

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

VALESCA KOTOVICZ

**OTIMIZAÇÃO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E SECAGEM
DO YACON (*Polymnia sonchifolia*)**

CURITIBA
2011

VALESCA KOTOVICZ

OTIMIZAÇÃO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E SECAGEM
DO YACON (*Polymnia sonchifolia*)

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Departamento de Engenharia Química, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Lucia Masson
Co-Orientadora: Dr^a. Luciana S. N. Ellendersen

CURITIBA
2011

K87

Kotovicz, Valesca

Otimização da desidratação osmótica e secagem do yacon (*polymnia sanchifolia*)
[manuscrito] / Valesca Kotovicz. – Curitiba, 2011.
88f. . : il. [algumas color.] ; 30 cm.

Impresso.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia,
Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos, 2011.

Orientadora: Maria Lucia Masson -- Co-orientadora: Luciana S. N. Ellendersen.

1. Yacon (*Polymnia sonchifolia*) - Desidratação. 2. Alimentos – desidratação. I.
Universidade Federal do Paraná. II. Masson, Maria Lúcia. III. Ellendersen, Luciana S.
N. IV. Título.

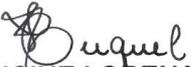
CDD: 664.842

VALESCA KOTOVICZ

**OTIMIZAÇÃO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E SECAGEM DO
YACON (*Polymnia sonchifolia*).**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:


Orientadora: Prof.^a. Dr.^a. MARIA LUCIA MASSON
Setor de Tecnologia, UFPR


Prof.^a. Dr.^a. FRANCINE LORENA CUQUEL
Setor de Ciências Agrárias, UFPR


Prof. Dr. MARCELO KAMINSKI LENZI
Setor de Tecnologia, UFPR

Curitiba, 28 de fevereiro de 2011.

A Deus.
Aos meus pais, Geraldo e Marli.
A minha família, aos meus irmão.
Aos meus verdadeiros amigos.
Por todo o amor, por quem sou e
por tudo o que alcancei.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, benção e proteção.

Aos meus pais, Geraldo e Marli Kotovicz pelo amor e compreensão incondicional, pelo incentivo, confiança e carinho.

A professora Maria Lúcia Masson e Luciana S. N. Ellendersen, que acreditaram em mim, pela orientação, apoio, incentivo e amizade durante a realização deste trabalho.

A todos os professores que me ajudaram, sem medir esforços, esclareceram muitas dúvidas e possibilitaram a realização deste trabalho.

Aos amigos e colegas da pós-graduação, pelo companheirismo, ajuda, incentivo e principalmente pela amizade, pela alegria em dividir essas horas de trabalho comigo.

As amigas de república, pela amizade, apoio e compreensão em nosso apartamento, dividindo comigo muito mais que despesas, dividindo alegrias e tristezas.

As minhas queridas amigas são-bentenses, pela amizade e companhia nos finais de semana, por acreditarem em mim e saberem sempre manter o bom humor.

A todos os funcionários do PPGTA, que me ajudaram, pelo empenho e auxílio em diversas atividades.

Ao CEPPA, pela colaboração e ajuda na realização de algumas análises.

Ao Laboratório de Estatística Aplicada – LEA/UFPR, pela parceria e importante colaboração para este trabalho, em especial ao professor Cesar Augusto Taconeli, e aos acadêmicos Mariana das Mercês Clarindo e Thiago de Farias Pires.

Ao Laboratório de Tecnologia Ambiental – LTA/UFPR, pela disponibilidade e ajuda.

Aos demais amigos e colegas que de alguma forma contribuíram no desenvolvimento deste trabalho.

À CAPES e ao REUNI, pelo auxílio financeiro.

Muito Obrigada!

Um pouco de ciência nos afasta de
Deus. Muito, nos aproxima.

Louis Pasteur

RESUMO

O yacon (*Polymnia sonchifolia*) é uma raiz tuberosa com propriedades funcionais devido aos carboidratos de reserva que o compõem, especificamente, as cadeias de frutooligossacarídeos (FOS). Devido ao seu elevado teor de água, em média 90%, o yacon é suscetível a uma rápida degradação e a uma vida útil de aproximadamente sete dias. Uma alternativa para manter o yacon próprio para consumo por maior período, conservando suas propriedades, é realizar a sua desidratação. Visando a obtenção de um produto com máxima perda de água e mínima incorporação de sólidos, este trabalho teve como objetivo a otimização do processo de desidratação osmótica de yacon, utilizando a Metodologia de Superfície de Resposta (SR). Foram analisados os parâmetros perda de umidade (PU), incorporação de sólidos (IS) e atividade de água (A_w) das fatias de yacon durante o processo de desidratação osmótica, tendo como variáveis independentes a temperatura de desidratação (30-50°C), a concentração da solução de frutose (40-68%p/p) e a utilização de revestimento com cobertura comestível de alginato de sódio. Foram construídos modelos matemáticos de primeira ordem descrevendo o efeito das variáveis independentes do processo. Aplicando a SR, as condições ótimas de desidratação foram: revestimento com alginato de sódio, em solução a 68°Brix e temperatura de 30° C por 60 minutos. Em relação à perda de água, a concentração de frutose foi o fator mais significativo; e para a incorporação de sólidos o revestimento, seguido da temperatura e concentração. A atividade de água final do produto foi afetada pela temperatura, pela concentração da solução e pela presença da cobertura. Além disso, o modelo para atividade de água foi o único que apresentou efeito significativo da interação entre o revestimento e a concentração da solução desidratante. No processo de secagem, o aumento da temperatura do ar da estufa reduziu o tempo desta etapa e a A_w final do produto. Em relação aos modelos que descrevem as isotermas, o modelo de Oswin apresentou o melhor ajuste para o yacon desidratado e seco.

Palavras-chave: frutose, perda de umidade, incorporação de sólidos, atividade de água, superfície de resposta, isotermas de sorção.

ABSTRACT

Yacon (*Polymnia sonchifolia*) is a tuberous root with functional properties because of his reserved carbohydrates, specifically, the fructooligosaccharides (FOS) chains. The yacon contain approximately 90% of water, it promotes his quickly degradation and the shelf life is around of seven days. An alternative to keep the yacon fit for a longer period and retaining his properties is the dehydration. With the intent to obtaining a product with high moisture loss and minimized solid incorporation, this study aimed to optimize the osmotic dehydration of yacon process applying the response surface methodology (RSM). Samples were analyzed for moisture loss (ML), solid incorporation (SI) and water activity (A_w) of the yacon slices during the process, the independent variables were the dehydration temperature (30-50°C), the concentration of the fructose osmotic solution (40-68%p/p) and the use of sodium alginate cover. Mathematical models of first order were developed describing the effect of the independent variables of the process. Applying RSM, the best conditions for dehydration were: cover with sodium alginate, 68°Brix solution and 30°C for 60 minutes. For the ML, the fructose concentration was the most significant factor; and for the solid incorporation the cover, followed by the temperature and concentration. The final A_w of the product was affect by temperature, solution concentration and the presence of the cover. Moreover, the model for A_w was the only with significant effect of the interaction between the cover and the solution concentration. The increase of the stove air temperature reduced the drying time and the final A_w of the product. Finally the models that describe the isotherms, the Oswin model produced the best fit for yacon dehydrated and dry.

Key-words: fructose, moisture lost, solid incorporation, water activity, response surface methodology, isotherms.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - PARTE AÉREA E PARTE SUBTERRÂNEA DA PLANTA DO YACON.....	18
FIGURA 02 – RAIZ TUBEROSA DE YACON <i>IN NATURA</i>	19
FIGURA 03 - PRODUTOS PROCESSADOS DE YACON, AMOSTRAS DO BRASIL, PERU E JAPÃO.....	20
FIGURA 04 - ISÔMEROS DO FRUTANO MONOFRUTOSIL-SACAROSE.....	21
FIGURA 05- ESTRUTURA QUÍMICA DA INULINA.....	23
FIGURA 06- CURVA TÍPICA DE SECAGEM.....	35
FIGURA 07- TAXAS GENERALIZADAS DE REAÇÕES DE DETERIORAÇÃO EM ALIMENTOS COMO FUNÇÃO DA AW EM TEMPERATURA AMBIENTE.....	37
FIGURA 08- CLASSIFICAÇÃO DAS ISOTERMAS DE BRUNAUER (1940).....	40
FIGURA 09- FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE RAÍZES DE YACON (<i>Polymnia sonchifolia</i>).....	43
FIGURA 10- SECADOR CONVECTIVO UTILIZADO PARA SECAGEM DAS RAÍZES DE YACON (A), E ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO SECADOR CONVECTIVO (B).....	46
FIGURA 11 – ESTUFA B.O.D. UTILIZADA PARA ELABORAÇÃO DAS ISOTERMAS DE SORÇÃO.....	49
FIGURA 12– PERDA DE UMIDADE (%) E INCORPORAÇÃO DE SÓLIDOS (%) DAS RAÍZES DE YACON NOS DIFERENTES PRÉ-TRATAMENTOS SEM REVESTIMENTO, EM FUNÇÃO DO TEMPO.....	55
FIGURA 13– PERDA DE UMIDADE (%) E INCORPORAÇÃO DE SÓLIDOS (%) DAS RAÍZES DE YACON NOS DIFERENTES PRÉ-TRATAMENTOS COM REVESTIMENTO, EM FUNÇÃO DO TEMPO.....	55
FIGURA 14– ATIVIDADE DE ÁGUA DAS RAÍZES DE YACON NOS DIFERENTES PRÉ-TRATAMENTOS DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA, EM FUNÇÃO DO TEMPO.....	57
FIGURA 15- CURVAS DE NÍVEL E SUPERFÍCIE AJUSTADAS PARA O MODELO DE PERDA DE UMIDADE DAS RAÍZES DE YACON, DESIDRATADAS OSMOTICAMENTE COM REVESTIMENTO.....	62
FIGURA 16- CURVAS DE NÍVEL E SUPERFÍCIE AJUSTADAS PARA O MODELO DE PERDA DE UMIDADE DAS RAÍZES DE YACON, DESIDRATADAS OSMOTICAMENTE SEM REVESTIMENTO.....	63

FIGURA 17- CURVAS DE NÍVEL E SUPERFÍCIE AJUSTADAS PARA O MODELO DE INCORPORAÇÃO DE SÓLIDOS DAS RAÍZES DE YACON, DESIDRATADAS OSMOTICAMENTE COM REVESTIMENTO.....	65
FIGURA 18- CURVAS DE NÍVEL E SUPERFÍCIE AJUSTADAS PARA O MODELO DE INCORPORAÇÃO DE SÓLIDOS DAS RAÍZES DE YACON, DESIDRATADAS OSMOTICAMENTE SEM REVESTIMENTO.	65
FIGURA 19- CURVAS DE NÍVEL E SUPERFÍCIE AJUSTADAS PARA O MODELO DE ATIVIDADE DE ÁGUA DAS RAÍZES DE YACON, DESIDRATADAS OSMOTICAMENTE COM REVESTIMENTO.....	68
FIGURA 20- CURVAS DE NÍVEL E SUPERFÍCIE AJUSTADAS PARA O MODELO DE ATIVIDADE DE ÁGUA DAS RAÍZES DE YACON, DESIDRATADAS OSMOTICAMENTE SEM REVESTIMENTO.	68
FIGURA 21– VARIAÇÃO DA ATIVIDADE DE ÁGUA DAS RAÍZES DE YACON DURANTE O PROCESSO DE SECAGEM PARA OS ENSAIOS SEM REVESTIMENTO, EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA	71
FIGURA 22– VARIAÇÃO DA ATIVIDADE DE ÁGUA DAS RAÍZES DE YACON DURANTE O PROCESSO DE SECAGEM PARA OS ENSAIOS COM REVESTIMENTO, EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA	72
FIGURA 23- CURVA DE SECAGEM DAS RAÍZES DE YACON EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA, PARA OS ENSAIOS SEM REVESTIMENTO.....	73
FIGURA 24- CURVA DE SECAGEM DAS RAÍZES DE YACON EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA, PARA OS ENSAIOS COM REVESTIMENTO.....	74
FIGURA 25 - YACON SUBMETIDO AO PRÉ-TRATAMENTO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COM FRUTOSE E AO PROCESSO DE SECAGEM CONVECTIVA: (A) SEM COBERTURA, (B) COM COBERTURA DE ALGINATO DE SÓDIO.	75
FIGURA 26– ISOTERMAS DE SORÇÃO DO YACON DESIDRATADO AJUSTADAS PELOS MODELOS DE BAG, BET E OSWIN, EM FUNÇÃO DA ATIVIDADE DE ÁGUA DOS SAIS.....	78
FIGURA 27– ISOTERMAS DE SORÇÃO DO YACON SECO AJUSTADAS PELOS MODELOS DE BAG, BET E OSWIN, EM FUNÇÃO DA ATIVIDADE DE ÁGUA DOS SAIS.....	78

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – TRATAMENTOS APLICADOS AS RAÍZES DE YACON (<i>Polymnia sonchifolia</i>) NOS ENSAIOS DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA	44
TABELA 2 - RECOMENDAÇÃO PARA PREPARO DE SOLUÇÕES SATURADAS DE SAIS A 25°C.....	47
TABELA 3 - ATIVIDADE DE ÁGUA CORRESPONDENTE AOS SAIS UTILIZADOS, A 25°C	48
TABELA 4 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO YACON <i>IN NATURA</i>	51
TABELA 5 – PERDA DE UMIDADE, INCORPORAÇÃO DE SÓLIDOS E ATIVIDADE DE ÁGUA PARA OS DIFERENTES PRÉ-TRATAMENTOS EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DA SOLUÇÃO OSMÓTICA E DA TEMPERATURA, APÓS 60 MINUTOS DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA.....	58
TABELA 6 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA E FALTA DE AJUSTE PARA O MODELO DE PERDA DE UMIDADE DAS RAÍZES DE YACON	61
TABELA 7– ANÁLISE DE VARIÂNCIA E FALTA DE AJUSTE PARA O MODELO DE INCORPORAÇÃO DE SÓLIDOS DAS RAÍZES DE YACON.....	64
TABELA 8 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA E FALTA DE AJUSTE PARA O MODELO DE ATIVIDADE DE ÁGUA DAS RAÍZES DE YACON	67
TABELA 9- VARIAÇÃO DA UMIDADE E DA ATIVIDADE DE ÁGUA DAS RAÍZES DE YACON DURANTE O PROCESSO DE SECAGEM SEM E COM REVESTIMENTO, EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA	70
TABELA 10– UMIDADE DE EQUILÍBRIO DO YACON DESIDRATADO E SECO ATINGIDA EM ESTUFA B.O.D. A 25°C, EM FUNÇÃO DA ATIVIDADE DE ÁGUA DOS SAIS	76
TABELA 11– VALORES DOS PARÂMETROS DOS MODELOS DE ISOTERMAS DE SORÇÃO ESTIMADOS PARA AS RAÍZES DE YACON DESIDRATADAS E SECAS	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Aw	Atividade de água
DP	Desvio Padrão
FOS	Frutooligossacarídeo
GP	Grau de polimerização
IDR	Ingestão Diária Recomendada
IS	Incorporação de sólidos
POD	Peroxidase
PPO	Polifenoloxidase
PU	Perda de umidade
PVC	Cloreto de polivinila
SR	Superfície de resposta
UR _{amb}	Umidade relativa do ambiente
URE	Umidade relativa de equilíbrio
X _{eq}	Umidade de equilíbrio
X _m	Umidade da monocamada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 O YACON	17
3.2 FRUTANOS	21
3.2.1 Química dos frutanos	21
3.2.2 Caracterização dos frutanos	24
3.2.3 Efeitos benéficos dos frutanos	25
3.3 INATIVAÇÃO ENZIMÁTICA	28
3.4 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA	29
3.5 SECAGEM	34
3.6 ATIVIDADE DE ÁGUA	36
3.6.1 Isoterma de Sorção	38
4 MATERIAL E MÉTODOS	41
4.1 MATERIAL	41
4.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA MATÉRIA-PRIMA	41
4.3 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA	42
4.4 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	44
4.5 SECAGEM	45
4.6 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS	47
4.7 ISOTERMAS DE SORÇÃO	47
5 RESULTADOS	51
5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA MATÉRIA-PRIMA	51
5.2 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA	54
5.2.1 Efeitos das variáveis sobre as respostas	54
5.2.2 Otimização	60
5.2.2.1 Modelos para os parâmetros da desidratação osmótica	60
5.3 SECAGEM	70
5.4 ISOTERMAS DE SORÇÃO	76
6 CONCLUSÕES	80
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

1 INTRODUÇÃO

A grande preocupação em todo o mundo com a qualidade de vida e com a saúde tem gerado aumento na atenção da população para com os alimentos que consome. Em resposta à grande demanda dos alimentos mais saudáveis e de calorias controladas, o cultivo e consumo do yacon (*Polymnia sonchifolia*) vêm ganhando espaço no Brasil, desde o início dos anos 90.

