre as fatias da batata yacon e a solução osmótica; com os parâmetros testados recomendou que a desidratação osmótica deve ser conduzida a 30 °C, com fatias com espessura de 5 mm e a concentração de 50 °Brix da solução desidratante (água+sorbitol). Para a secagem convectiva foram testadas a influência da espessura das fatias (2 e 5 mm), a concentração da solução osmótica (30 e 50 °Brix) e a temperatura do ar de secagem (50, 60 e 70 °C). O pré-tratamento osmótico diminuiu o tempo de secagem convectiva e resultou em maior perda de água ao final. A temperatura de 70 °C não foi eficiente na retirada de água das fatias da batata yacon pré-tratadas com concentração da solução osmótica de 50 °Brix para as duas espessuras avaliadas. No pré-tratamento com concentração da solução de 30 °Brix, a temperatura de 70°C diminuiu o tempo de secagem e retirou maior teor de água.

Padilha et al. (2009) estudaram a secagem em estufa da batata yacon com três diferentes tipos de pré tratamentos a fim de inibir o escurecimento enzimático do produto e favorecer o tempo de secagem. Amostras da batata yacon sem inibição química, submetido à solução de cloreto de cálcio (1,0 g/100 g) por 30 minutos e submetido à solução de metabissulfito de potássio (0,5 g/100 g) por 5 minutos foram secadas a 55 °C, em estufa ventilada. O tempo para a redução do teor de água até o valor de 7,5 a 8,6% foi de 22 horas. Esses autores observaram que para a obtenção da farinha da batata yacon, dentre os tratamentos testados o cloreto de cálcio foi o que apresentou melhor resultado, apesar de não inibir totalmente a atividade das enzimas peroxidase (POD) e polifenolxidase (PPO), propiciando menor tempo de secagem e melhor firmeza da matéria-prima, facilitando o processamento para obtenção da farinha.

2.2.1 – Difusividade efetiva

Pode-se entender a difusividade como a facilidade com que a água é removida do material. Como a difusividade varia conforme mudam as condições de secagem (temperatura e velocidade do ar), e não é intrínseca ao material, convencionou-se chamar de difusividade efetiva. A difusividade efetiva de umidade é uma propriedade importante de transporte, sendo útil na análise das operações de processamento de produtos alimentícios, como a secagem (KUROZAWA, 2005).

O mecanismo pelo qual ocorre a difusão da água nos materiais alimentícios é muito complexo devido à diversidade da composição química e estrutura física dos produtos. Na literatura sobre secagem envolvendo o fenômeno da difusão de água são encontradas grandes variações nos valores do coeficiente de difusividade, não só devido à complexidade dos produtos, mas também em função dos diferentes métodos de predição, tipo de material, teor de água, processo de secagem e a metodologia utilizada para sua obtenção (GONELI et al., 2007).

Embora os dados para difusividade efetiva de umidade sejam escassos na literatura, é possível salientar que para sistemas alimentares eles variam entre 10^{-8} e 10^{-11} m²/s. As difusividades reportadas se mostram menores do que aquelas registradas para materiais inorgânicos, o que reflete a complicada estrutura bio-polimérica dos alimentos e sua elevada capacidade de retenção de água. Além disso, a magnitude da gama de variação desses valores dá indícios também da dependência na composição e estrutura do produto (MCMINN e MAGEE, 1999).

Durante a secagem a evaporação da água livre ocorre na superfície do material a qual foi transportada do interior do sólido. Os mecanismos mais conceituosos desse transporte, são: difusão líquida, difusão de vapor e fluxo de líquido e de vapor. A energia envolvida no processo de secagem será correspondente ao calor latente de vaporização (PARK, 2001a; 2001b).

Entende-se por difusão o transporte de massas de moléculas individuais por uma barreira ou espaço livre, que ocorre segundo um processo aleatório e que depende de um gradiente de concentração (LOPES e MAURO, 2009). O coeficiente de difusão engloba os efeitos de todos os fenômenos da secagem, podendo intervir sobre a migração da água e seu valor é sempre obtido pelo ajuste das curvas experimentais (MARTINAZZO et al., 2007). Com isto, pode-se entender a difusividade como a facilidade com que a água é

removida do material. Como a difusividade varia conforme as condições de secagem, ela não é intrínseca ao material denominando-a, assim, de difusividade efetiva (OLIVEIRA et al., 2006).

O mecanismo através do qual ocorre a difusão da água nos produtos agrícolas, é complexo devido à diversidade da composição química e estrutura física dos produtos (COSTA et al., 2011).

A teoria da difusão líquida tem sido amplamente empregada na área de secagem, embora existam algumas suposições a serem consideradas para sua aplicação, como: redução do volume desprezada, não existência do efeito de capilaridade, equilíbrio térmico instantâneo com o ar e os efeitos da transferência de energia e massa de um corpo para outro, admitidos como desprezíveis. Os modelos teóricos que descrevem a taxa decrescente de secagem de um sólido consideram, em geral, como mecanismo principal, a difusão baseada na segunda Lei de Fick, que expressa que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água (PARK et al., 2002; ROMERO-PEÑA e KIECKBUSCH, 2003).

Segundo Brooker et al. (1992), na teoria da difusão líquida a segunda lei de Fick tem sido utilizada para estabelecer a difusão da água em função do gradiente de concentração. O coeficiente de difusão é uma difusividade efetiva que engloba os efeitos de todos os fenômenos, podendo intervir sobre a migração da água e cujo valor é sempre obtido pelo ajuste das curvas experimentais (MARTINAZZO et al., 2007).

A solução da equação de difusão utilizada é uma das mais simples e parece ser a principal razão de seu emprego. Como a difusividade varia conforme mudam as condições de secagem (temperatura e velocidade do ar), ela não é intrínseca ao material; convencionou-se chamá-la assim, de difusividade efetiva (OLIVEIRA et al., 2006).

Independentemente dos trabalhos sobre secagem, Crank (1975) calculou um grande número de soluções da equação de difusão para condições iniciais e de contorno variadas; entretanto, essas soluções se aplicam aos sólidos de formas geométricas simples (corpos semi-infinitos; placas, cilindros e esferas) e quando a difusividade é constante ou varia linearmente ou exponencialmente com a concentração de água.

De acordo com Goneli et al. (2007), os modelos de secagem baseados na teoria da difusão líquida têm merecido atenção especial por parte dos pesquisadores. Segundo Goneli et al. (2009), a difusão de água em produtos agrícolas durante a secagem é um processo complexo que pode envolver diferentes mecanismos, como a difusão molecular,

difusão capilar, difusão de superfície, fluxo hidrodinâmico, difusão de vapor e difusão térmica. A teoria da difusão líquida assume que não há influência da capilaridade, despreza os efeitos da transferência de energia e massa de um corpo para outro e também considera que os corpos entram em equilíbrio térmico com o ar, instantaneamente. Pode-se dizer que o coeficiente de difusão efetivo descreve a velocidade de saída de água do grão (SIQUEIRA et al., 2012).

Mendonça et al. (2014) estudaram os fenômenos ocorridos em fatias da batata yacon desidratadas osmoticamente e as amostras foram imersas em soluções hipertônicas (40 °Brix) de xilitol, maltitol, eritritol, isomalte e sorbitol a 25 °C. Os coeficientes de difusão efetivos de água e sólidos foram calculados pelo modelo de difusividade de Fick, verificando-se que a difusividade efetiva variou de $4,17 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ a $1,25 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, e o modelo produziram bons ajustes ($R^2 > 0,90$) com a difusividade efetiva observada no processo sendo influenciada pelas diferentes soluções osmóticas utilizadas na desidratação.

Oliveira et al. (2012) estudaram os parâmetros que influenciam a difusividade efetiva durante a secagem por radiação por infravermelho em cubos da batata yacon, verificando também a influência da pressecagem realizada em estufa. Os dados experimentais foram matematicamente representados por um modelo fenomenológico (solução da segunda lei de Fick) e um modelo empírico; observou-se que os valores de difusividade efetiva foram influenciados pelos parâmetros de pressecagem, como o tempo e a temperatura do processo.

Souza (2013) estimou na secagem de fatias da batata yacon a difusividade efetiva nas diferentes temperaturas testadas, constatando que durante a secagem da batata yacon a difusividade efetiva aumentou significativamente com a elevação da temperatura, apresentando valores que variaram de $3,031 \times 10^{-10}$ a $9,95 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, quando a temperatura variou de 40 a 80 °C, respectivamente.

2.2.2 – Encolhimento

O estudo do fenômeno de encolhimento é de fundamental importância para melhor elucidar o fenômeno de secagem, fornecer subsídios para realizar a secagem ótima do ponto de vista energético e prevenir trincas no interior do sólido, durante o processo, tendo em vista que isto afeta diretamente as propriedades físicas dos materiais biológicos, como a

densidade e a porosidade. Durante a secagem do produto o volume decresce linearmente com o conteúdo de água (PARK et al., 2004).

A perda de água e o aquecimento causam tensões na estrutura celular levando a mudanças na forma e diminuindo sua dimensão. O encolhimento em alimentos tem consequências negativas na qualidade do produto desidratado, como mudanças na forma, perda do volume e endurecimento e favorecem, na maioria das vezes, uma impressão negativa no consumidor. Por outro lado, existem alguns produtos desidratados que têm tradicionalmente, um aspecto “encolhido” desejável ao consumo, como as uvas passas, ameixas secas, tâmaras e damascos (MAYOR e SERENO, 2004).

O encolhimento durante a secagem acontece simultaneamente com a difusão de água podendo, afetar a remoção do conteúdo de água; assim sendo, este parâmetro tem uma influência na taxa de secagem e na textura de frutas e hortaliças desidratadas (HATAMIPOUR e MOWLA, 2002).

O encolhimento de produtos biológicos, tais como os alimentos, depende fortemente das pressões internas do vapor de água resultante da evaporação, que afeta a remoção da água e sua difusão da água, tal como a densidade aparente. Assim, o conhecimento das características de encolhimento assume papel relevante na compreensão e modelização dos processos de secagem e no controle das características do produto (GUINÉ, 2005)

Borin et al. (2008), afirmaram que na secagem de frutas e vegetais, há uma mudança perceptível no volume, durante o processo, razão por que, negligenciar o encolhimento pode ser uma aproximação grosseira.

Oliveira (2012) estudou o encolhimento da batata doce tipo chips em duas condições: chips submetidos à secagem por 3 h e chips submetidos a pressecagem por 1h e fritura por 1 minuto, podendo-se verificar que ocorreu expansão dos chips submetidos ao processo combinado de secagem seguido de fritura nos segundos iniciais do processo de fritura, expansão atribuída ao óleo introduzido no alimento durante o processo. O autor relatou ainda que os chips de menor espessura (0,75 mm) apresentaram maior índice de expansão para todas as temperaturas utilizadas como pré-tratamento e que, durante a secagem de 1 h na temperatura de 80 °C, os valores de coeficiente de encolhimento (n) para todos os modelos se apresentaram crescentes com o aumento das espessuras dos chips.

Kerdpiboon et al. (2007) realizaram o estudo da secagem por ar quente em cubos de cenoura e batata e constataram que o percentual de encolhimento foi maior durante os primeiros momentos de secagem, tendendo à estabilidade ao final. Este comportamento pode ser explicado pelo fenômeno de endurecimento da superfície, que inibe o encolhimento nos instantes finais do processo de secagem (REIS, 2011).

Gouveia et al. (1999), verificaram, estudando o encolhimento em gengibre, que o modelo de difusão representado pela segunda lei de Fick mostrou-se mais satisfatório quando se considerou o encolhimento das amostras.

2.3 - Estado da arte

Rivera e Manrique (2005) produziram um xarope a partir das raízes da batata yacon com o intuito de ser utilizado como adoçante; o xarope foi produzido extraíndo-se o suco das raízes da batata yacon e se adicionando ácido ascórbico para inibir o escurecimento enzimático, os aditivos ácido cítrico (0,08%), sorbato de potássio (0,04%) e o estabilizante starbinec 18635 (0,8 a 1,0 g/L), a fim de prolongar a vida útil do xarope da batata yacon. Valenzuela et al. (2014), usaram o adoçante da batata yacon em néctar de manga como alternativa para pacientes diabéticos. Foram preparadas quatro formulações diferentes de néctar usando xarope da batata yacon em diferentes concentrações (0, 33,3, 66,6, e 99,9%) como um substituto da sacarose. Por meio da análise sensorial foi comprovado que a melhor formulação foi a que continha 33,33% de xarope da batata yacon.

Parussolo (2013) realizou estudo para verificar a qualidade microbiológica da batata yacon *in natura*, com e sem tratamento de higienização, e da farinha da batata yacon. Para a produção da farinha as batatas foram higienizadas com solução de hipoclorito de sódio, e a seguir foram descascadas, picadas e imersas em solução de ácido cítrico para inativação das enzimas sendo, em seguida, cortadas em fatias de 0,5 cm, desidratadas a 55 °C por 14 horas e trituradas após a secagem. Das análises microbiológicas de contagem *Staphylococcus coagulase* positiva, mesófilos aeróbios, coliformes totais e fecais e detecção *Salmonella* sp, na batata *in natura*, na batata higienizada e na farinha, constatou-se que todas as amostras analisadas estavam em condições higiênico-sanitárias inadequadas principalmente pela alta contaminação de fungos e leveduras.

Shi et al. (2013) avaliaram os efeitos da secagem da batata yacon por processo combinado em secador e micro-ondas. Na primeira fase da secagem os experimentos foram realizados em secador, com temperaturas variando entre 15 e 45 °C e velocidades do ar entre 1,00 e 2,00 m/s, com espessura da fatia de 4 mm; quando as fatias da batata yacon atingiam um teor de água em torno de 40 a 60%, eram colocadas em um forno micro-ondas com a potência variando de 1,0 a 3,0 W/g. A secagem no micro-ondas era finalizada quando o teor de água nas fatias da batata yacon atingia $10,0 \pm 0,5\%$ (b.u.). verificou-se que a temperatura de secagem, a velocidade do ar e o teor de água a ponto de conversão foram os fatores que mais influenciaram a taxa de secagem média no processo combinado. A temperatura de secagem e a velocidade do ar foram os fatores que mais influenciaram a taxa de evaporação de umidade específica e a variação total da cor, porém, os parâmetros que não foram influenciados pelas condições de operação foram razão de reidratação e retração. Observou-se que as condições ideais para a taxa de secagem média, taxa de evaporação de umidade específica e variação total de cor, ocorreram com temperatura de 42,7 °C, velocidade do ar de 1,69 m/s, teor de água no ponto de conversão de 50% e potência do micro-ondas de 2 W/g.

Perusselo (2013) realizou estudo utilizando como, matéria-prima, raízes da batata yacon, fazendo uma análise numérica e experimental da secagem osmo-convectiva das raízes. Foram utilizadas fatias com espessura de 2 mm submetidas ao tratamento osmótico por 2 horas, em solução de sucralose 20% (m/m) sendo a proporção entre yacon e solução de 1:5 (m/m), com temperatura de 30 ou 50 °C e velocidade de agitação de 0 cm/s ou 4 cm/s. Observou-se que os tratamentos conduzidos a 30 °C levaram a um aumento do diâmetro e da rigidez das fatias da batata yacon de forma desejável, constatando-se que o uso dessa temperatura para a solução osmótica, com ou sem agitação, proporcionou os melhores resultados; em seguida, as fatias foram desidratadas por 3 horas em um secador de bandejas com ventilação forçada nas temperaturas de 60 e 80 °C e velocidade do ar fixa em 0,4 m/s, observando-se que o teor de água final da batata yacon foi menor para os processos que utilizaram 80 °C na fase de secagem, além de que as condições de processamento influenciaram estatisticamente nos parâmetros de qualidade do produto final, assim como na absorção de sucralose e no encolhimento. Por meio do processo de secagem osmo-convectiva foi possível obter fatias da batata yacon com baixa atividade de água e atributos sensoriais atrativos para o consumidor. A aplicação do tratamento osmótico reduziu danos estruturais, como distorção angular e aparecimento de fissuras, das

fatias submetidas à secagem convectiva. Com base nos resultados experimentais foram obtidos modelos empíricos para a predição das propriedades: massa específica, calor específico e condutividade térmica da batata yacon, com base no conteúdo de água do produto. Os resultados numéricos para as variações de água e temperatura e para a absorção de sucralose foram comparados com os dados experimentais, obtendo-se concordância satisfatória ($R^2 > 0,94$).

Pereira et al. (2013), realizaram estudo com a batata yacon in natura e sua farinha a fim de avaliar sua composição centesimal e a atividade enzimática da polifenoloxidase (PFO) e peroxidase (PER) foram avaliadas para polpa e casca da batata yacon, exclusivamente. Foi verificado que a casca de yacon (in natura e farinha) obteve melhores resultados que a polpa da batata yacon (in natura e farinha) em termos de lipídios, proteínas, fibras e especialmente em termos de pH, sólidos solúveis totais (SST), acidez total titulável (ATT) e cinzas. As farinhas da polpa e casca de yacon apresentaram grandes quantidades de minerais, sobretudo fósforo, potássio, magnésio, cobre e ferro. O teor total de fibra dietética foi encontrado em altas quantidades na casca da batata yacon in natura e na farinha da casca, especialmente a fibra dietética insolúvel. Os taninos, nitratos e ácido oxálico nas amostras analisadas (polpa, farinha da polpa, casca e farinha da casca) estavam presentes em quantidades abaixo dos limites que podem comprometer a biodisponibilidade de nutrientes ou favorecer intoxicação quando consumida por seres humanos. A atividade enzimática da polifenoloxidase e peroxidase foi mais evidente na casca da batata yacon que em sua polpa; por conseguinte, tratamentos de inativação enzimática são necessários antes de se realizar o processamento deste vegetal.

Silva et al. (2013) realizaram secagem de yacon em micro-ondas, o tubérculo foi fatiado em tamanho médio de 3 cm de comprimento e 1,1 mm de espessura, as variáveis testadas foram: a temperatura do ar de entrada (30 e 60 °C), a potência do micro-ondas de 750 W (alta) e 350 W (média) e a exaustão do ar de secagem em dois níveis: com e sem exaustão. Verificou-se, durante o estudo que as variáveis temperatura e a exaustão do ar apresentaram pouca influência no processo de secagem. A variação da potência nas quatro condições estudadas mostrou ter influência no processo de retirada da água das amostras. No processo com potência de 750 W houve um rápido e uniforme decréscimo da velocidade de secagem, que alcançou o equilíbrio em aproximadamente 40 min, quando a velocidade se mostrou praticamente nula. Diferentemente, no processo com potência de 350 W a queda da velocidade foi mais lenta, sendo o equilíbrio atingido em torno dos 55

min. Constatou-se que a variação da potência resultou em diferenças significativas na cinética do processo que, em aproximadamente 35 min, reduziu o teor de água da batata yacon de 91,8% até 5%; os dados experimentais referentes à variação da umidade ao longo do tempo, foram ajustados a uma equação Gaussiana que se mostrou adequada para representar o processo; a tecnologia de secagem por meio de micro-ondas constitui um método prático para a introdução do frutooligossacarídeos na dieta da população.

Castro et al. (2012), avaliaram a capacidade de retenção de antioxidantes em fatias da batata yacon tipo chips e tiras durante a secagem e armazenamento. Os chips, com espessura de 3 mm, foram imersos em uma solução de água destilada com suco de limão com pH 3, durante 10 minutos; em seguida, foram colocados em estufa de secagem com temperaturas de 40, 50 e 60 °C até obter um teor de água final de 10 a 14%. As tiras da batata yacon foram cortadas com espessura de 3 cm e imersas na mesma solução que os chips e só então colocadas em bandejas e secadas em secador solar durante 5 dias ou até o teor de água final de 15 a 20%; posteriormente, os chips e as tiras desidratadas foram armazenados em temperatura ambiente em sacos de polietileno, por sete meses. Os chips e as tiras da batata yacon apresentaram valores de compostos fenólicos de 6,8 a 10,1 mg GAE/g, respectivamente, resultado este semelhante ao de raízes da batata yacon in natura. Verificou-se que o processamento da batata yacon tipo chips secados em estufa a 50 °C resultou em uma capacidade maior de retenção de antioxidantes; no entanto, as tiras têm a forma mais adequada do que os chips para fins de armazenagem tendo em vista que a percentagem dos compostos fenólicos perdidos em chips e tiras foi de 31 e 20%, respectivamente, durante o armazenamento. Ao contrário do que aconteceu com as tiras, a redução de compostos fenólicos em chips foi significativa; foi constatado que este fato ocorreu devido à grande área superficial por unidade de massa que os chips têm, em comparação com tiras, proporcionando uma interação entre a superfície dos chips e o oxigênio remanescente no interior da embalagem; como resultado, ocorreu maior oxidação de compostos durante o armazenamento, mas isto pode ser resolvido com a utilização de embalagens a vácuo. Ao final deste estudo, foi observado que, por meio da secagem, é possível manter a capacidade antioxidante em raízes da batata yacon e que a retenção da atividade antioxidante depende do método de secagem utilizado e da geometria das amostras.

Oliveira et al. (2012), avaliaram o processo de secagem de raízes da batata yacon em forma de cubo (9,19 mm), usando a emissão de radiação infravermelha intermitente

verificando a influência de pressecagem na cinética de secagem. O processo de pressecagem foi realizado em estufa convectiva enquanto a secagem convectiva foi realizada em um secador contínuo com emissores de radiação infravermelho. Observou-se que houve otimização do processo de secagem com o tratamento de pré-secagem, pois a batata yacon possui elevado teor de água, e a pressecagem eliminou o excesso desse componente, o que facilitou e contribuiu para uma secagem rápida do produto. Sobre o uso de radiação infravermelha intermitente o tempo de duração da secagem, até a amostra atingir o equilíbrio, foi cerca de 4 horas, representando uma vantagem no processo em função da diminuição do tempo de secagem mostrando que a aplicação de radiação infravermelha no processo de secagem provou ser extremamente eficiente para as raízes da batata yacon.

Reis et al. (2012), realizaram pesquisa com a batata yacon aplicando o método de secagem a vácuo a fim de avaliarem a influência da temperatura de secagem (45, 55 e 65 °C), da espessura das fatias (0,2; 0,4 e 0,6 cm) e da concentração da solução de ácido cítrico (0,2; 0,6 e 1 g/100 g solução) na inibição enzimática, sobre a dimensão fractal e a taxa de reidratação de fatias da batata yacon. Constatou-se que as fatias da batata yacon secadas a vácuo são fractais, que entre as condições de processo a temperatura de secagem afetou significativamente a dimensão fractal e a espessura de corte afetou significativamente a taxa de reidratação. Obtiveram-se correlações significativas da dimensão fractal com o teor de água, capacidade de reidratação e tonalidade, sugerindo que esta nova característica de qualidade pode ser utilizada para determinar o teor de água, taxa de reidratação e de cor das fatias durante a secagem.

Kotovicz (2011) realizou estudo sobre o processo de desidratação osmótica da batata yacon em fatias de 2 a 3 mm de espessura, onde analisando os parâmetros perda de água, incorporação de sólidos e atividade de água (a_w) das fatias da batata yacon durante o processo. As fatias da batata yacon foram submetidas ao tratamento em solução osmótica de frutose (40 e 68 °Brix), temperatura de desidratação (30 e 50 °C), acrescida de 0,2% sorbato de potássio e 1% ácido cítrico 20% (m/m) sendo a proporção entre a batata yacon e a solução de 1:3 (p/p) por até 240 minutos. Para o tratamento com revestimento, antes do tratamento em solução osmótica, foram realizadas duas etapas adicionais: imersão rápida das fatias de yacon em uma solução de alginato de sódio a 2% e imersão rápida em uma solução de CaCl_2 a 2,4%, para completar a formação de uma cobertura íntegra. Verificou-se que a condição ótima encontrada para o processo de desidratação osmótica de fatias da

batata yacon foi: revestimento com alginato de sódio, desidratado por 60 minutos, em solução de frutose a 68 °Brix e temperatura de 30 °C, verificando-se que o aumento da concentração da solução osmótica e o aumento da temperatura favoreceram a perda de água, porém aumentaram a incorporação de sólidos. As fatias tratadas osmoticamente foram desidratadas em estufa convectiva (50, 60 e 70 °C) com fluxo de ar horizontal com vazão de ar média de 18 m³/h, na temperatura de 70 °C. Observou-se que todos os tratamentos atingiram o teor de água de equilíbrio após 150 minutos na estufa, como esperado. O aumento da temperatura do ar da estufa reduziu o tempo e favoreceu a diminuição da atividade de água nos tratamentos sem e com revestimento.

Bernstein et al. (2010) avaliaram a influência da cinética de secagem nos parâmetros de teor de água e atividade de água do suco da batata yacon concentrado, empregando amido de milho nativo como encapsulante, e da polpa do tubérculo, desidratada nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Para obtenção do suco, a polpa foi concentrada em um rotavapor, até concentração de 40 °Brix; em seguida foi adicionado amido na proporção 50:40 de suco/amido, a mistura foi levada ao aquecimento a 60 °C por cinco minutos, e a partir daí o suco foi submetido a secagem em processo semelhante ao da polpa. Esses autores constataram que quanto maior a temperatura de secagem mais rápida se dava o processo de perda de água; para as duas amostras notou-se também, que a umidade diminuía rapidamente durante os primeiros 100 minutos de secagem, tornando-se mais lenta ao final do processo. Através da análise de microscopia constatou-se que na polpa seca a temperatura de 70 °C, ocorreu a presença de estruturas alongadas e com pontas, semelhante à inulina comercial, o que confirma a presença deste composto na polpa em pó estudada. E para o suco encapsulado observou-se a presença de grânulos de amido de milho em toda a extensão da imagem microscópica mostrando que este agiu como bom encapsulante, de vez que revestiu totalmente o material a ser protegido (suco da batata yacon). Ao final do processo constatou-se que todos os produtos desidratados apresentaram valor de atividade de água abaixo de 0,3, indicando boa estabilidade dos pós.

Scher et al. (2009) avaliaram o efeito do branqueamento no processo de secagem da batata yacon bem como a influência da temperatura de secagem nas concentrações dos açúcares presentes no tubérculo. As fatias da batata yacon com espessura de 1,75 mm foram submetidas ao branqueamento a vapor (100 °C) durante 4 minutos seguidos por imersão num banho de gelo, por 3 min. As fatias, com e sem branqueamento, foram secadas com temperatura variando em três níveis (50, 60 e 70 °C), realizada em secador

convectivo com uma velocidade de ar de 1 m/s. Foi verificado ainda, que o menor tempo de secagem (2 horas e 30 minutos) foi obtido a 70 ° C e que o teor de água e a atividade de água diminuíram rapidamente nas amostras que receberam o branqueamento com temperaturas mais elevadas, e os valores da atividade de água nas fatias secas da batata yacon, com e sem branqueamento, foram inferiores a 0,389. Esses autores verificaram que: as fatias secas sem branqueamento mostraram concentrações significativamente menores de açúcares redutores quando secado a 70 ° C, indicando a hidrólise dos frutooligosacarídeos nessa temperatura; a concentração de inulina, glicose e frutose, diminuiu para as amostras com branqueamento em todas as temperaturas e a secagem a altas temperaturas diminuiu a concentração dos açúcares nas amostras com e sem branqueamento.

Maldonado et al. (2008), realizaram um pesquisa com desidratação osmótica da batata yacon com o objetivo de avaliar a cinética de secagem e determinar o coeficiente de difusão usando a equação de Hawkes e Fick. As fatias da batata yacon com 0,3 cm de espessura foram desidratadas osmoticamente usando-se uma solução de sacarose a 40% (p/p), até obter atividade de água de 0,97. O processo foi conduzido mantendo a temperatura constante em 25 °C e com agitação contínua a 105 rpm. Verificou-se que a maior transferência de massa, tanto de água como de soluto, ocorreu durante os primeiros 60 a 90 minutos do processo e que neste período ocorreu a estabilização das amostras conseguindo um ganho de sólidos médio de 9,5 g/100 g e uma perda de água de 68,8 g/100 g; por outro lado o modelo de difusão de Hawkes e Fick aplicado se ajustou adequadamente aos dados experimentais. O coeficiente de difusão variou com o teor de água e pode ser aproximado para dois períodos durante o processo, caracterizado por diferentes coeficientes de difusão, obtendo-se um coeficiente global igual a $1,5231 \times 10^{-6}$ cm²/s. Pode-se assegurar que é possível aplicar satisfatoriamente o processo de desidratação osmótica em batata yacon como prétratamento de conservação.

2.4 - Isotermas de adsorção de água

Isotermas de sorção de água são ferramentas importantes no dimensionamento do processo de secagem de alimentos, visto que se pode, através delas, resolver numerosos problemas de processamento e estocagem de alimentos dentre os quais se destacam: a vida de prateleira e as melhores condições de armazenamento e embalagem para o produto. São

obtidas a partir de dados de adsorção (ganho de água) e dessorção (perda de água), respectivamente mas podem ser preditas através de modelos matemáticos classicamente utilizados com essa finalidade e amplamente encontrados na literatura (FALADE et al., 2004; AKANBI et al., 2006; ASSUNÇÃO e PENA, 2007; FURMANIAK et al., 2007).

As isotermas de sorção (adsorção e dessorção) de água representam a relação entre o teor de água de equilíbrio e a atividade de água em condições constante de temperatura e pressão (KAYMAK-ERTEKIN e GEDIK, 2004).

Através das isotermas de adsorção pode-se prever, ainda, as características finais de um produto, quando o mesmo é constituído por ingredientes com diferentes valores de atividade de água (a_w) (ASSUNÇÃO e PENA, 2007).

A importância da construção dessas isotermas está na previsão de alterações que o material possa sofrer se acondicionado em determinada umidade relativa ambiente. Entre as aplicações mais conhecidas, pode-se citar o projeto de secadores, a previsão das condições finais de misturas de diversos ingredientes em alimentos formulados e uma simulação de alterações de umidade que ocorrem durante a estocagem (GABAS, 2002; IGUEDJTAL et al., 2008).

É imprescindível conhecer o comportamento higroscópico e construir as isotermas de adsorção para conhecer o teor água de equilíbrio, tal como as características físicas e físico-químicas dos produtos alimentícios (ANSELMO et al., 2006).

As isotermas de adsorção estão relacionadas com a atividade de água do material, em função da temperatura e da pressão que a exerce. A atividade de água é definida como a razão entre a pressão parcial de vapor de água do material e a pressão de vapor de água pura na mesma temperatura (QUIRIJNS et al., 2005).

Usualmente, este fenômeno é estudado através de um processo de adsorção cujo material é submetido a diferentes atividades de água (a_w) para determinada temperatura (ASCHERI et al., 2007).

Muitos modelos matemáticos têm sido propostos para descrever isotermas de sorção de alimentos; no entanto, a maioria dos diferentes modelos (empíricos, semiempíricos ou teóricos) é preciso, em limitado intervalo de atividade de água ou para alguns tipos de alimento. Não há um modelo geral para todas as isotermas dos alimentos pois a atividade de água depende bastante da sua composição e da interação dos diferentes constituintes com a água em condições de equilíbrio termodinâmico (PARK et al., 2008). Esses modelos são classificados em categorias: modelos cinéticos baseados na teoria da

monocamada (por exemplo, o modelo de BET), modelos cinéticos baseados na teoria de multicamadas (por exemplo, modelo de GAB) e modelos empíricos ou semiempíricos (por exemplo, modelo de Oswin e de Peleg) (IGUEDJTAL et al., 2008).

Brunauer et al. (1940), apresentaram uma classificação qualitativa das isotermas de adsorção física, ilustradas na Figura 2.2.

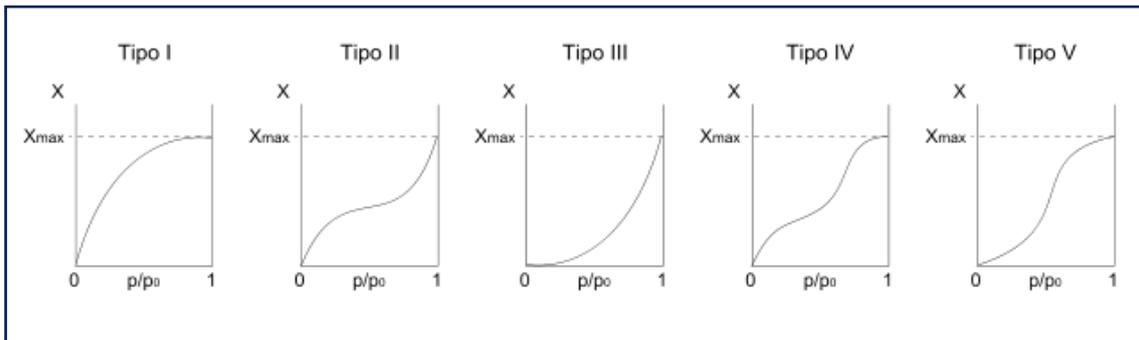


Figura 2.2 - Classificação das isotermas de BRUNAUER (1940) (Fonte: SCHWANKE, 2003)

De acordo com Schwanke (2003) a isoterma representada pelo tipo I é a mais comum; sua configuração é característica de adsorventes microporosos devido ao tamanho dos poros do sólido, os quais não são muito maiores que o diâmetro molecular do sorbato. Com esses adsorventes há um limite de saturação em virtude do total preenchimento do poro por uma única molécula de adsorbato. As isotermas dos tipos II e III resultam de adsorventes nos quais há uma extensa variação de tamanhos de poros. Esta variação permite ao adsorvente a capacitação de avançar de forma contínua de uma adsorção monocamada para multicamada, seguida de condensação capilar. A formação de duas camadas superficiais adsorvidas é caracterizada pela isoterma do tipo IV, em que a camada é encontrada sobre a superfície plana e a outra nas paredes de um poro cujo diâmetro é muito maior que o diâmetro molecular do sorbato. Caso os efeitos de atração intermolecular sejam grandes, ou seja, as atrações entre as moléculas adsorvidas são mais fortes que as interações sorbato-superfície uma curva isotérmica do tipo V é observada.