O yacon é originário das florestas úmidas localizadas nas montanhas do Peru e da Bolívia, no Brasil é cultivado comercialmente no estado de São Paulo, onde em 1996 a produtividade era de 100 t/ha em Capão Bonito-SP (KAKIHARA *et al.*, 1996 citado por GRAU *et al.*, 1997). O yacon é uma raiz tuberosa com propriedades funcionais devido aos carboidratos de reserva que o compõem, especificamente, as cadeias de frutooligossacarídeos (FOS) (ASAMI *et al.*, 1989; OYAMA *et al.*, 1990 – citados por GRAU *et al.*, 1997). Estas possuem funções prebióticas que ajudam na manutenção da flora intestinal, promovendo o crescimento de microrganismos benéficos, os probióticos, que reduzem o pH intestinal, ajudam a reduzir o colesterol no sangue, previnem o câncer de intestino entre outras ações. Devido a estes efeitos favoráveis ao sistema digestivo, o yacon é considerado um alimento funcional prebiótico (GIBSON; ROBERFROID, 1995).

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. O yacon é consumido tradicionalmente na forma *in natura*, mas também é encontrado na forma de desidratado, com alto valor agregado no comércio internacional, como no Chile e na Alemanha e também é utilizado com ingrediente em formulações de produtos para diabéticos, como por exemplo, geléia e xarope de yacon (MOURA, 2004).

De acordo com pesquisas realizadas por Graefe (2004), a concentração dos prebióticos no yacon diminui com o decorrer do tempo de armazenamento pós-colheita devido a sua despolimerização. Assim, aproveitar esta raiz tuberosa com sua total funcionalidade dependeria de um consumo imediato após a sua colheita ou seu beneficiamento. Uma alternativa para manter o yacon próprio para consumo por maior período, conservando suas propriedades, é realizar a desidratação e/ou secagem desta matéria-prima.

A secagem de alimentos é uma tecnologia antiga que vêm sendo constantemente estudada e aperfeiçoada para obtenção de produtos com maior qualidade em menor tempo de processamento. Um dos métodos de secagem inclui a desidratação osmótica como pré-tratamento a outros processos como a liofilização, secagem à vácuo, secagem convectiva entre outras. Ela vem sendo muito pesquisada devido a sua característica de preservação dos atributos sensoriais dos alimentos, como cor, sabor e textura. Uma das grandes vantagens é a retirada de água do produto sem que ocorra sua mudança de fase, o que economiza energia e na secagem convectiva, menores teores de umidade são alcançadas em menor tempo.

Assim, o desenvolvimento de yacon osmoticamente desidratado em frutose além de ser uma alternativa de conservação, é interessante para o desenvolvimento de um produto com açúcar de baixa ingestão calórica como opção para diabéticos e consumidores afins.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Otimizar o processo de desidratação osmótica do yacon em função da concentração da solução osmótica, da temperatura e do revestimento, e otimizar o processo de secagem em função da temperatura.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar físico-quimicamente o yacon;
- Definir a condição ótima para a obtenção de yacon osmoticamente desidratado com frutose;
 - Verificar a influência da concentração de soluto, temperatura e presença de revestimento sobre o tempo e os parâmetros (perda de umidade, incorporação de sólidos e atividade de água) da desidratação osmótica;
 - Construir modelos matemáticos capazes de prever a perda de umidade, a incorporação de sólidos e a atividade de água do material desidratado;
 - Verificar a influência da temperatura sobre o tempo de secagem convectiva e na atividade de água;
 - Construir as isotermas de sorção do yacon desidratado e seco.

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O YACON

Originário das florestas úmidas das montanhas do Peru e da Bolívia, o yacon teve seu cultivo direcionado para o norte e o sul, ao longo dos Andes (SANTANA; CARDOSO, 2008). No Brasil foi introduzido no início dos anos 90, onde o consumo expressivo partiu em meados do ano 2000 e sendo sua raiz popularmente conhecida como batata yacon ou batata “diet”.

De acordo com Grau *et al.* (1997), o yacon foi inicialmente classificado como pertencente ao gênero *Polymnia* (Compositae, Heliantheae, subtribo Melampodinae), um gênero criado por Linnaeus em 1751, e mantido como *Polymnia* na primeira revisão moderna do gênero, feita por Wells em 1967. No entanto, uma avaliação diferente foi adotada por Robinson em 1978, num estudo mais recente, o qual restabeleceu o gênero *Smallanthus* – considerando que há diferenças importantes separando os gêneros *Polymnia* e *Smallanthus* - proposto por Mackenzie em 1933. A proposta de classificação de Robinson vem ganhando aceitação pelos autores norte americanos, mas ainda vem sendo muito utilizada a classificação como *Polymnia*.

As espécies têm recebido vários nomes na linguagem andina dominante, como *Aricoma* e *Aricuma* que são usados em certas áreas da Bolívia. A palavra *yacon*, com algumas diferenças regionais de pronúncia, é utilizada desde o Peru até o norte da Argentina. O termo *Arboloco* usado na Colômbia sugere uma poderosa influência espanhola e também recebeu nomes em outras linguagens européias, como *Poire de terre* e *Yacon strawberry* (GRAU *et al.*, 1997; MANRIQUE *et al.*, 2004).

Botanicamente o yacon é uma planta perene, atingindo de 1,5 a 3,0m de altura. Seu sistema radicular é composto de 4 a 20 raízes, que podem atingir 25 cm de comprimento por 10 cm de diâmetro (Figura 01). Nas raízes, o armazenamento de nutrientes se dá no tecido parenquimatoso que cresce a partir do córtex radicular e particularmente no cilindro vascular. O parênquima acumula hidratos de carbono e, em alguns casos, pigmentos típicos (GRAU *et al.*, 1997).



FIGURA 01 - PARTE AÉREA E PARTE SUBTERRÂNEA DA PLANTA DO YACON
FONTE: Yacon syrup (2010)

Suas raízes tuberosas são compostas principalmente de água, 83 a 90% do peso fresco, fato que proporciona baixo valor energético (SANTANA; CARDOSO, 2008) e, carboidratos, em especial por frutose, glicose, sacarose, oligossacarídeos de baixo grau de polimerização (GP 3-10 frutanos), além de amido e inulina (ASAMI *et al.*, 1989; OYAMA *et al.*, 1990 – citados por GRAU *et al.*, 1997) sendo este último considerado o principal componente que se acumula em plantas da família Compositae. No caso do yacon, os oligofrutanos com baixo grau de polimerização podem atingir até 67% da matéria seca colhida (ASAMI *et al.*, 1991 – citado por GRAU *et al.*, 1997). Esses oligossacarídeos purificados têm sido identificados como beta (2→1) com sacarose terminal (GRAU *et al.*, 1997).

Normalmente a porcentagem dos açúcares das raízes varia de forma significativa em função de fatores como cultivar, a época de cultivo e colheita, o clima e a temperatura na pós-colheita (SANTANA; CARDOSO, 2008). Além dos carboidratos acumulados, as raízes ainda contêm fibras, vitaminas e sais minerais. (CALVINO, 1940 – citado por GRAU *et al.*, 1997).

A raiz tuberosa produzida pela planta do yacon possui sabor semelhante ao de frutas como o melão, com polpa levemente amarelada, crocante e aquosa (VALENTOVÁ; ULRICHOVÁ, 2003; MANRIQUE; HERMANN, 2004). Quando armazenadas tendem a apresentar sabor amiláceo, motivo pelo qual são expostas à

luz solar por muitos dias após a colheita a fim de incrementar seu gosto doce, técnica conhecida como *soleado* (GRAEFE *et al.*, 2004) e, normalmente são consumidas cruas e descascadas, uma vez que a casca possui sabor resinoso. Outras formas de consumo compreendem a cocção a vapor, em água, ou em fritura (SANTANA; CARDOSO, 2008).

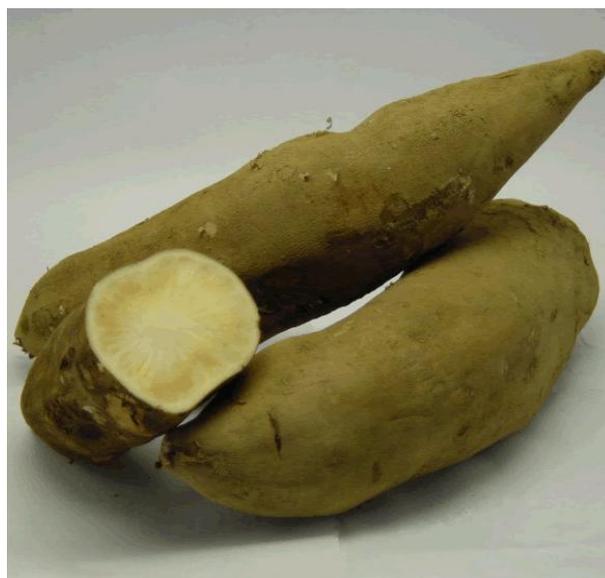


FIGURA 02 – RAIZ TUBEROSA DE YACON *IN NATURA*
FONTE: MAURER, 2010

Terapeuticamente a raiz do yacon é consumida por diabéticos, pessoas com problemas digestivos e renais (MANRIQUE *et al.*, 2004) . As folhas também são secas e utilizadas no preparo de chás as quais tem sido atribuída propriedade antidiabética (KAKIHARA *et al.*, 1996 – citado por GRAU *et al.*, 1997), propriedade comprovada em pesquisa de Valentová *et al.*, 2008.

É possível processar o yacon de diferentes formas: o suco obtido por esmagamento das raízes que pode ser fervido e concentrado para produzir blocos sólidos de cor marrom-escuro, denominados *chancaca*, semelhantes às rapaduras obtidas por concentração do caldo da cana-de-açúcar (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1989 – citado por GRAU *et al.*, 1997). O suco também pode ser concentrado a baixa pressão obtendo como produto final um xarope denso com baixo teor energético (CHAQUILLA, 1997 – citado por GRAU *et al.*, 1997). E,

pesquisas têm sido desenvolvidas a fim de oferecer uma diversificação de produtos a base de yacon, como desidratado osmoticamente com sorbitol (MOURA, 2004), geléia de yacon (PRATI *et al.*, 2009), suco de yacon (NEVES *et al.*, 2005), xarope de yacon (GENTA *et al.*, 2009), yacon minimamente processado (MICHELS, 2005).



FIGURA 03 - PRODUTOS PROCESSADOS DE YACON, AMOSTRAS DO BRASIL, PERU E JAPÃO
FONTE: MANRIQUE, 2004

É importante salientar que o yacon tem poucas calorias, mas possui as fibras necessárias para auxiliar no combate ao estresse de pessoas com estilo de vida sedentário combinado a um consumo excessivo de carboidratos e gorduras (GRAU *et al.*, 1997).

3.2 FRUTANOS

3.2.1 Química dos frutanos

Os frutanos são polímeros de D-frutose que consistem de séries homólogas de oligo e polissacarídeos não redutores onde cada elemento da série contém um resíduo a mais de frutose que o membro anterior. Esses polímeros de frutose carregam um resíduo de glicose unido por uma ligação do tipo α -1,2 que geralmente está localizado na extremidade da cadeia (ROBERFROID, 2007).

O frutano mais simples é o trissacarídeo monofrutosil-sacarose e são três os isômeros identificados a base de três séries homólogas de frutanos que diferem entre si pelos tipos de ligação (FORTES, 2009).

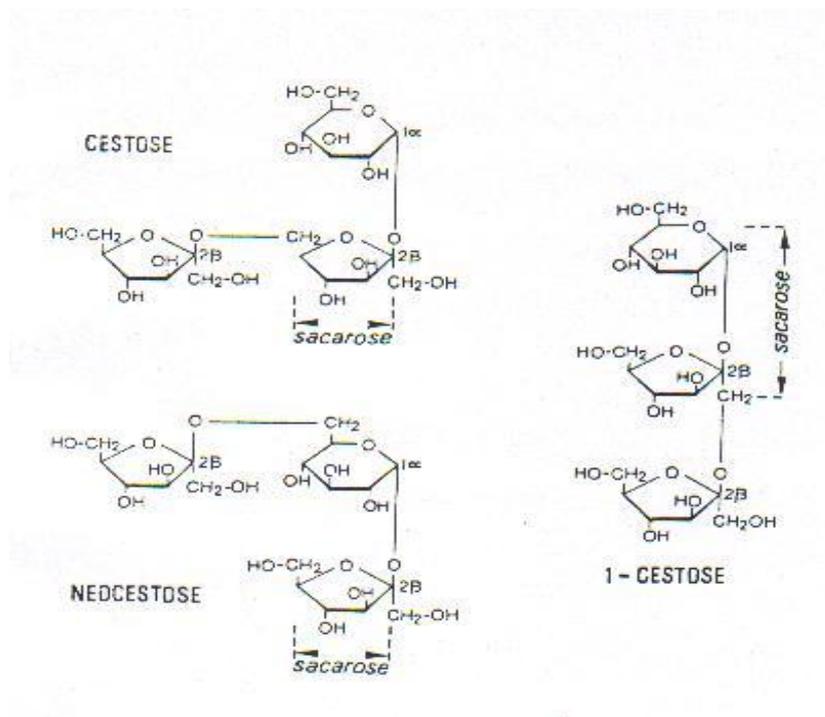
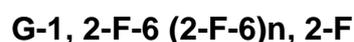


FIGURA 04 - ISÔMEROS DO FRUTANO MONOFRUTOSIL-SACAROSE
FONTE: FORTES, 2009

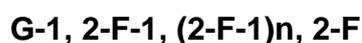
A série Cestose possui cadeias lineares tendo uma molécula de frutose na extremidade da cadeia e ligações do tipo β -2,6 entre as unidades frutose, representada por (EDELMAN; JEFFORD, 1968):



A série Neocestose difere dos outros dois isômeros por ter a glicose ligada a duas frutoses através dos carbonos 1 e 6 e o aumento da cadeia pode se dar pelas duas moléculas de frutose, uma vez que o resíduo de glicose está no interior do polímero. É representada por (EDELMAN; JEFFORD, 1968):



A série 1-Cestose também denominada Isocestose contém uma molécula de glicose na extremidade da cadeia e ligações β - 2,1 entre as frutoses. É representada por (EDELMAN; JEFFORD, 1968):



A inulina é um carboidrato pertencente ao grupo dos frutanos. Sua fórmula pode ser descrita como GF_n, onde G representa a molécula de glicose, F a molécula de frutose e n o número de unidades de frutose (SILVA, 1996; VAN LOO *et al.*, 1995; ROBINSON, 1995 - citados por OLIVEIRA *et al.*, 2004). Apesar dos frutooligossacarídeos (FOS) e a inulina possuírem a mesma composição, muitos autores os separam por diferirem em graus de polimerização (GP), Lorenzo *et al.* (1999) e Silva (1996).

FOS é o nome comum dado apenas a oligômeros de frutose que são compostos de 1-cestose (GF₂), nistose (GF₃) e frutofuranosil nistose (GF₄), em que as unidades de frutossil (F) são ligadas na posição beta- 2,1 da sacarose, o que os distingue de outros oligômeros (YUN, 1996 - citado por PASSOS, 2003).

Comercialmente, os FOS podem ser obtidos por dois processos: o 1º é o preparado por hidrólise enzimática de inulina, e consiste de unidades lineares de frutossil com ou sem uma unidade final de glicose. O grau de polimerização desses FOS varia entre 1 e 7 unidades de frutossil (ROBERFROID, 1993 - citado por PASSOS, 2003). O 2º grupo é preparado por reação enzimática de transfrutossilacção em resíduos de sacarose, e consiste tanto de cadeias lineares como de cadeias ramificadas de oligossacarídeos, com grau de polimerização variando entre 1 e 5 unidades de frutossil (HIDAKA *et al.*, 1986, HARTEMINK *et al.*, 1997 - citados por PASSOS, 2003).

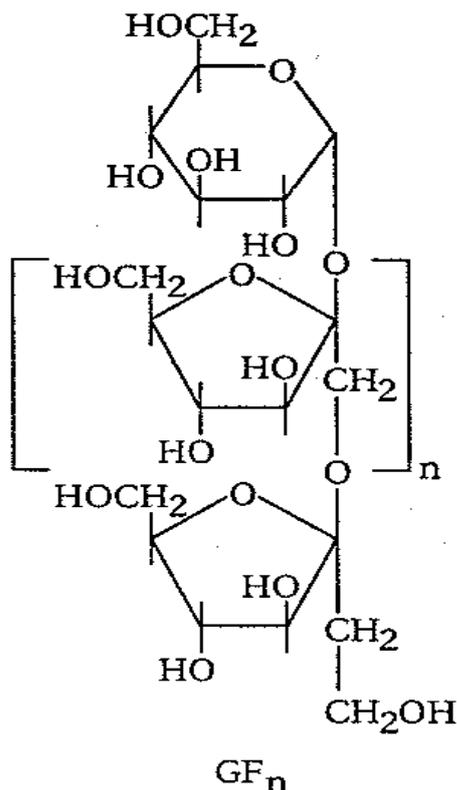


FIGURA 05- ESTRUTURA QUÍMICA DA INULINA
 FONTE: ROBERFROID, 1993

Já a inulina, pode ser obtida através da extração de fontes naturais, sendo a reserva em energia presente em mais de 36.000 plantas (ROBERFROID, 1993 - citado por PASSOS, 2003). As fontes mais comuns de inulina são a cebola (2-6%), alho (9-16%), alho-poró (3-10%), banana (0,3-0,7%), aspargos (10-15%), alcachofra de Jerusalém (15-20%), com GP médio de 6, chicória (13-20%), com GP médio de 10 a 14, trigo (1-4%) e a dália, com GP médio de 20 (AVIGAD; DEY, 1997; LAURENZO *et al.*, 1999, SILVA, 1996 - citados por OLIVEIRA *et al.*, 2004, STEVENS *et al.*, 2001, BOSSCHER *et al.*, 2006). Os FOS também podem ser encontrados no mel (STEYN, 1973 – citado por PASSOS, 2003), no açúcar mascavo, em raízes tuberosas como o yacon (OHYAMA *et al.*, 1990, FUKAI *et al.*, 1993, GOTO *et al.*, 1995 – citados por PASSOS, 2003), e em bulbos como os de lírios vermelhos (UCHIYAMA *et al.*, 1985 – citado por PASSOS, 2003).

A inulina constitui a fração mais conhecida de frutooligossacarídeos naturais encontrados na natureza, as outras sendo denominadas de oligofrutoses e frutooligossacarídeos (FOS). Uma das definições possíveis para essas frações identifica os FOS como os polímeros com grau de polimerização de 2 a 35 e os polímeros

com GP superior a 30 estão chamados de inulina (MCKELLAR; MODLER, 1989; ROBERFROID, *et al.*, 1993 - citados por CAPITO, 2001). No entanto, na maioria das definições, os FOS possuem um GP de 3 a 9, enquanto que a inulina apresenta GP superior a 9.

O grau de polimerização (GP) dos frutanos varia de 2 a 70 e depende do tipo da planta do qual foi isolado, época de plantio, época de colheita, das condições de crescimento, idade fisiológica da planta e período de armazenagem (STEVENS *et al.*, 2000; OLIVEIRA *et al.*, 2004).

3.2.2 Caracterização dos frutanos

O interesse em caracterizar e avaliar as concentrações de frutanos em produtos botânicos é devido à valorização que tal ingrediente confere ao alimento por ser considerado uma fibra solúvel e um método aplicável a este objetivo consiste na hidrólise enzimática, reduzindo-os a frutose e glicose seguida da medida destes monossacarídeos. Antecipadamente são determinadas as concentrações de sacarose, frutose e glicose e pelo cálculo da diferença é verificada a concentração (QUEMENER *et al.*, 1997). Os frutanos de alto peso molecular são precipitados pelo etanol nas análises de determinação da concentração de fibra dietética proposta pela AOAC. Os oligofrutanos permanecem em solução e isto introduz erros analíticos que justificam o procedimento de efetuar tratamento nas amostras de materiais com uma frutanasase que catalise a despolimerização dos frutanos e permita a sua completa solubilização.

McCleary e Blakeney (1999) propõem a utilização de enzimas inulinases de atividades tanto da extremidade redutora do oligossacarídeo (exo-enzima) como de hidrólise randômica na cadeia dos frutanos (endo-enzima). No estudo proposto, realizam a hidrólise prévia de amidos, sacarose e posteriormente dos frutanos utilizando exo e endo-inulinases, pullulanase, β -amilase, maltase e sucrase produzidas pela Megazyme International Ireland Ltd.

Vendrell-Pascuas *et al.* (2000), estuda um método em que utiliza cromatografia líquida de alta resolução com um detector de índice de refração para determinar concentrações de frutanos em alimentos embutidos cárneos. Aplica

inulinases e avalia concentrações de sacarídeos para cálculo da quantidade de frutanos.

Uma técnica analítica aplicável à caracterização da composição molecular dos frutanos foi estudada por Chatterton *et al.* (1994) utilizando cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) em coluna aniônica e detector de pulso amperométrico (PAD). Neste método a fase móvel foi solução de NaOH 0,15M com pH 13-14 que altera a configuração dos grupos hidroxilas possibilitando sua retenção na fase estacionária. A detecção apresenta alta resolução e, portanto exige maior rigor nas atividades analíticas.

Kim *et al.* (1997) utiliza método de cromatografia líquida com uma coluna da Bio Rad Aminex HPX-42C tendo como detector Índice de Refração, água como fase móvel a 0,6 ml/min e temperatura da coluna a 85°C. Analisaram inulinas extraídas de chicória e a separação produzida foi até GP 7, ou seja, os oligofrutanos de pequena cadeia puderam ser identificados e quantificados. Em 2001, Zuleta e Sambucetti também estudaram esta técnica e utilizaram o método com coluna Bio Rad Aminex HPX-87C e um detector de índice de refração, a fase móvel usada foi água a 85°C com taxa de fluxo de 0,6 ml/min.

3.2.3 Efeitos benéficos dos frutanos

Diferentemente da maioria de tubérculos e raízes que armazenam carboidratos na forma de amido, o yacon armazena essencialmente frutooligosacarídeos (FOS), açúcares que não podem ser digeridos diretamente pelo organismo humano devido à ausência de enzimas necessárias para o metabolismo destes elementos e são considerados compostos bioativos na alimentação humana (SANTANA; CARDOSO, 2008). Assim, o yacon tem sido considerado como alimento funcional em decorrência de seus componentes designados como fibras alimentares solúveis ou prebióticos. Estes, devido a sua baixa digestibilidade pelas enzimas do trato gastrointestinal humano, estimulam seletivamente o crescimento e atividade de bactérias intestinais específicas promotoras da saúde, possuem baixo valor calórico e influência sobre a função

intestinal e sobre os parâmetros lipídicos (GIBSON; ROBERFROID, 1995; GUIGOZ *et al.*, 2002).

No organismo os FOS promovem o crescimento específico de certos microrganismos, denominados probióticos, e estes favorecem inúmeros benefícios ao consumidor (PEDRESCHI *et al.*, 2003), como prevenção de cáries dentárias, redução nos níveis séricos de colesterol total e lipídeos (YAMASHITA *et al.*, 1984, HIDAKA *et al.*, 1986, MODLER *et al.*, 1990, MODLER, 1994 - citados por PASSOS, 2003).

Após a ingestão a inulina e os FOS não são quebrados no sistema digestivo humano devido à resistência à hidrólise oferecida pelas ligações α -(2,1) entre as moléculas de frutose (ROBINSON, 1995 – citado por OLIVEIRA *et al.*, 2004). Por esse motivo, não resulta em contribuição calórica nesse processo, apenas no cólon ocorre a degradação da inulina por fermentação de bactérias e, conseqüentemente, uma baixa contribuição calórica indireta (ROBERFROID *et al.*, 1993; RANHOTRA *et al.*, 1993 - citados por OLIVEIRA *et al.*, 2004).

Fisiologicamente, a inulina afeta os parâmetros do sistema digestivo, como esvaziamento gástrico, tempo de trânsito, diminuição do pH e massa fecal de forma similar às fibras dietéticas (ROBERFROID *et al.*, 1993 – citado por OLIVEIRA *et al.*, 2004), resultando em um significativo aumento da flora benéfica do trato intestinal como *Lactobacillus* e *Bifidobacteria*, e destruindo as bactérias patogênicas (PASSOS, 2003). Os *Bifidus* especificamente estimulam o sistema imunológico, a absorção de minerais e inibe o crescimento de bactérias nocivas ao organismo.

A incorporação de FOS na dieta ou uma suplementação intensificam a viabilidade e adesão das bactérias probióticas no trato gastrointestinal. Ao mesmo tempo as bactérias patogênicas, incluindo *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens* e outras têm sido inibidas concomitantemente (YAMASHITA *et al.*; 1984, WANG; GIBSON, 1993; SPIEGEL *et al.*, 1994; GIBSON; ROBERFROID, 1995; GIBSON *et al.*, 1995 - citados por PASSOS, 2003).

O equilíbrio produzido na flora gastrointestinal pelo consumo de FOS proporciona outros benefícios no metabolismo humano como a redução da pressão sanguínea em pessoas hipertensas, alteração do metabolismo de ácidos gástricos, redução da absorção de carboidratos e lipídeos, conseqüentemente normalizando a pressão sanguínea e os lipídeos séricos e, assim, melhoria do metabolismo de

diabéticos (YAMASHITA *et al.*, 1984; SPIEGEL *et al.*, 1994 – citados por PASSOS, 2003). Ainda é possível observar um aumento da digestão e metabolismo da lactose, aumento da síntese de vitaminas (principalmente do grupo B), aumento da produção de compostos imuno estimulantes, que possuem atividade antitumoral, diminuição da produção de toxinas e compostos carcinogênicos e auxílio da restauração da flora intestinal normal durante terapia com antibióticos. Ao consumo de FOS também é atribuída a redução da potencialidade de várias patologias humanas normalmente associadas com o alto número de bactérias intestinais patogênicas, como doenças autoimunes, câncer, acne, cirrose hepática, constipação, intoxicação alimentar, diarreia associada a antibióticos, problemas digestivos, alergias e intolerâncias a alimentos e gases intestinais (YUN, 1996 - citado por PASSOS, 2003).

Na indústria alimentícia a inulina é aplicada como ingrediente, sendo usada como substituto do açúcar ou da gordura, com a vantagem de não resultar em incremento calórico, e muito utilizada na produção de alimentos *light*, *no fat* ou *low fat* (OLIVEIRA *et al.*, 2004).

Os FOS possuem cerca de um terço do poder adoçante da sacarose, não podem ser considerados carboidratos ou açúcares nem fonte de energia, mas podem ser usados de modo seguro por diabéticos. Têm solubilidade maior que da sacarose, não cristalizam, não precipitam, e nem deixam sensação de secura ou areia na boca, além disso, são altamente estáveis na faixa de pH normal dos alimentos (pH entre 4,0-7,0). Os FOS não são degradados durante a maioria dos processos de aquecimento, mas podem ser hidrolisados em frutose em condições muito ácidas (pH < 3,0) e em condições de exposição prolongada de determinados binômios tempo/temperatura. Os FOS são instáveis em temperatura acima de 140°C, mas são altamente estáveis em temperatura de refrigeração por até um ano. (BORNET, 1994; YUN, 1996).

Devido a essas características, os FOS podem ser usados em formulações de sorvetes e sobremesas lácteas, em formulações para diabéticos, em produtos “funcionais” que promovam efeito nutricional adicional nas áreas de prebióticos, simbióticos, fibras dietéticas, em iogurtes, promovendo efeito simbiótico, em biscoitos e produtos de panificação, substituindo carboidratos e gerando produtos de

teor reduzido de açúcar, produtos para diabéticos, em barras de cereais, sucos e néctares frescos, produtos de confeitaria e molhos (PASSOS, 2003).