As curvas mais comumente encontradas em alimentos correspondem ao tipo II, apresentando formato sigmoide, ou “S” invertido, pois a afinidade do sólido com a umidade e a facilidade de adsorção e dessorção de água dependem principalmente do modo como esta água está ligada ao sólido. Entretanto, alimentos como frutas, que contém

grandes quantidades de açúcares e outras moléculas solúveis pequenas, podem exibir isotermas do tipo III, com o formato de “J” (MEDEIROS et al., 2006; DAMODARAN et al., 2010).

Bernstein e Noreña (2014) determinaram as isotermas de adsorção de água a 25, 30, 35 e 40 °C, de fatias da batata yacon desidratadas a 70 °C e ajustaram diferentes modelos matemáticos (GAB, Oswin, Chung-Pfost, Henderson, Smith e Halsey) aos dados experimentais, observando que os modelos de Chung-Pfost, Oswin e GAB foram os que melhor se ajustaram aos dados experimentais, com os maiores valores para o R^2 , seguido pelos modelos Henderson, Halsey e Smith. Constatou-se que as isotermas de adsorção das fatias da batata yacon desidratadas se classificaram como tipo III, de acordo com a classificação de Braunauer, característico de produtos que contêm na sua composição alto teor de açúcares.

Lago et al. (2013) determinaram as isotermas de adsorção de água em flocos de batata e flocos de batata-doce secadas a 110 °C. As isotermas foram determinadas nas temperaturas de 15, 20, 25, e 30 °C para a atividade de água compreendida entre 0,1 e 0,9 e o modelo de GAB foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, em todas as temperaturas.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Sistemas Particulados e Meios Porosos e no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), no Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande – PB.

3.1 – Matéria-prima

Foi utilizado, como matéria-prima, o tubérculo batata yacon (*Smallanthus sonchifolia*), adquirido no Centro de Abastecimento e Logística de Pernambuco – CEASA/PE, na cidade de Recife, PE.

3.2 – Processamento da batata yacon

As batatas yacon foram colocadas em caixas de poliestireno expandido e transportadas ao laboratório, no qual foram submetidas às etapas, de acordo com o fluxograma da Figura 3.1. A seleção foi feita manualmente a fim de se eliminar os tubérculos que apresentavam danos físicos ou aspecto de podridão, separando-se os de melhor aparência; em seguida foi feita a higienização lavando-se os tubérculos em água corrente potável a fim de eliminar sujeiras provenientes da colheita; posteriormente foi feita a sanitização imergindo-se a batata yacon em recipiente contendo solução de hipoclorito de sódio com concentração de 50 ppm, durante 15 minutos; logo após foram enxaguadas em água corrente com a finalidade de se retirar o excesso da solução de hipoclorito de sódio; a seguir, foram postas em peneiras e colocadas sobre as bancadas do laboratório expostas as condições de temperatura e umidade relativa do ambiente, para eliminação do excesso de água; por fim, foram acondicionadas em sacos de polietileno de baixa densidade e armazenadas até o momento da realização dos experimentos em refrigerador com temperatura aproximada de 10 °C.

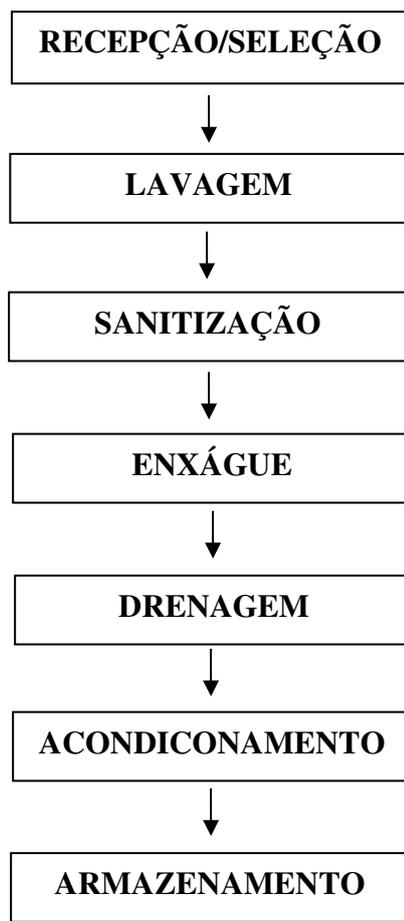


Figura 3.1 - Fluxograma das etapas de armazenamento da batata yacon in natura

3.3 - Caracterização química, física e físico-química da batata yacon in natura

As batatas yacon foram retiradas do refrigerador, descascadas manualmente com auxílio de facas de aço inoxidável e em seguida foi feita a caracterização química, física e físico-química.

3.3.1 - pH

O pH foi determinado pelo método potenciométrico, com medidor de pH da marca Tecnal modelo TEC-2, calibrado com soluções tampão (pH 4,0 e 7,0) de acordo com a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008).

3.3.2 - Sólidos solúveis totais (°Brix)

O teor de sólidos solúveis totais expressos em °Brix foi determinado pelo método refratométrico, em refratômetro tipo Abbe, com correção de temperatura, segundo as normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008).

3.3.3 – Teor de água

O teor de água foi determinado em estufa, segundo o método analítico descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). Os resultados foram expressos em percentagem (%).

3.3.4 - Acidez total titulável

A acidez total titulável foi determinada pelo método acidimétrico do manual do Instituto Adolfo Lutz (2008). Os resultados foram expressos em percentagem de ácido cítrico.

3.3.5 - Ácido ascórbico

A análise do ácido ascórbico foi realizada segundo o método da AOAC (1997), modificado por Benassi & Antunes (1988) no qual se utiliza ácido oxálico como solução extratora. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico/100 g da amostra.

3.3.6 – Açúcares totais, redutores e não redutores

Os açúcares totais, redutores e não redutores foram determinados pelo método de redução alcalina, descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), e os resultados expressos em percentagem de glicose para os açúcares totais e redutores e em percentagem de sacarose para os açúcares não redutores.

3.3.7 – Cinzas

A determinação das cinzas foi feita conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008), cujos resultados foram expressos em percentagem (%).

3.3.8 – Minerais

Os minerais foram quantificados em espectrômetro de fluorescência de raios-x por energia dispersiva, o equipamento utilizado foi o Shimadzu EDX-720 (EDX) do Laboratório de Bioquímica e Biotecnologia de Alimentos (UFCG/CES). Os resultados foram expressos em mg/100 g.

3.3.9 - Proteínas

O teor de proteínas foi determinado através do método de Kjeldahl, descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). Os resultados foram expressos em percentagem.

3.3.10 - Lipídeos

O teor de lipídeos foi determinado utilizando-se o método de extração por solvente seguindo a metodologia de Bligh e Dyer (1959), e os resultados expressos em percentagem.

3.3.11 - Amido

O teor de amido foi determinado segundo a metodologia descrita pela AOAC (1997).

3.3.12 – Fibra bruta

O teor de fibra bruta foi determinado através da hidrólise ácida seguida de hidrólise alcalina segundo método descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (2008) e os resultados foram expressos em percentagem

3.3.13 – Cor

A determinação da cor das amostras foi realizada obtendo-se os parâmetros L^* , a^* e b^* que foram medidos com o espectrofotômetro portátil Hunter Lab Mini Scan XE Plus, modelo 4500 L, em que L^* define a luminosidade ($L^* = 0$ – preto; e $L^* = 100$ – branco) e a^* e b^* são responsáveis pela cromaticidade ($+a^*$ vermelho e $-a^*$ verde; $+b^*$ amarelo e $-b^*$ azul).

As leituras nas amostras foram feitas em triplicata utilizando-se o sistema com luminosidade D65, um ângulo de observação de 10° e com calibração com placa branca com o seguinte padrão: $X = 80,5$; $Y = 85,3$; $Z = 90,0$.

Com os valores de a^* e b^* calculou-se, de acordo com McGuire (1992), o ângulo Hue ($^\circ h$), que define a tonalidade de cor, e o chroma (C^*) que define a intensidade da cor, através das Equações 3.1 e 3.2, respectivamente:

$$^\circ h = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (3.1)$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (3.2)$$

em que:

$+a^*$ - intensidade de vermelho

$+b^*$ - intensidade de amarelo

$^\circ h$ - ângulo Hue

C^* - Chroma

3.3.14 - Atividade de água

A determinação da atividade de água foi realizada através de leitura direta com o auxílio do equipamento Aqualab CX-2T (Decagon) a 25°C .

3.3.15 – Densidade

A densidade foi determinada na temperatura de 25 °C. O método consiste na medida da massa de um volume conhecido. A densidade foi calculada como a relação entre a massa e o volume das amostras (Equação 3.3).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.3)$$

em que:

ρ - densidade (g/cm³)

m – massa (g)

V – volume (cm³)

3.3.16 – Flavonoides

A determinação de flavonoides amarelos seguiu a metodologia de Francis (1982), com leitura da absorbância realizada em espectrofotômetro a 374 nm cujos resultados foram expressos em mg/100 g de polpa

3.3.17 - Compostos fenólicos totais

A quantificação dos compostos fenólicos totais foi realizada por espectrofotometria, de acordo com o método Folin Ciocalteau (WATERHOUSE, 2006) a leitura foi realizada em espectrofotômetro, a 750 nm. Os resultados foram calculados a partir da equação da reta obtida da curva padrão de ácido gálico. Os resultados foram expressos em g de equivalente de ácido gálico por 100 g da amostra.

3.3.18 - Capacidade antioxidante (DPPH)

A capacidade antioxidante dos extratos de batata yacon foi determinada utilizando-se o método da capacidade de sequestrar o radical orgânico 2,2-Difhenyl- 1-picryl-hidrazil

(DPPH), descrito por Rufino et al. (2007) enquanto a leitura da absorbância foi determinada em espectrofotômetro em 515 nm.

3.3.19 - Capacidade antioxidante (FRAP)

A capacidade antioxidante dos extratos de batata yacon também foi determinada utilizando-se o método do poder antioxidante da redução de ferro (Ferric Reducing Antioxidant Power - FRAP), descrito por Rufino et al. (2007) e a leitura da absorbância foi determinada em espectrofotômetro em 595 nm.

3.4 - Secagem da batata yacon em forma de cilindro

Inicialmente as batatas yacon foram retiradas do refrigerador a fim de atingir a temperatura ambiente, seguindo com as etapas de acordo com o fluxograma da Figura 3.2.



Figura 3.2 - Fluxograma geral do processo de secagem dos cilindros da batata yacon

A sanitização foi feita em água clorada a 50 ppm por 15 minutos; logo após foram enxaguados em água corrente para retirada do excesso de cloro. As batatas foram

descascadas manualmente com auxílio de facas de aço inoxidável e cortadas em formato de cilindro com auxílio de um cortador de aço inox com diâmetro de 1,7 cm de diâmetro e 4,3 cm de comprimento, sendo aferidas suas medidas com auxílio de paquímetro digital.

As amostras cortadas em formato de cilindro, foram submetidas a um tratamento de inativação enzimática com ácido cítrico a 3%, segundo metodologia descrita por Silva et al. (2013); em seguida, foram colocadas em bandejas teladas e mantidas em temperatura ambiente, nas bancadas do laboratório, a fim de se eliminar o excesso da solução de ácido cítrico.

Após a drenagem da solução dos cilindros da batata yacon foi realizada a determinação do teor de água inicial das amostras; em seguida, os cilindros foram submetidos à secagem em secador convectivo de bandeja em diferentes temperaturas (50, 60, 70 °C) e velocidades do ar (1,0; 1,5; e 2,0 m/s).

Na Figura 3.3 tem-se as batatas yacon in natura, as batatas cortadas no formato de cilindro e os cilindros colocados no secador em que ocorreu o processo de secagem.

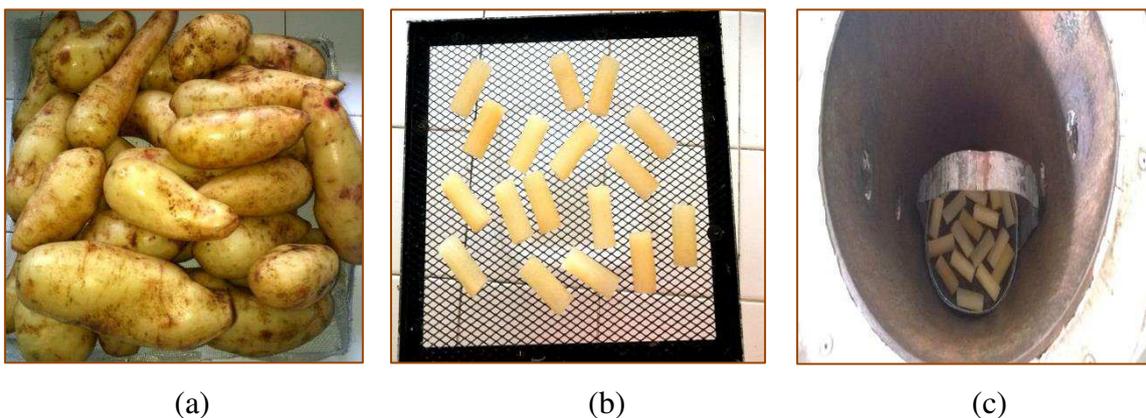


Figura 3.3 – Batatas yacon: a) in natura; b) batatas cortadas no formato de cilindro; c) cilindros no secador

3.4.1 - Cinética de secagem

Durante o processo de secagem da batata yacon em forma de cilindro foi feito o acompanhamento da cinética de secagem; para tal, pesagens periódicas das bandejas foram feitas com as amostras, inicialmente a cada 5 min, durante 60 minutos e posteriormente a cada 10, 15, 20 e 30 min, até massa constante.

Com os dados experimentais das secagens foram calculados os valores da razão do teor de água (Equação 3.4).

Onde:

$$RU = \frac{X-X_e}{X_0-X_e} \quad (3.4)$$

em que:

RU - razão do teor de água (adimensional)

X - teor de água (base seca)

X_e - teor de água de equilíbrio (base seca)

X₀ - teor de água inicial (base seca)

Os modelos semiteóricos de Aproximação da Difusão (Equação 3.5), Henderson & Pabis (Equação 3.6), Page (Equação 3.7) e Dois Termos (Equação 3.8) foram ajustados às curvas de secagem experimentais.

Aproximação da Difusão

$$RX = a \cdot \exp(-kt) + (1 - a)\exp(-kbt) \quad (3.5)$$

em que:

RX - razão do teor de água (adimensional)

a, b, k - constantes da equação

t - tempo (min)

Henderson e Pabis

$$RX = a\exp(-kt) \quad (3.6)$$

em que:

RX - razão do teor de água (adimensional)

a - constante adimensional da equação

k - constante da equação (1/min)

t - tempo (min)

Page

$$RX = \exp(-kt^n) \quad (3.7)$$

em que:

RX - razão do teor de água (adimensional)

k - constante da equação

n - constante da equação

t – tempo (min)

Dois Termos

$$RX = a \cdot \exp(-kt) + b \cdot \exp(-k1 \cdot t) \quad (3.8)$$

em que:

RX - razão do teor de água (adimensional)

a, b, k - constantes da equação

t – tempo (min)

Os parâmetros dos modelos foram obtidos por análise de regressão não linear empregando-se o método numérico Quasi-Newton para todos os modelos usando o programa Statistica 7.0.

Para avaliar qual o modelo que produziu o melhor ajuste foram utilizados o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio quadrático médio (Equação 3.9).

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum (RX_{pred} - RX_{exp})^2}{n}} \quad (3.9)$$

em que:

DQM - desvio quadrático médio;

RX_{pred} - razão do teor de água predito pelo modelo;

RX_{exp} - razão do teor de água experimental; e

n - número de observações

3.4.2 - Difusividade efetiva

3.4.2.1 - Modelo de difusão sem encolhimento

Os modelos teóricos que descrevem a taxa decrescente de secagem de um produto estimam, geralmente, como mecanismo principal, a difusão baseada na segunda Lei de Fick, que expressa que o fluxo de massa por unidade de área que é proporcional ao gradiente de concentração de água (PARK et al., 2001).

O modelo de difusão representa uma soma de termos infinitos, em que os primeiros termos são os mais importantes e a partir de determinado termo a contribuição das próximas parcelas podem ser desprezadas. Neste modelo a razão do teor de água é função do tempo de secagem e o parâmetro do modelo é o coeficiente de difusão efetivo.

A equação que descreve o fenômeno da difusão foi usada para descrever o processo de secagem e tal equação pode ser escrita como a Equação 3.10 (BIRD et al., 2001; MALISKA, 2004):

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla \cdot (\text{Def} \nabla X) \quad (3.10)$$

em que:

X - variável de interesse no processo difusivo

D_{ef} - parâmetro do processo

Para uma geometria cilíndrica, em que o comprimento é muito maior que o raio, a equação de difusão unidimensional aplicada ao transporte de uma grandeza é escrita a partir da Equação 3.11:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r D_{\text{ef}} \frac{\partial X}{\partial r} \right) \quad (3.11)$$

em que:

r - define a posição de um ponto em relação ao eixo central do cilindro.

A primeira solução analítica apresentada para a Equação 3.11 se referente à condição de contorno de equilíbrio, também chamada de condição do contorno do primeiro tipo ou, ainda, de condição de contorno de Dirichlet.

Para um cilindro homogêneo, de raio R, com teor de água inicial uniformemente distribuída X_i, com teor de água de equilíbrio X_{eq}, a solução X(r, t) da Eq. (3.11) é obtida por separação de variáveis conforme Luikov (1968), Crank (1992) e resulta na Equação 3.12:

$$X(t) = X_{eq} - (X_{eq} - X_i) \sum_{n=1}^{\infty} A_n \exp\left(-\mu_n^2 \frac{Def}{R^2} t\right) \quad (3.12)$$

em que:

$$A_n = \frac{4Bi^2}{\mu_n^2(Bi^2 + \mu_n^2)}, \quad (3.13)$$

sendo Bi o número de Biot para a transferência de massa, e definido de acordo com a Equação 3.14:

$$Bi = \frac{hR}{Def} \quad (3.14)$$

Onde:

h - definido como o coeficiente de transferência convectiva de massa.

As raízes μ_n são determinadas a partir da equação característica para o cilindro infinito, que é dada pela Equação 3.15:

$$\frac{J_0(\mu_n)}{J_1(\mu_n)} = \frac{\mu_n}{Bi} \quad (3.15)$$

sendo J_0 e J_1 as funções de Bessel de primeiro tipo de ordens 0 e 1, respectivamente.

Essas raízes podem ser calculadas para um número de Biot específico, como foi proposto por Silva et al. (2010).

Convém observar que, se a condição de contorno adequada ao processo difusivo for de primeiro tipo, basta impor, ao número de Biot, $Bi \rightarrow \infty$ na solução apresentada anteriormente, caso em que a equação 3.13 se torna a Equação 3.16:

$$A_n = \frac{4}{\mu_n^2} \quad (3.16)$$

E a equação (3.15) é expressa pela Equação 3.17:

$$J_0(\mu_n) = 0 \quad (3.17)$$

Vale salientar que μ_n são as raízes da função de Bessel de primeiro tipo com ordem 0 e algumas destas raízes são apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Primeiras 10 raízes da função de Bessel de primeiro tipo e de ordem zero

n	μ_n
1	2,4048256
2	5,5200781
3	8,6537279
4	11,7915344
5	14, 9309177
6	18,0710640
7	21,2116366
8	24,3524715
9	27,4939791
10	30,6346065

Fonte: SILVA (2010)

A Equação 3.16 foi substituída na Equação 3.12 para se obter a difusividade efetiva da batata yacon na forma de cilindro, utilizando o programa computacional Statistica 7.0, através da Equação 3.18, considerando os quatro primeiros termos da série:

$$\frac{X-X_e}{X_0-X_e} = 4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\mu_n^2} \exp\left(\frac{-\mu_n^2 D_{eff} t}{R^2}\right) \quad (3.18)$$

3.4.2.2 - Modelo de difusão com encolhimento

A difusividade efetiva considerando o encolhimento foi determinada substituindo na Equação 3.18 o termo adimensional do conteúdo de água pela concentração de água (PARK, 1987) como se segue na Equação 3.19:

$$\frac{C-C_e}{C_0-C_e} = 4 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\mu_n^2} \exp\left(\frac{-\mu_n^2 D_{eff} t}{R^2}\right) \quad (3.19)$$

em que:

C - concentração de água, X/V (g.H₂O/g.ms.m³)

C_e - concentração de água de equilíbrio, X_e/V_e (g.H₂O/g.ms.m³)

C_o - concentração de água inicial, X_o/V_o (g.H₂O/g.ms.m³)

3.4.3 – Cinética de encolhimento

A cinética de encolhimento foi realizada mediante acompanhamento das medidas das dimensões comprimento e diâmetro dos cilindros da batata yacon, com auxílio de um paquímetro digital, no mesmo instante em que foram pesadas em intervalos regulares nas condições citadas no item 3.4.

3.4.3.1 - Modelagem da cinética de encolhimento

A modelagem da cinética de encolhimento dos cilindros da batata yacon foi realizada conforme os modelos propostos por Suzuki et al. (1976) e descritos por Prado (1998), que são o Modelo Uniforme 1 (Equação 3.20), Modelo Uniforme 2 (Equação 3.21) e Modelo Central (Equação 3.22).

Com os dados de encolhimento e os modelos de Suzuki, foi possível correlacionar os valores experimentais através de regressão não linear, de forma a se obter os valores dos coeficientes de encolhimento (n) para os três modelos.

Modelo uniforme 1

$$\frac{A}{A_o} = \left(\frac{X+a}{X_o+a} \right)^n \quad (3.20)$$

sendo:

$$a = X_e(1/\rho_e - 1) + \frac{1}{\rho_e} \quad (3.21)$$

em que:

ρ_e - densidade de equilíbrio (g/cm³)

n - coeficiente de encolhimento

A - área dos cilindros no tempo t (m²)

A_o - área inicial dos cilindros (m²)

X – teor de água da amostra

X_o – teor de água inicial da amostra

Modelo uniforme 2

$$\frac{A}{A_0} = (bX + c^n) \quad (3.22)$$

em que:

$$b = \frac{\rho_0}{(X_0+1)} \quad (3.23)$$

$$c = 1 + b - \rho_0 \quad (3.24)$$

Modelo central

$$\frac{A}{A_0} = (kX + p)^n \quad (3.25)$$

em que:

$$k = (p - \mu)/X_0 - X_e \quad (3.26)$$

$$p = (\mu X_0 - X_e)/(X_0 - X_e) \quad (3.27)$$

$$\mu = (X_0 + 1)\rho_0/(X_0 + 1)\rho_e \quad (3.28)$$

Para determinação do coeficiente de encolhimento foi utilizado o programa computacional Statistica 7.0. Para verificar qual o melhor modelo foram utilizados o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio percentual médio (P) (Equação 3.29).

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{X_{\text{exp}} - X_{\text{teor}}}{X_{\text{exp}}} \right| \quad (3.29)$$

em que:

P - desvio percentual médio (%)

X_{exp} - valores obtidos experimentalmente

X_{teor} - valores preditos pelo modelo

n - número de dados experimentais

3.4.4 – Caracterização dos cilindros de batata yacon após o processo de secagem

Os cilindros da batata yacon obtidos pelo processo de secagem foram caracterizados, quanto ao teor de água, pH, acidez total titulável, açúcares totais, redutores e não redutores, proteínas, cor (luminosidade, intensidade de vermelho, intensidade de amarelo, croma e ângulo hue), atividade de água, densidade, flavonoides, compostos fenólicos, capacidade antioxidante (DPPH e FRAP) e minerais, seguindo-se as metodologias citadas no item 3.3.

3.4.5 – Análise estatística

Foi aplicado o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial (3 x 3) com três velocidades de ar (1,0, 1,5 e 2,0 m/s), três temperaturas do ar de secagem (50, 60 e 70 °C) e três repetições, utilizando-se o programa computacional ASSISTAT versão 7.5 Beta (SILVA e AZEVEDO, 2009), para se verificar prováveis diferenças estatísticas entre as condições de secagem nos cilindros da batata yacon secos. O teste de comparação entre médias aplicado foi o de Tukey a 5% de probabilidade.

3.5 - Isotermas de adsorção de água

As isotermas de adsorção de água dos cilindros da batata yacon secos, segundo as condições citadas no item 3.4, foram determinadas utilizando-se o método especial indireto estático, segundo Capriste e Rotstei (1982), na temperatura de 25 °C; para tal, foi feita a leitura da atividade de água das amostras utilizando-se o equipamento *Aqualab* modelo 3TE da Decagon Devices.

Os modelos de GAB (Equação 3.30), Peleg (Equação 3.31) e Oswin (Equação 3.32), foram ajustados às isotermas de adsorção de água dos cilindros secos utilizando-se o programa Statistica 7.0 e regressão não linear pelo método de estimativa Quase-Newton.

GAB

$$X_e = \frac{X_m CKa_w}{(1 - Ka_w)(1 - Ka_w + CKa_w)} \quad (3.30)$$

em que:

X_e – teor de água de equilíbrio (% b.s.)

a_w - atividade de água

X_m – teor de água na monocamada molecular (% b.s.)

C e K - parâmetros que dependem da temperatura e da natureza do produto

Peleg

$$X_e = K_1 a_w^{n_1} + K_2 a_w^{n_2} \quad (3.31)$$

em que:

X_e – teor de água de equilíbrio

a_w - atividade de água

K_1, K_2, n_1 e n_2 - constantes do modelo

Oswin

$$X_e = a \left(\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^b \quad (3.32)$$

em que:

X_e – teor de água de equilíbrio

a_w - atividade de água

A e b - Parâmetros de ajuste do modelo

Os critérios usados para determinação do melhor modelo das isotermas de adsorção de água foram o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio percentual médio (P), calculado conforme a Eq. 3.29, citada anteriormente

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Caracterização física, química e físico-química da batata yacon *in natura*

Tem-se, na Tabela 4.1, os valores médios e os desvios padrões dos parâmetros químicos, físico-químicos e físicos da batata yacon *in natura*.

O valor reportado para o teor de água nesse tubérculo foi de 88,64%, também próximo aos valores para a batata yacon relatados por Lopes et al. (2015), que foi de 85,80% e por Bisinella et al. (2015) que encontraram um teor de água de 83,40%. Garcia et al. (2015) trabalhando com cultivares de batata inglesa na região serrana de Minas Gerais, encontraram valores de teor de água de 77,8 e 83,40% para as cultivares BRS Ana e Colorado, respectivamente; com isto, pôde-se observar que esses tubérculos possuem elevada quantidade de água.

O valor médio encontrado para o pH da batata yacon *in natura* foi de 6,36, semelhante ao encontrado por Patri et al. (2009) para este mesmo tubérculo que foi de 6,02, e superior ao determinado por Pereira et al. (2013), os quais obtiveram um valor médio do pH de 5,87 para a batata yacon. Alves et al. (2010) afirmaram que a variação de pH de vegetais *in natura* pode estar relacionada ao consumo dos ácidos orgânicos pelo processo respiratório ocorrido desde a colheita até o momento da sua utilização. A batata yacon pode ser classificada como alimento pouco ácido por apresentar $\text{pH} > 4,5$ (FRANCO e LANDGRAF, 2005).

Os sólidos solúveis totais (SST) apresentaram valor médio de 10,00 °Brix; este valor foi próximo do encontrado por Scher et al. (2009) que foi 9,60 °Brix, também para raízes da batata yacon foi inferior quando comparado com o resultado obtido por Nacazume et al. (2008) que encontraram um valor de SST para a batata yacon de 11,67 °Brix. Silveira et al. (2011) realizaram estudo com cultivares de batata doce de polpa alaranjada, cultivadas na região de Palmas – TO, verificando que os valores variaram de 17,33 a 9 °Brix; portanto, pode-se verificar que o valor ressaltado neste trabalho para a batata yacon se encontra dentro da faixa de SST de batata doce citada tendo em vista que esta também apresenta, em sua composição, sólidos que acentuam o sabor doce.

Tabela 4.1 – Valores médios e desvios padrão dos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos da batata yacon *in natura*

Parâmetro	Média e desvio padrão
Teor de água (% b.u.)	88,64 ± 0,13
Sólidos solúveis totais (°Brix)	10,00 ± 0,00
pH	6,36 ± 0,050
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	0,08 ± 0,00
Ácido ascórbico (mg/100 g)	0,22 ± 0,01
Açúcares totais (% glicose)	10,39 ± 1,38
Açúcares redutores (% glicose)	2,60 ± 0,00
Açúcares não redutores (% sacarose)	7,40 ± 0,01
Cinzas (%)	0,22 ± 0,06
Proteínas (%)	0,75 ± 0,02
Lipídeos (%)	0,14 ± 0,00
Amido (%)	0,96 ± 0,03
Fibra bruta (%)	0,15 ± 0,00
Luminosidade (L*)	61,64 ± 0,24
Intensidade de vermelho (+a*)	0,21 ± 0,02
Intensidade de amarelo (+ b*)	14,66 ± 0,10
Cromaticidade (C*)	14,87 ± 0,01
Ângulo Hue (H°)	89,18 ± 0,01
Atividade de água (a _w)	0,992 ± 0,000
Densidade (g/cm ³)	1,02 ± 0,003
Flavonóides (mg/100 g)	1,68 ± 0,01
Compostos fenólicos (mg Ag/100 g)	32,63 ± 0,08
Capacidade antioxidante DPPH (μmol Tx/g)	35,13 ± 0,19
Capacidade antioxidante FRAP (μmol Tx/g)	49,66 ± 0,51

O teor de acidez total titulável encontrado para a batata yacon *in natura* foi de 0,08 % de ácido cítrico; esse valor foi inferior ao encontrado por Costa et al. (2011) para este mesmo tubérculo, que foi de 0,318%. Zapana e Arroyo (2010) realizaram estudo com a batata yacon e verificaram uma acidez de 0,27% para a variedade Yaruc llajum, cultivada

na região de Puno, no Peru, sendo este valor acima do encontrado neste trabalho; contudo, comprovando que este tubérculo possui baixa acidez. Em trabalho realizado por Roesler et al. (2008) com batata doce cultivar CNPH 004, proveniente da região oeste do Paraná, foi obtido um valor de acidez de 0,65%, sendo este valor acima da batata yacon.

O teor de ácido ascórbico conferido para a batata yacon foi, neste, trabalho 0,22 mg/100 g, com isto, constata-se que este tubérculo não é uma boa fonte de vitamina C, pois outras variedades de batata apresentam teores mais elevados desse nutriente; como exemplo, pode-se citar o trabalho realizado por Pineli et al. (2006) com batata da cultivar ágata, verificando-se um teor de vitamina C de 438,8 mg/kg.

A batata yacon *in natura* apresentou um teor de açúcares totais de 10,39% glicose, superior ao quantificado por Leonel e Cereda (2002), para esta mesma variedade de batata, que foi de 6,99%. Em estudo realizado por Andrade Junior et al. (2012) com cultivar de batata Mandioca foi verificado o valor de 3,0% de açúcares totais; este resultado é bastante inferior ao teor de açúcares totais da batata yacon encontrado nesta pesquisa.

O valor dos açúcares redutores da batata yacon foi 2,60% sacarose; este valor corrobora com o verificado por Nishi (2012) que foi de 2,8% e superior ao encontrado por Braun et al. (2012) para a batata inglesa da cultivar Ágata de 1,55% e inferior à quantidade observada por Leonel e Cereda (2002) para a batata doce, que foi de 5,74%.

Bervald et al. (2010) realizaram estudo com batata inglesa e verificaram um teor de açúcares não redutores para o genótipo Atlantic de 3,66%; este valor se encontra abaixo do verificado para a batata yacon que, nesse estudo, foi de 7,79% glicose.

A composição dos açúcares varia de forma significativa em função de fatores como a cultivar, a época de cultivo e a colheita, o tempo e a temperatura na pós-colheita (SEMINARIO e VALDERRAMA, 2003).