3.3 INATIVAÇÃO ENZIMÁTICA

O yacon tem sido reportado como uma boa fonte da enzima fenol oxidase, a qual catalisa a oxigenação de compostos fenólicos a quinonas que, após polimerização, apresentam os típicos pigmentos marrons ou pretos, conhecidos da oxidação enzimática de frutas e vegetais. Durante o descascamento e o processamento do yacon, quando as membranas das células são rompidas, os polifenóis e os taninos estão disponíveis para se misturar aos outros componentes, especialmente as enzimas citoplasmáticas, o que pode ocasionar um processo conhecido como oxidação enzimática e, a epiderme fica rapidamente escura quando exposta ao ar (VALENTOVÁ; ULRICHOVÁ, 2003).

A presença de compostos fenólicos, como o ácido clorogênico, e do aminoácido L-triptofano torna as raízes tuberosas do yacon suscetíveis à reação de escurecimento causada pelas enzimas peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO). Nessa reação ocorre a formação de melanina (pigmento escuro), que deprecia a qualidade do produto (PADILHA, 2009). Do ponto de vista prático, o controle do escurecimento enzimático é geralmente limitado à inibição das enzimas polifenoloxidase e peroxidase, responsáveis pela reação de escurecimento. Entre os métodos propostos para o controle da oxidação, estão: a desidratação, o armazenamento a baixas temperaturas, o tratamento térmico, a utilização de antioxidantes, a eliminação do oxigênio do meio, entre outros (MOURA, 2004).

A POD induz alterações negativas de sabor durante a estocagem, e ela é capaz de catalisar um grande número de reações oxidativas usando peróxido de hidrogênio como substrato ou, em alguns casos, oxigênio como acceptor de hidrogênio. É considerada a enzima vegetal mais estável ao calor e sua inativação tem sido usada como indicador de adequação de branqueamento. A PPO, por sua vez, promove a oxidação enzimática de compostos fenólicos, produzindo, inicialmente, quinona que rapidamente se condensa, formando pigmentos insolúveis

e escuros denominados melanina, ou reagem não enzimaticamente com aminoácidos, proteínas ou outros compostos (PADILHA, 2009).

Diferentes estudos têm demonstrado que logo após a colheita do yacon é iniciado um rápido processo de mudança na composição química dos açúcares das raízes: os açúcares polimerizados tendem a se despolimerizar com o tempo pós-colheita, isto é, os FOS são hidrolisados em açúcares simples pela ação da enzima frutano hidrolase (FH), que os converte em frutose, sacarose e glicose. Após uma semana de armazenamento à temperatura ambiente, cerca de 30 a 40% dos FOS terão sido transformados em açúcares simples (GRAEFE *et al.*, 2004).

Uma vez que os frutooligossacarídeos são açúcares não-redutores, eles apresentam a vantagem de não serem susceptíveis à reação de Maillard. Quanto à estabilidade, estes compostos são estáveis a valores de pH superiores a 3 e temperaturas de até 140°C. Desse modo, os FOS não são degradados na maioria dos processos térmicos das indústrias de alimentos (MOURA, 2004).

3.4 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

A desidratação osmótica é uma técnica usada para a conservação e concentração de frutas e vegetais realizada em um alimento sólido, inteiro ou em pedaços, em solução aquosa de açúcar e/ou sal, a alta pressão osmótica. É o método mais utilizado para redução da atividade de água, que consiste na remoção de água do material por meio de sua imersão em uma solução hiperconcentrada de um soluto. Em consequência dos gradientes de concentração existem dois principais fluxos simultâneos e em contra-corrente: a água que flui do alimento para a solução e a transferência de soluto da solução para o alimento. Este segundo (incorporação de soluto) é considerado uma desvantagem do processo, especialmente quando se busca maior similaridade com a fruta fresca; é possível, entretanto, ser reduzido através do revestimento do material com uma cobertura comestível de alta afinidade pela água, permitindo seu fluxo para o exterior da fruta, e baixa afinidade pelo soluto, reduzindo sua incorporação. A classe de compostos mais adequada aos requerimentos do processo são os polissacarídeos, entre os quais alginatos e

pectinas de baixa metoxilação, que, associados por ligações cruzadas a íons Ca^{+2} , formam fortes géis iônicos (AZEREDO, 2000; ANTONIO *et al.*, 2006).

Além destes dois fluxos, ocorre também um terceiro fluxo que está ligado à perda de alguns sólidos naturais, como açúcares, minerais, entre outros nutrientes que, embora sejam proporcionalmente insignificantes aos dois fluxos principais, podem ser importantes para as qualidades sensoriais (aroma, cor, textura) e nutricionais (mineral e vitamina) do produto (ANTONIO *et al.*, 2006).

A desidratação osmótica é um processo que remove água dos alimentos sólidos. Como a atividade de água nos alimentos está relacionada com o crescimento de microorganismos e efetivação de reações químicas, a retirada de água reduz o crescimento destes microorganismos e impede reações bioquímicas que dependem da umidade, evitando a rápida perda que ocorre nos frutos *in natura*. Portanto, é uma forma de conservação dos alimentos. Além disso, a desidratação se revelou também como uma forma de reduzir os custos energéticos, fato importante para o transporte, embalagem e armazenamento dos alimentos com alto teor de água (PARK, 2001a).

Os produtos resultantes da desidratação são classificados como: secos e desidratados. O alimento seco é o produto obtido pela perda parcial da água da vegetal maduro inteiro ou em pedaços, sendo atingido um teor de umidade final que varia de 15% a 25%. Os alimentos desidratados, de modo geral, são obtidos pela perda quase total de água do vegetal inteiro, em pedaços ou polpa, sendo o teor de umidade do produto final de no máximo 3% (TRAVAGLINI *et al.*, 1999).

A desidratação osmótica tem se apresentado como uma prática tecnológica para desenvolver produtos derivados de vegetais com valor agregado (TORREGGIANI; BERTOLO, 2001). É uma forma eficiente de remoção de umidade dos alimentos sólidos, não ocorrendo mudança de fase da água. Os alimentos têm o seu peso reduzido para aproximadamente 50% do peso original pela desidratação osmótica (PARK, 2001a). É geralmente usada como uma etapa anterior ao processo de liofilização, microondas, secagem a vácuo e secagem por ar quente (MASTRANGELO *et al.*, 2000; SERENO *et al.*, 2001), ou seja, é descrito como um pré-tratamento, um processo parcial na desidratação dos vegetais. Quando combinada à secagem convencional, esse processo permite uma maior retenção da cor natural do produto, preservação de componentes voláteis e minimização do

encolhimento, e, obviamente a redução no consumo de energia durante a etapa de secagem (EL-AQUAR, 2001 – citado por CÓRDOVA, 2006).

A técnica consiste na imersão do alimento sólido, inteiro ou em pedaços, em soluções aquosas concentradas de açúcares e/ou sais, levando a dois fluxos principais simultâneos: saída de água do produto para a solução hipertônica e saída de soluto da solução para o produto. Através desta transferência é possível se introduzir uma quantidade desejada de componentes fisiologicamente ativos (antioxidantes, vitaminas ou minerais), redutores de atividade de água (Aw) ou pH, antimicrobianos, qualquer outro soluto de interesse nutricional ou um capaz de conferir ao produto uma melhor qualidade sensorial, a fim de se obter um produto estável e de qualidade (RAOULT-WACK, 1994; FITO *et al.*, 2001). CÓRDOVA (2006) relatou, que uma alta incorporação de soluto durante o processo osmótico pode provocar modificações na composição e sabor do produto final, podendo ainda criar uma barreira na superfície do alimento, causando uma resistência adicional à transferência de massa, dificultando assim processos complementares de secagem. Assim um alto valor de perda de água com uma mínima incorporação de soluto são os parâmetros ideais para um pré-tratamento osmótico.

A remoção da água é causada pela diferença de potencial químico entre a amostra e a solução osmótica (RAHMAN, 1996). Quando frutas e vegetais são colocados em uma solução osmótica, é gerado um gradiente de concentração entre a solução e o fluido intracelular. Esta força motriz resulta na remoção de água do alimento através das membranas celulares. Essas membranas são naturalmente semi-permeáveis, permitindo que as moléculas de água passem mais facilmente do que as moléculas de soluto (OZDEMIR, 2008). Se a membrana do alimento for perfeitamente semi-permeável, o soluto será incapaz de difundir através da membrana das células. No entanto, é difícil a presença de uma membrana semi-permeável perfeita em alimentos devido à sua complexa estrutura interna, e há sempre alguma difusão de solutos para o interior dos alimentos e lixiviação de solutos do próprio alimento. Assim, o transporte de massa na desidratação osmótica é uma combinação de dois fluxos simultâneos, de transferência de água e de soluto (RAHMAN, 1996). A desidratação osmótica é uma tecnologia utilizada para desidratação de alimentos com alto teor de água. As transferências de massa de água e solutos geralmente são realizadas a uma temperatura constante e provocam

o encolhimento do produto, dependendo da concentração de sal ou açúcar na solução (CORNILLON, 2000).

A taxa de perda de água e de ganho de sólidos durante a desidratação osmótica sofre a influência dos seguintes fatores: característica do tecido vegetal, geometria do material, tipo de agente osmótico, concentração da solução, proporção alimento/solução, temperatura, tempo de imersão, pressão do sistema e agitação (SOUZA NETO, 2004). A influência desses fatores tem sido estudada na desidratação osmótica de frutas, vegetais, carnes e pescados. O estudo dos efeitos desses fatores para um produto alimentício específico fornece informações valiosas sobre as variáveis de processo mais importantes e seus níveis para otimização do processo (OZDEMIR, 2008).

O teor de umidade final dos produtos depende do método de secagem utilizado, escolhido em função das diferentes aplicações do produto. Os teores variam de 11 a 18g água/100g de peso úmido (atividade de água - $A_w = 0,5$ a $0,6$) para secagem com ar quente, menos de 40g água/100g de peso úmido ($A_w = 0,5$ a $0,87$) para desidratação osmótica, para liofilização variam 0 a 2g água/100g de peso úmido (sem açúcar) ou 9 a 14g água/100g de peso úmido (com açúcar) e 3 a 5g água/100g de peso úmido para secagem em tambor (SHI, 2008).

Este pré-tratamento de desidratação por impregnação é freqüentemente utilizado antes de processos de congelamento e secagem, porque aumenta a qualidade final do produto, reduz as necessidades de energia desses processos e possibilita uma diminuição dos custos de embalagem e transporte. A desidratação osmótica não provoca fortes alterações de textura em função do congelamento em frutas como a maçã, devido a função crioprotetora dos açúcares presentes no tecido das frutas e ajuda a manter as propriedades funcionais e sensoriais dos alimentos, especialmente em frutas e produtos hortícolas (CORNILLON, 2000; OZDEMIR, 2008). A concentração da solução osmótica, antes da desidratação, tem um efeito protetor sobre a estrutura da matéria seca, tornando-a mais flexível e menos densa. A redução na perda de aromas da fruta fresca, o aumento do teor de açúcares, e a remoção de alguns ácidos da fruta faz com que produtos concentrados osmoticamente sejam mais aceitáveis pelos consumidores (STOJANOVIC, 2007).

Apesar das vantagens a indústria não tem implementado o processo, assim a desidratação osmótica ainda parece ser um processo promissor. A principal razão

para esse desinteresse reside em uma má compreensão dos fenômenos de transferência de massa associados a ela, pois a transferência contra-corrente de dois diferentes compostos químicos não foi completamente descrita na literatura. Outra razão reside no problema de controle da concentração do xarope envolvido durante o processamento e ainda o resíduo. Além do aspecto de engenharia do processo de desidratação osmótica, é necessário uma caracterização completa das mudanças internas no produto, pois modificações celulares podem ocorrer durante a desidratação osmótica (CORNILLON, 2000).

Rastogi *et al.* (2002) propuseram uma explicação para o mecanismo de retirada de água no pré-tratamento osmótico para alimentos. Eles verificaram que depois dos estágios iniciais do processo de pré-tratamento osmótico a estrutura física do material começava a mudar, aumentando a pressão osmótica e alcançando um valor crítico que gera a desintegração e o encolhimento das células do tecido, facilitando a retirada de água. Para aumentar a difusão da água do centro do alimento seria mais difícil, pois, a pressão osmótica necessária para o rompimento das células centrais não é alcançada.

Dois métodos são utilizados para determinar a cinética de desidratação osmótica: um método contínuo, que é bastante recente, mas que promete melhorias sobre um método descontínuo. O método descontínuo é referente à forma como as medições de perda de água e ganho de sólidos são realizados em amostras separadas, suposto peças de mesma geometria e dimensões, peso, volume e teor de umidade inicial. Por outro lado, um método contínuo envolve apenas a medição da perda de peso de uma única amostra e sua umidade final no fim do processo. O método contínuo permite uma determinação mais precisa dos pontos experimentais e também ajuda na previsão das variações do teor de umidade em função do tempo (CORNILLON, 2000).

3.5 SECAGEM

A secagem é a eliminação da água do material por meio de evaporação, e provoca as mesmas alterações da desidratação osmótica, com exceção da incorporação de sólidos, assim a perda da quase totalidade da água livre presente não ocorre pela diferença de pressão osmótica, mas pela vaporização ou sublimação da água. Em secagens com ar quente esta vaporização ocorre pela diferença de temperatura entre o ar quente e o alimento determinando uma diferença de pressão de vapor entre o ar e a superfície do alimento, e, ocasionando a transferência de massa de água para o ar, na forma de vapor de água (PARK, 2001a).

Dentre as várias vantagens de se utilizar o processo de secagem são destacadas: a facilidade na conservação do produto; estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por longos períodos de tempo; proteção contra degradação enzimática e oxidativa; redução do peso; economia de energia por não necessitar de refrigeração e a disponibilidade do produto durante qualquer época do ano (PARK, 2001b).

Durante a secagem, é na superfície do material que ocorre a evaporação da água livre, a qual foi transportada do interior do sólido. Os mecanismos mais importantes 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).

Apesar das diferenças entre conteúdo inicial e final (equilíbrio) de umidade do material, da relação da água com a estrutura sólida, do tipo de material biológico e do transporte da água do interior do material até a sua superfície, a transferência de calor e de massa entre o ar de secagem e o produto é fenômeno comum a qualquer condição de secagem (BROD, 1999).

O processo de secagem, fundamentado na transferência de calor e de massa, pode ser dividido em três períodos ao longo do tempo, conforme apresentado na Figura 05 (BROD, 1999).

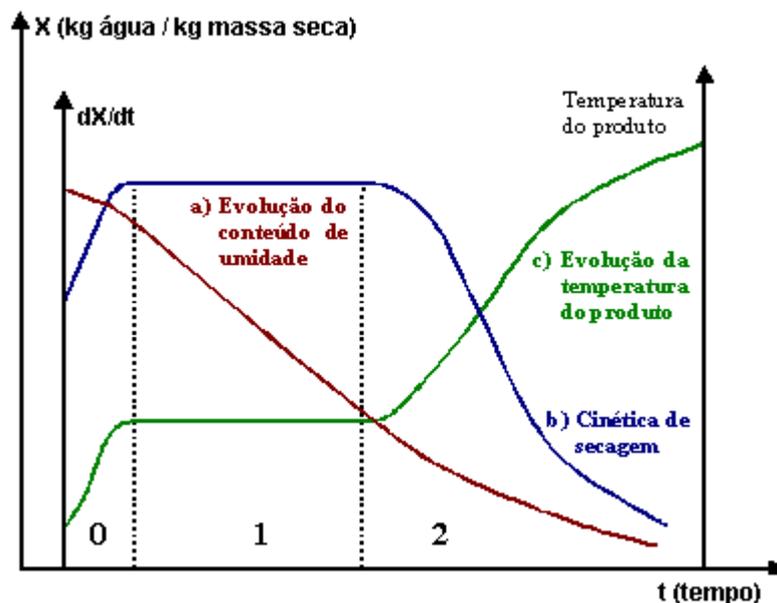


FIGURA 06- CURVA TÍPICA DE SECAGEM
 FONTE: BROD, 1999.

A curva (a) representa a diminuição do teor de água do produto durante a secagem, conteúdo de umidade do produto em base seca (X), em relação à evolução do tempo de secagem (t), isto é, é a curva obtida pesando o produto durante a secagem numa determinada condição de secagem (BROD, 1999).

A curva (b) representa a velocidade (taxa) de secagem do produto, variação do conteúdo de umidade do produto por tempo, dX/dt em relação à evolução do tempo (t), ou seja, é a curva obtida diferenciando a curva (a) (BROD, 1999).

A curva (c) representa a variação da temperatura do produto durante a secagem (variação da temperatura do produto (T) em relação à evolução do tempo t), sendo assim, é a curva obtida medindo a temperatura do produto durante a secagem (BROD, 1999).

Segundo BROD (1999) os períodos podem ser analisados da seguinte maneira:

O primeiro período representa o início da secagem. Nesse período ocorre uma elevação gradual da temperatura do produto e da pressão de vapor de água. Essas elevações têm prosseguimento até o ponto em que a transferência de calor seja equivalente à transferência de massa (água).

O segundo período é caracterizado pela taxa constante de secagem. A água evaporada é a água livre. A transferência de massa e de calor é equivalente e, portanto, a velocidade de secagem é constante. Enquanto houver quantidade de

água na superfície do produto suficiente para acompanhar a evaporação, a taxa de secagem será constante.

No terceiro período, a taxa de secagem é decrescente. A quantidade de água presente na superfície do produto é menor, reduzindo assim a transferência de massa. A transferência de calor não é compensada pela transferência de massa; o fator limitante nessa fase é a redução da migração de umidade do interior para a superfície do produto. A temperatura do produto aumenta, atingindo a temperatura do ar de secagem. Quando o produto atinge o ponto de umidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem, o processo é encerrado (BROD, 1999).

As informações acerca da umidade de equilíbrio são importantes no processamento e armazenamento dos alimentos, pois implica em alterações que o material possa sofrer. No processo de secagem, a umidade de equilíbrio é a umidade final, que o produto pode atingir se o processo for conduzido num longo período de tempo. Em uma determinada umidade relativa, na condição de equilíbrio com o ambiente, o material não perde nem ganha água, isto ocorre quando a pressão de vapor d'água na superfície do material se iguala à pressão de vapor d'água do ar que o envolve (PARK, 2001a).

3.6 ATIVIDADE DE ÁGUA

A água é um dos mais importantes componentes dos alimentos, afetando todas as suas propriedades físicas devido à sua interação com o meio, o que envolve a estrutura física, bem como a composição química do alimento (PARK, 2001a).

Portanto, o principal fator na estabilidade de um alimento não é o teor de umidade deste, mas sim a disponibilidade da água para o crescimento de microorganismos e reações químicas, conforme mostra a Figura 07 (DITCHFIELD, 2000). A atividade de água (A_w), que expressa o teor de água livre do alimento, é definida pela razão entre a pressão de vapor de água em equilíbrio sobre o alimento, e a pressão de vapor de água pura, à mesma temperatura (PARK, 2001a). A determinação da atividade de água é uma das medidas mais importantes no processamento e na análise dos materiais biológicos, devido a sua importância no

que diz respeito à qualidade e estabilidade. A afinidade existente entre a água e os outros componentes de um produto define sua higroscopicidade que é muito marcante nos produtos e a torna uma característica fundamental a influenciar os processos de manuseio, estocagem e consumo de materiais biológicos (TEIXEIRA NETO, 1993).

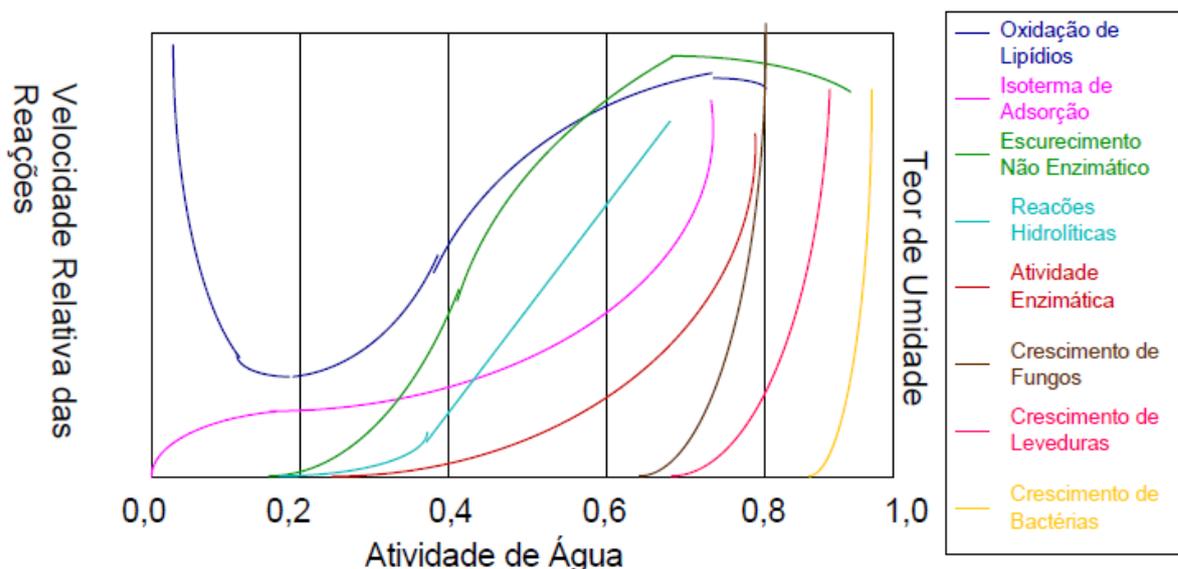


FIGURA 07- TAXAS GENERALIZADAS DE REAÇÕES DE DETERIORAÇÃO EM ALIMENTOS COMO FUNÇÃO DA AW EM TEMPERATURA AMBIENTE
 FONTE: DITCHFIELD, 2000.

No equilíbrio, existe uma relação entre a Aw de um alimento e a umidade relativa (URE) do ar (expressa em %) no ambiente fechado em que esse se encontra e, portanto, é sempre 100 vezes maior que o valor de Aw:

$$\text{URE (\%)} = A_w \times 100 \quad (1)$$

Essa relação entre URE e Aw permite prever quais alimentos irão ganhar ou perder umidade, quando forem expostos a um ar com determinada umidade (DITCHFIELD, 2000). Existem diferentes métodos que podem ser empregados para a medida da atividade de água, que podem ser complexos ou simples, dispendiosos ou não. Um dos principais métodos é a medida da umidade relativa de equilíbrio (URE) de um sólido ou líquido. Uma forma de medir a URE é por meio das Isotermas de Sorção (DITCHFIELD, 2000).

3.6.1 Isoterma de Sorção

A isoterma de sorção é uma curva que indica o conteúdo de água retida pelo alimento em função da umidade relativa do ambiente (UR_{amb}) em que se encontra, no equilíbrio e para uma determinada temperatura e pressão (DITCHFIELD, 2000; GABAS, 2002). Esta relação de equilíbrio depende da composição química dos alimentos, como sua quantidade de gordura, amido, açúcar e proteínas (PARK, 2001a). Essa relação de equilíbrio possui inúmeras aplicações no estudo de alimentos *in natura* ou processados, por exemplo, mediante a isoterma de sorção de um alimento, é possível, dado seu conteúdo de umidade, saber sua atividade de água (DITCHFIELD, 2000; GABAS, 2002).

A importância da construção dessas isotermas está na predição de alterações que o material possa sofrer se condicionado em determinada UR_{amb} . Entre as aplicações mais conhecidas, podemos encontrar o projeto de secadores, a predição das condições finais de misturas de diversos ingredientes em alimentos formulados, o projeto de embalagens e simulação de alterações de umidade que ocorrem durante a estocagem, além da predição da estabilidade e vida de prateleira do produto (GABAS, 2002; IGUEDJTAL, 2008).

As isotermas podem ser construídas de três tipos: a isoterma de adsorção, em que o alimento, de início completamente seco, é exposto a ambientes de umidade crescente; a isoterma de dessorção, em que o alimento, inicialmente muito úmido, é exposto a ambientes de umidade decrescente; e por último a isoterma de trabalho, em que se determina o conteúdo inicial de umidade da amostra e se faz a exposição aos diferentes ambientes de umidade relativa, de modo que abaixo de seu conteúdo inicial de umidade, a amostra vai sofrer dessorção e, acima, adsorção (DITCHFIELD, 2000).

Para se construir a isoterma de sorção é necessário um ambiente com umidade relativa controlada. O método de controle de umidade relativa mais comum é o que utiliza dessecadores com compostos químicos, tais como soluções aquosas de ácido sulfúrico e soluções de sais. Cada solução apresenta um grau de ajuste de umidade relativa que pode ser obtido variando-se a concentração das soluções a diferentes temperaturas (PARK, 2001a; DITCHFIELD, 2000).

No fundo dos dessecadores são colocadas soluções saturadas de sais escolhidos de forma que abranjam atividades de água de 0-1,0. As temperaturas mais comuns para levantar as isotermas estão na faixa de 20-40°C, ou seja, próximas da temperatura ambiente. Os dessecadores devem ficar em um ambiente de temperatura controlada até que o equilíbrio seja atingido. Para verificar se o equilíbrio foi alcançado, são feitas pesagens sucessivas dos recipientes com as amostras, com um intervalo de tempo suficiente entre elas, até que não haja mais variação de massa (DITCHFIELD, 2000).

As soluções saturadas de sais são consideradas como as mais adequadas, porque podem liberar ou adsorver água sem sofrer alteração da sua umidade relativa de equilíbrio, apesar de não haver concordância unânime entre os pesquisadores quanto ao valor exato de A_w de muitos sais (DITCHFIELD, 2000).

O método é trabalhoso e demorado, além de precisar ser repetido para cada alimento estudado, e para um mesmo alimento quando houver qualquer alteração em sua composição. Nas umidades relativas mais altas, existe o risco de desenvolvimento microbiano, o que pode deteriorar o alimento e alterar sua atividade de água. As vantagens do método são o baixo custo, a simplicidade instrumental e a reprodutibilidade dos resultados (DITCHFIELD, 2000).

Vários modelos já foram propostos na literatura para descrever as isotermas de sorção. 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 semi-empíricos (por exemplo, modelo de Oswin e modelo de Peleg) (IGUEDJTAL, 2008).

Brunauer *et al.* (1940) apresentou uma classificação qualitativa das isotermas de adsorção física, ilustradas na Figura 08.

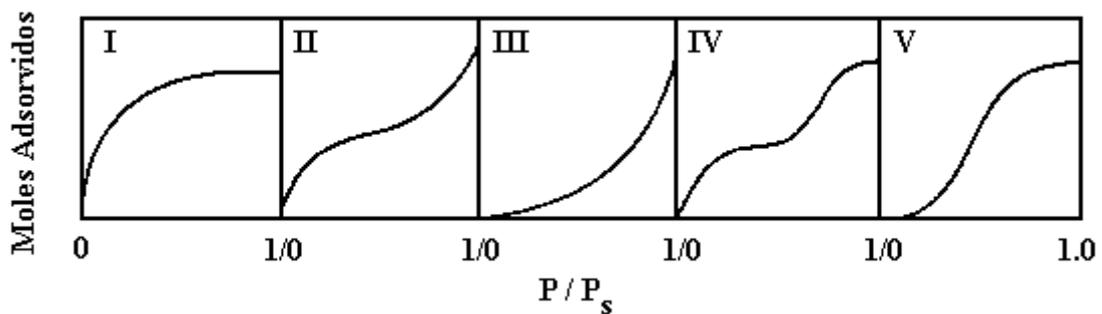


FIGURA 08- CLASSIFICAÇÃO DAS ISOTERMAS DE BRUNAUER (1940)

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 estes adsorventes há um limite de saturação devido ao total preenchimento do poro por uma única molécula de adsorbato (SCHWANKE, 2003).

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 (SCHWANKE, 2003). Hubinger *et al.* (2009) apresentaram isotermas de dessorção de filé de bonito desidratado osmoticamente e defumado, com as curvas obedecendo a um comportamento isotérmico do tipo II. As isotermas foram obtidas nas temperaturas de 5, 25, 40 e 60°C, e ajustadas pelos modelos de BET (linearizado), GAB, Henderson e Oswin (modificado).

A formação de duas camadas superficiais adsorvidas é caracterizada pela isoterma do tipo IV, onde uma 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 (SCHWANKE, 2003).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

As raízes de yacon foram adquiridas em comércio local (Curitiba - PR), sempre do mesmo estabelecimento e com procedência conhecida, tendo sido cultivadas na região de São José dos Pinhais, sob as mesmas condições e sendo da mesma variedade (*Polymnia sonchifolia*). As mesmas foram estocadas em sacos de PVC (cloreto de polivinila) em refrigerador a 5°C e submetidas a análise em até sete dias após a colheita. A seleção da matéria-prima seguiu alguns parâmetros como sua integridade física, tamanho (de 15 a 25 cm de comprimento) e ausência de rachaduras.

Como agente desidratante foi utilizada uma solução aquosa de frutose. O polissacarídeo utilizado para formação de cobertura foi alginato de sódio (Grindsted Alginate FD 175); e, como fonte de íons Ca^{+2} , o cloreto de cálcio (Merck). Os conservantes químicos usados foram: sorbato de potássio (Vetec) e metabissulfito de sódio (Fmaia); e como acidulante ácido cítrico (Vetec); todos os reagentes com grau de pureza P.A. Os reagentes foram utilizados na forma como recebidos, sem nenhum tratamento prévio.