A quantidade de minerais (cinzas) encontrada para a batata yacon neste trabalho foi inferior ao reportado por Borges et al. (2012) para o mesmo tubérculo, que foi de 0,46%, e ao da batata inglesa da cultivar Ágata com um valor de cinzas de 0,79% determinado por Fernandes et al. (2010).

A quantidade de proteínas verificada para a batata yacon *in natura* foi de 0,75%, superior a encontrada por Borges et al. (2012) de 0,35% e por Dionísio et al. (2013) de 0,22% também para a batata yacon. Em trabalho desenvolvido por Corrêa et al. (2015) notou-se que a batata doce da cultivar Canadense apresentou um percentual maior desse componente, de 0,82%.

O teor de lipídeos da batata yacon desse trabalho foi 0,14%, maior que o encontrado por Pereira et al. (2013) para este mesmo tubérculo, que foi de 0,06%, porém se nota que a batata yacon não apresenta, em sua composição, altos valores de lipídeos.

O valor encontrado para amido na batata yacon foi de 0,96%, inferior ao encontrado por Trindade et al. (2012) para batata inglesa da cultivar Elvira, de 16,84%. Divergindo da maioria dos tubérculos e raízes, a batata yacon e várias plantas da família Astereacea não armazenam carboidratos na forma de amido e sim açúcares na forma de frutanos (GENTA et al., 2009).

Quanto ao valor determinado para fibra bruta na batata yacon, foi verificado baixo valor, de 0,15%, ou seja, sendo abaixo do encontrado por Torrez (2007) para o mesmo tubérculo, que foi de 0,3%. Vasconcelos et al. (2010) encontraram, para a batata yacon, um teor de fibra alimentar de 2,95%, sendo bem superior ao da fibra bruta do presente trabalho, esses autores afirmaram que existe uma influência da metodologia utilizada para determinação de fibras visto que o método usado nesta pesquisa (enzimático-gravimétrico), tende a subestimar a concentração de fibras em alimentos ricos em inulina e oligofrutos, como a da batata yacon e seus produtos.

A coloração do produto é um dos parâmetros principais indicativos da qualidade (SINGH et al., 2008). Amostras da batata yacon in natura apresentaram valores de $L^* = 61,64\%$, $+a^* = 0,21$ e $+b^* = 14,66$, com o resultado da luminosidade próximo a observado por Saldaña et al. (2014) ao realizarem estudo com o mesmo tubérculo sendo vistos valores de 65,9; já para a intensidade de vermelho ($+a^*$) de 7,3 e intensidade de amarelo ($+b^*$) de 35,1, sendo esses valores acima do verificado para o estudo em questão. Em trabalho realizado por Mendonça et al. (2014) com a batata yacon, foi observado que o valor para intensidade de vermelho ($+a^* = 3,42$) se encontrava também acima do valor obtido nesta pesquisa enquanto a intensidade de amarelo ($+b^*$) apresentou valor superior, de 15,56. A batata yacon é um pouco mais escura do que a mandioquinha salsa in natura que apresentou $L^* = 64,69$ (BORGES et al., 2013).

A cromaticidade indica a intensidade da cor das amostras e se verifica que a batata yacon apresentou um valor de C^* igual a 14,87, sinal de que a amostra tende a uma cor neutra ou branca, já que este valor não foi alto. Este resultado foi superior ao encontrado por Fante et al. (2013) que foi de 10,08 para o mesmo tubérculo, comprovando a coloração clara da batata yacon. Fernandes et al. (2010) verificaram para batata inglesa da cultivar Atlantic, um valor de croma de 13,8, esse valor este próximo ao constatado nesta pesquisa.

De acordo com a CIELAB (MCGUIRE, 1992) que define a cor vermelha como 0 °h, amarelo como 90 °h, verde como 180 °h e azul como 270 °h, nota-se que o cilindro de batata yacon *in natura* apresentou uma coloração amarelada com valor próximo de 90 °h (°h = 89,18). Este valor se assemelha ao encontrado por Garcia et al. (2015) para a batata inglesa da cultivar BRS Ana, adaptada às condições da região serrana de Minas Gerais, safra 2011, que foi de 87,43 °h. Em trabalho realizado por Fernandes et al. (2014) com batata baroa, foi observada uma coloração também amarela, com 40,25 °h, porém inferior quando comparada com a desse trabalho.

Em trabalho realizado por Vandresen (2011) que encontrou em extratos brutos de batata yacon valores de croma e hue de 18,08 e 86,50 °h, respectivamente, nota-se que esses valores são próximos aos obtidos neste trabalho.

A batata yacon *in natura* apresentou elevado valor de atividade de água (0,992) corroborando com seu teor de água.

A densidade do cilindro de yacon *in natura* na temperatura de 25 °C, foi de 1,02 g/cm³. Gonçalves Neto et al. (2012) realizaram estudo com clones de batata doce, e encontraram valores de densidade semelhantes aos deste trabalho, para as cultivares Palmas, Brazlandia Branca e Brazlandia Rosada, de 1,05, 1,05 e 1,04 g/cm³, respectivamente. Em estudo realizado por Trindade et al. (2012) analisando tubérculos de batata inglesa plantadas no município de Contenda, PR, os autores encontraram valores de densidade de 1,06 e 1,07 g/cm³ para as cultivares Elvira e Delta, respectivamente, também próximos ao encontrado para a batata yacon dessa pesquisa.

O valor dos flavonoides na batata yacon *in natura* foi de 1,68 mg/100 g, bem inferior ao reportado por Albuquerque et al. (2015) para a beterraba *in natura*, que foi de 8,42 mg/100 g.

O valor médio dos compostos fenólicos foi de 32,63 mg Ag/100 g, sendo este valor superior ao encontrado por Silva et al. (2014) para a variedade rosada de mandioca *in natura* que foi de 17,02 mg Ag/100 g; esses mesmos autores observaram que a capacidade antioxidante pelo método DPPH dessa variedade de mandioca foi de 14,22 µmol Tx/g, mostrando-se inferior à encontrado para a batata yacon *in natura* que foi de 35,13 µmol Tx/g.

Arnão et al. (2011) realizaram estudo com variedades de batata yacon a fim de quantificar os compostos fenólicos totais e a capacidade antioxidante, através da captura do

radical DPPH e verificaram, através dos extratos elaborados com etanol, que os valores variaram de 217 a 352 μg de EAG/mL para os fenólicos, valor bem superior ao encontrado neste trabalho e para o radical DPPH foi verificada uma capacidade antioxidante de 1,92 a 6,32 $\mu\text{L/mL}$, valores bastante inferiores ao visto nesta pesquisa. Já para a pesquisa realizada por Jimenez e Sammán (2014), com o mesmo tubérculo *in natura*, foram avaliadas a quantidade de compostos fenólicos e a capacidade antioxidante, também pelo radical orgânico DPPH, além de valores de 54,4 mg Ag/100 g e 10,6 mg AA/100 g, respectivamente, no extrato preparado com metanol. Nota-se que o valor para os compostos fenólicos é superior e a capacidade antioxidante está abaixo da obtida neste trabalho. Roca e Marinque (2005) afirmaram que esta divergência entre os valores de antioxidantes dos tubérculos se deve a vários fatores mas principalmente à variedade de cada um, bem como a região de cultivo.

De acordo com Neves e Silva (2007) o interesse no estudo desses componentes tem aumentado expressivamente devido ao seu potencial antioxidante contra radicais livres, altamente nocivos à saúde humana. Lachman et al. (2003) afirmaram que o teor de compostos fenólicos em tubérculos atinge 2030 mg/kg, com predominância de ácido clorogênico ($48,5 \pm 12,9$ mg/kg) e derivados de ácido cafeico.

A capacidade antioxidante determinada pelo método FRAP da batata yacon *in natura* foi de 49, 66 $\mu\text{mol Tx/g}$, bem superior ao valor encontrado por Salluca et al. (2008) para tubérculo andinos *in natura* e verificados valores que variaram de 0,32 a 1,57 $\mu\text{mol Tx/g}$, utilizando este mesmo método.

4.1.1 – Perfil dos minerais na batata yacon *in natura*

Na Tabela 4.2 se encontram os valores médios dos minerais da batata yacon *in natura*. Observa-se que o potássio é o mineral que se encontra em maior quantidade neste tubérculo. Ribeiro (2008) também encontrou uma quantidade maior de potássio em matéria integral da batata yacon, quando comparada com os outros macroelementos, obtendo um valor de 170 mg/g, o autor comenta ainda que a diferença entre esses valores de minerais para o mesmo tubérculo, depende da variedade da batata yacon, das regiões de cultivo, onde há variação de clima, altitude e tipo de solo, entre outros fatores. Segundo Santana e Cardoso (2008), o mineral mais abundante na batata yacon é o potássio que existe em quantidades significativas e representa, em média, 230 mg/100 g de matéria fresca

comestível ou de 1 a 2% do peso seco. Em menores quantidades são encontrados o cálcio, fósforo, magnésio, sódio, ferro, zinco, manganês e cobre (MANRIQUE e PÁRRAGA, 2005).

Tabela 4.2 – Valores médios dos minerais avaliados na batata yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in natura

Parâmetro	Média (mg/100 g)
Potássio	171,654
Cálcio	29,365
Ferro	0,482
Cloro	5,426
Fósforo	6,601
Magnésio	4,389
Enxofre	3,385
Titânio	0,321
Bromo	0,279
Zinco	0,265
Estrôncio	0,036
Cobre	0,225
Rubídio	0,214
Manganês	0,143
Zircônio	0,007

De acordo com a ANVISA, RDC nº 269 de 22 de setembro de 2005 (Regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteínas, vitaminas e minerais) (BRASIL, 2005), todos os minerais apresentados na Tabela 4.2 estão abaixo da IDR para adultos e crianças (7 a 10 anos). A resolução recomenda uma dose de 1000 mg de cálcio para adultos e 700 mg para crianças. A batata yacon in natura fornece 2,63% da necessidade diária recomendada de cálcio, sendo este um dos minerais presentes em maior quantidade.

O potássio que é o mineral com maior valor encontrado, na Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005, não constam valores de IDR (ingestão diária recomendada)

para o potássio. Foi relatado por Zanatta et al. (2010), conforme a RDA (Recommended dietary allowance ou AI – Adequate intake), que a recomendação diária de ingestão desse mineral é de 2000 mg para homens e mulheres adultos. Observa-se que a batata yacon *in natura* possui um valor desse mineral equivalente a 8,6% da IDR.

Contado (2010) avaliou a composição mineral da batata yacon em diferentes tamanhos do tubérculo (pequeno, médio e grande) e em variados tempos de armazenamento (1 e 20 dias), encontrando valores de potássio de 1,53 mg/g, na batata pequena com um dia de armazenamento e um valor menor de 1,10 mg/g, no tamanho médio com 20 dias de armazenamento; já para o cálcio, o maior valor do mineral foi verificado na batata pequena com 20 dias de armazenamento, 0,112 mg/g. O autor também observou que os valores mais elevados de ferro e magnésio ocorreram no tamanho grande e com 20 dias de armazenamento e foi 2,88 e 0,07 mg/g. Comparando esses resultados com os obtidos na Tabela 4.2, observa-se que os valores dos minerais citados diferiram entre si, e o ferro foi o que apresentou maior quantidade enquanto no trabalho em questão, foi o potássio, com 171,654 mg/100 g.

Lombardo et al. (2014) estudaram o perfil de macro e micro minerais (K, Mg, Na, Fe, Mn e Cu) em batata inglesa cultivada por métodos convencional e orgânico, na safra de 2008 e o resultado obtido mostrou uma elevada quantidade de magnésio (Mg) tanto para a batata cultivada através do método convencional como pelo orgânico, sendo de 287 e 310 mg/kg, respectivamente. O segundo mineral mais abundante na batata foi o sódio (Na), com valores que variaram de 132 a 110 mg/kg; em sequência, tem-se o Ferro (Fe) (25 a 23,6 mg/kg), potássio (K) (5,5 a 5,4 mg/kg), cobre (Cu) (3,7 a 3,4 mg/kg) e manganês (Mn) (3,1 a 3,0 mg/kg), com exceção do potássio que foi menor do que o valor encontrado para a batata yacon neste trabalho; todos os outros valores para os minerais avaliados foram maiores do que os obtidos nesta pesquisa. Estes autores afirmaram que o perfil mineral de cada cultivar depende estritamente do tipo do cultivo.

Segundo a tabela de composição centesimal (TACO, 2011), a batata doce apresenta elevado teor de potássio (340 mg/100 g), sendo este o mineral que se apresenta em maior quantidade, tal como na batata yacon. A batata doce apresenta, em sua composição mineral, 36 mg/100 g de fósforo, 21 mg/100 g de cálcio e 17 mg/100 g de magnésio, entre outros que aparecem em menores quantidades.

4.2 – Secagem dos cilindros de batata yacon

4.2.1 – Cinética de secagem

Na Tabela 4.3 se apresentam os valores dos parâmetros, os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos de Aproximação da Difusão, Dois termos, Henderson e Pabis e Page ajustados aos dados de secagem do cilindro da batata yacon, com velocidade do ar de 1 m/s e temperaturas do ar de secagem de 50, 60 e 70 °C.

Tabela 4.3 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem dos cilindros da batata yacon nas diferentes temperaturas com velocidade do ar de 1,0 m/s

Modelo	Temp. (°C)	Parâmetro			R^2	DQM	
		a	k	b			
Aproximação da difusão	50	0,0133	0,1124	0,0625	0,9999	0,0049	
	60	-1,0031	0,0133	0,8353	0,9998	0,0060	
	70	0,0276	0,0858	0,1454	0,9996	0,0093	
Dois termos	Temp. (°C)	a	k_0	b	k_1	R^2	DQM
	50	0,4930	0,0068	0,4930	0,0068	0,9998	0,0052
	60	0,5246	0,0094	0,4846	0,0094	0,9996	0,0069
	70	0,4962	0,0128	0,4962	0,0128	0,9995	0,0103
Henderson e Pabis	Temp. (°C)	a	k		R^2	DQM	
	50	0,9918	0,0070		0,9998	0,0052	
	60	1,0092	0,0094		0,9998	0,0069	
	70	0,9925	0,0128		0,9995	0,0103	
Page	Temp. (°C)	k	n		R^2	DQM	
	50	0,0077	0,9839		0,9998	0,0056	
	60	0,0080	1,0342		0,9998	0,0060	
	70	0,0143	0,9758		0,9995	0,0738	

Observa-se que o modelo que apresentou os maiores coeficientes de determinação (R^2) e os menores desvios quadráticos médios (DQM) foi o da Aproximação da difusão, em todas as temperaturas, considerado como o melhor modelo para estimar as curvas de secagem dos cilindros de batata yacon nessas condições. Entretanto, todos os outros modelos testados (Dois termos, Henderson e Pabis e Page) podem ser utilizados para representar os processos de secagem já que apresentam coeficientes de determinação (R^2) maiores que 0,9900 e desvios quadráticos médios (DQM) inferiores a 0,08. Torregorza-Espinosa et al. (2012) ajustaram o modelo de Page à curva de secagem da mandioca cv. Corpoica Verônica, na temperatura de 70 °C com velocidade do ar de 1,0 m/s sendo verificado um bom ajuste do modelo à curva experimental com R^2 igual a 0,992.

Verifica-se que o parâmetro a do modelo de Aproximação da difusão na temperatura de 60 °C não teve significado físico, pois apresentou um valor negativo e entre 50 e 70 °C observa-se um aumento. Com relação ao parâmetro k constata-se que entre as temperaturas de 60 e 70 °C houve aumento no valor de k . Quanto maior o valor do parâmetro “ k ” maior a difusividade efetiva no processo de secagem (MARTINS et al., 2015). Para o parâmetro b verifica-se que houve aumento entre 50 e 60 °C e diminuição entre 60 e 70 °C.

Para o modelo Dois Termos tem-se que houve uma elevação nos valores de k_0 e k_1 , conforme o aumento da temperatura; já os parâmetros a e b apresentaram comportamento indefinido pois aumentaram e diminuíram respectivamente voltando a subir conforme aumento de temperatura. Em trabalho realizado por Ruhanian e Movagharnejad (2016), com secagem convectiva de fatias de batata utilizando infravermelho nas potências de 500, 700 e 900 W, também foi verificado um bom ajuste desse mesmo modelo aos dados da secagem, obtendo R^2 variando de 0,9940 a 0,9960.

Os parâmetros k dos modelos de Henderson e Pabis e Page aumentaram com o aumento da temperatura. Lopes et al. (2015) também observaram, ao ajustar os modelos de Henderson e Pabis e Page as curvas de secagem de batata yacon em fatias em diferentes temperaturas (40, 50, 60 e 70 °C) que o parâmetro k aumentou conforme se elevou a temperatura de secagem. A constante n do modelo de Page apresentou um aumento entre 50 e 60 °C e diminuiu entre 60 e 70 °C, ocorrendo seu menor valor. Reis et al. (2012) não observaram uma tendência clara do parâmetro k do modelo de Page com o aumento da temperatura do ar de secagem.

Singh et al. (2012) verificaram, na secagem convectiva da batata doce realizada em cinco temperaturas do ar (50, 60, 70, 80 e 90 °C), cinco velocidades de ar (1,5; 2,5; 3,5; 4,5 e 5,5 m/s) e cubos com três arestas (5, 8 e 12 mm) que os melhores ajustes dos modelos às curvas de secagem ocorreram com o modelo de Page no qual foram obtidos os maiores valores de R^2 ($> 0,96$).

Na Figura 4.1 tem-se os dados experimentais da cinética de secagem (razão do teor de água em função do tempo de secagem) dos cilindros da batata yacon secados nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com velocidade do ar de secagem de 1,0 m/s e a curva com o ajuste pelo modelo de Aproximação da Difusão considerado o melhor. É possível observar que a curva ajustada ficou muito próxima dos dados experimentais. Verifica-se que os tempos de secagem foram de 960, 900 e 660 minutos para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente, indicando uma redução do tempo de secagem com o aumento da temperatura. Comportamento semelhante foi constatado por Lopes et al. (2015) ao estudar secagem de batata yacon em fatias nas temperatura de 40, 50, 60 e 70 °C e velocidade do ar de secagem de 0,5 m/s verificando também menores tempos de secagem com o aumento da temperatura e que, no final da secagem, a água se encontrava fortemente ligada, necessitando de maior energia para sua evaporação, resultando em menores valores da taxa de redução do teor de água.

Os tempos de secagem do presente trabalho foram inferiores ao observado por Reis et al. (2012) na secagem de fatias da batata yacon com 0,2 cm a 55 °C, cujo tempo de secagem foi de 1.320 minutos e por Lopes et al. (2015) na secagem da batata yacon em fatias nas temperaturas de secagem de 40, 50, 60 e 70 °C e velocidade do ar constante de 0,5 m/s, tendo-se verificado que o tempo de secagem diminui com o aumento da temperatura e foi de 1.250 minutos na temperatura de 70 °C e superiores ao do trabalho realizado por Scher et al. (2009) na secagem da batata yacon em fatias de 1,75 mm em secador convectivo, nas temperaturas de 50, 60, 70 °C e velocidade do ar de 1 m/s, em que foi verificado que o maior tempo de secagem foi em torno de 300 minutos (50 °C) e o menor de 150 minutos (70 °C). Diante das diferenças entre os tempos de secagem verifica-se que a forma do produto e as condições de secagem interferem diretamente no tempo de secagem.

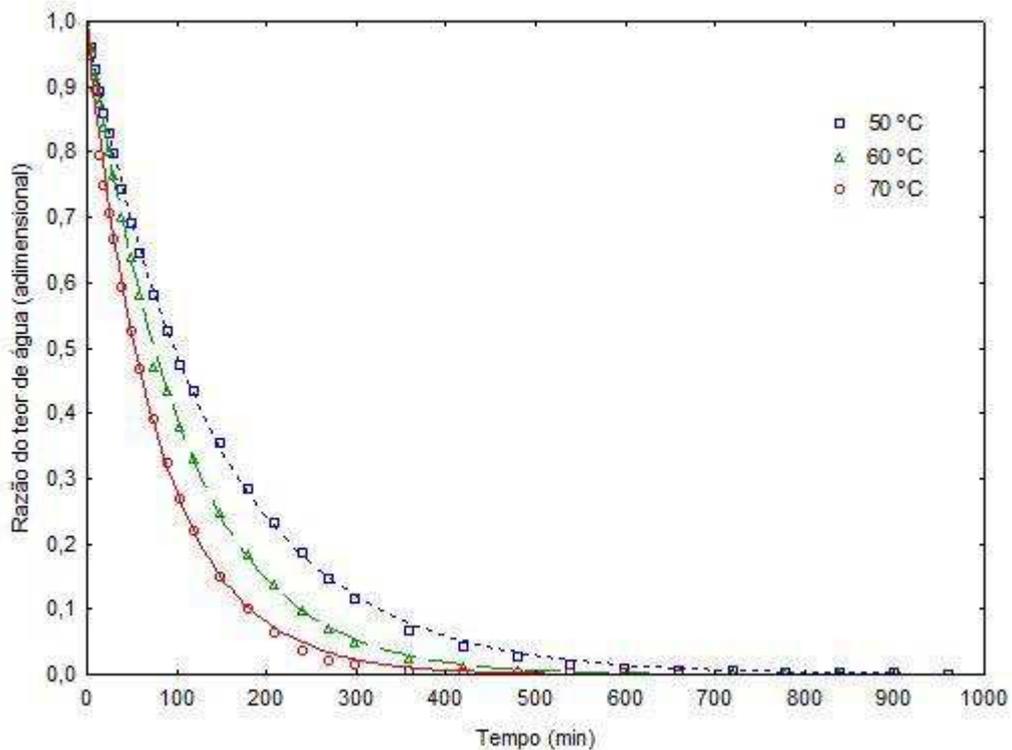


Figura 4.1 - Cinética de secagem dos cilindros da batata yacon nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Aproximação da Difusão com velocidade do ar de 1,0 m/s

Montes et al. (2008) estudaram a cinética de secagem em secador de bandejas, de fatias de inhame (*Dioscorea rotundata*), das variedades 9811-089 e 9811-091, nas temperaturas de 45, 50 e 70 °C e velocidade do ar de 1,0 m/s, ajustando os modelos de Newton, Page, Henderson e Pabis, Page modificado, Logarítmico, Thompson e Difusão, às curvas de secagem, tendo-se observado que o aumento da temperatura do ar de secagem diminuiu significativamente o tempo de secagem, que foram de 800, 700 e 600 minutos, respectivamente; todos os modelos apresentaram bons ajustes, com valores dos coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,90 e os erros relativos médios (P) inferiores a 10%.

Na Tabela 4.4 se apresentam os valores dos parâmetros, os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos de Aproximação da Difusão, Dois Termos, Henderson e Pabis e Page ajustados aos dados de secagem dos cilindros da batata yacon, com velocidade do ar de 1,5 m/s e temperaturas de secagem de 50, 60 e 70 °C. Verifica-se que todos os modelos representaram, de forma satisfatória, o processo de secagem, indicando coeficientes de determinação acima de 0,9900 e desvios

quadráticos médios inferiores a 0,02. Esses resultados corroboram com o encontrado no trabalho realizado por Reis et al. (2015) na secagem de pimenta bico, sendo ajustados os modelos da Aproximação da Difusão, Henderson e Pabis e Page às curvas de secagem verificando, para as temperaturas de 50 e 60 °C nas velocidades do ar de 1,0, 1,5 e 2,0 m/s, que todos o modelos obtiveram bons ajustes, com R^2 acima de 0,97; porém, dentre estes modelos testados o modelo da Aproximação da Difusão foi o que melhor se ajustou aos dados da secagem dos cilindros da batata yacon, em razão de ter apresentado os menores valores de DQM e os maiores valores de R^2 em todas as temperaturas.

Tabela 4.4 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem dos cilindros de batata yacon para as diferentes temperaturas avaliadas com velocidade do ar de 1,5 m/s

Modelo	Temp. (°C)	Parâmetro			R^2	DQM	
		a	k	b			
Aproximação da difusão	50	0,0397	0,0829	0,9750	0,9999	0,0027	
	60	0,1967	0,0310	0,2756	0,9999	0,0034	
	70	0,0109	0,0604	0,2038	0,9999	0,0037	
Dois termos	Temp. (°C)	a	k_0	b	k_1	R^2	DQM
	50	0,0403	0,0849	0,9604	0,0080	0,9999	0,0027
	60	0,8004	0,0085	0,1983	0,0304	0,9999	0,0034
	70	0,4987	0,0124	0,4987	0,0124	0,9999	0,0039
Henderson e Pabis	Temp. (°C)	a		k		R^2	DQM
	50	0,9808		0,0083		0,9997	0,0061
	60	0,9678		0,0101		0,9992	0,0134
	70	0,9974		0,0124		0,9999	0,0039
Page	Temp. (°C)	k		n		R^2	DQM
	50	0,0109		0,9479		0,9999	0,0047
	60	0,0169		1,8952		0,9999	0,0045
	70	0,0129		0,9917		0,9999	0,0038

Verifica-se, para o modelo de Aproximação da Difusão, que a constante k diminuiu com o aumento da temperatura entre 50 e 60 °C e o parâmetro b diminuíram conforme a temperatura tenha aumentado.

Para o modelo de Henderson e Pabis, a constante k aumentou com o aumento da temperatura. Comportamento semelhante foi verificado por Santos (2009) para a secagem de fatias de batata inglesa da variedade Markies, nas temperaturas de 50 e 60 °C e velocidade do ar de 1,5 m/s, em que os valores de k (0,0256 e 0,0316) do modelo de Henderson e Pabis aumentaram com o aumento da temperatura de secagem.

Observa-se ainda que as constantes k e n do modelo de Page apresentaram um aumento entre 50 e 60 °C, seguido de leve declínio, conforme se aumentou a temperatura de secagem entre 60 e 70 °C. Santos (2009) observou, para o modelo de Page, que o valor de n aumentou com o aumento da temperatura

Na Figura 4.2 tem-se os dados experimentais da cinética de secagem (razão do teor de água em função do tempo de secagem) dos cilindros da batata yacon secados nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com velocidade do ar de 1,5 m/s e a curva de ajuste pelo modelo de Aproximação da difusão, considerado o melhor modelo. Observa-se que a curva ajustada ficou muito próxima dos dados experimentais, fato comprovado pelos altos valores de R^2 e os baixos valores de DQM. Na temperatura de 50 °C o tempo de secagem foi de 840 min, seguido de 780 min a 60 °C e 600 minutos a 70 °C, indicando redução do tempo de secagem com o aumento da temperatura. Tempo de secagem superior foi encontrado por Padilha et al. (2009) na secagem de fatias da batata yacon secadas em estufa com circulação de ar na temperatura de 55 °C, obtendo o tempo de 1320 min (22 h) com teor de água final de 8,6% e tempo inferior foi verificado por Dantas et al. (2009) na secagem de batata inglesa em forma de placa plana na temperatura de 63 °C e velocidade do ar de 0,0280 m²/s, com um tempo de 440 min.

Constata-se que, em seu início, a secagem foi mais rápida e no final foi mais lenta e que quanto maior a temperatura menor o tempo de secagem. Shi et al. (2013) relataram que as moléculas de água se movem mais rápido com o aumento da temperatura de secagem como resultado do aumento da taxa de transferência de calor, a qual acelera a migração de água dentro do produto.

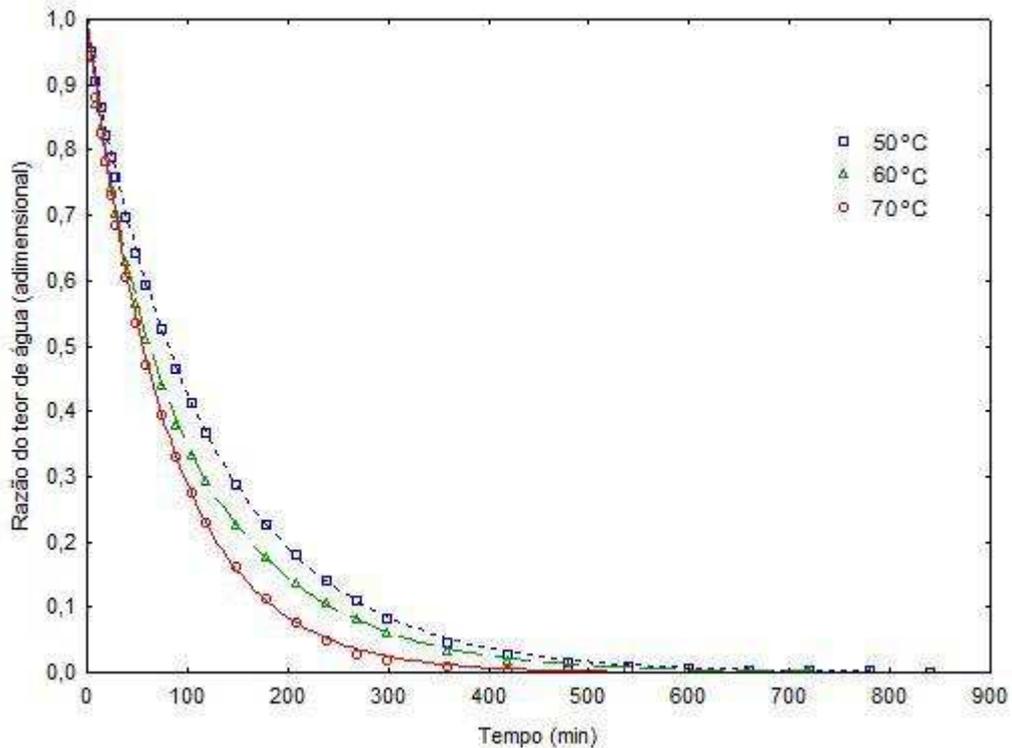


Figura 4.2 - Cinéticas de secagem dos cilindros de batata yacon nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Aproximação da Difusão com velocidade do ar de 1,5 m/s.

Na Tabela 4.5 se apresentam os valores dos parâmetros, os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos de Aproximação da difusão, Dois termos, Henderson & Pabis e Page ajustados aos dados de secagem dos cilindros de batata yacon, com velocidade do ar de 2,0 m/s e temperaturas de secagem de 50, 60 e 70 °C. Com base nos resultados obtidos constata-se que todos os modelos se ajustaram bem aos dados experimentais em razão de terem apresentado coeficientes de determinação (R^2) próximos a 1 ($> 0,9900$) e baixos valores dos desvios quadráticos médios (DQM) ($< 0,02$). O modelo da Aproximação da Difusão comportou-se como o melhor modelo nas temperaturas de 50 e 60 °C, por terem apresentado os maiores R^2 e os menores valores de DQM e o modelo de Dois Termos na temperatura de 70 °C.

Tabela 4.5 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos ajustados às curvas de secagem de cilindros de batata yacon para as diferentes temperaturas avaliadas com velocidade do ar de 2,0 m/s

Modelos	Temp. (°C)	Parâmetro			R^2	DQM	
		a	k	b			
Aproximação da difusão	50	0,0153	0,0942	0,0689	0,9975	0,0175	
	60	0,0074	0,2132	0,0419	0,9999	0,0038	
	70	0,1317	0,0438	0,3279	0,9999	0,0036	
Dois termos	Temp. (°C)	a	k_0	b	k_1	R^2	DQM
Dois termos	50	0,4959	0,0065	0,4963	0,0065	0,9975	0,0178
	60	0,4882	0,0089	0,5067	0,0089	0,9999	0,0040
	70	0,1303	0,0454	0,8714	0,0143	0,9999	0,0035
Henderson e Pabis	Temp. (°C)	a	k	R^2	DQM		
Henderson e Pabis	50	0,9922	0,0065	0,9987	0,0178		
	60	0,9950	0,0080	0,9999	0,0040		
	70	0,9827	0,0159	0,9996	0,0085		
Page	Temp. (°C)	k	n	R^2	DQM		
Page	50	0,0067	0,9961	0,9986	0,0181		
	60	0,0093	0,9938	0,9999	0,0044		
	70	0,0207	0,9405	0,9999	0,0043		

Observa-se, para o modelo da Aproximação da Difusão, que a constante k aumentou entre a temperatura de 50 e 60 °C e diminuiu entre 60 e 70 °C. Para o modelo de Dois Termos verifica-se que as constantes k_0 , k_1 e b aumentaram com o aumento da temperatura.

Constata-se, para os modelos de Henderson e Pabis e de Page, que houve um aumento da constante k com a elevação da temperatura.

Na Figura 4.3 tem-se os dados experimentais das cinéticas de secagem (razão do teor de água em função do tempo de secagem) dos cilindros da batata yacon secados nas

temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com velocidade do ar de 2,0 m/s e as curvas ajustadas pelo modelo de Aproximação da Difusão, considerado um dos melhores modelos, observando-se que as curvas ajustadas ficaram muito perto dos dados experimentais, fato comprovado pelos altos valores do R^2 e pelos baixos valores do DQM.