4.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA MATÉRIA-PRIMA

Foi realizada a caracterização físico-química do yacon *in natura*, limpo e descascado. As análises físico-químicas seguiram a metodologia oficial do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 1985) e/ou AOAC (1997) para determinar umidade e substâncias voláteis, resíduo mineral fixo, gordura total, proteínas, sólidos solúveis totais, pH, açúcares redutores em glicose e açúcares não redutores em sacarose e fibra alimentar.

Os minerais presentes no yacon: cálcio, magnésio, fósforo, sódio, ferro e zinco, foram determinados pelo método de absorção atômica, segundo AOAC (1997). As análises de fibra alimentar e dos minerais foram realizados pelo Laboratório CEPPA. A determinação de fibra alimentar total foi realizada segundo procedimento da AOAC (1997), método número 991.43.

4.3 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

As raízes tuberosas foram submetidas ao seguinte processamento: (1) limpeza, descascamento e fatiamento circular com espessura de 2-3 mm (Processador de alimentos Skymesen PA-7SE) (MOURA, 2004); (2) inativação enzimática em solução aquosa de metabissulfito de sódio a 500ppm, a 100°C, por 1 minuto, conforme aplicado por AZEREDO (2000) para inativação enzimática de abacaxi; (3) transferência da amostra para um erlenmeyer contendo a solução osmótica acrescida de 0,2% de sorbato de potássio e 1% de ácido cítrico, na proporção amostra/solução osmótica de 1:3 (p/p); (4) desidratação em *shaker* (Labor Műszeripari Művek) com controle termostático, a 110rpm, por até 240 minutos; (5) drenagem da solução osmótica, com o auxílio de uma peneira, seguida por enxágüe para remoção do filme de açúcar formado na superfície do produto, e absorção do excesso de água em papel absorvente.

No caso do tratamento com revestimento, entre as etapas 2 e 3, 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 (AZEREDO, 2000). O fluxograma completo é apresentado na Figura 09.

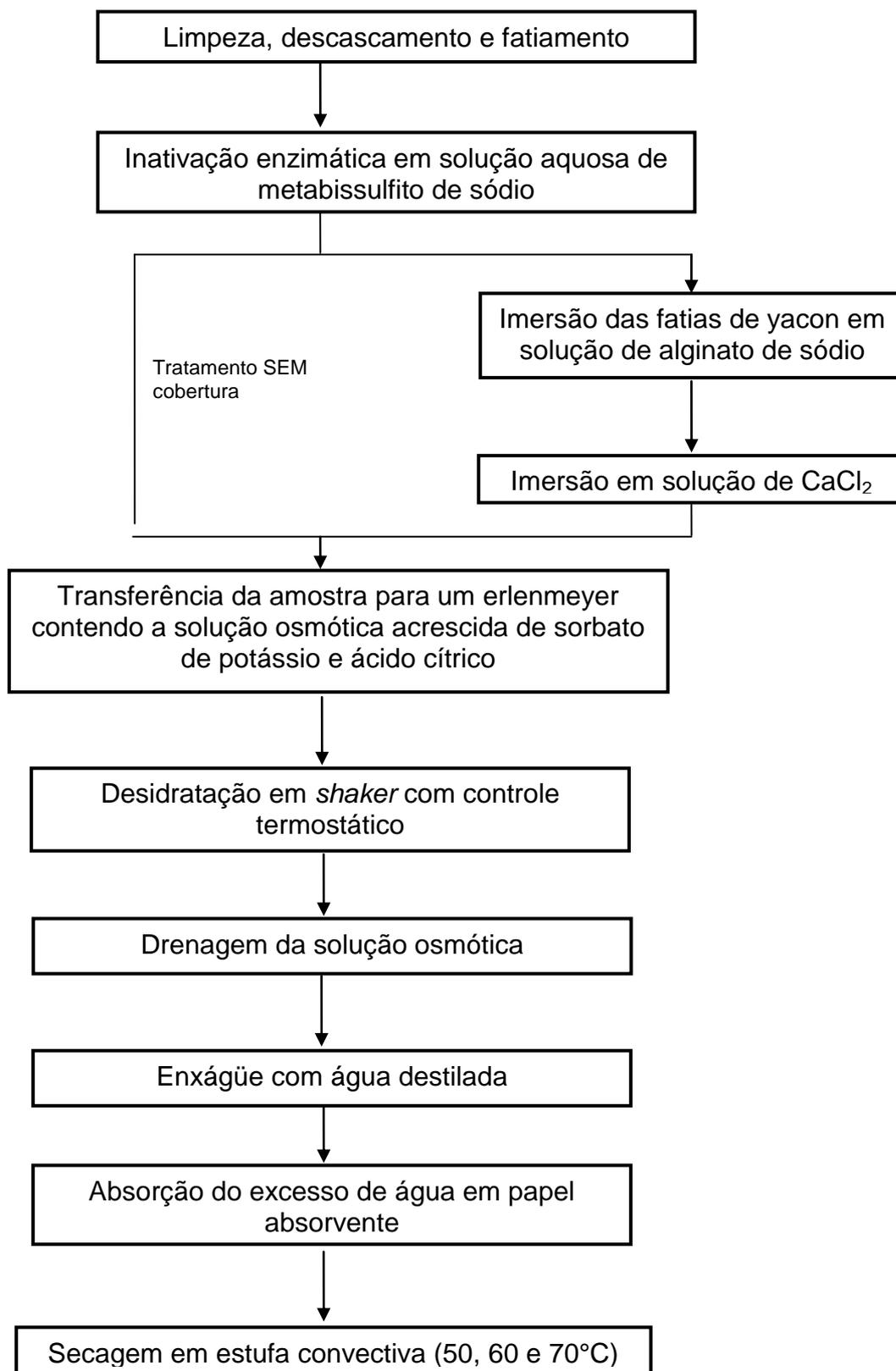


FIGURA 09- FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE RAÍZES DE YACON (*Polymnia sonchifolia*)

FONTE: O autor (2011)

4.4 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Foram realizados 10 ensaios diferentes, utilizando um planejamento fatorial com três fatores 2^3 , fundamentado na Metodologia de Superfície de Resposta. As variáveis independentes foram a presença ou ausência de revestimento (alginato de sódio e CaCl_2), a concentração da solução osmótica de frutose, avaliada em 2 níveis (40 e 68°Brix) e a temperatura de desidratação, avaliada também em 2 níveis (30 e 50°C). O ensaio que corresponde ao ponto central de concentração e temperatura (54°Brix e 40°C) foi realizado em triplicata para obter a variância e os ensaios foram realizados em ordem aleatória determinada por sorteio. Os fatores analisados nos ensaios partiram de resultados obtidos em pesquisas anteriores, (AZEREDO, 2000; MOURA, 2004). As condições dos ensaios são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1 – TRATAMENTOS APLICADOS AS RAÍZES DE YACON (*Polymnia sonchifolia*) NOS ENSAIOS DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

Nº do ensaio	Revestimento (Alginato de sódio e CaCl_2)	Concentração da solução osmótica de frutose (°Brix)	Temperatura de desidratação (°C)
1	Sem	40	30
2	Sem	68	30
3	Sem	54	40
4	Sem	40	50
5	Sem	68	50
6	Com	40	30
7	Com	68	30
8	Com	54	40
9	Com	40	50
10	Com	68	50

FONTE: O autor (2011)

Para cada ensaio foram definidas as seguintes respostas de interesse:

(1) Perda percentual de umidade, definida por:

$$PU(\%) = \frac{m_i - U_f m_f}{m_i} \quad (2)$$

(2) Incorporação percentual de sólidos, definida por:

$$IS(\%) = \frac{(ST_i m_i - ST_f m_f)}{m_i} \quad (3)$$

(3) Atividade de água (A_w)

Sendo: PU = perda de umidade; m_i = massa inicial; m_f = massa final; U_i = teor inicial de umidade (%); U_f = teor final de umidade (%); IS = incorporação de sólidos; ST_i = teor inicial de sólidos totais (%); ST_f = teor final de sólidos totais (%) (AZEREDO, 2000).

Em análise de superfície de resposta, consideramos ainda a versão codificada das variáveis. Para a temperatura, esta codificação consiste em $t^* = (temp - 40) / 10$ e para concentração $c^* = (conc - 54) / 14$. Sob a codificação apresentada, ambas as variáveis assumem valores -1, 0 e 1.

Foram ajustados modelos de primeira ordem segundo a metodologia de superfície de resposta. Para cada modelo, foi testada a falta de ajuste, a fim de avaliar a necessidade de se incluir termos de maior ordem (termos quadráticos, interação) ao modelo. Além disso, foram testados os efeitos de cada um dos fatores nas variáveis respostas. Para avaliar o efeito do revestimento, foram considerados modelos com interação do revestimento e concentração e/ou temperatura, modelos com efeito aditivo de revestimento e modelos desconsiderando o efeito de revestimento. A comparação dos modelos foi realizada com base nos resultados dos respectivos testes F, orientando a seleção de um modelo adequado.

4.5 SECAGEM

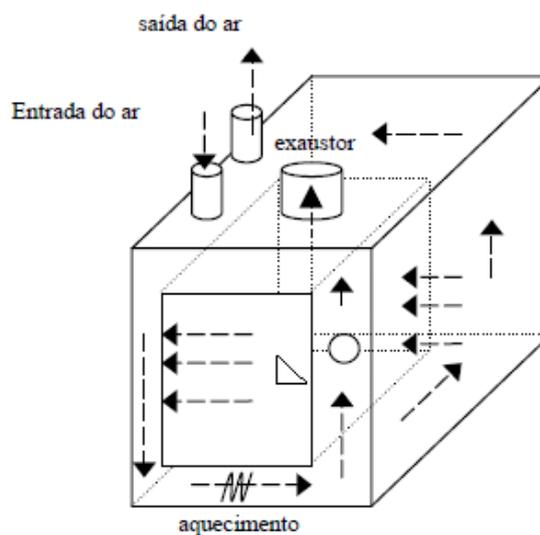
Após analisar estatisticamente os dados de desidratação osmótica, foram definidas as melhores condições de desidratação sendo avaliado, o tempo necessário para que ocorresse a máxima transferência de umidade das fatias de yacon para a solução osmótica, e a menor incorporação de sólido nas fatias. Estas condições (68°Brix e 30°C) foram aplicadas em duas amostras (sem e com

revestimento de alginato de sódio) e esses ensaios foram submetidos ao processo de secagem em estufa convectiva (Soc. Fabber Ltda).

A secagem foi avaliada em uma estufa convectiva em diferentes temperaturas (50, 60 e 70°C), com fluxo de ar horizontal com vazão de ar média de $18 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. O sistema de circulação e recirculação do ar é por força de um exaustor. O ar é aquecido e reaquecido por meio de uma serpentina localizada na parte inferior do secador (MOURA, 2004).



(A)



(B)

FIGURA 10- SECADOR CONVECTIVO UTILIZADO PARA SECAGEM DAS RAÍZES DE YACON (A), E ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO SECADOR CONVECTIVO (B)

FONTE: MOURA, 2004

Durante a secagem, as fatias de yacon foram pesadas periodicamente (a cada 30 minutos) para levantamento das curvas de secagem. Neste mesmo intervalo de tempo, foram retiradas amostras do material para determinação de umidade e atividade de água.

Determinada a umidade de equilíbrio do yacon nas condições de secagem, foi calculado o número adimensional de umidade (umidade instantânea – umidade de equilíbrio / umidade inicial – umidade de equilíbrio).

4.6 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS

Antes e durante o processo de desidratação osmótica, em intervalos de 30 minutos, foram realizadas as determinações: (1) massa da amostra, em balança analítica (Requival); (2) umidade e teor de sólidos totais, em estufa com circulação de ar aquecido, a 70°C por 48 horas; (3) teor de sólidos solúveis (em refratômetro de bancada PZO Warszawa RL3), (AZEREDO, 2000); (4) atividade de água, utilizando aparelho AQUALAB 3TE de leitura direta (MOURA, 2004).

Antes e durante o processo de secagem, em intervalos de 30 minutos, foram realizadas as determinações: (1) massa da amostra, em balança analítica; (2) atividade de água, utilizando aparelho AQUALAB 3TE de leitura direta; (3) umidade em estufa com circulação de ar aquecido, a 70°C por 48 horas

4.7 ISOTERMAS DE SORÇÃO

As isotermas de sorção das raízes de yacon foram determinadas, em triplicata, de acordo com procedimentos descritos por Spiess; Wolf (1987), com algumas modificações. Para a determinação da umidade de equilíbrio do yacon desidratado e seco foram utilizados seis sais na temperatura de 25°C.

As soluções foram preparadas segundo recomendações de Spiess; Wolf (1987) - citados por Ditchfield (2000), que indicam a quantidade de água e sal necessários para obter uma solução supersaturada a 25°C (Tabela 2). Após a mistura, os recipientes foram mantidos fechados por uma semana para estabilizar na forma saturada.

TABELA 2 - RECOMENDAÇÃO PARA PREPARO DE SOLUÇÕES SATURADAS DE SAIS A 25°C

SAL	Quantidade	
	Sal (g)	Água (ml)
LiCl	150	85
K ₂ CO ₃	200	90
Mg(NO ₃) ₂	200	30
NaNO ₂	200	50
NaCl	200	60
KCl	200	80

FONTE: SPIESS; WOLF, 1987

Em seus estudos, Ditchfield (2000) fez uma comparação entre os dados de atividade de água de vários sais, tabelados por diferentes autores. Para cada temperatura foi calculada a média dos dados e analisado se havia diferença significativa entre os dados. Neste trabalho, o valor correspondente de atividade de água para cada solução saturada dos sais utilizados, a 25°C, foi a média encontrada por Ditchfield (2000), conforme listados na Tabela 3.

TABELA 3 - ATIVIDADE DE ÁGUA CORRESPONDENTE AOS SAIS UTILIZADOS, A 25°C

SAIS	Atividade de água
LiCl	0,112
K ₂ CO ₃	0,432
Mg(NO ₃) ₂	0,529
NaNO ₂	0,642
NaCl	0,753
KCl	0,844

FONTE: O autor (2011)

A amostra de yacon desidratado foi obtida por desidratação osmótica a 68°Brix e 30°C por 60 minutos, e a amostra de yacon seco foi obtida por secagem convectiva a 70°C por 150 minutos, após pré-tratamento osmótico sob as mesmas condições. As amostras foram pesadas (aproximadamente 3,0 g) e acondicionadas em recipientes plásticos contendo diferentes soluções saturadas de sais (Tabela 3), que variam a faixa de atividade de água de 0,112 a 0,844. Após o seu fechamento, os recipientes plásticos foram armazenados em estufa B.O.D com temperatura controlada de 25°C, até que as amostras atingissem a umidade de equilíbrio.

A Figura 11 apresenta a ilustração da estufa B.O.D utilizada para armazenar as amostras para determinação das isotermas de sorção, sob temperatura controlada.