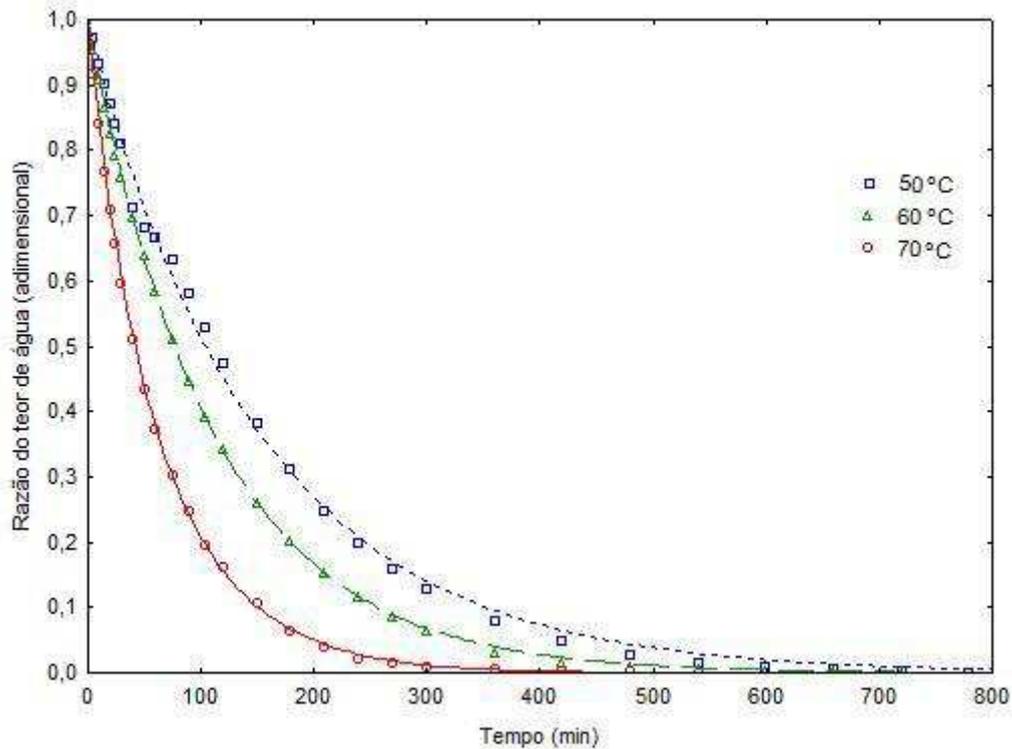


Figura 4.3 - Cinéticas de secagem dos cilindros da batata yacon nas diferentes temperaturas com ajustes pelo modelo de Aproximação da difusão com velocidade do ar de 2,0 m/s

Na temperatura de 50 °C o tempo de secagem foi de 780 min, na temperatura de 60 °C foi de 720 e a 70 °C de 540 min, havendo redução do tempo de secagem com o aumento da temperatura. Tempos de secagem superiores foram verificados, por Ruiz-Lopéz et al. (2008) na secagem em leito fixo de cilindros de cenoura com diâmetro de 0,03 m, nas temperaturas de 50 e 70 °C e com velocidade do ar de 2,0 m/s, tempos de secagem de 1000 e 300 min, respectivamente.

Com base nas Tabelas 4.3, 4.4 e 4.5 e Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 verifica-se que tanto a velocidade do ar de secagem como a temperatura, influenciaram nos tempos de secagem das amostras. Notou-se que houve diminuição gradativa do tempo de secagem com o

aumento da temperatura e com o aumento da velocidade do ar também ocorreu redução do tempo de secagem para uma temperatura constante comprovando que essas variáveis influenciaram significativamente na secagem dos cilindros de batata yacon. Conseqüentemente, o menor tempo de secagem (540min) se deu na maior temperatura (70 °C) e na maior velocidade do ar (2,0 m/s). Este mesmo comportamento foi observado por Reis et al. (2015) ao realizando a secagem de pimenta bico nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C com velocidades do ar de 1,0, 1,5 e 2,0 m/s, observando o efeito causado pelo aumento da temperatura do ar sobre a cinética de secagem, favorecendo o processo de transferência de energia na forma de calor para as amostras e, conseqüentemente, promovendo uma taxa maior de remoção da água do produto.

Borges et al. (2008) estudaram a secagem de fatias de abóbora em secador com velocidades do ar de $1,65 \times 10^{-4}$ m/s e $5,5 \times 10^{-4}$ m/s e temperaturas de secagem de 50, 60 e 70 °C, verificando que com o aumento da temperatura houve um grau maior de secagem em todas as amostras, traduzido em um teor menor de água, sendo influenciadas também pelo aumento da velocidade do ar.

Como era de se esperar, a temperatura de secagem desempenha papel importante em todo o processo, observa-se que o tempo de secagem diminuiu significativamente com o aumento da temperatura. De acordo com Shi et al. (2013) as moléculas de água se movem mais rápido em uma taxa maior de transferência de calor, de forma que acelera a migração de água no interior do produto; esses autores observaram que durante o período inicial de secagem há uma resistência externa menor e uma migração maior de água interna e que um aumento da velocidade do ar conduz a uma diminuição do tempo de secagem em razão da maior transferência de calor e massa entre o ar de secagem e as fatias da batata yacon.

Segundo Castillo Alfaro e Vidal Melgarejo (2009) os principais fatores limitantes para a utilização de temperaturas elevadas no processo de secagem da batata yacon é a despolimerização dos frutooligossacarídeos (FOS). Segundo Scher et al. (2009), a secagem deste produto deve ser realizada em temperaturas de até 70 °C.

Figueira et al. (2004) referiram que o aumento da velocidade de secagem com o aumento da temperatura foi devido à redução da resistência externa e uma transferência maior de água durante os primeiros estágios de secagem. Kaya et al. (2008) também indicaram que um aumento na temperatura do ar de secagem aumentou a taxa de transferência de calor e, em contrapartida, diminuiu o tempo de secagem.

4.2.2 - Modelagem difusional de Fick

4.2.2.1 – Difusividade efetiva sem considerar encolhimento

O modelo de difusão baseado na Lei de Fick foi aplicado para estimar a difusividade efetiva (D_{ef}) dos cilindros da batata yacon, considerando-se a geometria do produto como um cilindro infinito e adotando 4 termos da série.

Tem-se na Tabela 4.6 os valores da difusividade efetiva da água e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) em função da temperatura e da velocidade do ar de secagem.

Tabela 4.6 - Valores da difusividade efetiva da água (D_{ef}) dos cilindros de batata yacon em função das diferentes temperaturas de secagem e velocidades do ar com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2)

Velocidade do ar (m/s)	Def (m ² /s) /R ²		
	50 °C	60 °C	70 °C
1,0	1,18 x 10 ⁻⁹ /0,986	1,28 x 10 ⁻⁹ /0,984	1,94 x 10 ⁻⁹ /0,980
1,5	0,96 x 10 ⁻⁹ /0,985	1,57 x 10 ⁻⁹ /0,980	2,15 x 10 ⁻⁹ /0,976
2,0	1,08 x 10 ⁻⁹ /0,983	1,61 x 10 ⁻⁹ /0,983	1,90 x 10 ⁻⁹ /0,973

Verifica-se que houve um aumento progressivo da difusividade efetiva com aumento da temperatura, em todas as velocidades do ar. Este fato era previsto em razão da maior pressão exercida na maior temperatura para retirada da água por evaporação. Comportamento semelhante foi constatado por Mercali et al. (2008) na desidratação osmótica de cilindros de banana (1,8 cm de diâmetro e 10 cm de comprimento) em que a difusividade efetiva da água aumentou de 5,37 x 10⁻¹⁰ para 6,30 x 10⁻¹⁰ m²/s com o aumento da temperatura de 25 para 55 °C; por Souza (2013) para a secagem de fatias da batata yacon em que a difusividade efetiva aumentou significativamente com a elevação da temperatura, apresentando valores que variaram de 3,031 x 10⁻¹⁰ a 9,95 x 10⁻¹⁰ m²/s, quando a temperatura variou de 40 a 80°C, respectivamente, sendo estes valores inferiores aos do presente trabalho; por Portela et al. (2014) na secagem de fatias de miolo de macambira com espessura de 2,5 mm, nas temperaturas de 43, 49 e 56 °C e com velocidade

do ar de 1,0 m/s, que também constataram que o aumento da temperatura refletiu no aumento da difusividade efetiva com valores de $1,81 \times 10^{-10}$, $2,37 \times 10^{-10}$ e $4,09 \times 10^{-10}$ m²/s, respectivamente.

Com relação ao aumento da velocidade de ar, não houve um comportamento padrão da difusividade efetiva em todas as temperaturas. Verifica-se que na temperatura de 60 °C a difusividade efetiva aumentou com o aumento da velocidade do ar; entretanto este aumento só foi observado na temperatura de 50 °C entre as velocidades de 1,5 e 2,0 m/s e na temperatura de 70 °C a difusividade aumentou com o aumento da velocidade de ar entre as velocidades de 1,0 e 1,5 m/s. Com isto, notou-se que a velocidade do ar influenciou de forma irregular nos valores da difusividade efetiva entre as amostras. Segundo Galdino (2012) a migração do teor de água do interior do alimento para a superfície depende também das condições internas, como a natureza estrutural do material e a quantidade do teor de água do produto. No trabalho realizado por Oliveira et al. (2006) para a secagem em placa plana de raiz de chicória foi constatado que a difusividade efetiva variou de $3,51 \times 10^{-10}$ a $10,36 \times 10^{-10}$ m²/s e que aumentou quando se aumentou a temperatura de secagem, tendo-se concluído que para os valores estudados, somente a temperatura do ar influenciou significativamente a difusividade efetiva. Dantas et al. (2009) observaram na secagem de fatias de batata inglesa na temperatura de 63 °C e velocidade do ar de 0,0280 m/s, um valor da difusividade efetiva de $4,4415 \times 10^{-9}$ m²/s, sendo este valor superior ao encontrado para a batata yacon em todas as condições avaliadas. Fernandes et al. (2015) avaliaram o efeito da velocidade do ar de secagem nos valores da difusividade efetiva de cubos de maçã secados em secador convectivo nas temperaturas de 45 e 60 °C com velocidades do ar de 1, 2, 3 e 5 m/s, verificando que houve um aumento da difusividade com o aumento da velocidade do ar nas duas temperaturas de secagem, e também que a difusividade aumentou com o aumento da temperatura com valores variando de $0,58 \times 10^{-9}$ a $1,89 \times 10^{-9}$ m²/s.

A diminuição na difusividade efetiva que ocorreu com relação ao aumento da velocidade do ar nas temperaturas de 50 e 70 °C, pode ser explicada pela quantidade de açúcares presente na batata yacon de forma que com a redução do teor de água foi observado que os açúcares formaram uma camada superficial envolvendo os cilindros da batata yacon dificultando assim a remoção de água durante a secagem, uma vez que esta passa a ocorrer nas regiões de forte interação da água restante no alimento e sua matriz sólida.

No trabalho realizado por Shi et al. (2013) com secagem com bomba de calor de cilindro da batata yacon com diâmetro de 4 mm, na temperatura de 45 °C com velocidade do ar de 1,5 m/s, foi constatado um valor para a difusividade efetiva de $7,388 \times 10^{-7}$ que, quando comparado com o obtido neste trabalho na temperatura de 50 °C para a mesma velocidade do ar, nota-se que foi bem superior. Esses autores ressaltaram que a diferença ocorrida entre os valores de difusividade efetiva, se deve a uma série de fatores como: variedade, teor de água, geometria da amostra, pré-tratamento químico, tipo de secador e temperatura utilizada. Oliveira (2014) verificou, na secagem de fatias da batata yacon em placa plana, em estufa a 60 °C sem e com vácuo, valores da difusividade efetiva de $1,04 \times 10^{-8}$ e $1,53 \times 10^{-8}$ m²/s, respectivamente, indicando que a secagem a vácuo apresentou maior difusividade; conseqüentemente, maior perda de água e menor tempo de secagem. Alves et al. (2010) também verificaram na cinética de secagem de abacate em formato de placa plana nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C e velocidade do ar de 3,0 m/s que a difusividade efetiva aumentou com o aumento da temperatura, com valores de $8,3 \times 10^{-11}$, $11,3 \times 10^{-11}$ e $12,7 \times 10^{-11}$, respectivamente.

Com exceção do valor da difusividade obtido na temperatura de 60 °C e velocidade do ar de 1,5 m/s, pode-se verificar que os valores da difusividade são da ordem de 10^{-9} m²/s e que segundo Arévalo-Pinedo e Murr (2005) estão dentro da faixa reportada na literatura para secagem de diferentes tipos de vegetais.

Ajuste do modelo de difusão aos dados experimentais da secagem dos cilindros de batata yacon, sem considerar o encolhimento nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem: (a) 1,0 m/s; b) 1,5 m/s; e c) 2,0 m/s

Na Figura 4.4 tem-se as curvas ajustadas com o modelo de difusão de Fick sem considerar o encolhimento nas diferentes temperaturas de secagem e com velocidades do ar de 1,0, 1,5 e 2,0 m/s. Observa-se que os dados experimentais nas temperaturas de 50 e 60 °C ficaram bem próximos durante toda a secagem e que em todas as temperaturas as curvas ajustadas ficaram um pouco afastadas dos dados experimentais a partir dos 100 min. Srikiatden e Roberts (2006) observaram, na secagem de cilindros de batata inglesa e cenoura com diâmetros de 0,7 e 1,4 cm, respectivamente, nas temperaturas de 40, 50, 60, e 70 °C e velocidades do ar de 1,5 e 3,0 m/s, que a difusividade efetiva depende da temperatura de secagem.

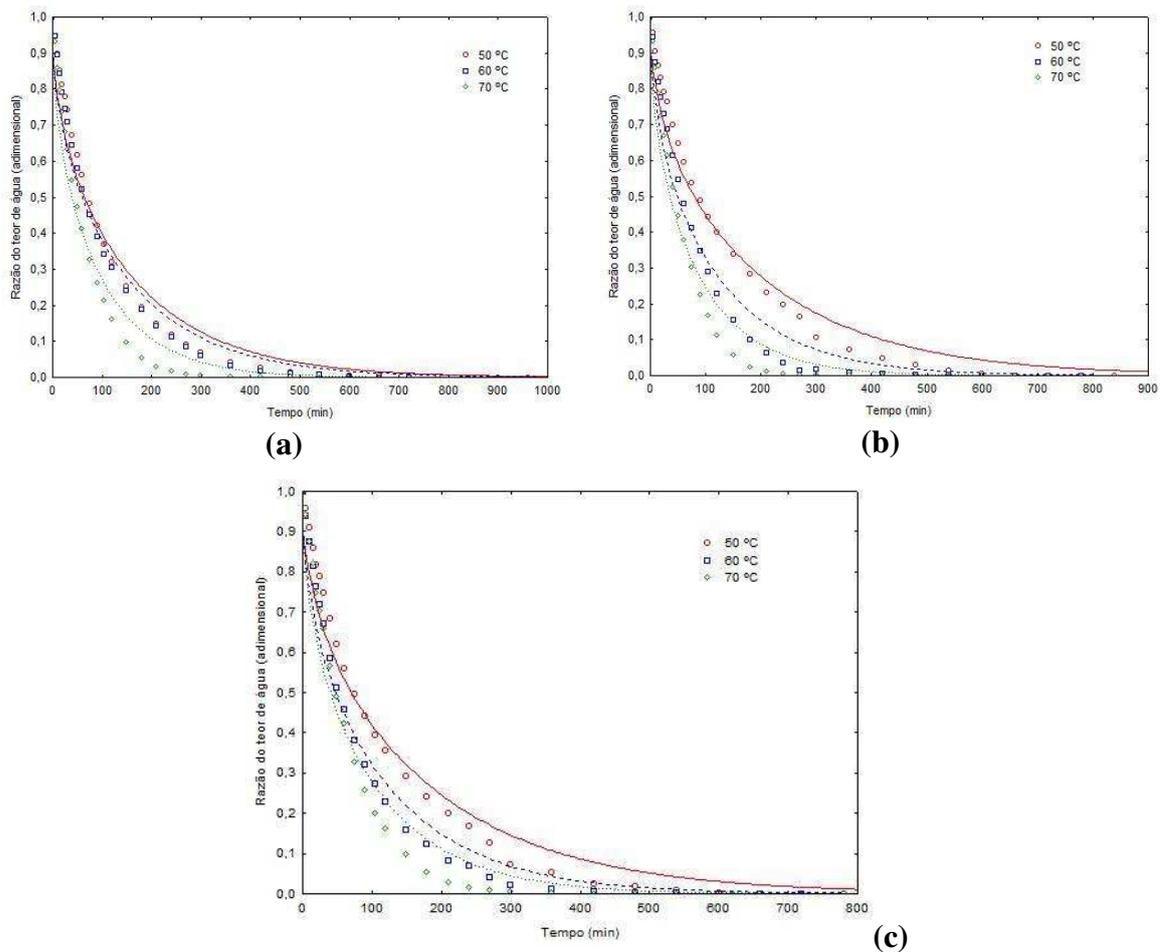


Figura 4.4 - Ajuste do modelo de difusão aos dados experimentais da secagem dos cilindros de batata yacon sem considerar o encolhimento nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem: (a) 1,0 m/s; b) 1,5 m/s; e c) 2,0 m/s

4.2.2.2 – Difusividade efetiva considerando o encolhimento

O modelo de difusão foi aplicado para estimar a difusividade efetiva (D_{ef}) dos cilindros da batata yacon, considerando-se o encolhimento com a geometria do produto como cilindro infinito e usando 4 termos da série da Eq. 3.19.

Os valores da difusividade efetiva da água e os respectivos coeficientes de determinação (R^2) das amostras estão apresentados na Tabela 4.7. Verifica-se que a difusividade aumentou com o aumento da temperatura, nas três velocidades de ar aplicadas (1,0, 1,5 e 2,0 m/s²). Este fato era esperado em razão da maior pressão exercida na maior temperatura para retirada da água por evaporação. Este comportamento corrobora com o resultado obtido por Leite et al. (2015) para a difusividade efetiva da secagem de fatias de

banana da variedade Terra considerando-se o encolhimento nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com velocidade do ar de 1,0 m/s em que o aumento da difusividade ocorreu concomitante com a temperatura, com valores de $4,34 \times 10^{-10}$, $7,59 \times 10^{-10}$ e $8,85 \times 10^{-10}$, respectivamente. Observa-se que esses valores são inferiores à difusividade efetiva dos cilindros da batata yacon vista neste trabalho em todas as temperaturas de secagem com velocidade do ar de 1,0 m/s. Araújo (2010) constatou, na secagem de fatias de cenoura com espessura de 3,8 mm na temperatura de 70 °C, valor da difusividade de $0,9573 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ considerando o encolhimento e aplicando a segunda lei de Fick para placa plana infinita. Park et al. (2004) verificaram, para o caqui Giombo, e considerando o encolhimento, valores da difusividade variando de $2,24 \times 10^{-10}$ a $3,88 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para temperaturas entre 45,9 e 74,1 °C e velocidades do ar de 0,10 a 0,4133 m/s.

A difusividade efetiva da água diminuiu na temperatura de secagem de 70 °C com o aumento da velocidade do ar de 1,5 para 2,0 m/s. É provável que isto tenha ocorrido em função da quantidade de açúcares presentes na amostra pois esses açúcares podem formar uma barreira dificultando a retirada da água e influenciando no valor da difusividade. Este fato foi justificado por Daudin (1983) quando afirmou que as transferências internas de massa são influenciadas por dois parâmetros importantes para materiais biológicos: migração do soluto, através de formação de crosta e deformação do produto, através do encolhimento.

Tabela 4.7 - Valores da difusividade efetiva da água (Def) dos cilindros da batata yacon em função das diferentes temperaturas de secagem e velocidades do ar, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), considerando o encolhimento

Velocidade do ar (m/s ²)	Def (m ² /s)/ R ²		
	50 °C	60 °C	70 °C
1,0	$2,33 \times 10^{-9} / 0,991$	$3,83 \times 10^{-9} / 0,954$	$5,33 \times 10^{-9} / 0,988$
1,5	$2,66 \times 10^{-9} / 0,987$	$3,66 \times 10^{-9} / 0,970$	$6,83 \times 10^{-9} / 0,976$
2,0	$1,10 \times 10^{-9} / 0,926$	$2,33 \times 10^{-9} / 0,986$	$2,83 \times 10^{-9} / 0,978$

Observa-se que alguns valores da difusividade efetiva considerando o encolhimento (Tabela 4.7) foram menores, enquanto comparados com os valores da difusividade efetiva sem considerar o encolhimento (Tabela 4.6) demonstrando que a difusividade, quando

calculada sem a devida consideração do fenômeno de encolhimento, pode superestimar a transferência de massa por difusão (PARK, 1987). Segundo o mesmo autor, esse tipo de análise pode, inclusive, trazer erros na avaliação da resistência de transferência de massa no material (resistência interna), para outros tipos de análise na secagem.

Encontra-se, nas Figuras 4.5 a 4.7, o ajuste do modelo difusional considerando-se o encolhimento aos dados experimentais das secagens dos cilindros da batata yacon desidratados em diferentes temperaturas e velocidades do ar. Verifica-se, em todas as condições de secagem, que houve diminuição do raio do cilindro em função da diminuição da razão da concentração de água ao longo do processo.

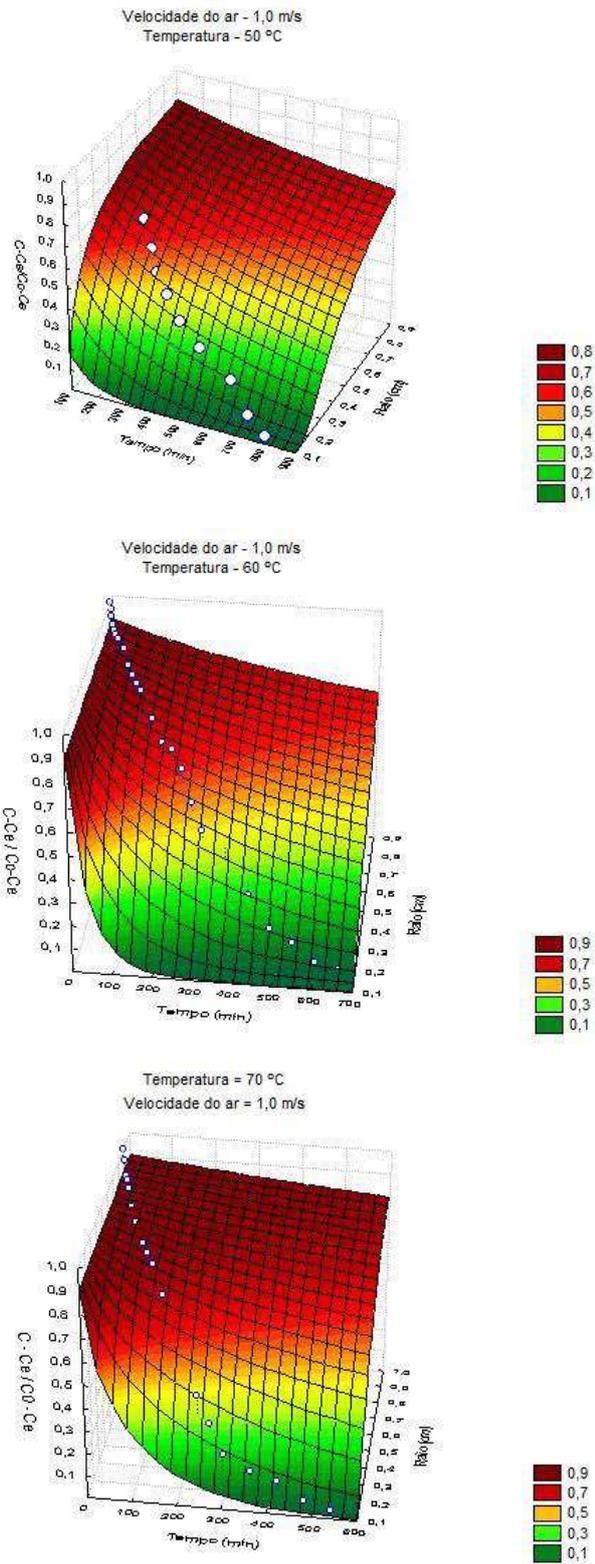


Figura 4.5 - Ajuste do modelo de difusão considerando-se o encolhimento aos dados experimentais da secagem dos cilindros de batata yacon com velocidade de ar de secagem de 1,0 m/s e nas diferentes temperaturas

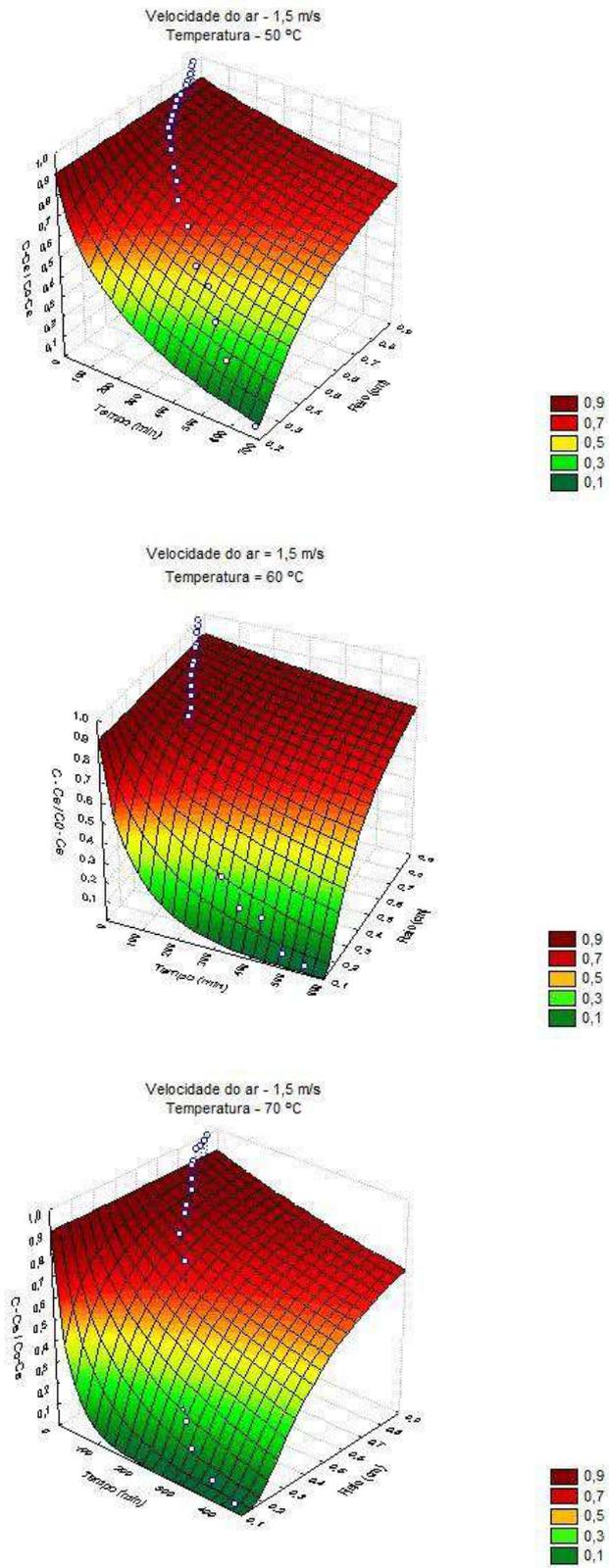


Figura 4.6 - Ajuste do modelo de difusão considerando o encolhimento aos dados experimentais da secagem dos cilindros de batata yacon com velocidade de ar de secagem de 1,5 m/s e nas diferentes temperaturas

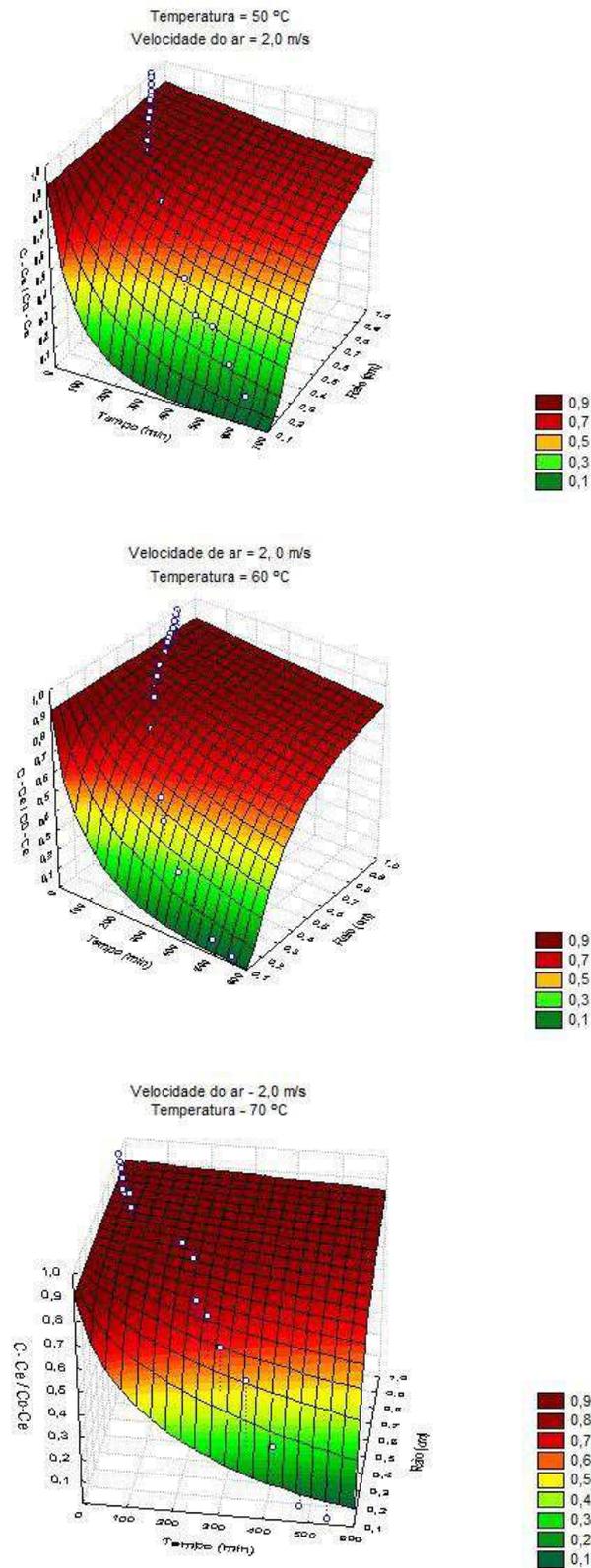


Figura 4.7 - Ajuste do modelo de difusão considerando o encolhimento aos dados experimentais da secagem dos cilindros de batata yacon com velocidade de ar de secagem de 2,0 m/s e nas diferentes temperaturas

4.2.3 – Estudo do encolhimento

O estudo do encolhimento foi realizado usando-se os modelos propostos por Suzuki et al. (1976) (Uniforme 1, Uniforme 2 e Central) para os cilindros da batata yacon desidratados com velocidade do ar do secador de 1,0, 1,5 e 2,0 m/s, nas temperaturas de secagem de 50, 60 e 70 °C.

Na Tabela 4.8 tem-se os valores dos coeficientes de encolhimento (n) obtidos em função da temperatura e da velocidade do ar de secagem, utilizando os três modelos (Uniforme 1, Uniforme 2 e Central) para o processo de secagem dos cilindros de batata yacon.

Tabela 4.8 - Valores do coeficiente de encolhimento (n), coeficiente de determinação (R^2) e o desvio percentual médio (P) dos modelos Uniforme 1, Uniforme 2 e Central, em função das diferentes temperaturas e velocidade do ar de secagem

Coeficiente de encolhimento (n)/ R^2 /P				
Vel. do ar (m/s)	Temp. (°C)	Uniforme 1	Uniforme 2	Central
1,0	50	0,60 (0,994*/6,68**)	0,55 (0,997*/8,32**)	0,63 (0,996*/7,60**)
	60	0,54 (0,997*/6,74**)	0,48 (0,975*/9,59**)	0,53 (0,990*/6,42**)
	70	0,52 (0,983*/8,11**)	0,46 (0,987*/10,17**)	0,62 (0,998*/3,53**)
Vel. do ar (m/s)	Temp. (°C)	Uniforme 1	Uniforme 2	Central
1,5	50	0,59 (0,995*/6,97**)	0,63 (0,985*/13,13**)	0,62 (0,998*/1,98**)
	60	0,57 (0,990*/5,96**)	0,45 (0,966*/5,22**)	0,61 (0,999*/3,81**)
	70	0,56 (0,993*/9,74**)	0,58 (0,980*/13,26**)	0,59 (0,999*/3,59**)
Vel. do ar (m/s)	Temp. (°C)	Uniforme 1	Uniforme 2	Central
2,0	50	0,61 (0,996*/5,20**)	0,55 (0,994*/8,64**)	0,65 (0,999*/2,65**)
	60	0,60 (0,995*/2,25**)	0,52 (0,995*/4,80**)	0,62 (0,999*/2,13**)
	70	0,54 (0,994*/2,67**)	0,53 (0,983*/8,83**)	0,60 (0,999*/2,46**)

*Coeficiente de determinação (R^2); **Desvio percentual médio (P)

Na velocidade do ar de 1,0 m/s, verifica-se, através dos valores do coeficiente de determinação (R^2) e do desvio percentual médio (P), que o modelo Central utilizado foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais para as temperaturas estudadas apresentando os menores valores P, exceto na temperatura 50 °C, em que o melhor ajuste ocorreu para o modelo Uniforme 1, em virtude de ter apresentado um valor de P = 6,68%. Os modelos Uniforme 1 e Uniforme 2 também podem ser usados para estimar os dados experimentais em todas as temperaturas.