FIGURA 11 – ESTUFA B.O.D. UTILIZADA PARA ELABORAÇÃO DAS ISOTERMAS DE SORÇÃO
 FONTE: O autor (2011)

As pesagens periódicas das amostras foram feitas em uma balança analítica, até atingir peso constante, determinando assim a umidade de equilíbrio. O teor de umidade de equilíbrio (em base seca) foi calculado, com base na diferença entre a massa da amostra no equilíbrio e a massa seca. Os dados foram modelados utilizando o programa STATISCA 7.0, por meio de análise de regressão não linear para estimar as constantes dos modelos de isotermas do yacon desidratado e seco e o método de estimativa utilizado para estimar os parâmetros foi o método de Gauss-Newton. Foram utilizados os modelos de GAB (Equação 4), de BET (Equação 5) e de OSWIN (Equação 6) para modelagem dos dados do yacon. Estes modelos foram escolhidos porque são eles os mais utilizados para descrever o comportamento de sorção dos alimentos.

$$X_{eq} = \frac{X_m \cdot C_{Gab} \cdot K \cdot A_w}{(1 - K \cdot A_w) \cdot (1 - K \cdot A_w + C_{Gab} \cdot K \cdot A_w)} \quad (4)$$

$$X_{eq} = \frac{(X_m \cdot C \cdot A_w) \cdot (1 - (n+1) \cdot A_w^n + n \cdot A_w^{n+1})}{(1 - A_w) \cdot (1 + (C-1) \cdot A_w - C \cdot A_w^{n+1})} \quad (5)$$

$$X_{eq} = A \cdot \left(\frac{A_w}{1 - A_w} \right)^B \quad (6)$$

Onde: A_w é a atividade de água (UR/100); X_{eq} é a umidade de equilíbrio (g de água / 100g de matéria seca); X_m é a umidade relativa a monocamada (g de água / 100g de matéria seca); C_{Gab} é a constante de GAB relacionada a monocamada e K é a constante de GAB relacionada a multicamada; A e B são constantes de ajuste dos modelos.

Foram calculados os valores dos parâmetros para os ajustes, além do coeficiente de determinação (R^2) e do erro relativo médio (E), calculado pela Equação 7 (PARK, 2001a).

$$E = \frac{100}{ne} \sum_{i=1}^{ne} \frac{|VE - VP|}{VE} \quad (7)$$

Onde: E - erro relativo médio;
 ne - número de dados experimentais;
 VE - valor experimental;
 VP - valor teórico.

Geralmente, são considerados que valores de desvio relativo médio abaixo de 10% indicam um razoável ajuste para as práticas propostas (PARK, 2001a).

5 RESULTADOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA MATÉRIA-PRIMA

Os valores obtidos para a composição físico-química das raízes de yacon *in natura*, em base úmida, são apresentados na Tabela 4, sendo também apresentado na mesma tabela os resultados encontrados por outros autores.

TABELA 4 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO YACON *IN NATURA*

ANÁLISE	VALORES Média (\pm DP)	MOURA, 2004	MICHELS, 2005	PATRI, 2009	HERMANN, 1997
Umidade e substâncias voláteis (%)	88,68 (\pm 1,02)	90,63	89,8 \pm 1,92	80,70 \pm 0,54	88,5
Resíduo mineral fixo (%)	0,34 (\pm 0,001)	0,39	0,34 \pm 0,02	n.d.	0,50
Gordura total (%)	0,07 (\pm 0,04)	<0,10	0,06 \pm 0,01	n.d.	0,024
Proteínas (%)	0,26 (\pm 0,12)	0,33	0,45 \pm 0,03	n.d.	0,37
Sólidos solúveis totais (° Brix)	12,16 (\pm 2,38)	9,5	9,31 \pm 0,93	11,67 \pm 1,02	9,0 – 12,6
pH	6,47 (\pm 0,13)	4,18	5,32 \pm 0,15	6,02 \pm 0,04	n.d.
Açúcares redutores em glicose (%)	2,86 (\pm 0,06)	2,54	n.d.	3,94 \pm 0,06	n.d.
Açúcares não redutores em sacarose (%)	6,18 (\pm 0,06)	1,81	n.d.	n.d.	n.d.
Fibra alimentar (g/100g)	6,88	1,50	0,75 \pm 0,07	n.d.	0,36
Cálcio (mg/100g)	36,17 (\pm 1,55)	30,21	n.d.	n.d.	8,7
Magnésio (mg/100g)	0,29 (\pm 0,02)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Fósforo (mg/100g)	14,63 (\pm 1,75)	<5,00	n.d.	n.d.	24,0
Sódio (mg/100g)	8,80 (\pm 0,08)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ferro (mg/100g)	13,84 (\pm 0,95)	0,70	n.d.	n.d.	n.d.
Zinco (mg/100g)	0,36 (\pm 0,01)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Potássio (mg/ 100g)	n.d.	120,8	n.d.	n.d.	0,23

Nota: DP = desvio padrão

n.d. = não determinado

FONTE: O autor (2011)

O yacon, assim como outros vegetais, possui elevado teor de umidade tendo sido encontrado nesta pesquisa o valor de 88,68% (\pm 1,02), compatível com os valores encontrados pelos outros autores. Em consequência do elevado teor de umidade, o mesmo apresenta baixo conteúdo de matéria seca. O teor de resíduo mineral fixo determinado está de acordo com MOURA (2004) e MICHELS (2005), entretanto esses autores também encontraram valores menores que o encontrado por HERMANN (1997), que estudou 10 cultivares de yacon produzidas no Equador.

A raiz de yacon apresentou baixos teores de gordura total (0,07%) e proteínas (0,26%), estando esses valores dentro das faixas encontradas por MOURA (2004),

MICHELS (2005) e HERMANN (1997), sendo esta uma característica desta raiz tuberosa.

A concentração de sólidos solúveis totais está dentro da faixa calculada por HERMANN (1997) e o valor de pH determinado foi levemente superior aos valores encontrados pelos demais autores. O teor de fibra alimentar encontrado foi superior aos valores apresentados na Tabela 4 para este parâmetro. Esta discrepância no teor de fibra alimentar pode ser explicada pela variação da composição do yacon nas diferentes épocas de colheita, local e condições de cultivo, além do método de determinação utilizado (MOURA, 2004). Para determinação do teor de fibras, neste trabalho foi utilizada uma amostra de raiz de yacon colhida no mês de agosto e foi utilizado o método enzimático para quantificação.

O teor de açúcares totais (9,04%) está dentro da faixa de carboidratos totais, de 8,9-12,7%, apresentada por HERMANN (1997), tendo sido calculada por diferença, como a matéria seca subtraída de proteínas, gordura e cinzas.

Segundo MOURA (2004), o potássio é o mineral encontrado em maior quantidade no yacon, seguido do cálcio, para o qual o conteúdo foi de 36,17 mg/100g no yacon *in natura*. Além do cálcio, foi verificado que o yacon contém uma quantidade significativa de fósforo, 14,63 mg/100g, e de ferro, 13,84 mg/100g. Valores de magnésio, sódio e zinco não foram encontrados em literatura para uma possível comparação.

O yacon *in natura* pode ser considerado uma excelente fonte do mineral ferro, pois 100g do material contém praticamente a quantidade de Ingestão Diária Recomendada (IDR) deste mineral para um adulto. Segundo o Regulamento Técnico sobre Ingestão Diária Recomendada (IDR) para proteína, vitaminas e minerais, aprovado pela Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA (2011), a IDR de ferro para um adulto é de 14 mg/d.

A quantidade de zinco presente em 100g de yacon *in natura* corresponde a 5,14% da IDR, e as quantidades de cálcio e fósforo correspondem, respectivamente, a 3,61% e 2,09% da IDR para um adulto, segundo o Regulamento Técnico sobre Ingestão Diária Recomendada (IDR) para proteína, vitaminas e minerais, aprovado pela Resolução RDC nº 269, da ANVISA (2011).

A composição físico-química do yacon estudado é semelhante à do yacon do estado de São Paulo (MICHELS, 2005 e PATRI, 2009) e do Equador (HERMANN, 1997), estudados por outros autores, diferenciando apenas em relação com conteúdo de fibra alimentar.

5.2 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

5.2.1 Efeitos das variáveis sobre as respostas

Para avaliar a evolução do pré-tratamento osmótico do yacon foi feita a comparação dos resultados dos parâmetros a cada 30 minutos (Figuras 12 e 13) e foi possível observar que a partir do tempo de 60 minutos a diferença na perda de água nos tratamentos passa a ser não significativa e, os mesmos começam a incorporar sólidos em quantidades cada vez maiores, desfavorecendo o produto final por modificá-lo físico-química e sensorialmente. O mesmo ocorreu para Antonio *et al.* (2006), que desidratou osmoticamente fatias de batata doce utilizando como agente osmótico soluções de sacarose e sal (NaCl). As fatias de batata doce desidratadas em uma concentração de 5%p/p de sal apresentaram uma incorporação de sal de aproximadamente 2,2%, teor agradável ao paladar. Já a desidratação realizada com uma concentração de sal de 10%p/p apresentou uma incorporação de aproximadamente 5,2%, tornando o produto muito salgado. Esta alta incorporação de sólidos não é interessante em processos de desidratação osmótica por se tratar de um pré-tratamento, após o qual deverá ser realizado um tratamento complementar como a secagem convectiva ou a liofilização, com maior retirada de água do produto e conseqüente concentração dos solutos (ANTONIO *et al.*, 2006).

Os resultados também mostram (Figuras 12 e 13) que para se obter maior perda de água seria necessário avançar com o experimento até o tempo 210 minutos, mas desta forma teríamos uma incorporação de sólidos maior ainda. Segundo Azeredo (2000) isto pode ser explicado pelo fato de que as taxas de perda de umidade diminuem mais drasticamente com o tempo, em relação à incorporação de solutos.

A evolução dos parâmetros perda percentual de umidade (PU%), incorporação percentual de sólidos (IS%) e atividade de água (A_w), pode ser acompanhada pelas Figuras 12, 13 e 14.

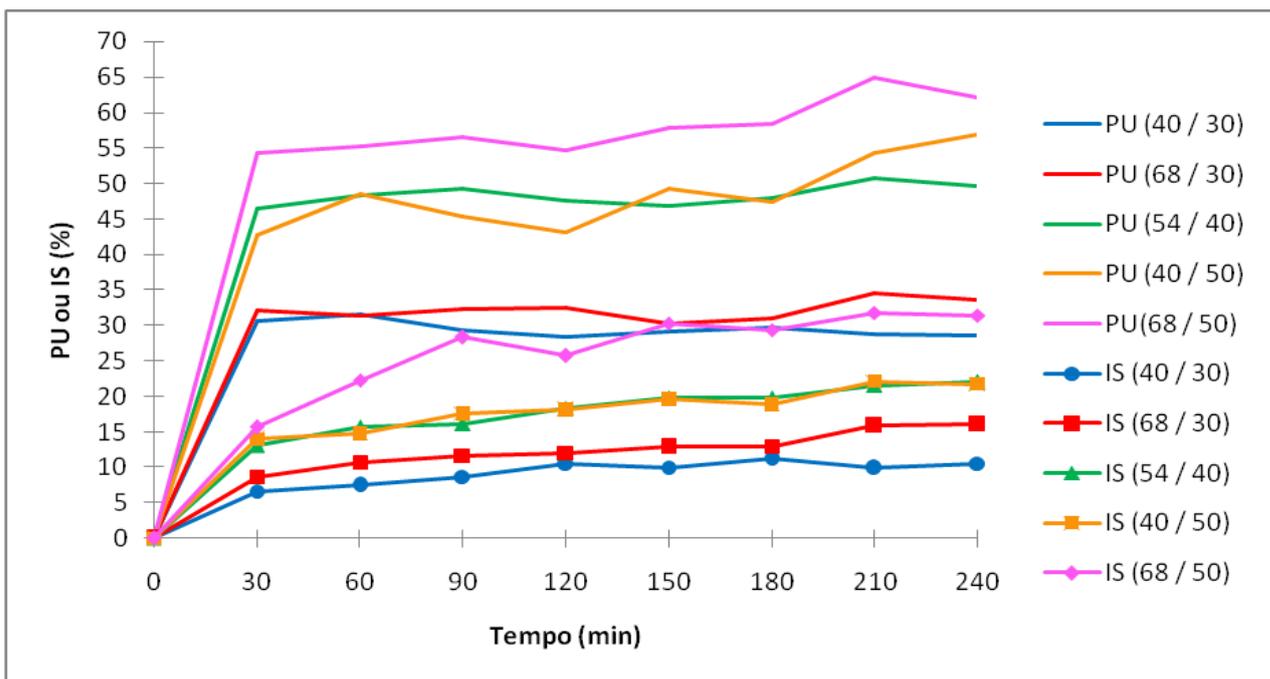


FIGURA 12– PERDA DE UMIDADE (%) E INCORPORAÇÃO DE SÓLIDOS (%) DAS RAÍZES DE YACON NOS DIFERENTES PRÉ-TRATAMENTOS SEM REVESTIMENTO, EM FUNÇÃO DO TEMPO
 Dados: (Concentração da solução (°Brix) / temperatura (°C))

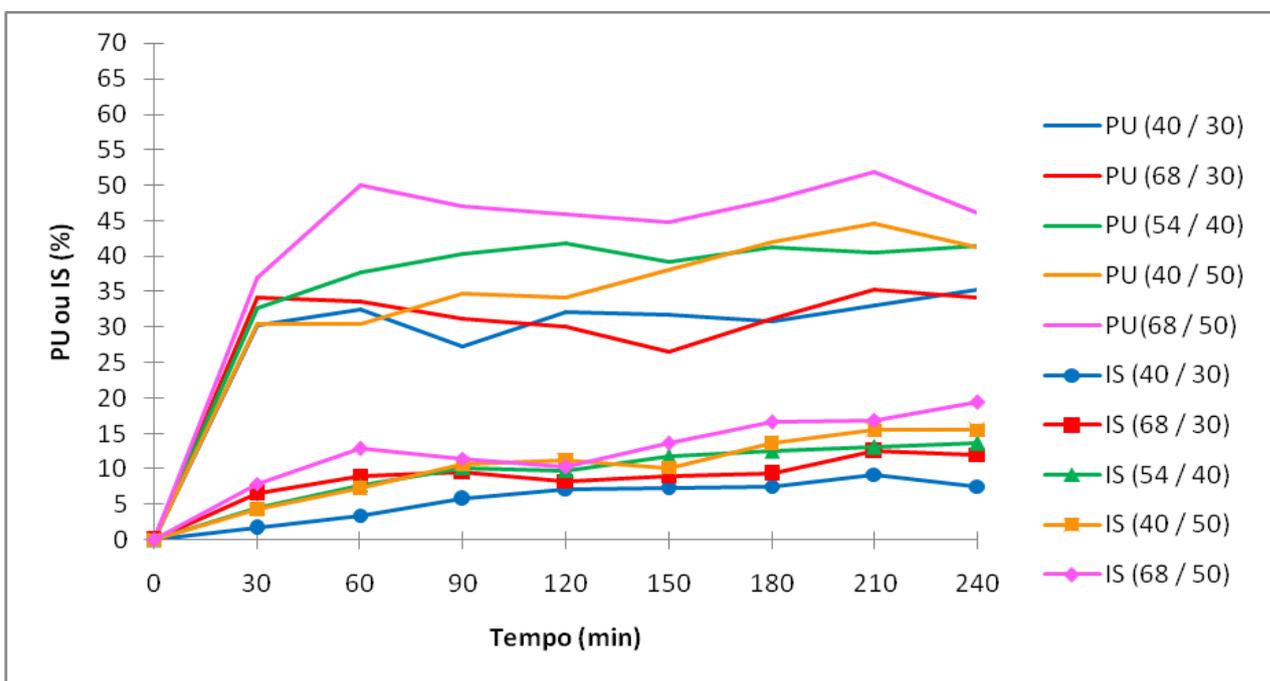


FIGURA 13– PERDA DE UMIDADE (%) E INCORPORAÇÃO DE SÓLIDOS (%) DAS RAÍZES DE YACON NOS DIFERENTES PRÉ-TRATAMENTOS COM REVESTIMENTO, EM FUNÇÃO DO TEMPO
 Dados: (Concentração da solução (°Brix) / temperatura (°C))

Durante a desidratação nas diferentes condições podemos observar que até o período de 60 minutos de processo a retirada de água foi significativa. Este

resultado também foi observado por MOURA (2004), em seu estudo sobre a desidratação de yacon, utilizando como agente osmótico sorbitol, em temperatura de 30-40°C e concentração de 60-68°Brix. Após o período de uma hora, a autora observou que o processo atingiu a tendência ao equilíbrio.