O parâmetro n (coeficiente de encolhimento) representa um fator de proporcionalidade entre a variação na área superficial total da amostra e a variação em seu volume, ao longo do processo de secagem. Sabe-se, também, que a variação adimensional do volume é sempre menor que a variação adimensional da área; desta forma, o parâmetro n funciona como fator de correção a fim de tornar a variação da área semelhante à variação correspondente no volume. Assim, quanto maior for a variação entre a área e o volume menor será o valor de n correspondente a esta variação. Sendo assim, quanto menor o valor de n maior o nível de encolhimento sofrido pelas amostras (El-Aouar, 2005).

Observando os valores do coeficiente n constatou-se que o maior nível de encolhimento nos cilindros da batata yacon desidratada, ocorreu para a temperatura de 70 °C nos modelos Uniforme 1 e 2, em razão de terem apresentado os menores valores de n. Verifica-se que o nível de encolhimento aumentou conforme se aumentou a temperatura de secagem, provavelmente em função da remoção da água ter ocorrido de forma mais rápida. Com exceção do modelo Central, pois nele o maior nível de encolhimento ocorreu na temperatura de 60 °C. Este comportamento corrobora com o visto por Bernstein (2012) quando determinou o encolhimento em cubos da batata yacon durante a secagem realizada a uma temperatura de 50 °C nas primeiras cinco horas de secagem e a 75 °C nas últimas cinco horas; usando secador de bandejas, o cálculo foi feito em função do volume e do teor de água das amostras; verificados a cada duas horas durante todo o processo, as amostras apresentaram uma variação de volume de 7.861,71 a 886,21 mm³, indicando uma redução de 88,72%, comprovando o encolhimento da amostra.

Em trabalho realizado por Lopes (2013) com secagem em micro-ondas de abacaxi em forma de cilindro, com temperaturas de 55 e 70 °C e vazão do ar de 0,5 m³/m e potência de 259 W, em que foi avaliado o encolhimento utilizando o modelo Uniforme obtendo valores de n de 0,90 e 0,71, respectivamente, verificando que n diminuiu com o aumento da temperatura e com coeficientes de determinação (R^2) acima de 0,97.

Nas velocidades do ar de 1,5 e 2,0 m/s, verifica-se que o modelo central utilizado foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais para todas as temperaturas, apresentando os maiores R^2 e os menores valores de P; entretanto, os demais modelos também podem ser usados para estimar o coeficiente de encolhimento em razão de terem apresentado $R^2 \geq 0,96$ e $P < 14\%$. Constata-se também que os menores valores de n nos cilindros da batata yacon desidratada, ocorreram para a temperatura de 70 °C nos modelos Uniforme 1 e Central e no modelo Uniforme 2 n foi menor na temperatura de 60 °C.

Analisando de forma geral, nota-se uma tendência de diminuição de n (coeficiente de encolhimento) provocado pelo aumento da temperatura, exceto em alguns casos isolados, comprovando a influência do aumento da temperatura no índice de encolhimento.

Kurozawa et al. (2012) estudaram o encolhimento de cubos de mamão durante a secagem realizada em secador convectivo de bandejas, nas temperaturas de 40 e 70 °C e velocidade do ar de 1,0 m/s; o encolhimento da área foi verificado através de regressão não linear utilizando o modelo proposto por Suzuki et al. (1976); onde foram verificados valores de n (índice de encolhimento) de 0,89 e 1,46 para as temperaturas de 40 e 70 °C, respectivamente, sendo esses valores maiores do que o encontrado neste trabalho, para as temperaturas de 50 e 70 °C, na mesma condição de velocidade do ar.

Tem-se, nas Figuras 4.8 a 4.10, os dados experimentais de A/A_0 em função de X/X_0 dos cilindros da batata yacon desidratados nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C e com velocidades do ar de secagem de 1,0, 1,5 e 2,0 m/s, ajustados pelo modelo Central considerado, na maioria dos casos, com o melhor modelo, por ter obtido os maiores valores do coeficiente de determinação (R^2) e os menores desvios percentuais médios (P).

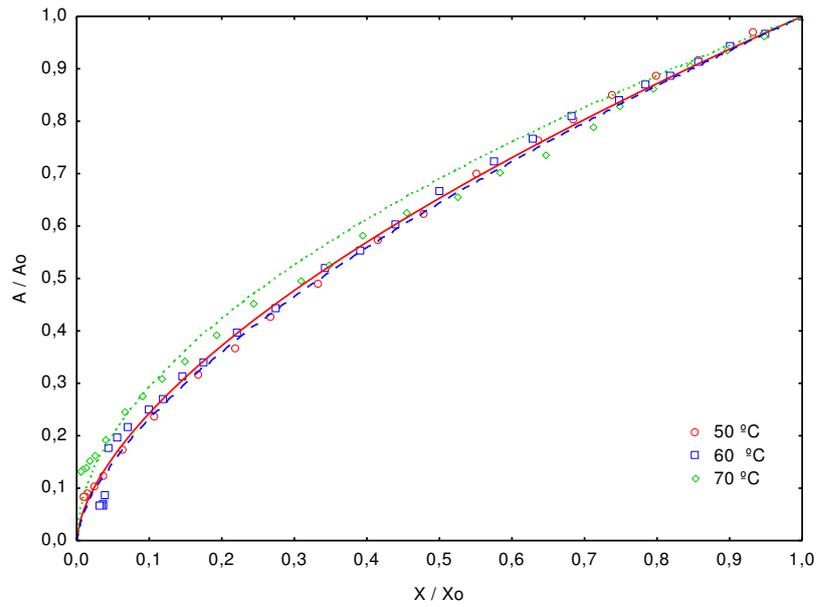


Figura 4.8 - Ajuste do modelo Central aos dados experimentais da razão da área (A/A_0) em função da razão do teor de água (X/X_0) na secagem dos cilindros da batata yacon em diferentes temperaturas de secagem e na velocidade do ar de 1,0 m/s

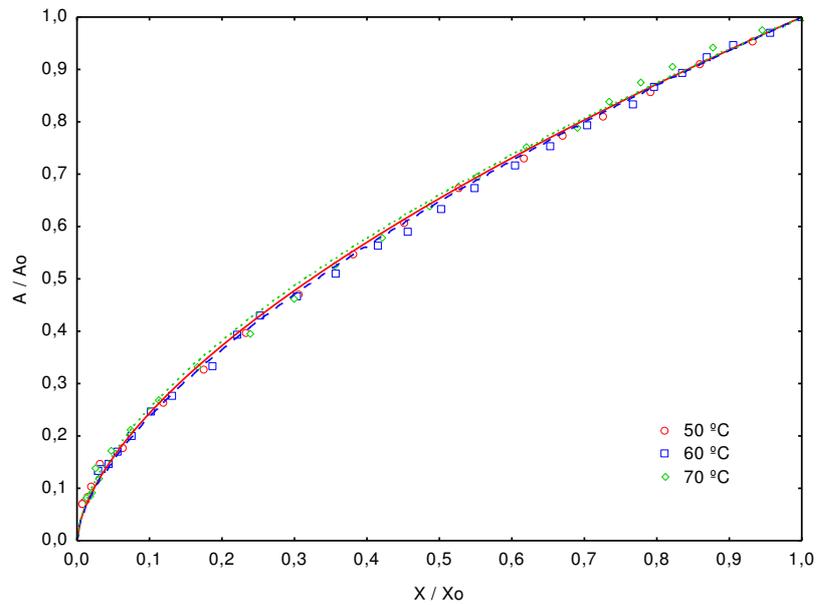


Figura 4.9 - Ajuste do modelo Central aos dados experimentais razão da área (A/A_0) em função da razão do teor de água (X/X_0) na secagem dos cilindros da batata yacon em diferentes temperaturas de secagem e na velocidade do ar de 1,5 m/s

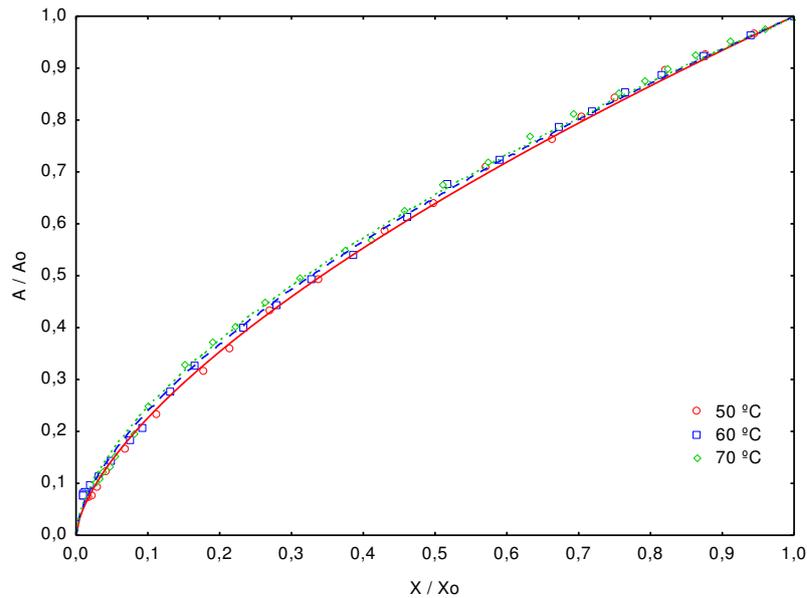


Figura 4.10 - Ajuste do modelo Central aos dados experimentais razão da área (A/A_0) em função da razão do teor de água (X/X_0) na secagem dos cilindros da batata yacon em diferentes temperaturas de secagem e na velocidade do ar de 2,0 m/s

Observa-se que o encolhimento das amostras ocorre em função da diminuição da razão do teor de água (X/X_0). Verifica-se, para a velocidade do ar de 1,0 m/s, que as curvas ficaram próximas umas das outras; conseqüentemente, indica também a proximidade dos valores do coeficiente de encolhimento (n). Este comportamento se assemelha ao verificado por Bacelos e Almeida (2011) ao secarem batata inglesa em formato de esfera (diâmetro = 10 mm), a 60 °C, constatando que ocorreu uma retração da amostra conforme houve redução do teor de água e que os modelos de Kilpatrick e linear apresentaram bons ajustes, com R^2 superiores a 0,99 e P menores que 10%.

Nas velocidades do ar de 1,5 e 2,0 m/s, observa-se que as curvas ficaram praticamente sobrepostas, indicando que, embora tenha havido uma redução no índice de encolhimento, a diferença entre os valores do coeficiente de encolhimento (n) pode não ser significativa.

4.3 – Caracterização dos cilindros de batata yacon após o processo de secagem

Neste item se encontram caracterização física, a química e a físico-química realizadas nos cilindros da batata yacon secados em secador convectivo com as seguintes

condições de secagem: velocidade do ar do secador de 1,0, 1,5, e 2,0 m/s e as temperaturas de secagem de 50, 60 e 70 °C.

4.3.1 – Teor de água

Na Tabela 4.9 se encontram os valores médios obtidos para o teor de água das amostras secas, nota-se que houve tendência de redução do teor de água com o aumento da temperatura de secagem, nas três velocidades do ar. Observa-se que o menor teor de água (12,96%) foi obtido na velocidade do ar de 2,0 m/s e temperatura de 70 °C.

Tabela 4.9 - Valores médios do teor de água (% b.u.) dos cilindros da batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem

Velocidade do ar (m/s)	Temperatura (°C)		
	50	60	70
1,0	22,56 aA	18,37 aB	15,25 aC
1,5	21,68 aA	18,64 aB	13,26 bC
2,0	18,73 bA	17,86 aA	12,96 bB

MG= 17,71%; CV= 3,14%; DMS para coluna = 1,16; DMS para linhas = 1,16

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação; DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a5% de probabilidade

Analisando a variação do teor de água entre as velocidades do ar para cada temperatura, observa-se que a 50 e 70 °C houve tendência de redução do teor de água com o aumento da velocidade do ar; já para a temperatura de 60 °C, as amostras se mantiveram com o teor de água estatisticamente iguais. Constata-se que a velocidade do ar de secagem teve influência significativa na redução do teor de água das amostras, apenas nas temperaturas de 50 e 70 °C e que a temperatura foi o fator de maior influência já que apresentou tendência de redução em todas as amostras. Vale ressaltar, também, que os valores médios do teor de água são elevados quando comparados a outros produtos secos e isso pode ser devido à elevada quantidade de açúcares presente na amostra que formam uma barreira na superfície do produto, impedindo a saída da água.

Valores inferiores do teor de água dos cilindros da batata yacon secos foram quantificados por Michel et al. (2014) para fatias da batata yacon secadas em estufa com circulação de ar, a 55 °C/14 h, e com posterior trituração para obtenção da farinha obtendo teor de água na farinha de 10,10%; por Rodrigues et al. (2011) que obtiveram teor de água de 6,9% após a secagem de fatias da batata yacon em secador com circulação de ar (Polidryer) na temperatura de 55 °C, por 48 h; por Vasconcelos et al. (2010) que obtiveram teor de água de 6,59% após a secagem da batata yacon triturada em processador e secada em estufa com ventilação forçada de ar na temperatura de 55 °C por 48 h sendo novamente triturada após a secagem; e por Dantas et al. (2009) para placas de batata inglesa secadas a uma temperatura de 63 °C e velocidade do ar de secagem de 1 m/s, em que observaram um teor de água de 1,57%. Diante dessas diferenças possivelmente a variação do binômio tempo/temperatura, o formato do produto, o tipo de secador e a velocidade do ar na secagem da batata yacon, influenciam no teor de água do produto. A forma geométrica do produto pode dificultar a transferência de massa do interior para a superfície e desta para o exterior (PARK et al., 2007). Além disso, produtos muito diferenciados em razão da sua forma, estrutura e dimensões e das diversas condições de secagem como método, propriedades do ar e contato com o ar/produto, podem explicar as divergências de valores do teor de água (ALMEIDA et al., 2002).

A legislação vigente (RDC 272 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária; BRASIL, 2005) recomenda um teor de água máximo de 12% para vegetais secos; entretanto, os valores obtidos do teor de água da batata yacon seca do presente trabalho foram superiores ao valor recomendado, tendo em vista que as amostras atingiram o equilíbrio com teores de água que variaram entre 12,96 e 22,56%.

4.3.2 – pH

Na Tabela 4.10 tem-se os valores médios do pH dos cilindros da batata yacon secos, observa-se que os valores variaram de 4,53 a 4,85 mostrando que as amostras podem ser consideradas um alimento pouco ácido (pH > 4,5), quando comparado com o pH do suco de limão Tahiti que foi de 2,38 (Marmitt et al., 2016). Ao observar a influência do aumento da temperatura em cada velocidade do ar, nota-se que na velocidade de 2,0 m/s houve um aumento com o aumento da temperatura e nas velocidades de 1,0 e 1,5 m/s não houve um comportamento definido com os valores apresentando oscilações de

aumento/redução, ou seja, nota-se um comportamento para cada condição de secagem. Quanto ao aumento da velocidade do ar constata-se, apenas na temperatura de 70 °C, que houve um aumento do pH com o aumento da velocidade do ar, e nas temperaturas de 50 e 60 °C não houve comportamento padrão.

Tabela 4.10– Valores médios do pH dos cilindros de batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem

Velocidade do ar (m/s)	Temperatura (°C)		
	50	60	70
1,0	4,65	4,69	4,48
1,5	4,85	4,59	4,62
2,0	4,53	4,73	4,85

MG= 4,67; CV= 0,76; MG: Média geral CV: Coeficiente de variação

Verificou-se que houve um comportamento indefinido do pH das amostras com as variáveis utilizadas no processo. O pH é um parâmetro que pode ser influenciado por vários fatores durante a secagem, como a retirada da água e a concentração dos demais componentes da amostra, fazendo com que este diminua ou aumente; vale ressaltar também a importância de se conhecer o valor do pH nos alimentos, visto que podem ser usados para o controle de desenvolvimento de micro-organismos nas fases de processamento e/ou armazenamento dos alimentos.

Os valores do pH expostos nesta pesquisa são menores do que o observado por Silva (2010) que encontrou um valor médio do pH na ordem de 5,4 na farinha de batata-doce da cultivar Brazlândia Branca secada em estufa com circulação de ar forçada a 60 °C; e por Santos et al. (2012) para a farinha da batata-doce (*Ipomoea batatas*) obtida em secador solar de bandeja que encontraram valor de pH de $6,30 \pm 0,12$. A concentração de ácido necessária para alterar o pH de um alimento depende das concentrações dos sólidos solúveis, proteínas, sais, da capacidade tamponante desses componentes e do grau de ionização (MCCARTHY et al., 1991).

Michel et al. (2014) encontraram, avaliando o pH da farinha da batata yacon obtida pelo processo de secagem em estufa com circulação de ar a 55 °C por 14 h, um valor de 4,53, sendo próximo aos valores do presente trabalho.

4.3.3 – Acidez total titulável

Na Tabela 4.11 encontram-se os valores médios da acidez total titulável dos cilindros da batata yacon secos; observa-se que as amostras apresentaram uma média geral de 2,16% de ácido cítrico, sendo considerada como de baixa acidez, quando comparado com a acidez da lima ácida Thaiti, que foi de 6,64% de ácido cítrico (MARMITTI et al., 2016). Este valor da acidez pode ter sido influenciado pela solução de ácido cítrico utilizada na inativação enzimática da batata yacon antes da secagem. Valores superiores foram quantificados por Santos et al. (2012) para a farinha de batata doce com uma acidez total titulável de $10,85 \pm 1,39\%$ e por Santos et al. (2010) para a batata da cultivar Markies secada na temperatura de 60 °C e velocidade do ar de 1,5 m/s, os quais verificaram um teor de acidez da farinha de 6,21%. O valor da acidez pode ser decorrente dos compostos naturais do alimento ou pelo tipo de processamento ao qual o alimento foi submetido (FERNANDES et al., 2008).

Analisando a influência do aumento da temperatura de secagem para cada velocidade do ar, tem-se que houve uma tendência de redução da acidez com a elevação da temperatura. Contrariamente, Santos (2009) verificou, para as farinhas elaboradas a partir de duas cultivares de batata (Ágata e Markies) e duas temperaturas de secagem (50 e 60 °C), com uma velocidade do ar de 1,5 m/s, que houve aumento da acidez com o aumento da temperatura de secagem com valor médio de 6,36%.

Tabela 4.11 – Valores médios da acidez total titulável (% ácido cítrico) dos cilindros de batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem

Velocidade do ar (m/s)	Temperatura (°C)		
	50	60	70
1,0	2,62 aA	2,24 aB	2,16 aB
1,5	2,53 aA	2,21 aB	1,84 bC
2,0	2,26 bA	2,16 aA	1,34 cB

MG = 2,16%; CV = 2,45%; DMS para coluna = 0,12; DMS para linhas = 0,12

MG: Média geral CV: Coeficiente de variação DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a5% de probabilidade

Avaliando-se a influência do aumento da velocidade do ar de secagem para cada temperatura de secagem, verifica-se que nas temperaturas de 50 e 70 °C houve uma tendência de redução da acidez com o aumento da velocidade do ar e na temperatura de 60 °C os valores foram estatisticamente iguais sem apresentar diferença significativa entre as médias. De modo geral, as duas variáveis do processo influenciaram na redução da acidez das batatas yacon secas.

As médias da acidez total titulável (ATT) de todas as amostras de batata yacon secadas foram maiores que o valor determinado por Rocha (2012) para a ATT da farinha de polpa de batata da serra (1,08%), secada a 50 °C. Esta diferença pode ser atribuída por ser de batatas de variedades diferentes, bem como a forma como foram processadas, interferindo no resultado de caráter ácido.

Pereira et al. (2013) encontraram valores muito baixos de ATT em farinha de batata yacon secadas a 55 °C por 96 h (0,91% de ácido málico). As diferenças nos valores da ATT podem ser influenciadas pelo tipo do ácido orgânico expresso e por fatores como maturidade fisiológica e tipo de solo (CARVALHO, 2000).

4.3.4 – Açúcares

Na Tabela 4.12 se encontram os valores médios dos açúcares totais, redutores e não redutores, dos cilindros da batata yacon secos.

Os valores médios dos açúcares totais mostram que em todas as velocidades do ar de secagem houve uma tendência de diminuição desse parâmetro com o aumento da temperatura; desta forma, levanta-se a hipótese de que ocorreu a degradação de algum tipo de açúcar presente nas amostras.

Ao analisar os valores dos açúcares totais na temperatura de 50 °C, verifica-se que houve uma tendência de aumento dos açúcares totais com o aumento da velocidade do ar; na temperatura de 60 °C não houve um comportamento padrão de aumento ou redução e na temperatura de 70 °C houve uma tendência de redução dos açúcares totais com o aumento da velocidade de rotação.

Tabela 4.12- Valores médios de açúcares redutores (% glicose), açúcares totais (% glicose) e açúcares não redutores (% sacarose) dos cilindros de batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem.

Velocidade do ar (m/s)	Açúcares totais (% glicose) *		
	50 °C	60 °C	70 °C
1,0	75,75 bA	76,72 bA	72,53 aB
1,5	77,72 aA	78,76 aA	70,38 bB
2,0	79,27 aA	75,75 bB	66,44 cC
Velocidade do ar (m/s)	Açúcares redutores (% glicose)**		
	50 °C	60 °C	70 °C
1,0	41,31 aB	46,84 aA	46,23 aA
1,5	40,84 aB	40,82 bB	42,80 bA
2,0	40,27 aC	46,81 aA	42,33 bB
Velocidade do ar (m/s)	Açúcares não redutores (% sacarose)***		
	50 °C	60 °C	70 °C
1,0	34,44 bA	29,88 bB	26,29 abC
1,5	36,88 abA	37,93 aA	27,59 aB
2,0	39,00 aA	28,94 bB	23,87 bC

* MG = 74,81; CV = 1,24; DMS para coluna = 1,94; DMS para linhas = 1,94

** MG = 43,14; CV = 1,77; DMS para coluna = 1,59; DMS para linhas = 1,59

*** MG = 31,65; CV = 1,77; DMS para coluna = 2,57; DMS para linhas = 2,57

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação; DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a5% de probabilidade

Constata-se que valores médios dos açúcares totais nos cilindros da batata yacon secados foram muito altos. Estes altos valores podem ser justificados em razão do alto teor de frutanos presentes na batata yacon (MICHEL et al., 2014). Além disto, o processo de secagem modifica o conteúdo de açúcares aumentando os teores de glicose e frutose e modificando o grau de polimerização dos fruto-oligossacarídeos da batata yacon (BONET et al., 2010).

Valores inferiores ao da batata yacon seca foram determinados por Garcia et al. (2015) para as batatas secas (*Solanum tuberosum* L.), das variedades ‘Snowden’, ‘Harley

Beckhell', 'Marlen', 'Colorado', 'BRS Ana', 'Pirassu', 'Beacon Chipper' e 'Marcy', em estufa com circulação de ar forçada a 55 °C apresentando teores de açúcares totais de 0,09, 0,15, 0,23, 0,16, 0,21, 0,12, 0,16 e 0,10%, respectivamente e por García et al. (2012) para a farinha de inhame obtida pelo processo de secagem convectiva a 60 °C por 3 h, obtendo um teor de açúcares totais de 4,77%. Essas diferenças nos valores deste parâmetro em relação ao da batata yacon pode ser explicado principalmente em razão das diferenças entre dos gêneros desses tubérculos.

Para os açúcares redutores observa-se, nas velocidades do ar de 1,0 e 1,5 m/s que houve tendência de aumento deste parâmetro com o aumento da temperatura de secagem. Este comportamento pode estar relacionado com o teor de água que diminuiu com o aumento da temperatura concentrando, desta forma, os açúcares redutores. Na velocidade do ar de 2,0 m/s observa-se que os valores oscilaram com o aumento da temperatura apresentando o maior teor dos açúcares redutores na temperatura de 60 °C.

Ao se observar os valores médios dos açúcares redutores na temperatura de 50 °C verifica-se que não houve diferença estatística entre as médias com o aumento da velocidade do ar; na temperatura de 60 °C os valores oscilaram com o aumento da velocidade do ar sem apresentar um comportamento padrão e na temperatura de 70 °C os valores dos açúcares redutores apresentaram tendência de redução com o aumento da velocidade do ar de secagem. Verifica-se que os cilindros da batata yacon seca contém elevada quantidade de açúcares redutores apresentando uma média geral de 43,14% de glicose.

Para os açúcares não redutores observa-se que em todas as velocidades do ar houve uma tendência de redução desses açúcares com o aumento da temperatura. Com relação ao aumento da velocidade do ar verifica-se, em cada temperatura de secagem, que não houve um comportamento padrão, com os valores oscilando entre aumento e redução.

Davids et al. (2004) relataram que em amostras contendo açúcares redutores e aminoácidos, como é o caso da batata yacon, a reação de Maillard leva à diminuição dos teores de açúcares não redutores, o que a torna um fator limitante na determinação de glicose em batatas desidratadas. Gaucher et al. (2008) afirmaram que esta reação está positivamente relacionada com a temperatura e em geral ocorre quando esta se encontra acima de 50 °C. Diante dessas afirmações, a tendência de redução dos açúcares redutores das amostras da batata yacon seca do presente estudo pode ter sido ocasionada pela reação de Maillard.

4.3.5 - Proteínas

Na Tabela 4.13 tem-se os valores médios dos teores de proteínas dos cilindros da batata yacon secos; observa-se que nas três velocidades do ar utilizadas o aumento da temperatura influenciou esses teores, causando uma tendência de redução dos mesmos. Analisando a influência do aumento da velocidade de ar em cada temperatura de secagem, verifica-se que na temperatura de 50 °C o aumento na velocidade do ar não influenciou no teor de proteína e nas temperaturas de 60 e 70 °C não houve um comportamento padrão. Consta-se que o teor de proteínas da batata yacon seca variou entre 2,74 a 4,71%. Leite et al. (2005) observaram, quando realizaram a secagem de banana prata nas temperaturas de 60 e 70 °C, que houve um decréscimo significativo no valor das proteínas conforme aumento da temperatura. Bobbio e Bobbio (2001) relataram que a utilização de altas temperaturas promovem desnaturação proteica.

Tabela 4.13 - Valores médios de proteína (%) dos cilindros de batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem.

Velocidade do ar (m/s)	Temperatura (°C)		
	50	60	70
1,0	4,65 aA	4,47 bB	4,04 bC
1,5	4,67 aA	4,71 aA	4,40 aB
2,0	4,65 aA	4,55 abA	2,74 cB

MG = 4,32; CV = 1,88; DMS para coluna = 0,17; DMS para linhas = 0,17

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação; DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a5% de probabilidade

Teores de proteínas inferiores aos da maioria dos cilindros da batata yacon, foram quantificados e por Vasconcelos (2010) para a farinha da batata yacon com teor de proteína de 2,61% e por Silva (2010) para as farinhas de batata doce das variedades Brazlândia Branca e Brazlândia Rosa, produzidas a partir da secagem das rodela em estufa com circulação de ar forçada a 60 °C, por 24 h, obtendo valores de proteína bruta na ordem de 3,14 e 3,60%, respectivamente porém, resultado semelhante ao desta pesquisa foi relatado

por Ribeiro et al. (2007) ao quantificarem um valor de 4,5% de proteína em farinha da batata yacon obtida por meio da secagem em estufa com ventilação forçada em temperatura de 55 °C por 72 h e por Rodrigues et al. (2011) para a farinha da batata yacon, produzida a partir da secagem de fatias a 55 °C/48 h, obtendo teor de proteínas de 2,7%, sendo este valor próximo ao da amostra secada a 70 °C com velocidade do ar de 2,0 m/s.

Já Santos et al. (2010) observaram valor acima do apresentado neste estudo, isto é, 6,45% de proteínas em farinha de batata cv. 'Markies' submetidas ao processo de secagem na temperatura de 60 °C e velocidade do ar de 1,5 m/s.

Os desvios dos valores relatados podem estar relacionados com as variedades estudadas, condições edafoclimáticas, formas de cultivo, tipo de armazenamento até o processamento, bem como, o tipo de processamento ao qual foram submetidas.

4.3.6 – Parâmetros de cor

Na Tabela 4.14 tem-se os valores médios dos parâmetros de cor: luminosidade (L^*), intensidade de vermelho ($+a^*$), intensidade de amarelo ($+b^*$), cromaticidade (C^*) e ângulo de tonalidade (ângulo hue - °h) para os cilindros da batata yacon secos.

Observando a luminosidade nota-se que houve uma tendência de diminuição da luminosidade das amostras com o aumento da temperatura de secagem nas velocidades do ar de 1,0 e 1,5 m/s; na velocidade do ar de 2,0 m/s foi identificado aumento da luminosidade na temperatura de 60 °C, voltando a decrescer na temperatura de 70 °C.

Ao analisar a influência do aumento da velocidade de ar observa-se que na temperatura de 50 °C houve uma redução da luminosidade com o aumento da velocidade do ar e na temperatura de 70 °C a luminosidade aumentou com o aumento da velocidade do ar.

A questão da cor das amostras apresentou-se de forma muito irregular devido à posição dos cilindros no secador, o fluxo de corrente de ar, que pode não ser uniforme em toda a extensão da cesta, mesmo variando sua posição durante a secagem, observou-se que em algumas partes dos cilindros se identificavam partes mais escuras, comprometendo a uniformidade da cor.

Tabela 4.14 - Valores médios dos parâmetros de cor dos cilindros de batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem

Velocidade do ar (m/s)	Luminosidade (L*)*		
	50 °C	60 °C	70 °C
1,0	56,99 aA	56,30 bB	41,56 cC
1,5	54,16 bA	54,05 cA	51,48 bB
2,0	49,85 cC	59,01 aA	52,60 aB
Velocidade do ar (m/s)	Intensidade de vermelho (+a*)**		
	50 °C	60 °C	70 °C
1,0	4,96 cC	7,13 aB	9,63 cA
1,5	6,80 aC	7,05 bB	11,32 aA
2,0	5,30 bC	6,45 cB	10,32 bA
Velocidade do ar (m/s)	Intensidade de amarelo (+b*)***		
	50 °C	60 °C	70 °C
1,0	30,55 cB	32,49 bA	36,49 cC
1,5	32,80 aB	31,75 cC	36,85 aA
2,0	31,30 bC	35,67 aA	33,62 bB
Velocidade do ar (m/s)	Cromaticidade (C*)****		
	50 °C	60 °C	70 °C
1,0	35,51 cC	39,64 bA	36,12 cB
1,5	39,57 aC	42,12 aB	48,17 aA
2,0	36,60 bC	38,81 cB	43,94 bA
Velocidade do ar (m/s)	Ângulo de tonalidade (hue - °h)*****		
	50 °C	60 °C	70 °C
1,0	80,78 aA	77,62 bB	70,02 bC
1,5	78,31 cB	79,75 aA	72,93 aC
2,0	80,38 bA	77,47 cB	72,93 aC

*MG= 52,89 CV= 0,15 DMS para coluna= 0,07 DMS para linhas= 0,07

** MG= 7,66 CV= 0,45 DMS para coluna= 0,07 DMS para linhas= 0,07

*** MG= 32,40 CV= 0,20 DMS para coluna= 0,13 DMS para linhas= 0,13

**** MG= 40,05 CV= 0,18 DMS para coluna= 0,15 DMS para linhas= 0,15

***** MG= 76,69 CV= 0,08 DMS para coluna= 0,13 DMS para linhas= 0,13

MG: Média geral CV: Coeficiente de variação DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a5% de probabilidade

Com referência à intensidade de vermelho (+a*), observa-se que para a todas as velocidades do ar de secagem se teve um aumento desse valor, comprovado estatisticamente conforme o aumento da temperatura. Quando se analisa a influência da variação de velocidade do ar para cada temperatura de secagem, observa-se um comportamento indefinido dos valores nas temperaturas de 50 e 70 °C e na temperatura de 60 °C houve uma redução da intensidade de vermelho com o aumento da velocidade do ar.

De maneira geral, houve uma influência maior do aumento da temperatura na intensidade de vermelho das amostras com esse parâmetro aumentando; conseqüentemente as amostras se tornavam mais escuras, apresentando uma coloração amarronzada.

Ao analisar a intensidade de amarelo (+b*) verifica-se que não houve um comportamento padrão com o aumento da temperatura de secagem ou com o aumento da velocidade do ar, com os valores oscilando nessas condições.

Bernstein e Noreña (2014) realizaram a secagem de fatias da batata yacon em secador com convecção de ar a uma velocidade de 2,0 m/s e em duas temperaturas (50 e 75 °C) durante duas horas; nas amostras com e sem branqueamento, foi verificado que aquelas que sofreram inativação enzimática obtiveram os maiores valores de luminosidade (L*), intensidade de amarelo (+b*) e chroma, porém apresentaram menor valor para o ângulo Hue, indicando que as amostras branqueadas se tornaram mais claras e acentuaram a coloração amarela, sendo possível afirmar que as diferenças entre a cor se dá em consequência do formato das amostras e das condições de secagem.

Ahamed et al. (2010) realizaram secagem de batata doce, com e sem casca e com e sem tratamento com solução de sulfito de sódio para inativação enzimática. As amostras foram secadas em estufa, nas temperaturas de 55, 60 e 65 °C durante 6 a 7 horas; observou-se uma influência da temperatura de secagem nos parâmetros de cor, ocorrendo diminuição da luminosidade com o aumento da temperatura, com escurecimento do produto. Este comportamento se assemelha ao obtido neste estudo, cujas amostras tendem a um escurecimento, diminuindo sua luminosidade com o aumento da temperatura.

Observando a cromaticidade (C*) nos cilindros da batata yacon secos, em que este parâmetro indica a intensidade da cor das amostras, verifica-se que, para as velocidades do ar de secagem de 1,5 e 2,0 m/s, a intensidade da cor das amostras aumentou conforme o aumento da temperatura. Verificando a influência da velocidade do ar de secagem em cada temperatura nota-se que, para todas as temperaturas, houve um aumento deste parâmetro seguido de redução, conforme o aumento da velocidade do ar. Pode-se observar também

que as amostras apresentaram valores de intensidade da cor (C^*) variando entre 35,51 e 48,17, tendenciando a uma coloração mais vívida, já que esses valores estão próximos de 60. Fernandes et al. (2010) afirmaram que o chroma (C^*) define a intensidade de cor, ou seja, valores próximos a zero são indicativos de cores neutras (branco e/ou cinza) e valores próximos de 60 indicam cores vívidas e/ou intensas.

De acordo com a sequência CIELAB (MCGUIRE, 1992), o ângulo de tonalidade (ângulo hue - $^{\circ}h$) define a cor vermelha como 0 $^{\circ}h$, amarelo como 90 $^{\circ}h$, verde como 180 $^{\circ}h$ e azul como 270 $^{\circ}h$, notando-se que a batata yacon estudada apresentou um ângulo de tonalidade tendenciando ao amarelo, pois todos os valores estão mais próximos de 90 $^{\circ}h$.

Observa-se que, estatisticamente, houve uma redução desse parâmetro com o aumento da temperatura nas velocidades do ar de 1,0 e 2,0 m/s. Analisando o aumento da velocidade do ar para cada temperatura de secagem verifica-se que a 50 e 60 $^{\circ}C$ não houve um comportamento padrão e na temperatura de 70 $^{\circ}C$ houve uma tendência de aumento.

García et al. (2012) avaliaram a cor da farinha de inhame obtida na secagem convectiva a 60 e 80 $^{\circ}C$, constatando que houve diminuição da luminosidade com o aumento da temperatura indicando que o produto sofreu escurecimento. O aumento da temperatura também influenciou a intensidade de amarelo ($+b^*$), aumentando seus valores de 7,55 para 8,64; a cromaticidade (C^*) que aumentou de 7,81 para 8,69, indicando uma cor tendendo a cinza; e uma diminuição da intensidade de vermelho ($+a^*$) de 2,02 para 0,97.

Baioco (2013) constatou, para a farinha integral da batata yacon produzida a 60 $^{\circ}C$ em um secador de cabine, que o valor de L^* (75,82) estava mais próximo de 100, indicando amostra mais clara. O valor de $+a^*$ (1,37) indicou que a amostra se deslocou para a região do vermelho e o valor de $+b^*$ (19,78) sinalizou que a amostra se localizou na região do amarelo. A coordenada h apresentou valor de 86,4 e na coordenada C^* o valor foi de 19,83. Observa-se que esta farinha da batata yacon apresentou tonalidade tendendo ao amarelo, fato ocorrido nesta pesquisa.

Em relação às coordenadas de cor, Gonçalves (2010) determinou os valores de L^* de 76,58, a^* de 3,55 e b^* de 23,50, para a farinha obtida a partir da batata yacon secada a 60 $^{\circ}C$, sendo os valores de $+a$ e $+b$ inferiores aos do presente estudo.

De acordo com Reis (2011) espessuras maiores e tempos mais longos de secagem tornam a amostra da batata yacon mais escura e o aumento da tonalidade $+b^*$ torna a amostra mais aceitável sensorialmente.

4.3.7 – Atividade de água

Na Tabela 4.15 se encontram os valores médios da atividade de água dos cilindros da batata yacon secos; observa-se que, à medida que se aumentou a temperatura ocorreu uma redução da atividade de água do produto em todas as velocidades do ar empregadas. Observando os valores de atividade quanto ao aumento da velocidade do ar, nota-se que houve tendência de redução nos valores com o aumento da velocidade do ar. Observa-se que os valores de atividade de água foram todos abaixo de 0,60, que é a faixa de segurança estabelecida em que a maioria dos micro-organismos não se desenvolve (FELLOWS, 2006) e as amostras dos cilindros de batata yacon secos podem ser classificados como grupo de baixa atividade de água ($a_w < 0,60$) (RIBEIRO e SERAVALLI, 2007).

Tabela 4.15 - Valores médios da atividade de água (a_w) dos cilindros de batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem

Velocidade do ar (m/s)	Temperatura (°C)		
	50	60	70
1,0	0,480 aA	0,382 aB	0,363 aC
1,5	0,470 bA	0,370 bB	0,330 bC
2,0	0,467 cA	0,370 bB	0,313 cC

MG= 0,394 CV= 0,23 DMS para coluna= 0,0019 DMS para linhas= 0,0019

MG: Média geral CV: Coeficiente de variação DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a5% de probabilidade

Valores inferiores de atividade de água foram encontrados por Pagani et al. (2015) ao secar batata doce com diferentes tratamentos (batata branca sem adição de ácido ascórbico; batata branca com adição de 1% de ácido ascórbico; batata roxa sem adição de ácido ascórbico), em secador de bandeja a uma temperatura de 63 °C por duas horas e trinta minutos, as quais foram trituradas após desidratadas e avaliada a atividade de água das farinhas que foi de 0,22, 0,18 e 0,31, respectivamente.

Valores superiores foram determinados por Lovatto (2010) em cubos de batata inglesa das variedades Asterix, Macaca e Ágata, secados em estufa a 60 °C, obtendo atividades de água entre 0,557 a 0,715.

Valor próximo foi quantificado por Souza et al. (2014) em fatias de batata baroa secadas em secador de bandejas com circulação de ar forçado nas temperaturas de 60, 65 e 70 °C, obtendo valor médio de atividade de água de 0,469.

Essas diferenças de valores podem ser explicadas principalmente pelas diferenças entre as espécies e as condições do processo.

A atividade de água é um dos parâmetros mais significativos para o processamento, conservação e armazenamento de alimentos, pois ela quantifica o grau de ligação da água contida no produto e, por consequência, sua disponibilidade para agir como um solvente e participar das transformações químicas, bioquímicas e microbiológicas (MELONI, 2009).

4.3.8 – Densidade

Tem-se, na Tabela 4.16, os valores médios da densidade dos cilindros da batata yacon secos; nota-se que somente o aumento da temperatura influenciou nos valores desse parâmetro, em todas as amostras. Constata-se uma diminuição da densidade com o aumento da temperatura nas três velocidades do ar utilizadas e também que a redução só foi relevante entre a temperatura de 70 °C e as demais temperaturas. As médias da densidade variaram entre 0,86 a 1,29 g/cm³.

Tabela 4.16 - Valores médios de densidade (g/cm³) dos cilindros da batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem

Velocidade do ar (m/s)	Temperatura (°C)		
	50	60	70
1,0	1,22 aA	1,14 aA	0,95 aB
1,5	1,29 aA	1,13 aA	0,88 aB
2,0	1,17 aA	1,19 aA	0,86 aB

MG= 1,09 g/cm³; CV= 8,31%; DMS para coluna = 0,19; DMS para linhas = 0,19

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação; DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a5% de probabilidade

4.3.9 – Flavonoides

Na Tabela 4.17 tem-se os valores médios dos flavonoides dos cilindros da batata yacon secos, observa-se que nas velocidades do ar de 1,5 e 2,0 m/s, ocorreu uma redução desses compostos com o aumento da temperatura.

Tabela 4.17 – Valores médios dos flavonoides (mg/100 g) dos cilindros de batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem

Velocidade do ar (m/s)	Temperatura (°C)		
	50	60	70
1,0	2,38 aB	1,94 cC	3,84 cA
1,5	2,31 bC	4,27 bB	6,10 bA
2,0	2,18 cC	5,72 aB	9,40 aA

MG = 4,24; CV = 0,20; DMS para coluna = 0,02; DMS para linhas = 0,02

MG: Média geral CV: Coeficiente de variação DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a5% de probabilidade.

Ao analisar o aumento da velocidade do ar para cada temperatura, constata-se que em 50 °C houve uma redução no teor de flavonoides com o aumento da velocidade do ar e nas temperaturas de 60 e 70 °C observou-se-se que os valores de flavonoides aumentaram com o aumento da velocidade do ar.

Os valores médios obtidos para os flavonoides nos cilindros da batata yacon secos variaram de 1,94 a 9,40 mg/100 g, mostrando que este tubérculo também é uma boa fonte de flavonoides e os quais se concentravam quanto mais rápido acontecia a retirada da água do produto. Choi et al. (2016) verificaram, em fatias de batata da variedade Superior liofilizada, que a quantidade de flavonoides em três partes da batata (extremidades e centro) separadamente e encontraram valores que variaram de 2,70 a 3,55 mg/100 g, sendo estes valores inferiores aos vistos neste trabalho, em decorrência de ser outra variedade, mudanças nas condições de cultivo, clima e solo.

4.3.10 – Compostos fenólicos totais

Na Tabela 4.18 se encontram os valores médios dos compostos fenólicos dos cilindros da batata yacon secos; considerando a influência do aumento da temperatura para cada velocidade do ar de secagem verifica-se que os compostos fenólicos apresentaram um aumento significativo com o aumento da temperatura para todas as velocidades do ar de secagem. Este resultado corrobora com o obtido por Ahmed et al. (2010) ao avaliarem os compostos fenólicos das farinhas de batata doce (PF - farinha de batata doce descascada; PSF - farinha de batata doce tratada com sulfito descascadas; UF - farinha de batata doce com casca e USF - farinha de batata doce tratada com sulfito com casca), obtida através da secagem em estufa nas temperaturas de 55, 60 e 65 °C; os autores verificaram que ocorreu aumento desse parâmetro entre 55 e 60 °C para todas as farinhas; os valores variaram de 4,19 a 7,74 mg AG/100 g, sendo inferiores aos do presente trabalho, em todas as condições de secagem.

Tabela 4.18 – Valores médios dos compostos fenólicos (mg AG/100 g) dos cilindros de batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem

Velocidade do ar (m/s)	Temperatura (°C)		
	50	60	70
1,0	674,58 aC	867,00 aB	953,41 bA
1,5	444,73 cC	629,14 cB	768,43 cA
2,0	544,49 bC	786,25 bB	1026,40 aA

MG= 780,18 mg AG/100 g; CV = 2,34%; DMS para coluna = 38,11; DMS para linhas = 38,11

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação; DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a5% de probabilidade

Analisando a influência do aumento da velocidade do ar em cada temperatura, tem-se uma redução dos compostos fenólicos na velocidade de 1,5 m/s, voltando a aumentar quando a velocidade do ar passa para 2,0 m/s, em todas as temperaturas de secagem.

Constata-se que a batata yacon possui elevada quantidade de compostos fenólicos com valores variando de 444,73 a 1.026,40 mg AG/100 g. Este tubérculo constitui boa fonte de compostos fenólicos.

Castro et al. (2012) secaram fatias da batata yacon com espessura de 3 mm em estufa, nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, verificando que ocorreu um aumento nos compostos fenólicos das fatias secadas a 40 °C, quando comparadas com as secadas a 50 °C, de 7,1 para 10,1 mg AG/100 g, respectivamente, mas na temperatura de 60 °C, ocorreu uma redução desse parâmetro; os autores relataram que isso pode ter ocorrido devido as fatias terem sido submetidas a uma exposição prolongada de condições oxidativas durante secagem, ocorrendo a oxidação dos compostos.

Em trabalho realizado por Pacheco-Delahaye et al. (2008) com farinha de inhame branco extrusado, obtida através do processo de secagem por convecção realizado a 80 °C por 4 horas, foram determinados os compostos fenólicos totais cujo valor para a farinha foi de 61,20 µg/g, sendo este valor bem abaixo que o encontrado para a batata yacon seca.

4.3.11 – Capacidade antioxidante (DPPH)

Tem-se, na Tabela 4.19, os valores médios da capacidade antioxidante medida pela capacidade de sequestrar o radical orgânico DPPH. Observa-se que houve um aumento da capacidade antioxidante tanto em função do aumento da temperatura como em função da velocidade de ar.

Tabela 4.19 – Valores médios da capacidade antioxidante (DPPH) (µmol Tx/g) dos cilindros de batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem

Velocidade do ar (m/s)	Temperatura (°C)		
	50	60	70
1,0	229,47 cC	278,13 cB	289,13 cA
1,5	267,80 bC	313,13 bB	383,80 bA
2,0	359,47 aC	370,47 aB	460,47 aA

MG = 316,87 µmol Tx/g; CV = 1,38%; DMS para coluna = 9,09; DMS para linhas = 9,09

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação; DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a5% de probabilidade

Castro et al. (2012) secaram fatias da batata yacon com espessura de 3 mm, em estufa nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, verificando que a capacidade antioxidante dos

chips pela captura do radical orgânico DPPH, aumentou entre a temperatura de 40 e 50 °C voltando a diminuir na temperatura de 60 °C. Esses autores afirmaram que a queda na capacidade antioxidante na temperatura mais extrema pode ter ocorrido em função das diferenças de condições de secagem, em que as fatias ficaram expostas por maior tempo a 60 °C e pode ter ocorrido a oxidação dos compostos fenólicos através das fenolxidasas, diminuindo a capacidade antioxidante do produto.

Rocha (2012) realizou a secagem de batatas cv. Serra, em estufa com circulação a 50 °C, até peso constante (30 horas); após a secagem foi determinada a capacidade antioxidante da amostra através da captura do radical DPPH, verificando-se o valor de 22,87 µmol Tx/g, e que a batata apresentou um valor maior para a casca, de 88,78 µmol Tx/g; sendo esses valores inferiores aos encontrados para a batata yacon que variaram de 229,47 a 460,47 µmol Tx/g.

Em trabalho realizado por Reyes et al. (2014) com tubérculo de *Solanum tuberosum* L. da variedade Mano de Oso, secado em estufa a 40 °C por 72 horas, foi avaliada a capacidade antioxidante através da captura do radical orgânico DPPH, verificando-se valores de 11,25, 15,5, 18,75 e 20,25 µmolTx/g, inferiores ao da batata yacon do presente trabalho.

4.3.12 – Capacidade antioxidante (FRAP)

Na Tabela 4.20 tem-se os valores médios da capacidade antioxidante medida pelo poder de redução de ferro (FRAP), em que o Fe^{+3} é reduzido a Fe^{+2} ; verifica-se que, de maneira geral, houve tendência de aumento da capacidade antioxidante com o aumento da temperatura sendo que na velocidade de ar de 1,0 m/s, os valores nas temperaturas de 60 e 70 °C não apresentaram diferença estatística, enquanto a 1,5 m/s foram os valores obtidos a 50 e 60 °C que não diferiram estatisticamente; no entanto, apenas para a velocidade de ar de 2,0 m/s o aumento da atividade antioxidante foi significativo entre as temperaturas.

Nota-se uma influência da velocidade do ar nos valores da capacidade antioxidante sendo possível observar que estes apresentaram tendência de aumento, conforme o aumento na velocidade do ar de secagem em todas as temperaturas.

Tabela 4.20 – Valores médios da capacidade antioxidante (FRAP) ($\mu\text{mol Tx/g}$) dos cilindros de batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem

Velocidade do ar (m/s)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)		
	50	60	70
1,0	52,00 cB	63,67 bA	66,00 cA
1,5	68,67 bB	69,67 bB	137,67 bA
2,0	119,67aC	156,33 aB	165,67 aA

MG= 99,93 CV= 3,36 DMS para coluna= 6,99 DMS para linhas= 6,99

MG: Média geral CV: Coeficiente de variação DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a5% de probabilidade.

É possível verificar, ainda, que os valores da atividade antioxidante variaram de 52 a 165 $\mu\text{mol Tx/g}$. Choi et al. (2016) determinaram a atividade antioxidante medida pelo poder de redução de ferro (FRAP) em batata da variedade Atlantic liofilizada, encontrando valor de 140,01 $\mu\text{mol/g}$; este valor é próximo aos vistos neste trabalho para a batata yacon.

4.3.13 – Minerais

Tem-se, na Tabela 4.21, os minerais quantificados nos cilindros da batata yacon secados nas temperaturas de 50, 60 e 70 $^{\circ}\text{C}$ e velocidades do ar de 1,0, 1,5 e 2,0 m/s. Constata-se que os valores dos minerais potássio, cálcio, fósforo, zinco e cloro foram acima de 100 mg/100 g. Observa-se que o potássio foi o mineral que se apresentou em maior quantidade (4525,30 a 6181,71 mg/100 g) e que este valor é bem superior ao obtido neste trabalho para a batata yacon *in natura* (171,654 mg/100 g). Desta forma, nota-se que houve uma concentração dos minerais com a secagem. A variação nos valores dos minerais com a temperatura e a velocidade do ar se deve, provavelmente, à variação no teor de água final após a secagem e às diferenças naturais existentes entre as batatas.

Observa-se também que o cálcio surge com valores elevados para a batata yacon seca (214,34-287,02 mg/100 g), tendo os maiores valores na temperatura de 60 $^{\circ}\text{C}$, em todas as velocidades do ar.

Tabela 4.21 – Valores médios dos minerais (mg/100 g) dos cilindros de batata yacon secados nas diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem

Velocidade do ar (m/s)	Potássio (mg/100 g)		
	50 °C	60 °C	70 °C
1,0	4525,30	5818,37	5769,21
1,5	6181,71	5914,17	4983,55
2,0	4525,82	3891,31	5715,57
Velocidade do ar (m/s)	Cálcio (mg/100 g)		
	50 °C	60 °C	70 °C
1,0	250,15	256,21	226,95
1,5	227,19	253,17	214,34
2,0	227,68	287,02	244,23
Velocidade do ar (m/s)	Fósforo (mg/100 g)		
	50 °C	60 °C	70 °C
1,0	107,31	236,01	132,17
1,5	174,43	194,00	167,45
2,0	152,21	172,20	200,55
Velocidade do ar (m/s)	Ferro (mg/100 g)		
	50 °C	60 °C	70 °C
1,0	98,04	63,615	53,10
1,5	43,08	73,22	83,91
2,0	107,39	183,66	65,48
Velocidade do ar (m/s)	Zinco (mg/100 g)		
	50 °C	60 °C	70 °C
1,0	301,98	254,67	412,50
1,5	334,48	214,40	250,88
2,0	248,38	259,05	326,13
Velocidade do ar (m/s)	Cloro (mg/100 g)		
	50 °C	60 °C	70 °C
1,0	224,05	321,02	246,10
1,5	322,74	269,50	228,45
2,0	281,56	172,20	231,14

Em geral, pode-se afirmar que este tubérculo é rico em minerais após o processo de secagem; traz também, em sua composição mineral, fósforo (107,31-236,01 mg/100 g), que tem seu maior valor para a amostra secada a 60 °C na velocidade do ar de 1,0 m/s. O zinco apresentou valores entre 214,40-412,50 mg/100 g, podendo ser considerado rico em zinco em razão de que a IDR (Ingestão Diária Recomendada) de zinco é de apenas 7 mg (ANVISA - IDR, 2005) e o cloro variou entre 172,20-322,74 mg/100 g sendo possível constatar que os maiores valores foram obtidos nas amostras secadas na menor temperatura (50 °C) e a 1,5 m/s.

De acordo com a ANVISA, RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005 (Regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteínas, vitaminas e minerais) (BRASIL, 2005), as necessidades diárias de cálcio para o adulto são de 1000 mg e para o público infantil de 7 a 10 anos, 700 mg; o valor de cálcio encontrado nesta pesquisa para a batata yacon seca corresponde, em média, a 8,7% do valor recomendado para um adulto e 41% para uma criança; desta forma, pode-se afirmar que o produto constitui uma boa fonte desse mineral pois até mesmo outros minerais (ferro e zinco) que estão apresentados neste estudo, ultrapassam a IDR, devendo-se ingerir diariamente 14 a 9 mg e 7 a 5,6 mg, respectivamente.

Zanatta et al. (2010) observaram um aumento significativo na concentração de minerais em cenoura e beterraba após serem submetidos a um longo tempo de secagem, de 9 a 10 horas, sob uma temperatura de 70 °C, com relação ao produto na forma natural. Esses autores obtiveram, para a cenoura e beterraba secadas, valores, respectivamente, de cálcio de 178,18 e 114,69 mg/100 g; ferro de 1,28 e 2,1 mg/100 g; zinco de 1,5 e 3,4 mg/100 g e potássio de 2346,6 e 2197,9 mg/100 g, sendo todos esses valores inferiores aos encontrados neste trabalho para a batata yacon secada a 70 °C, em todas as velocidades do ar de secagem.

Em trabalho realizado por Rodrigues et al. (2011) com farinha da batata yacon obtida pelo processo de secagem em secador com circulação de ar a 55 °C por 48 horas, foram quantificados minerais como cálcio (50 mg/100 g), fósforo (210 mg/100 g) e magnésio (180 mg/100), sendo o teor de cálcio inferior ao quantificado no presente trabalho.

Michel et al. (2014) afirmaram que as diferenças nas concentrações da composição centesimal e de minerais entre os estudos podem ocorrer em função das condições de cultivo como clima, altitude, região e tipo de solo em que a batata foi produzida.

4.4 - Isotermas de adsorção de água

Na Tabela 4.22 tem-se os valores dos parâmetros dos modelos de GAB, Peleg e Oswin ajustados aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água dos cilindros da batata yacon secados na temperatura de 50 °C, e velocidades de ar de 1,0, 1,5 e 2,0 m/s, tal como, também, os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P), para as isotermas realizadas na temperatura de 25 °C.

Observa-se que para a temperatura de secagem dos cilindros a 50 °C, todos os modelos testados se ajustaram bem aos dados experimentais, apresentando os coeficientes de determinação ($R^2 \geq 0,98$) e os desvios percentuais médios ($P < 9\%$), podendo ser utilizados para prever as isotermas de adsorção de água dos cilindros da batata yacon, porém, se constata que, de maneira geral, o modelo que se ajustou melhor às curvas experimentais foi o de Peleg, apresentando os maiores coeficientes de determinação e, na maioria dos casos os menores desvios percentuais médios.

Observa-se para os parâmetros do modelo de GAB, que apenas o parâmetro C apresentou um comportamento com o aumento da velocidade do ar de secagem aumentando com o aumento da temperatura enquanto os parâmetros de X_m e K não apresentaram um comportamento definido. O parâmetro K representa o fator de correção das propriedades das moléculas na multicamada com relação ao volume do líquido, enquanto a constante de sorção C é função das interações entre os sítios ativos do produto e as moléculas de água (ALEXANDRE et al., 2007). Quirijins et al. (2005) afirmaram que quanto maior for o valor de C mais forte é a ligação da água na monocamada indicando que na menor velocidade do ar a água permanece mais fortemente ligada às amostras.

Os valores do teor de água na monocamada molecular variaram de 9,93 a 26,94%, com o maior valor encontrado na menor velocidade de ar (1,0 m/s). Valor próximo foi encontrado por Kotovicz (2011) para a batata yacon desidratada osmoticamente e secada posteriormente, em que foi observado que o ajuste do modelo de GAB às isotermas de adsorção de água a 25 °C da batata yacon secada obteve o valor de $X_m = 17,36\%$.

Tabela 4.22 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados as isoterma de adsorção de água, a 25 °C, dos cilindros da batata yacon secados nas velocidades do ar de 1,0, 1,5 e 2,0 m/s e temperatura de secagem de 50 °C

Modelos	Vel. do ar (m/s)	Parâmetro			R^2	P (%)	
		X_m	C	K			
GAB	1,0	26,94	1924,70	0,92	0,9866	5,32	
	1,5	9,93	799,65	1,01	0,9920	5,10	
	2,0	14,58	2,64	0,97	0,9990	2,36	
Peleg	Vel. do ar (m/s)	k_1	n_1	k_2	n_2	R^2	P (%)
	1,0	252,75	9,15	68,22	0,19	0,9983	1,18
	1,5	55,36	1,28	422,67	17,42	0,9935	5,18
	2,0	191,76	12,36	66,67	1,72	0,9994	2,02
Oswin	Vel. do ar (m/s)	a	b	R^2	P (%)		
	1,0	49,47	0,53	0,9832	5,84		
	1,5	17,51	0,84	0,9848	8,50		
	2,0	20,30	0,76	0,9988	2,55		

As isotermas do cilindro da batata yacon nas velocidades do ar de 1,0 e 1,5 m/s foram classificadas como Tipo II em razão de terem apresentado valores de $0 < K \leq 1$ e $C > 2$ e para 2,0 m/s como do tipo III, por terem os valores de $0 < k \leq 1$ e $0 \leq C \leq 2$, de acordo com a classificação de Blahovec (2004). Al-Muhtaseb et al. (2004) quando determinaram as isotermas do amido de batata nas temperaturas de 30, 45 e 60 °C também verificaram isotermas do Tipo II e que dentre os modelos testado o de Peleg foi o que melhor se ajustou à isoterma a 30 °C, com desvio percentual médio de 5,8%; este resultado corrobora com o obtido neste trabalho visto que tal modelo foi o que melhor representou as isotermas.

Os parâmetros do modelo de Peleg k_1 , n_1 , k_2 e n_2 não apresentaram comportamento definido com o aumento da velocidade do ar.

O modelo de Oswin foi o que apresentou os menores valores de R^2 e os maiores valores de P em relação aos demais modelos testados; contudo, também pode ser utilizado para prever as isotermas de adsorção dos cilindros da batata yacon na temperatura de 25 °C. Em pesquisa realizada por Fasina et al. (2006) o modelo de Oswin também apresentou bom ajuste aos dados experimentais das isotermas de adsorção da batata doce liofilizada, apresentando $R^2 = 0,995$.

Na Figura 4.11 são apresentadas as isotermas de adsorção de água, na temperatura de 25 °C, dos cilindros da batata de yacon secados com o modelo de Peleg ajustado aos dados experimentais. Em todas as velocidade de ar (1,0, 1,5 e 2,0 m/s), verifica-se que, com o aumento do teor de água de equilíbrio, houve aumento da atividade de água. Observa-se que a isoterma na velocidade do ar de 1,0 m/s se manteve distante das demais, demonstrando uma maior absorção maior de água com o aumento da sua atividade; as isotermas nas velocidades do ar de 1,5 e 2,0 m/s apresentaram comportamento bem semelhante quanto à adsorção de água.

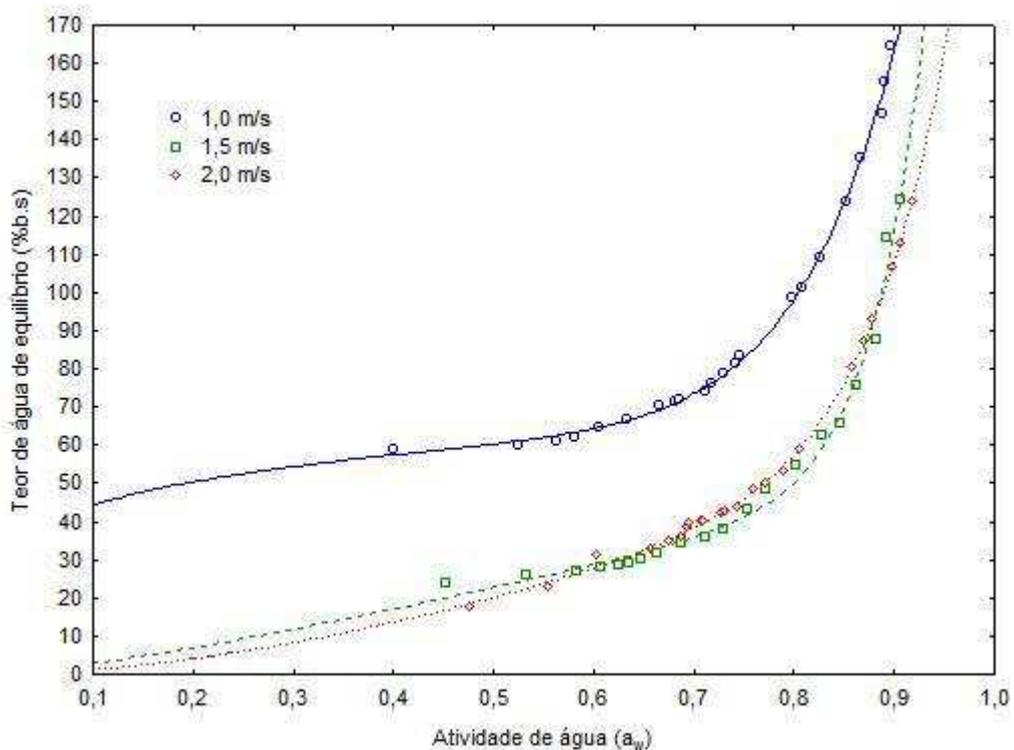


Figura 4.11 - Isoterma de adsorção de água a 25 °C, dos cilindros da batata yacon secados a 50 °C com ajustes pelo modelo de Peleg

Na Tabela 4.23 tem-se os valores dos parâmetros dos modelos de GAB, Peleg e Oswin ajustados aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água a 25 °C dos cilindros da batata yacon, secados na temperatura de 60 °C utilizando as velocidades de ar de 1,0, 1,5 e 2,0 m/s, os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P).

Constata-se que os dados experimentais das isotermas de adsorção de água se ajustaram bem a todos os modelos (GAB, Peleg e Oswin), apresentando coeficientes de determinação iguais a 0,99 e os desvios percentuais médios abaixo de 6%, possíveis de ser utilizados para predizer as isotermas de adsorção dos cilindros da batata yacon secados a 60 °C. O modelo que apresentou os menores desvios percentuais médios para as isotermas dos cilindros secados na temperatura de 60 °C, foi o de Peleg.

Tabela 4.23 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água, a 25 °C, dos cilindros de batata yacon secados nas velocidades do ar de 1,0, 1,5 e 2,0 m/s e temperatura de 60 °C

Modelos	Vel. do ar (m/s)	Parâmetro			R^2	P (%)	
		X_m	C	K			
GAB	1,0	20,34	3643,80	0,95	0,9945	4,73	
	1,5	12,08	9,20	0,80	0,9987	3,37	
	2,0	14,58	2,64	0,97	0,9990	3,45	
Peleg	Vel. do ar (m/s)	k_1	n_1	k_2	n_2	R^2	P (%)
	1,0	243,32	9,85	58,30	0,34	0,9992	1,33
	1,5	35,53	0,69	169,30	8,79	0,9988	2,40
	2,0	34,75	0,64	176,17	9,63	0,9983	2,69
Oswin	Vel. do ar (m/s)	a		b		R^2	P (%)
	1,0	37,68		0,59			
	1,5	19,74		0,73		0,9981	3,87
	2,0	18,94		0,73		0,9966	5,63

Costa et al. (2003) utilizaram o modelo de GAB para prever as isotermas de adsorção de pós de beterraba, cenoura e abóbora obtidos por secagem em leito de jorro; verificando R^2 acima de 0,99 este comportamento é semelhante ao obtido neste estudo para os cilindros da batata yacon secados a 60 °C, em todas as velocidades do ar.

Observa-se, para os parâmetros do modelo de GAB, que a velocidade do ar para o parâmetro do teor de água da monocamada molecular (X_m) não apresentou comportamento definido; contudo, na secagem a 60 °C com velocidade de ar de 1,5 m/s apresentou o menor X_m . Iguedjtal et al. (2008) estudaram as isotermas de adsorção de água a 20, 30 e 40 °C de fatias de batata da variedade Binjte, secadas por ar quente a uma temperatura de 60 °C verificando, para o modelo de GAB, valores de X_m de 0,064, 0,070 e 0,073 b.s., sendo inferiores aos obtidos para a batata yacon do presente trabalho.

O parâmetro C apresentou redução com o aumento da velocidade de ar e o parâmetro K não apresentou um comportamento definido, mas apresentou valores inferiores a 1. De acordo com a classificação de Blahovec (2004) as isotermas do cilindro da batata yacon secados nas velocidades do ar de 1,0 e 1,5 m/s foram classificadas como Tipo II em razão de terem apresentado valores de $0 < K \leq 1$ e $C > 2$ e para a velocidade do ar de 2,0 m/s como Tipo III por ter apresentado $0 < k \leq 1$ e $0 \leq C \leq 2$. McMinn e Magee (2003) ao obter as isotermas de adsorção de água em batata inglesa secada, nas temperaturas de 30, 45 e 60 °C, também classificaram como Tipo II, sendo este comportamento comum para muitos produtos higroscópicos, ressaltando ainda que o modelo de GAB produziu bom ajuste aos dados experimentais, haja vista que apresentou desvios percentuais médios menores que 7,13% e que houve uma redução do valor de X_m conforme se aumentou a temperatura.

Lago e Noreña (2015) ajustaram os modelos de BET, GAB, Halsey, Henderson e Chung às isotermas, nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C, do bagaço da batata yacon obtido da extração do suco e secado em estufa a 70 °C, verificando que todos os modelos apresentaram bons ajustes; no entanto, o de Halsey foi o melhor e as isotermas foram classificadas como tipo III. Segundo Bernstein e Noreña (2014) a isoterma do tipo III é característica de produtos que contêm alto teor de açúcares e a batata yacon apresentou uma quantidade maior desse componente nessas condições de secagem específica (60 °C e 2,0 m/s).

Quanto ao modelo de Peleg, observa-se que o aumento da velocidade de ar reduziu os parâmetros k_1 e n_1 , ocorrendo efeito contrário nos parâmetros k_2 e n_2 .

O modelo de Oswin se ajustou bem aos dados experimentais com coeficientes de determinação de 0,99 e baixos desvios percentuais médios. Os parâmetros de a reduziram com o aumento da velocidade de ar e b aumentou, mas entre as velocidades de 1,5 e 2,0 m/s se mantiveram iguais. Este comportamento foi semelhante ao visto por Ayala-Aponte (2011) ao determinar as isotermas de adsorção na farinha de mandioca, obtida através da secagem das fatias em estufa com circulação de ar a 60 °C, em que, entre outros modelos utilizados, GAB e Oswin se ajustaram de forma satisfatória aos dados experimentais com valores de $R^2 > 0,99$ e desvios percentuais médios $< 6,01$, e as isotermas foram classificadas como Tipo II.

Na Figura 4.12 são apresentadas as isotermas de adsorção de água a 25 °C, dos cilindros da batata de yacon secados a 60 °C nas diferentes velocidades do ar (1,0, 1,5 e 2,0 m/s) com o modelo de Peleg ajustado aos dados experimentais. Em todas as velocidades do ar (1,0, 1,5 e 2,0 m/s), verifica-se que os cilindros secados a 60 °C apresentaram comportamento muito semelhante nas curvas com os cilindros secados a 50 °C, em que a isoterma da velocidade do ar de 1,0 m/s ficou afastada das demais em razão de apresentar os maiores valores do teor de água de equilíbrio e que a isoterma da velocidade de 1,5 m/s ficou praticamente sobreposta a de 2,0 m/s, indicando a proximidade entre os dados experimentais.

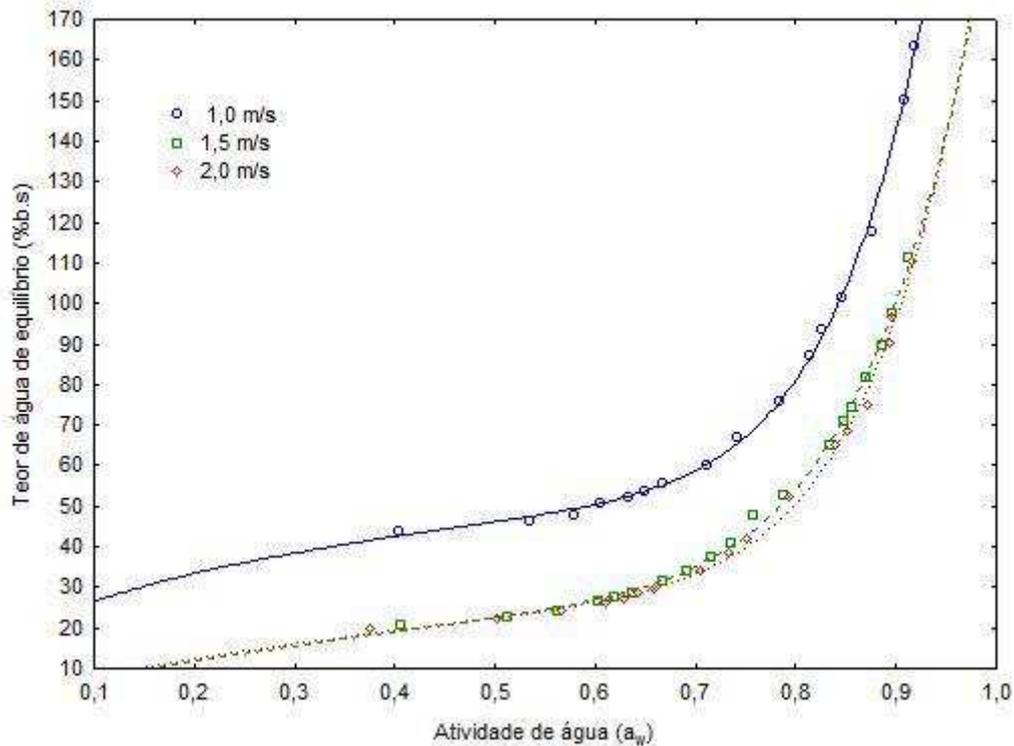


Figura 4.12 - Isoterma de adsorção de água a 25 °C, dos cilindros da batata yacon secados a 60 °C com ajustes pelo modelo de Peleg

Na Tabela 4.24 tem-se os valores dos modelos de GAB, Peleg e Oswin ajustados aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água, a 25 °C, dos cilindros da batata yacon secados na temperatura de 70 °C, utilizando as velocidades do ar de 1,0, 1,5 e 2,0 m/s, os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P).

Constata-se bom ajuste de todos os modelos (GAB, Peleg e Oswin) aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água apresentando $R^2 \geq 0,98$ e $P < 7\%$ podendo ser utilizados para prever as isotermas de adsorção dos cilindros da batata yacon; entretanto, o modelo de Peleg apresentou os menores desvios percentuais médios e os maiores R^2 .

Observa-se, para os parâmetros do modelo de GAB, que a velocidade do ar para o parâmetro do teor de água da monocamada molecular (X_m) não apresentou comportamento definido com o aumento da velocidade do ar; contudo, a secagem a 70 °C na velocidade de ar de 2,0 m/s apresentou o menor valor. Os parâmetros C e k também não apresentaram um comportamento definido com o aumento da velocidade de ar; no entanto, o parâmetro k apresentou valores inferiores a 1. De acordo com a classificação de Blahovec (2004) as

isotermas dos cilindros da batata yacon secados a 70 °C foram classificadas como Tipo II em razão de terem apresentado valores de $0 < K \leq 1$ e $C > 2$. As isotermas obtidas para o amido de inhame nas temperaturas de 25, 30, 35, 40, 45 °C, também apresentam comportamento típico de isotermas do Tipo II, de acordo com a classificação da IUPAC (NUNES et al., 2009).

Tabela 4.24 – Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água a 25 °C, dos cilindros de batata yacon secados nas velocidades do ar de 1,0, 1,5 e 2,0 m/s e temperatura de 70 °C

Modelos	Vel. do ar (m/s)	Parâmetro			R^2	P (%)	
		X_m	C	k			
GAB	1,0	22,50	1406,68	0,92	0,9922	4,33	
	1,5	22,97	2193,25	0,91	0,9879	4,88	
	2,0	10,52	11,22	0,99	0,9979	4,30	
Peleg	Vel. do ar (m/s)	k_1	n_1	k_2	n_2	R^2	P (%)
	1,0	44,72	0,05	183,73	6,93	0,9995	0,79
	1,5	49,52	0,07	183,54	7,55	0,9992	0,91
	2,0	171,10	8,60	28,74	0,54	0,9983	2,55
Oswin	Vel. do ar (m/s ²)	a		b		R^2	P (%)
	1,0	41,14		0,53		0,9885	5,16
	1,5	42,37		0,51		0,9831	6,03
	2,0	17,23		0,78		0,9970	5,26

Lago et al. (2013) determinaram as isotermas de adsorção de água em flocos de batata e flocos de batata doce secadas a 110 °C. As isotermas foram determinadas nas temperaturas de 15, 20, 25, e 30 °C e, ao ajustarem o modelo de GAB aos dados experimentais, também verificaram um bom ajuste; na temperatura de 25 °C, tanto para os flocos de batata quanto para os flocos de batata doce secadas, os valores de X_m foram de 3,957 e 7,5754%, respectivamente, inferiores, portanto, ao obtidos nesta pesquisa, em todas as velocidades do ar. O teor de água na monocamada molecular (X_m) representa a estabilidade máxima da amostra na qual o teor de água está adequado para uma armazenagem segura (MISHRA et al., 2007).

Quanto ao modelo de Peleg observa-se que o aumento da velocidade de ar aumentou os parâmetros k_1 e n_1 , ocorrendo efeito contrário no parâmetro k_2 .

Os parâmetros do modelo de Oswin a e b, não apresentaram comportamento definido com o aumento da velocidade de ar, os menores valores desses parâmetros foram observados nas velocidades de 2,0 e 1,5 m/s, respectivamente. Farias et al. (2010) também constataram um bom ajuste do modelo de Oswin aos dados das isotermas de adsorção da farinha de mandioca industrializada, nas temperaturas de 30, 40, 60 e 70 °C. Segundo Boquet et al. (1978) este modelo apresenta bons resultados para isotermas de alimentos amiláceos e a mandioca tem maior quantidade de amido do que a batata yacon.

Na Figura 4.13 são apresentadas as isotermas de adsorção de água a 25 °C, dos cilindros da batata de yacon secados a 70 °C com o modelo de Peleg ajustado aos dados experimentais.

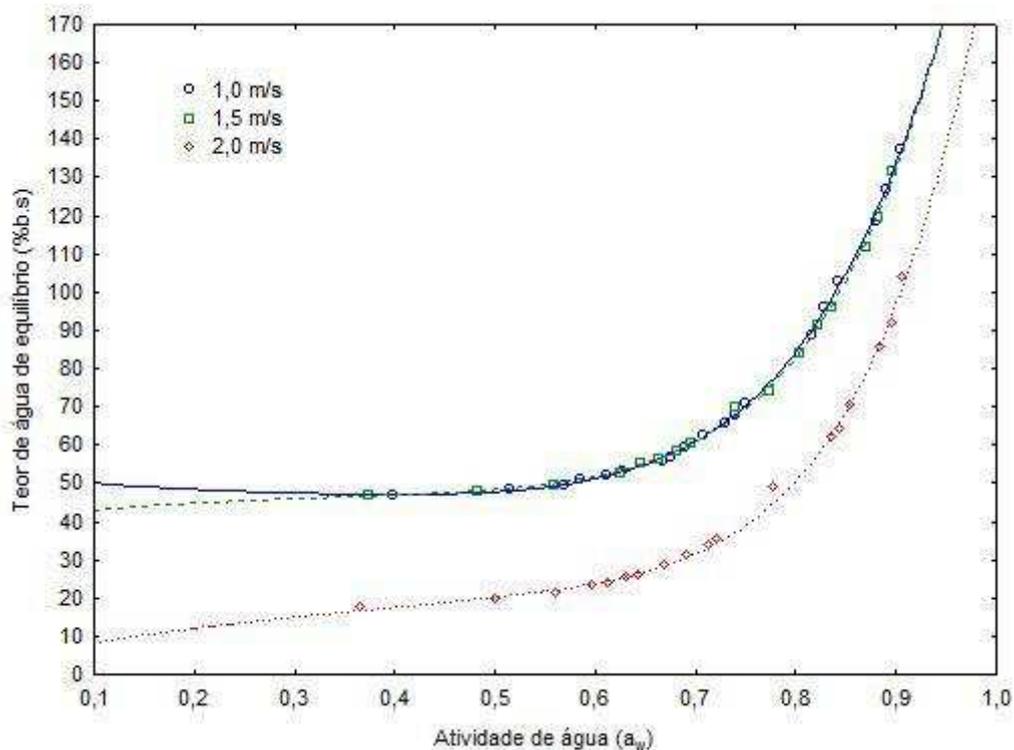


Figura 4.13 - Isoterma de adsorção de água a 25 °C, dos cilindros da batata yacon secados a 70 °C com ajustes pelo modelo de Peleg

Verifica-se que na isoterma dos cilindros na velocidade do ar de 1,0 m/s a absorção da água ocorreu de forma semelhante para a velocidade de 1,5 m/s, indicando uma

proximidade nos valores do teor de água de equilíbrio, e essas isotermas apresentaram teores de água de equilíbrio superiores aos da velocidade de ar de 2,0 m/s, na qual a curva se manteve afastada das demais e a amostra atingiu valor alto de atividade de água em um teor menor de água de equilíbrio.

5 – CONCLUSÕES

A batata yacon *in natura* apresentou: elevada quantidade de açúcares, baixo teor de amido e acidez, capacidade antioxidante justificada pela quantidade de compostos fenólicos além de conter minerais tais como cálcio, ferro, cloro, fósforo com ênfase à elevada quantidade de potássio;

A temperatura e a velocidade do ar de secagem influenciaram no tempo de secagem das batatas yacon; os modelos de Aproximação da Difusão, Dois Termos, Henderson e Pabis e Page se ajustaram bem aos dados experimentais, com coeficiente de determinação (R^2) superiores a 0,9900, com o melhor ajuste com o modelo de Aproximação de Difusão; e a difusividade efetiva aumentou com o aumento da temperatura de secagem;

O encolhimento dos cilindros da batata yacon foi influenciado pela temperatura e os modelos Uniforme 1, Uniforme 2 e Central, se ajustaram bem aos dados do encolhimento durante a secagem, com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,95, com o melhor ajuste, na maioria dos casos, com o modelo de Central;

Nos cilindros das batatas yacon secados nas diferentes condições do processo ocorreu redução no teor de água e na atividade de água em função do aumento da temperatura e velocidade do ar de secagem, com valores de atividade de água inferiores a 0,6;

Os açúcares presentes nos cilindros das batatas yacon se concentraram durante a secagem e estes tiveram comportamento indefinido com relação ao aumento da temperatura e velocidade do ar de secagem;

O teor de proteínas nos cilindros das batatas yacon secados tendeu a uma redução com o aumento da temperatura e velocidade do ar de secagem;

Houve um aumento na acidez das amostras secadas, quando comparada com a *in natura* tendendo a uma redução dos valores conforme aumento da temperatura e velocidade do ar de secagem;

Os valores dos compostos fenólicos, flavonoides e capacidade antioxidante (DPPH e FRAP) aumentaram nas amostras secadas quando comparadas à *in natura*; observou-se também que o aumento da temperatura e velocidade do ar provocou elevação nos valores desses parâmetros;

Os cilindros das batatas yacon secados escureceram durante a secagem apresentando baixos valores de luminosidade e aumento na intensidade de vermelho em relação à batata *in natura*, influenciados pelo aumento da temperatura de secagem;

As batatas yacon secas apresentaram elevada quantidade de potássio seguido de cálcio, fósforo, ferro e zinco, de forma que esta constitui excelente fonte de minerais;

Os modelos de GAB, Peleg e Oswin se ajustaram bem às isotermas de adsorção de água dos cilindros das batatas yacon, sendo o modelo de Peleg o que melhor se ajustou em todas as amostras e as isotermas de adsorção de água foram classificadas como tipo II e III.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRRE, J. M.; GASPARINO FILHO, J. **Desidratação de frutas e hortaliças**. Manual Técnico, Instituto de Tecnologia em Alimentos, 2002. 205p.

AHMED, M.; AKTER, M. S.; EUN, J. Peeling, drying temperatures, and sulphite-treatment affect physicochemical properties and nutritional quality of sweet potato flour **Food Chemistry**, v. 121, n. 1, p. 112–118, 2010.

AKANBI, C. T.; ADEYEMI, R. S.; OJO, A. Drying characteristics and sorption isotherm of tomato slices. **Journal of Food Engineering**, v. 73, n. 2, p. 157–163, 2006.

ALBUQUERQUE, J. R. T.; FORMIGA, A. S.; ROCHA, T. C.; COSTA, F. B.; GONDIM, A. R. O. Qualidade pós-colheita de beterraba submetida à adubação com biofertilizante fermentado. **Revista Verde**, v. 10, n.3, p 41 - 46, 2015.

ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, n. 1, p. 11-20, 2007.

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**, v. 27, n.1, p. 48-57. 2002.

AL-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W.A.M.; MAGEE T.R.A. Water sorption isotherms of starch powders Part 1: mathematical description of experimental data **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 297–307, 2004.

ALVES, J. A.; VILAS BOAS, E. V. B.; VILAS BOAS, B. M.; SOUZA, E, C. Qualidade de produto minimamente processado à base de abóbora, cenoura, chuchu e mandioquinha-salsa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n.3, p. 625-634, 2010.

ALVES, S. B. **Estudo experimental da cinética de secagem do abacate (*Persea americana* Mill.)**. 2010. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

ANDRADE JÚNIOR, V. C.; VIANA, D. J. S.; PINTO, N. A. V. D.; RIBEIRO, K. G.; PEREIRA, R. C.; NEIVA, I. P.; AZEVEDO, A. M.; ANDRADE, P. C. R. Características produtivas e qualitativas de ramas e raízes de batata-doce. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 4, p. 584-589 2012.

ANSELMO, G. C. S.; MATA, M. E. R.; M. C.; ARRUDA, P. C.; SOUSA, M. C. Determinação da higroscopicidade do cajá em pó por meio da secagem por atomização. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v. 6, p. 58-65, 2009.

AOAC - Association Official Analytical Chemistry. **Official methods of analysis**. 43. ed. Washington, 1997. 1018 p.

ARAÚJO, P. M. **Estudo da desidratação osmótica da cenoura (*Daucus carota* L.) em fatias**, 2010, 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

ARÉVALO-PINEDO, A.; MURR, F. E. X. Influência da pressão, temperatura e pré-tratamentos na secagem a vácuo de cenoura e abóbora **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 636-643, 2005.

ARNÃO, I.; SEMINARIO, J.; CISNEROS, R.; TRABUCCO, J. Potencial antioxidante de 10 accesiones de yacón, *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson, procedentes de Cajamarca – Perú. **Anales de la Facultad de Medicina**, v. 72, n. 4, p. 239-243, 2011.

ASCHERI, D. P. R.; RIBEIRO, M. M.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Isotermas de adsorción de agua y estabilidad de harinas extruídas de amaranto, arroz y maíz: estudio comparativo. **Alimentária**, v. 363, p. 100-1007, 2007.

ASSUNÇÃO, A. B.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico do resíduo seco de camarão-rosa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 786-793, 2007.

AYALA-APONTE, A. Estimación de las isotermas de adsorción y del calor isostérico em harina de yuca. **Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, v. 9, n. 1, p. 88 – 96, 2011.

BACELOS, M. S.; ALMEIDA, P. I. F. Modelling of drying kinetic of potatoes taking into account shrinkage. **Procedia Food Science** v. 1, p. 713 – 721, 2011.

BAIOCO, F. F. **Obtenção e caracterização físico-química de derivados de yacon (*Smallanthus sonchifolius*)**. 2013. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2013.

BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. A comparison of meta-phosphoric and oxalic acids as extractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 31, n. 4, p. 507-573, 1988.

BERNSTEIN, A.; NOREÑA, C. P. Z. Study of Thermodynamic, Structural, and Quality Properties of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) During Drying **Food Bioprocess Technology**, v. 7, n.1, p. 148–160, 2014

BERNSTEIN, A. **Análise das propriedades termodinâmicas e de imagem do yacon (*smallanthus sonchifolius*) durante secagem**, 2012. 52 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

BERNSTEIN, A.; LAGO, C. C.; NOREÑA, C. P. Z. Caracterização do suco e da polpa em pó de yacon (*smallanthus sonchifolius*). In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 22., 2010. **Anais...** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

BERVALD, P.; MATEUS, C.; BACARIN, M. A. M.; SIDNEI, D.; TREVIZOL, F. C.F. Variação do teor de carboidratos em genótipos de batata armazenados em diferentes temperaturas. **Bragantia**, v. 69, n. 2, p. 477-483, 2010.

BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. **Transport phenomena**. New York: John Wiley & Sons, 2001, 912 p.

BISINELLA, R. Z. B.; OLIVEIRA, C. S.; ZAPPANIA, P. S. C.; EGON SCHNITZLERB, E.; MARIA LÚCIA MASSONA, M. L. Estudo das características morfológicas, térmicas e físico químicas do soro de leite, maltodextrina e suco de yacon **Brazilian Journal of Thermal Analysis**, v. 4, n.4, p. 309-312, 2015.

BLAHOVEC, J. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 4, p. 489–495, 2004.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method for total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37 n. 8, p. 911-917, 1959.

BOBBIO, O. F.; BOBBIO, A. P **Química do processamento de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Varela. 143 p. 2001.

BONET, M. E. B.; MESON, O.; LEBLANK, A. M.; DOGI, C. A.; CHAVES, S.; KORTSARZ, A.; GRAU, A.; PERDIGÓN, G. Prebiotic effect of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) on intestinal mucosa using a mouse model. **Food and Agricultural Immunology**, v. 21, n. 2, p. 175-189. 2010.

BOQUET, R.; CHIRIFET, J.; IGLESIAS, H. A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods. **Journal of Food Technology**, v. 13, n. 2, p. 319-327, 1978.

BORGES, S. V.; MANCINI, S. V. M. C.; CORRÊA, J. L. G.; NASCIMENTO, D. A. Secagem de fatias de abóboras (*Cucurbita moschata*, L.) por convecção natural e forçada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 245-251, 2008.

BORGES, J. T. S.; PIROZI, M. R.; PAULA, C. D.; VIDIGAL, J. G., SILVA, N. A. S.; CALIMAN. F. R. B. Yacon na alimentação humana: aspectos nutricionais, funcionais, utilização e toxicidade. **Scientia Amazonia**, v. 1, n. 3, p. 10-16, 2012.

BORGES, J. T. S.; PAULA, C. D.; MÔNICA R.; PIROZI, M. R. Composição físico-química, qualidade física e sensorial de chips de mandioquinha-salsa. **Revista Ingeniería e Innovación**, v. 1, n. 2, 2013.

BORIN I.; FRASCARELI E. C.; MAURO M. A.; KIMURA M. Efeito do pré-tratamento osmótico com sacarose e cloreto de sódio sobre a secagem convectiva de abóbora. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 39-50, 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005. Aprova o **Regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF.

BRASIL. Ministério da Saúde. ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 272, de 22 de setembro de 2005. Aprova o **Regulamento técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis**.

BRAUN, H.; FONTES, P. C. R.; FINGER, F. L.; BUSATO, C.; CECON P. R. Carboidratos e matéria seca de tubérculos de cultivares de batata influenciados por doses de nitrogênio. **Ciência Agrotécnica**, v. 34, n. 2, p. 285-293, 2010.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oil seeds**. Westport: The AVI Publishing Company. 1992. 450p.

BRUNAUER, S.; DEMING, L. S.; TELLER, E. On a theory of Van der Waals adsorption of gases. **Journal of the American Chemical Society**, v. 62, p. 1723-1732, 1940.

CABELLO, C. Extração e pré-tratamento químico de frutanos de yacon *Polymnia sonchifolia*, **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 2, p. 202-207, 2005.

CAPRISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorptional equilibrium data for starchcontaining foodstuffs. **Journal of Food Science**, v. 47, n. 5, p. 1501-1507, 1982.

CARVALHO, A. V. **Avaliação da qualidade de kiwis cv. “Hayward”, minimamente processados**. 2000. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

CASTILLO ALFARO, M. E.; VIDAL MELGAREJO, S. A. L. **El Yacón: uma nueva alternativa em la prevención y tratamiento de la salud**. Santa Fe: El Cid Editor apuntes, 2009.

CASTRO, A.; CABALLERO, M.; HERBAS, A.; CARBALLO, S. Antioxidants in yacon products and effect of long term storage. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 32, n. 3, p. 432-435, 2012.

CAZETTA, M. L.; MARTINS, P. M. M.; MONTI, R.; CONTIERO, J. Yacon (*Polymnia sanchifolia*) extract as substrate to produce inulinase by *Kluyveromyces marxianus* variedade bulgaricus. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 3, p. 301–305, 2005.

CHOI, S.; KOZUKUE N.; KIMB H.; FRIEDMAN M. Analysis of protein amino acids, non-protein amino acids and metabolites, dietary protein, glucose, fructose, sucrose, phenolic, and flavonoid content and antioxidative properties of potato tubers, peels, and cortexes (pulps). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 50, p. 77–87, 2016.

CONTADO, E. W. N. F. **Obtenção, caracterização e utilização dos frutanos de tubérculos do yacon (*Smallanthus sonchifolia*)**. 2010. 144 f. Tese (Doutorado em Agroquímica) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

CORRÊA, C. V.; GOUVEIA, A. M. S.; MORENO, L. A.; TAVARES, A. E. B.; EVANGELISTA, R. M.; CARDOSO, A. I. I. Características qualitativas de raízes de batata-doce em função da época de colheita e do período de armazenamento. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 11, n. 1, p. 8-16, 2015.

COSTA, J. M. C.; MEDEIROS, M. F. D.; MATA, A. L. M. L. Isotermas de adsorção de pós de beterraba (*Beta vulgaris* L.), abóbora (*Cucurbita moschata*) e cenoura (*Daucus carota*) obtidos pelo processo de secagem em leito de jorro: estudo comparativo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n.1 p. 5-9, 2003.

COSTA, E. D. Q.; GOMES, S. N.; CRUZ, W. M. D. S.; PUMAR, M., CANTARINO, A. P.; COUTINHO, C. D. O.; AMARAL, T. Características físico-químicas e sensorial do yacon. **Nutrire**, n. 36 (Suplemento), p. 68, 2011.

COSTA, L. M.; RESENDE, O.; SOUSA, K. A.; DOUGLAS N.; GONÇALVES. D. N. Coeficiente de difusão efetivo e modelagem matemática da secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 10, p. 1089-1096, 2011.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2. ed. Oxford: Clarendon Press, 1975. 414 p.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. Porto Alegre: Artemed, 2010. 900 p

DANTAS, T. N. P.; SOUZA JUNIOR, F. E.; SOUZA, D. F. S.; MEDEIROS, M. F. D. Estudo da transferência de calor e massa e da cinética de secagem em placas planas de batata inglesa (*Solanum tuberosum*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8., 2009, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFRN, 2009. p. 1-6.

DAUDIN, J. D. Calcul des cinétiques de séchage par l'air chaud des produits biologiques solides. **Sciences des Aliments**, v. 3, p. 1-36, 1983.

DAVIDS, S. J.; YAYLAYAN, V. A.; TURCOTTE, G. Use of unusual storage temperatures to improve the amino acid profile of potatoes for novel flavoring applications. **Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie**, v. 37, n. 6, p. 1-8, 2004.

DIONÍSIO, A. P.; WURLITZER, N. J.; VIEIRA, N. M.; GOES, T. S.; MODESTO, A. L. G.; ARAÚJO, I. M. **Raiz tuberosa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): obtenção de extrato com manutenção das suas propriedades nutricionais e inativação de enzimas de escurecimento**. Fortaleza: Embrapa, 2013. p. 1-5 (Comunicado Técnico, 206)

DUPONT, A. W.; DUPONT, H. L. The intestinal microbiota and chronic disorders of the gut. **Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology**, v. 8, n. 9, p. 523-531, 2011.

EL-AOUAR, A. A. **Avaliação do processo combinado de desidratação osmótica e secagem na qualidade de cubos de mamão formosa (*Carica papaya*L.)**. 2001. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

FALADE, K. O.; OLUKINI, I.; ADEGOKE, G. O. Adsorption isotherm and heat of sorption of osmotically pretreated and air-dried pineapple slices. **European Food Research & Technology**, v. 218, n. 6, p. 540–543, 2004.

FANTE, L.; SCHER, C. F.; NOREÑA, C. P. Z.; RIOS, A. O. Study of enzyme inactivation using steam in yacon (*Smallanthus sonchifolius*) roots. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 37, n. 1, p. 16-24, 2013.

FARIAS, J. F.; FERREIRA, M. F.; CONCEIÇÃO, W. A. S.; BONA, E. Obtenção das isotermas de sorção de água para a farinha de mandioca. **Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos**, v. 1, n. 2, p. 83-87, 2010.

FASINA, O. O. Thermodynamic properties of sweetpotato. **Journal of Food Engineering**, v. 75, n. 2, p. 149 – 155, 2006.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 608 p.

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S.; GARCIA-PEREZ, J. V.; CARCEL, J. A. Secagem de maçãs utilizando secagem a ar assistida por ultra-som. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 37., 2015, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSC, 2015. p. 1-8.

FERNANDES, L. S.; CORRÊA, P. C.; FINGE, F. L.; JUNQUEIRA, M. S.; FONSECA, K. S. Efeito de antioxidantes sobre o escurecimento de batatas baroa minimamente processadas. **Engenharia na Agricultura**, v. 22 n. 3, p. 195-204, 2014.

FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; EVANGELISTA; R. M.; NARDIN, I. Qualidade físico-química e de fritura de tubérculos de cultivares de batata na safra de inverno. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 3, p. 299-304, 2010.

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 Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. Supl., p. 56-65. 2008.

FIGUEIRA, G. M.; PARK, K. J; BROD, F. P. R.; HONÓRIO, S. L. Evaluation of desorption isotherms, drying rates and inulin concentration of chicory roots (*Cichorium intybus* L.) with and without enzymatic inactivation. **Journal of Food Engineering**, v. 63, n. 3, p. 273–280, 2004.

FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. **Anthocyanins as food colors**. New York: Academic Press, 1982. p. 181-207.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos Alimentos**. São Paulo: Atheneu, 2005. 182 p.

FURMANIAK, S.; TERZYK, A.P.; GAUDEN, P.A.; RYCHLICKI, G. Applicability of the generalised D'Arcy and Watt model to description of water sorption on pineapple and other foodstuffs. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 2, p. 718-723, 2007.

GABAS, A.L. **Influência das condições de secagem de ameixa (*Prunus domestica*) na qualidade do produto final**. 2002. 168 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas. 2002.

GALDINO, P. O. **Secagem por aspersão da polpa do figo-da-Índia**. 2012. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

GARCÍA, A.; PÉREZ, E.; DÁVILA, R. Características físicas, químicas y funcionales de las harinas obtenidas por secado del ñame, ocumo y mapuey. **Agronomía Tropical**, v. 62, n. 4, p. 51-67. 2012.

GARCIA, E. L.; CARMO, E. L.; PÁDUA, J. G.; LEONEL, M. Potencialidade de processamento industrial de cultivares de batatas. **Ciência Rural**, v. 45, n. 10, p. 1742-1747, 2015.

GAUCHER, I.; MOLLE, A. D.; GAGNAIREA, V.; GAUCHERON, F. Effects of storage temperature on physicochemical characteristics of semi-skimmed UHT milk. **Food Hydrocolloids**, v. 22, n. 1, p. 130-143, 2008.

GENTA, S.; CABRERA, W.; HABIB, N.; PONS, J.; CARILLO, I. M.; GRAU, A. Yacon syrup: beneficial effects on obesity and insulin resistance in humans. **Clinical Nutrition Journal**, v. 28, n. 2, p. 182–187. 2009.

GONÇALVES NETO, A. C.; MALUF, W. R.; GOMES, L. A. A.; MACIEL, G. M.; FERREIRA, R. P. D.; CARVALHO, R. C. Correlação entre caracteres e estimação de parâmetros populacionais para batata-doce. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 4, p. 713-719, 2012.

GONÇALVES, P. V. M. **Desenvolvimento de massa alimentícia funcional a base de extrato em pó e farinha de yacon (*Polymnia sonchifolia*) e farinha de arroz por**

processo de extrusão termoplástica. 2010. 120 f. Dissertação (Mestrado Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H. Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada delgada. **Revista Brasileira de Armazenamento**, n. 11, p. 64-73, 2009.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; REIS NETO, S. A. Estudo da difusão de umidade em grãos de trigo durante a secagem. **Revista Brasileira de Ciência Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 135-140, 2007.

GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C.; MURR, F. E. X. Estudo da difusividade e do encolhimento do gengibre (*Zingiber officinale*, Roscoe) durante a secagem. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 1, n. 1, p. 51-58, 1999.

GRAEFE, S.; HERMANN, M.; MANRIQUE, I.; GOLOMBEK, S.; BUERKERT, A. Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes. **Field Crops Research**, v. 86, p. 157-165, 2004.

GUINÉ; R. P. F. Secagem solar de peras: evolução da densidade e características de encolhimento. **Brazilian Journal of Food Technology**. v. 8, n. 3, p. 248-251. 2005.

HATAMIPOUR, M. S.; MOWLA, D. Shrinkage of carrots during drying in an inert medium fluidized bed. **Journal of Food Engineering**, v. 6, n. 55, p. 247-252, 2002.

HATAMIPOUR, M. S.; KAZEMI, H.; NOORALIVAND, A.; NOZARPOOR, A. Drying characteristics of six varieties of sweet potatoes in different dryers. **Food and Bio products processing**, v. 85, n. 3, p. 171–177, 2007.

HOLTZ, E.; AHRNÉ, L.; RITTENAUER, M.; RASMUSON, A. Influence of dielectric and sorption properties on drying behaviour and energy efficiency during microwave convective drying of selected food and non-food inorganic materials. **Journal of Food Engineering**, v. 97, n. 2, p. 144-153, 2010.

IGUEDJAL, T.; LOUKA, N.; ALLAF, K. Sorption isotherms of potato slices dried and texturized by controlled sudden decompression. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 2, p. 180–190, 2008.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análises de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.

JIMÉNEZ, M. E.; SAMMÁN, N. Chemical characterization and quantification of fructooligosaccharides, phenolic compounds and antiradical activity of Andean roots and tubers grown in Northwest of Argentina. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v. 64, n. 2, p. 131-138, 2014.

KANASHIRO, R. S.; FERRARO, R. G.; POLTRONIERI, F. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*): importância funcional. **Nutrição em Pauta**, v. 16, n. 92, p. 9-12, 2008.

KAYA, A.; AYDIN, O.; DINCER, I. Experimental and numerical investigation of heat and mass transfer during drying of Hayward kiwi fruits (*Actinidia deliciosa Planch*). **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 3, p. 323-330, 2008.

KAYMAK-ERTEKIN, F.; E GEDIK, A. Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, v. 37, n. 4, p. 429–438, 2004.

KEENAN, D. F.; BRUNTON, N.; BUTLER, F.; WOUTERS, R.; GORMLEY, R. Evaluation of thermal and high hydrostatic pressure processed apple purees enriched with prebiotic inclusions. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 12, n. 3, p. 261-268, 2011.

KERDPIBOON, S.; DEVAHASTIN, S. Fractal characterization of some physical properties of a food product under various drying conditions. **Drying Technology**, v. 25, n.1, p. 135-146, 2007.

KOTOVICZ, V. **Otimização da desidratação osmótica e secagem do yacon (*Polymnia sonchifolia*)**. 2011. 88 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

KUROZAWA, L. E.; HUBINGER, M. D.; PARK, K. J. Glass transition phenomenon on shrinkage of papaya during convective drying. **Journal of Food Engineering**, v. 108, p. 43-50, 2012.

KUROZAWA, L. E. **Efeito das condições de processo na cinética de secagem de cogumelo (*Agaricus blazei*)**, 2005. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

LACHMAN, J.; FERNÁNDEZ, E. C.; ORSÁK, M. Yacon [*Smallanthus sonchifolia* (Poepp. Et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use: a review. **Plant Soil and Environment**, v. 49, n. 6, p. 283-290, 2003.

LAGO, C. C.; NOREÑA, C. P. Z. Thermodynamic analysis of sorption isotherms of dehydrated yacon (*Smallanthus sonchifolius*) bagasse. **Food Bioscience**, v. 12, n. 1; p. 26-33, 2015.

LAGO, C. C.; LIENDO-CÁRDENAS, M.; NOREÑA, C. P. Z. Thermodynamic sorption properties of potato and sweet potato flakes. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, n. 4, p. 389-395, 2013.

LEITE, A. L. M. P.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; PIASSON, D.; PHILIPPE DOS SANTOS, P. Contração volumétrica e cinética de secagem de fatias de banana variedade Terra. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, p. 155-162, 2015.

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

LEWICKI, P. P. Design of hot air drying for better foods. **Trends Food Science Technology**, v. 17, n. 4; p. 153-163, 2006.

LOMBARDO, S.; PANDINO, G.; MAUROMICALE, G. The mineral profile in organically and conventionally grown “early” crop potato tubers. **Scientia Horticulturae**, v. 167, n. 6, p. 169-173, 2014.

LOPES, F. J. **Estudo do fenômeno do encolhimento na secagem convectiva de abacaxi com aplicação de micro-ondas**. 2013. 136 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2013.

LOPES, F. J.; MELLO JR., R. E.; ALVES, G. E.; MENDONÇA, K. S.; SILVA, K. C. R.; CORRÊA J. L. G. Ajuste de modelos semiteóricos para predição de cinética de secagem de yacon (*Smallanthus sonchifolius*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 37., 2015. São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSC, 2015.

LOPES, L. M.; MAURO, M. A. Cinética da desidratação osmótica de abacate fresco e branqueado termicamente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8., 2009. Uberlândia. **Anais...** Santa Mônica: UFU, 2009.

LOVATTO, M. T. **Desenvolvimento de tecnologias para processamento de tubérculos não comercializáveis de Batata**, 2010, 132 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

LUIKOV, A. V. **Analytical heat diffusion theory**. London: Academic Press, 1968. 685 p.

LUPETTI, K. O.; CARVALHO, L. C.; MOURA, A. A.; FATIBELLO-FILHO, O. Análise de imagem em química analítica: empregando metodologias simples e didáticas para entender e prevenir o escurecimento de tecidos vegetais. **Química Nova**, v. 28, n. 3, p. 548-554, 2005.

MADRIGAL, L.; SANGRONIS, E. La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 57, n. 4, p. 387-396, 2007.

MALDONADO, S.; SANTAPAOLA, J. E.; SINGH, J.; TORREZ, M.; GARAY, A. Cinética de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de yacón (*Smallanthus sonchifolius*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28 n. 1, p. 251-256, 2008.

MALISKA, C. R. **Transferência de calor e mecânica dos fluidos computacional**. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 453 p.

MANRIQUE, I.; PÁRRAGA, A. **Conservación y uso de labiodiversidad de raíces y tubérculos Andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003). Jarabe de yacón: principios y procesamiento**. Lima, Peru: Centro Internacional de La Papa, 2005, 40 p.

MANRIQUE, I.; PARRAGA, A.; HERMANN, M. Yacon syrup: principles and processing. In: **Series: Conservacion y uso de labiodiversidad de raices y tuberculos andinos: una decada de investigacion para eldesarrollo (1993– , 2003) N8 8B**. Lima, Peru: International Potato Center, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion, Erbacher Foundation Swiss Agency for Development and Cooperation, 2003. p. 31.

MARMITT, L. G.; BETTI, J.; OLIVEIRA, E. C. Determinação de ácido cítrico e ph em diferentes cultivares de limão e marcas de sucos artificiais de limão em pó. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 8, n. 4, p. 245-252, 2016.

MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; MELO, E. C.; BARBOSA, F. F. Difusividade efetiva em folhas de *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf submetidas à secagem com diferentes comprimentos de corte e temperaturas do ar. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 9, n. 1, p. 68-72, 2007.

MARTINS, E. A. S.; LAGE, E. Z.; GONELI, A. L. D.; HARTMANN FILHO, C. P.; LOPES, J. G. Cinética de secagem de folhas de timbó (*Serjania marginata* Casar). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 238-244, 2015.

MAYDATA, A. G. Café, antioxidantes y protección a la salud. **Medisan**, v. 6, n. 4, p. 72-81, 2002.

MAYOR, L.; SERENO, A. M. Modeling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 373-386, 2004.

MCCARTHY, M. J.; HEIL, J. R.; KRUEGERMANN, C.; DESVIGNES, D. Acid requirement for pH modification of processed foods. **Journal of Food Science**, v. 56, n. 4, p. 1750-3841, 1991.

MCGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **Horticultural Science**, v. 27, n. 12, p. 1254-1255, 1992.

MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Thermodynamic properties of moisture sorption of potato. **Journal of Food Engineering**, v. 60, n. 2, p. 157-165, 2003.

MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Principles, methods and applications of the convective drying of foodstuffs. **Food and Bioproducts Processing**, v. 77, n. 3, p. 175-193, 1999.

MEDEIROS, M. L.; AYROSA, A. M. I. B.; PITOMBO, R. N. M. P.; LANNES, S. C. S. Sorption isotherms of cocoa and cupuassu products. **Journal of Food Engineering**, v. 73, n. 4, p. 402-406, 2006.

MELONI, P. L. S. Desidratação de frutas e hortaliças. In: SEMANA INTERNACIONAL DA FRUTICULTURA, FLORICULTURA E AGROINDÚSTRIA, 10., 2003, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Instituto FRUTAL, 2009. 87 p.

MENDONÇA, K. S.; JESUS, J. R.; PEREIRA, M. C. A.; CORRÊA, J. L. G. Osmotic dehydration of yacon slices: effect of different polyols on mass transfer parameters. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 20., Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2014. 121p.

MERCALI, G.D.; MARCZAK, L. D. F.; NOREÑA, C. P. Z.; GHIGGI, F. F. Estudo da transferência de massa na desidratação osmótica de banana (*Musa sapientum, shum*). In: OKTOBER FÓRUM - SEMINÁRIO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA, 7., 2014. Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2008. 97p.

MICHEL, P. H.; PARUSSOLO, G.; BUSATTO, R. T.; SCHMITT, J.; SANTOS, L. F.; RIES, E. F.; ROSA, V. P. Produção de farinha de yacon em diferentes épocas do ano. **Blucher Food Science Proceedings**, n. 1, v. 1, p. 329-330. 2014.

MICHELS, I. **Aspectos tecnológicos do processamento mínimo de tubérculos de yacon (*Polymnia sonchifolia*) armazenados em embalagens com atmosfera modificada.** 2005. 85 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MISHRA, V. K.; OORAIUL, B.; TEMELLI, F. Physical characterization and water sorption of freeze dried dulce Palmaria palmata powder. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 20, n. 1, p. 25-39, 2007.

MONTES, E. J. M.; GALLO, R. T.; PIZARRO, R. D. A.; SIERRA, O. A. P.; ESCOBAR, J. L. M.; HERAZO, I. I. M. Modelado de la cinética de secado de ñame (*Dioscorea rotundata*) en capa delgada. **Revista Ingeniería e Investigación**, v. 28, n. 2, p. 45-52, 2008.

MORRIS, C.; MORRIS, G. A. The effect of inulin and fructo-oligosaccharide supplementation on the textural, rheological and sensory properties of bread and their role in weight management: A review. **Food Chemistry**, v. 133, n. 2, p. 237- 248, 2012.

MOSCATTO, J. A.; PRUDÊNCIO-FERREIRA, S. H.; HAULY, M. C. O. The optimization of the formulation for a chocolate cake containing inulin and yacon meal. **International Journal of Food and Technology**, v. 41, n. 2, p. 181-188, 2006.

MOURA, C. P. **Aplicação de redes neurais para predição e otimização do processo de secagem de yacon (*Polymnia sonchifolia*) com pré-tratamento osmótico.** 2004. 107 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

NACAZUME, N.; PRATI, P.; BERBARI, S. A. G.; GERMER, S. P. M.; CAMARGO, G. A.; ORMENESE, R. S. C.; SILVA, M. G. Desenvolvimento de geleia dietética funcional de yacon, goiaba e acerola. In: CONGRESSO INTERESTADUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2., 2008. Campinas. **Anais...** Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2008. 108 p.

NETTO, F. M. Determinação da vida-de-prateleira: erros e limitações. In: MOURA, S. C. S. R.; GERMER, S. P. M. **Reações de transformação e vida-de-prateleira de alimentos processados.** 4. ed. Campinas: ITAL, 2010. p. 88-96.

NEVES, V. A.; SILVA, M. A. Polyphenol oxidase from yacon roots (*Smallanthus sonchifolius*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 6, p. 2424-2430, 2007.

NISHI, A. C. F. **Extrato aquoso de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) desidratado por atomização.** 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição e Saúde) – Faculdade de Nutrição da Universidade Federal de Goiás, Goiania, 2012.

NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO (NEPA). **Tabela brasileira de composição de alimentos.** 4 ed. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2011. 161 p.

NUNES, L. S.; DUARTE, M. E. M.; MATA, M. E. R. M. Avaliação do comportamento higroscópico de amido de inhame. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 2, p. 149-158, 2009.

OCHOA, M. R.; KESSELER, A. G.; PIRONE, B. N.; MARQUEZ, C. A.; MICHELIS, A. Shrinkage during convective drying of whole rose hip (*Rosa Rubiginosa* L.) fruits. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v. 35, n. 5, p. 400-406, 2002.

OJANSIVU, I.; FERREIRA, C. L.; SALMINEN, S. Yacon, a new source of prebiotic oligosaccharides with a history of safe use. **Food Science & Technology**, v. 22, n. 1, p. 40-46, 2011.

OLIVEIRA, L. F. **Desidratação osmótica com pulso de vácuo e secagem á vácuo de yacon (*Smallanthus sonchifolius*)**, 2014. 154 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

OLIVEIRA, R. A.; ARAUJO, A. A.; SÁENZ, C. M. S.; PARK, K. J. Effects of pre-drying on infrared drying of yacon roots. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING, CIGR-AgEng, 2012., Valência. **Anais...** Valência, 2012. 87 p.

OLIVEIRA, S. N. **Chips de batata doce obtidos por diferentes processos de secagem: caracterização física, composição centesimal e análise sensorial**. 2012, 180f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

OLIVEIRA, R. A.; OLIVEIRA, W. P.; PARK, K. J. Determinação da difusividade efetiva de raiz de chicória. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 1, p. 181-189, 2006.

PACHECO-DELAHAYE, E.; TECHEIRA, N.; GARCÍA, A. D. Elaboración y evaluación de polvos para bebidas instantáneas a base de harina extrudida de ñame (*Dioscorea alata*). **Revista Chilena de Nutrición**, v. 35, n. 4, p. 452-459, 2008.

PADILHA, V. M.; ROLIM, P. M.; SALGADO, S. M.; LIVERA, A. V. S.; OLIVEIRA, M. G. Avaliação do tempo de secagem e da atividade de óxido-redutases de Yacon

(*Smallanthus sonchifolius*) sob tratamento químico. **Ciência. Rural**, v. 39, n. 7, p. 2178-2184, 2009.

PAGANI, A. A. C.; SIQUEIRA, A. C. P.; SANTOS, A. M.; SANTOS, J. M.; BERY, C. C. S.; SILVA, G. F. Caracterização nutricional de farinha de duas variedades de batata doce e enriquecida com ácido ascórbico. In CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 27., 2015. São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSC, 2015. 108 p.

PARK, K. J. B.; PARK, K. J.; CORNEJO, F. E. P.; FABBRO, I. M. D. Considerações termodinâmicas das isotermas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n. 1, p. 83-94, 2008.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. **Conceitos de processos e equipamentos de secagem**. Campinas, Centro de Tecnologia e Engenharia Agroindustrial, 2007.

PARK, K. J.; TUBONI, C. T.; OLIVEIRA, R. A. Estudo da secagem de caqui giombo com encolhimento e sem encolhimento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 6, n. 1, p. 71-86, 2004.

PARK, K. J.; VOHNIKOZA, Z.; BROD, F. P. R. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispata* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 51, n. 3, p.193-199, 2002.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus* sp.) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001.

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

PARK, K.J. **Estudo comparativo do coeficiente de difusão sem e com encolhimento durante a secagem**. 1987. 54 f. Tese (Doutorado em Fenômenos de Transporte) -

Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1987.

PATRI, P.; BERBARI, S. A. G.; PACHECO, M. T. B.; SILVA, M. G.; NACAZUME, N. Estabilidade dos componentes funcionais de geléia de yacon, goiaba e acerola, sem adição de açúcares. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 4, p. 285-294, 2009.

PARUSSOLO, G.; RIES, E. F.; ROSA, P. V.; SANTOS, L. F.; LEHNER, M. T. Avaliação da qualidade microbiológica da batata yacon (*Polymnia sonchifolia*) e da sua farinha. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DOS ALIMENTOS, 10., 2013, Campinas. **Anais...** Campinas: Universidade de Campinas, 2013.

PEREIRA, J. A. R.; BARCELOS, M. F. P.; PEREIRA, M. C. A.; FERREIRA, E. B.; Studies of chemical and enzymatic characteristics of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and its flours. **Food Science and Technology**, n. 33, v. 1, p. 75-83, 2013.

PERUSSELLO, C. A. **Análise numérica e experimental da secagem osmo-convectiva do yacon (*Smallanthus sonchifolius*)**. 2013. 114 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

PINELI, L. L. O.; MORETTI, C. L.; ALMEIDA, G. C.; SANTOS, J. Z.; ONUKI, A. C. A.; NASCIMENTO, A. B. G. Caracterização química e física de batatas ágata e monalisa minimamente processadas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n.1, p. 127-134, 2006.

PORTELA, J. V. F.; PESSOA, T R. B.; EL-AOUAR, Â. A. Modelagem matemática e difusividade efetiva do processo de secagem do miolo da macambira. **Revista Verde**, v. 9, n. 1, p. 271–278, 2014.

PRADO, M. E. T. **Secagem de tâmaras (*Phoenix dactylifera* L.) para a obtenção de tâmara passa**. 1998. 134 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

PRATI, P.; BERBARI, S. A.; G. PACHECO, M. T. B.; NACAZUME, N. Estabilidade dos componentes funcionais de geléia de yacon, goiaba e acerola, sem adição de açúcares. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 4, p. 285-294, 2009.

PROBST, M. F. **Industrialização da batata yacon**. 2013. 42 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Química) Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2013.

QUINTEROS, E. T. T. **Produção com tratamento enzimático e avaliação do suco de yacon**. 2000. 164 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

QUIRIJNS, E. J.; BOXTEL, A. J. B. V.; LOON, W. K. P. V.; STRATEN, G. V. Sorption isotherms, GAB parameters and isosteric heat of sorption. **Journal Science of Food Agricola**, v. 85, n. 11. p. 1805-1814, 2005.

RECAMALES, A. F.; GALLO, V.; HERNANZ, D.; GONZALEZ-MIRET, M. L.; HEREDIA, F. J. Effect of time and storage conditions on major volatile compounds of Zalema white wine. **Journal of Food Quality**, v. 34, n. 2, p. 100-110, 2011.

REIS, D. R.; SANTOS, P.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G. Influence of air characteristics on drying kinetics of beak pepper. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 2, p. 146-154, 2015.

REIS, F. R.; LENZI, M. K.; MUNIZ G. I. B.; NISGOSKI, S.; MASSON, M. L. Vacuum drying kinetics of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and the effect of process conditions on fractal dimension and rehydration capacity. **Drying Technology**, v. 30, n. 1, p. 13-19, 2012.

REIS, F. R. **Secagem a vácuo de yacon: influência das condições de processo sobre parâmetros de qualidade e cinética da secagem**. 2011. 62 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

REYES, S. R.; CASANOVA, E. V.; ROMERO, D. R.; BURGOS, K. C.; VILLACAMPA, K. V.; CASAS, V. G. Cuantificación de polifenoles totales y capacidad antioxidante de los extractos de diferente grado alcohólico del tubérculo de *Solanum tuberosum* var. mano de oso. **Revista Farmaciencia**, v. 2 n. 2, p. 72-78, 2014.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química dos alimentos**. São Paulo: Blucher. 2007. 184 p.

RIBEIRO, J. A. **Estudos químico e bioquímico do yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in natura e processado e influência do seu consumo sobre níveis glicêmicos e lipídeos fecais de ratos**. 2008. 166 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

RIBEIRO, J. A.; BARCELOS, M. F. P.; PEREIRA, M. C. A. Avaliação da composição centesimal e teor de minerais da casca e polpa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) fresco e na forma de farinhas. In: CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE, 16., 2007, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense, 2007.

RIVERA, D.; MANRIQUE, I. **Zumo de yacón**: ficha técnica. Lima, Peru: Centro Internacional de la Papa (CIP), 2005.

ROCA, W.; MARINQUE, I. Valorización de los recursos genéticos de raíces y tubérculos andinos para la nutrición y la salud. **Agrociencia**, v. 9, n. 1, p. 195–201, 2005.

ROCHA, A. B. **Caracterização bromatológica e avaliação de compostos bioativos presentes na batata da serra (*Ipomoea Convolvulácea L.*) produzida na Chapada Diamantina-BA**. 2012. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

RODRIGUES, F. C.; CASTRO, A. S. B.; MARTINO, H. S. D.; FERREIRA, C. L. L. F. Farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): produção e caracterização química. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 70, n. 3, p. 290- 295, 2011.

ROESLER, P. V. S. O.; GOMES, S. D.; MORO, E.; KUMMER, A. C. B.; CEREDA, M. P. Produção e qualidade de raiz tuberosa de cultivares de batata- de batata-doce no oeste do este do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 117-122, 2008.

ROMERO-PEÑA, L. M.; KIECKBUSH, T. G. Influência de condições de secagem na qualidade de fatias de tomate. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 6, n. 1, p. 69-76, 2003.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. **Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH**. Fortaleza: Embrapa, 2007. 4 p. (Comunicado Técnico, 127)

RUHANIAN, S.; MOVAGHARNEJAD, K. Mathematical modeling and experimental analysis of potato thin-layer drying in an infrared-convective dryer. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v. 9, n. 1, p. 84-91, 2016.

RUIZ-LÓPEZ, J. J.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, C.E.; COBOS-VIVALDO, R.; HERMAN-LARA, E. Mathematical modeling and simulation of batch drying of foods in fixed beds with airflow reversal. **Journal of Food Engineering**, v. 89, n. 3, p. 310–318, 2008.

SALDAÑA, E.; SICHE. R.; CASTRO W.; LUJÁN M.; QUEVEDO R. Measurement parameter of color on yacon (*Smallanthus sonchifolius*) slices using a computer vision system. **Food Science and Technology**, v. 59, n. 2, p. 1220-1226, 2014.

SALES, R. L.; RODRIGUES, F. C.; COSTA, N. M. B.; FERREIRA, C. L. L. F. Yacon: aspectos nutricionais, tecnológicos e funcionais. In: COSTA, N. M. B.; ROSA, C. O. B. **Alimentos funcionais: componentes bioativos e efeitos fisiológicos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Rúbio, 2010. p. 229-239.

SALLUCA, T. G.; PEÑARRIETA, J. M.; ALVARADOA, J. A.; BERGENSTÅHL, B. Determination of total phenolic compounds content and the antioxidant capacity of andean

tubers and roots (*isaño, oca, ulluco and arracacha*). **Revista Boliviana de Química**, v. 25, n.1, p. 58-61, 2008.

SANTANA, I.; CARDOSO, M. H. Raíz tuberosa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): potencialidade de cultivo, aspectos tecnológicos e nutricionais. **Ciência Rural**, v. 38, p. 898-905, 2008.

SANTOS, A. P. **Farinha de batata (*Solanum tuberosum* L.): obtenção, caracterização físico química, funcional, elaboração e caracterização de sopas desidratadas**. 2009. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2009.

SANTOS, A. P.; REBOUÇAS, T. N. H.; SOUZA, J. C. C.; BONOMO, R. C. F.; SILVA, L. M. Caracterização e avaliação da qualidade de sopas desidratadas elaboradas com farinha de batata durante o tempo de armazenamento. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 57-68, 2010.

SANTOS, J. C.; SOUZA, D. C. L.; SOUZA, C. L.; SANTANA, M. M.; CASTRO, A. A.; SILVA, G. F. Estudo da cinética de secagem de batata-doce (*Ipomoea batatas*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 14, n. 4, p. 323-328, 2012.

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

SCHWANKE, R.O. **Determinação da difusividade de hidrocarbonetos aromáticos em zeólitas Y por métodos cromatográficos**. 2003. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

SEMINARIO, J.; VALDERRAMA, M. **El yacon: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio**. Lima, Peru: Centro Internacional de la Papa(CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para El Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), 2003. 60 p.

SHER, C. F. **Estudo do branqueamento e da secagem mediante ar quente do yacon (*Smallanthus sonchifolius*)**. 2009. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SHI, Q. L.; ZHAO, Y.; ZHENG, Y. Q. Drying of yacon by hot air and microwave combination. **Food Science**, v. 32, n. 12, p. 150–5, 2011.

SHI, Q., ZHENG, Y., ZHAO, Y. Optimization of combined heat pump and microwave drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) using response surface methodology. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 37, n. 6, p. -1132 1039, 2013.

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

SILVA, A. S. S. **A raiz da yacon (*Smallanthus sonchifolius* - Poepping e Endlicher) como fonte de fibras alimentares, sua caracterização físico-química, uso na panificação e sua influência na glicemia pós-prandial**. 2007. 156 f. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SILVA, C. M. D. P. S.; FARIAS, V. S. O.; NASCIMENTO, P. L.; SILVA, W.P.; GOMES, J. P.; LINS, M. A. A. Determinação simultânea da difusividade efetiva e do coeficiente de transferência convectivo de massa durante a secagem de bananas inteiras usando soluções analíticas e o método inverso. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 6., Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2010.

SILVA, E.B.; SILVA, R. S. S. F.; KARAM, L. B.; CÂNDIDO, L. M. B. Correlação entre peso, área e diâmetro de raízes do yacon (*Polymnia sonchifolia* Poepping & Endlicher). In: ENCONTRO REGIONAL SUL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 8., 2003. Curitiba. **Anais...** Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2003.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2009.

SILVA, R. G. V. **Caracterização físico-química de farinha de batata-doce para produtos de panificação**. 2010. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2010.

SILVA, R. M. G.; FIGUEIREDO, P. A.; PEIXOTO, E. C. T. M.; SILVA, L. P. Atividade antioxidante e determinação de fenóis totais, carotenoides, betacarotenos, licopeno e zinco em variedades branca, amarela e rosada de *Manihot esculenta crantz*. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 2, p. 556-564, 2014.

SILVA, S. L. V.; SEARA, L. M.; CHARBEL, A. T. Secagem da batata yacon (*Smallanthus sonchifolius*) utilizando microondas. **Exacta**, v. 6, n. 2, p. 147-153, 2013.

SILVEIRA, L. R.; CHIESA, V. B.; TAVARES, I. B.; SOUZA, R. C.; MÁRCIO SILVEIRA, M. A.; ALVES, D. G.; OLIVEIRA JUNIOR, W. P. Caracterização físico-química e clones de batata-doce de polpa alaranjada nas condições de Palmas-TO. **Estudos – Vida e Saúde**, v. 38, n. 2, p. 365-380, 2011.

SILVEIRA, N. D. P. **O emprego da metodologia de superfície de resposta no desenvolvimento de um novo produto simbiótico, fermentado com Enterococcus faecium CRL 183 e Lactobacillus helveticusssp. Jugurti CRL 416 à base de extratos aquosos de soja e de yacon (*Smallanthus sonchifolia*)**. 2009. 133 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2009.

SIMONOVSKA, B.; VOVKA, I.; SANDRENŠEKA, S.; VALENTOVÁ, B. K.; ULRICHOVÁ, J. Investigation of phenolic acids in yacon (*Smallanthus sonchifolius*) leaves and tubers. **Journal of Chromatography A**, v. 1016, n. 1, p. 89-98, 2003.

SINGH, B.; PARMJIT S.; PANESAR, P.; NANDA, V. Optimization of osmotic dehydration process of carrot cubes in sucrose solution. **Journal of Food Process Engineering**, v. 31, n. 1, p. 1–20 2008.

SINGH, N. J.; PANDEY, R. K. Convective air drying characteristics of sweet potato cube (*Ipomoea batatas* L.). **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 2, p. 317-322, 2012.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Difusividade efetiva de grãos e frutos de pinhão-manso. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 2919-2930, 2012.

SOLEIMANI, N.; HOSEINIFAR, S. H.; MERRIFIELD, D. L.; BARATI, M.; ABADI, Z. H. Dietary supplementation of fructooligosaccharide (FOS) improves the innate immune response, stress resistance, digestive enzyme activities and growth performance of Caspian roach (*Rutilus rutilus*) fry. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 32, n. 2, p. 316 -321, 2012.

SOUZA, M. C. **Estudo da cinética de secagem e análise da farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius*)**. 2013. 129 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2013.

SOUZA, P. N. A.; ALVES, E. E.; PEREIRA, K. G.; SILVA, S. L. S.; SANTOS, C. T.; MIZOBUTSI, G. P.; ROCHA, L. A. C. Atividade de água e textura de batata baroa desidratada sob diferentes temperaturas de secagem In: FÓRUM DE ENSINO, PESQUISA, EXTENSÃO E GESTÃO, 8., 2014, Montes Claros. **Anais...** Montes Claros, Universidade Estadual de Montes Claro, 2014.

SRIKIATDEN, J.; ROBERTS, J. S. Measuring moisture diffusivity of potato and carrot (core and cortex) during convective hot air and isothermal drying. **Journal of Food Engineering**, v. 74, n. 1, p. 143–152, 2006.

SUMIYANTO, J.; DAYAN, E. F.; CERDEIRA, A. L.; YAN-HONG WANGA, Y. H.; KHAN, I. A.; MORAES, R., M. Oligofructans content and yield of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) cultivated in Mississippi. **Scientia Horticulturae**, v. 148, n. 1, p. 83–88, 2012.

SUZUKI, K.; KUBOTA, K.; HASEGAWA, T. E.; HOSAKA, H. Shrinkage in dehydration of root, vegetables. **Journal of Food Science**, v. 41, p. 1189-1194, 1976.

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

TAKENAKA, M.; YAN, X.; ONO, H.; YOSHIDA, M.; NAGATA, T.; NAKANISHI, T. Caffeic acid derivatives in roots of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 3, p. 793-796, 2003.

TEIXEIRA, A. P.; PAIVA, C. F.; RESENDE, A. J.; ZADONADI, R. P. O efeito da adição de yacon no suco de laranja industrializado sobre curva glicêmica de estudantes universitários. **Alimentos e Nutrição**, v. 20, n. 2, p. 313-319, 2009.

TORREGROZA-ESPINOSA, A. M.; MONTES-MONTES, E. J.; ÁVILA-GÓMEZ, A. E.; REMOLINA-LÓPEZ, J. F. Modelado de las cinéticas de secado de tres variedades de yuca industrial. **DYNA**, v. 81, n. 186, p. 184-192, 2014.

TORREZ, D. L. L. Valorización de la raíz de yacon: obtención de um jalore rico em fructooligosacáridos. **Investigación & Desarrollo**, v. 1, n. 7, p. 93-106, 2007.

TRINDADE, J. L. F.; CAMLOFSKI, A. M. O.; FREITAS, R. J. S. Caracterização de variedade de batata do município de Contenda- PR e indicações quanto ao uso doméstico e tecnológico. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, n. 1, v. 6, p. 1981-1386, 2012.

ULLMANN, R.; RESENDE, O.; SALES, J. F.; CHAVES, T. H. Qualidade das sementes de pinhão manso submetidas à secagem artificial. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 442-447, 2010.

VALENTOVÁ, K.; CVAK, L.; MUCK, A.; ULRICHOVA, J.; SIMANCIJ, V. Antioxidant activity of extracts from de leaves of *Smallanthus sonchifolius*. **European Nutrition of Journal**, v. 42, n. 1, p. 61- 66, 2003.

VALENTOVÁ, K.; SERSEN, I.; ULRICHOVÁ, J. Radical scavenging and anti lipoperoxidative activities of *Smallanthus sonchifolius* leaf extracts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 14, p. 5577-5582, 2005.

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

VALENZUELA, L. S. T.; VILLAMIZAR, R.; RENDÓN, S. Á. Stabilization of a functional refreshment from mango nectar and yacon (*Smallanthus sonchifolius*) through spray drying encapsulation. **Functional Foods in Health and Disease**, v. 4, n. 2, p. 77-86, 2014.

VANDRESEN, S. **Purificação parcial de inulina obtida a partir de yacon e recuperação de compostos antioxidantes por processos de sorção**. 2011. 175 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

VASCONCELOS, C. M. **Caracterização físico-química e sensorial de iogurte “light” com farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius*)**. 2010. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

VASCONCELOS, C. M.; SILVA, C. O.; TEIXEIRA, L. J. Q.; CHAVES, J. B. P.; MARTINO, H. S. D. Determinação da fração da fibra alimentar solúvel em raiz e farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) pelo método enzimático-gravimétrico e cromatografia líquida de alta eficiência. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 69, n. 2, p. 93-88, 2010.

VILHENA, S. M. C.; CÂMARA, F. L.A.; KAKIHARA, S. T. O cultivo de yacon no Brasil, **Horticultura Brasileira**, v. 18, n. 1, p.5-8, 2000.

WATERHOUSE, A. Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, p.3-5, 2006.

ZANATTA, C. L.; SCHLABITZ, C.; ETHUR, E. M. Physico-chemical and microbiological evaluation of flour obtained from vegetable not conforming to marketing. **Alimentação e Nutrição**, Araraquara, v. 21, n. 3, p. 459-468, 2010.

ZAPANA, R. R.; ARROYO, G. A. Evaluación químico bromatológica de las variedades yurac llajum, qello llajum y yurac checche de *Smallanthus sonchifolius* (poepp & endl).h. Robinson (yacón) procedente de puno. **Ciencia e Investigación**; v. 13, n. 2, p. 72-76, 2010.