Observando os tratamentos com as mesmas condições de temperatura, 50°C, a maior concentração, 68°Brix, retirou 13,77% e 64,54% a mais de água das fatias comparando com a concentração de 40°Brix para os ensaios sem revestimento e com revestimento, respectivamente, considerando o tempo de 60 minutos de pré-tratamento. O aumento da concentração na solução osmótica aumentou a pressão osmótica sobre o material favorecendo a retirada de água, estando este resultado de acordo com Moura (2004).

O aumento da temperatura teve maior efeito nos ensaios sem revestimento. Para estes ensaios, observando os tratamentos com as mesmas condições de concentração de solução osmótica, 68°Brix, a maior temperatura, 50°C, retirou 76,15% a mais de água das fatias comparando com a temperatura de 30°C. E para os ensaios com revestimento liberação de 32,76% a mais de água das fatias quando comparado com a temperatura de 30°C.

A incorporação de sólidos tem tendência a aumentar com o aumento do tempo de desidratação até atingir o equilíbrio, por isso quanto menor o tempo deste tratamento menos alterações estruturais ocorrerão no produto (MOURA, 2004).

É possível observar que o aumento da concentração da solução osmótica aumentou a entrada de sólidos nas fatias em todos os tratamentos, sendo ou não revestidos. Para a mesma condição de temperatura, 50°C, a maior concentração da solução osmótica, 68°Brix, aumentou 50,12% e 75,29% a mais a entrada de sólidos nas fatias de yacon comparando com a concentração de 40°Brix nos ensaios sem e com revestimento, respectivamente.

Em relação a utilização do alginato de sódio, foi observada uma redução média de 42,51% na incorporação de sólidos, comparando os ensaios realizados nas mesmas condições sem revestimento. Outros autores também encontraram resultados semelhantes trabalhando com outras espécies (AZEREDO, 2000; LENART, 1997), entretanto Shigematsu *et al.* (2005) que estudou a influência de revestimentos com coberturas comestíveis sobre a desidratação osmótica de carambolas empregando como soluto a sacarose (50% p/p), observou que a

utilização de pectina e pectina combinada com amido reduziu a perda de umidade e ainda, não impediu a entrada de solutos, o que diminuiu muito a eficiência do processo. Os resultados indicaram que a sacarose foi difundida nas camadas de pectina ou pectina e amido, impregnando o produto final com açúcares, e conseqüente aumento de ganho de sólidos.

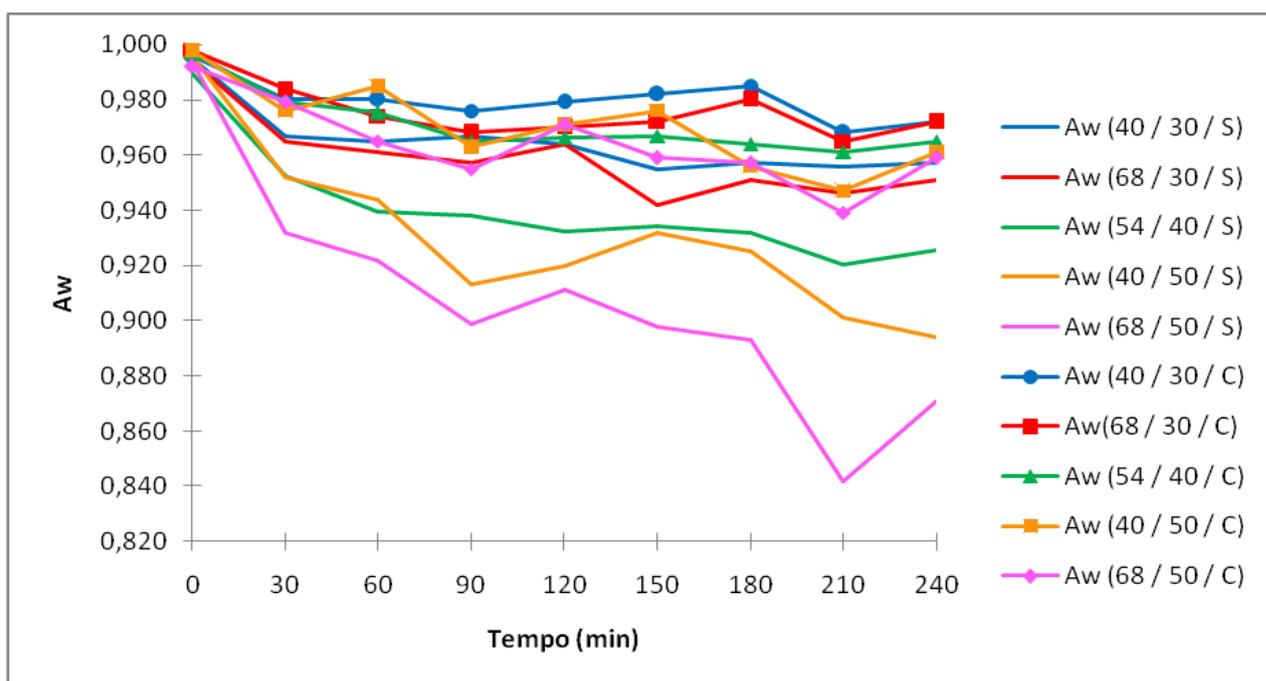


FIGURA 14– ATIVIDADE DE ÁGUA DAS RAÍZES DE YACON NOS DIFERENTES PRÉ-TRATAMENTOS DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA, EM FUNÇÃO DO TEMPO
 Dados: (Concentração da solução (°Brix) / temperatura (°C) / Revestimento)
 S: sem revestimento
 C: com revestimento

A atividade de água mostrou tendência a diminuir com o aumento do tempo de pré-tratamento, devido à maior incorporação de sólidos no decorrer do processo de desidratação. Esta diminuição foi mais significativa nos ensaios sem cobertura, e nos maiores níveis de concentração da solução osmótica, porém não indicam melhor tratamento, pois quanto maior o tempo, maior a incorporação de sólidos e mais alterações das características sofre o produto (ANTONIO, 2006).

Na Tabela 5 é apresentada uma comparação dos resultados encontrados na desidratação osmótica para cada ensaio após 60 minutos de desidratação, entre os ensaios realizados na ausência e presença de revestimento com alginato de sódio. É possível observar que neste período a perda de umidade é muito superior a

incorporação de sólidos em todos os experimentos analisados, o que está de acordo com os resultados de Antonio *et al.*, 2006; Azeredo, 2000, entre outros autores em estudos com outras espécies (LENART, 1996).

TABELA 5 – PERDA DE UMIDADE, INCORPORAÇÃO DE SÓLIDOS E ATIVIDADE DE ÁGUA PARA OS DIFERENTES PRÉ-TRATAMENTOS EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DA SOLUÇÃO OSMÓTICA E DA TEMPERATURA, APÓS 60 MINUTOS DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

Variáveis (°Brix / °C)	Perda de umidade (%)		Incorporação de sólidos (%)		Atividade de água	
	SEM revestimento	COM revestimento	SEM revestimento	COM revestimento	SEM revestimento	COM revestimento
40 / 30	31,545	32,476	7,463	3,514	0,965	0,980
68 / 30	31,324	33,547	10,793	9,081	0,961	0,974
54 / 40	48,237	37,730	15,816	7,725	0,940	0,975
40 / 50	48,496	30,444	14,831	7,349	0,944	0,985
68 / 50	55,177	50,092	22,265	12,882	0,922	0,965

Foi possível observar que a perda de umidade foi levemente maior para os ensaios executados com revestimento quando realizados na menor temperatura (30°C). Esta observação também foi feita por Azeredo (2000), que empregou alginato de sódio na desidratação de abacaxi e observou significativo aumento na perda de umidade quando comparados os tratamento com pedaços de abacaxi revestidos e não revestidos.

Em relação à incorporação de sólidos, a utilização do revestimento com alginato de sódio foi muito eficiente, reduzindo essa resposta em média 42,5% da obtida para o material não revestido. A redução na incorporação de sólidos é o resultado mais expressivo, uma vez que o objetivo inicial à utilização dessas coberturas era que elas pudessem reduzir significativamente a incorporação de sólidos pelo material.

Quanto à atividade de água, os tratamentos sem revestimento apresentaram valores menores, em 60 minutos de desidratação, devido à maior incorporação de sólidos que tende a diminuir a água livre através de ligações por pontes de hidrogênio (DAMODARAN, 2010). A atividade de água é um dos parâmetros de maior importância na conservação de alimentos, influenciando o desenvolvimento de microrganismos, além das reações enzimáticas, oxidativas e o escurecimento não enzimático. A redução da atividade de água observada neste etapa do trabalho não seria suficiente para inibir o crescimento microbiano à temperatura ambiente, sendo este inibido freqüentemente em atividade de água $\leq 0,60$. O nível de atividade de

água apresentado pelo material após a desidratação, se combinado com outros fatores de conservação como, por exemplo, uso de conservantes químicos, redução do pH (UBOLDI EIROA, 1981) e a secagem propriamente dita, poderia promover uma maior estabilidade do produto.

Em função da definição do tempo ótimo de desidratação osmótica em 60 minutos, foram construídos modelos matemáticos capazes de prever os parâmetros de desidratação osmótica quando forem aplicados valores de temperatura e concentração da solução diferentes dos estudados neste trabalho.

5.2.2 Otimização

A otimização do processo de desidratação osmótica das fatias de yacon teve como objetivo maximizar a perda de água com minimização da incorporação de sólidos, e ainda diminuir a atividade de água, com o propósito de se obter um produto mais estável físico-química e microbiologicamente, preservando as qualidades sensoriais do produto final.

5.2.2.1 Modelos para os parâmetros da desidratação osmótica

A) Perda de umidade

Modelo ajustado:

$$PU = 4,20 + 0,34_{p=0,15} temp + 0,49_{p=0,01} conc - 7,35_{p=0,05} revest \quad R^2 = 0,63 \quad (8)$$

Sendo *temp* a temperatura, *conc* a concentração e *revest* uma variável binária para revestimento, assumindo valor zero quando a amostra não é revestida e 1 (um) caso contrário. Sob as estimativas dos coeficientes do modelo estão suas respectivas significâncias, ou seja, se $p \leq 0,05$ há significância para o parâmetro, como para concentração e revestimento. Foi verificado que a perda de água aumenta consideravelmente conforme o aumento da concentração da solução desidratante e que o uso de revestimento proporciona, em média, uma redução de 7,35% na perda de umidade.

O revestimento foi utilizado com o objetivo de diminuir a incorporação de sólidos, devido a baixa afinidade do alginato de sódio pelo soluto e assim manter o produto final com maior similaridade possível com a raiz tuberosa fresca, permitindo o fluxo da água para o exterior da raiz pela cobertura de alta afinidade pela água. Este efeito foi verificado por Azeredo (2000) em seu trabalho no qual estudou a desidratação osmótica do abacaxi e utilizou como agente desidratante a sacarose, aplicando separadamente como revestimento o alginato de sódio e a pectina de

baixa metoxilação. Como melhor resultado encontrou a associação do aginato de sódio com o cloreto de cálcio, no tempo de 220-270 minutos, solução de sacarose 66-69ºBrix e com temperatura a 42°C.

Entretanto, em nossos estudos, este processamento com revestimento aplicado ao yacon, a perda de umidade decresceu, diferenciando este do trabalho de Azeredo (2000) que utilizou como matéria-prima o abacaxi. Esta observação está em concordância com os resultados obtidos por Lenart (1996), em seu estudo com maçãs revestidas separadamente com amido e pectina, que registram a redução na incorporação de sólidos, mas não alteração da perda de umidade, em consequência do uso das coberturas.

Na Tabela 6 encontramos a análise de variância para o modelo comentado, indicando que o mesmo não apresenta falta de ajuste ($p > 0,05$).

TABELA 6 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA E FALTA DE AJUSTE PARA O MODELO DE PERDA DE UMIDADE DAS RAÍZES DE YACON

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Somas de quadrados	Quadrados médios	F	Valor p
Regressão	3	664,30	221,42	5,74	0,01
Resíduos	10	385,75	38,57		
Falta de ajuste	6	286,74	47,79	1,93	0,27
Erro Puro	4	99,00	24,75		
Total	13	1050,5			

(*) - $p \leq 0,05$: significativo

Não havendo falta de ajuste, o próximo passo, segundo a metodologia de superfície de resposta (MYERS; MONTGOMERY, 1995), é a definição de novas temperaturas e concentrações para a execução de um novo experimento. Esta definição, em geral, é baseada no método da subida mais íngreme, em que os coeficientes do modelo orientam o deslocamento dos níveis dos fatores quantitativos. Nesse caso, considerando as variáveis codificadas e os coeficientes do modelo ajustado para estas variáveis foram determinadas as estimativas dos efeitos da temperatura e da concentração da solução de frutose ($\hat{\beta}_t = 3,40$ e $\hat{\beta}_c = 6,91$) usando o método de mínimos quadrados. Caso seja conveniente considerar um aumento unitário (em termos da variável codificada) na direção de máxima variação (no caso, da concentração da solução), a variação recomendada na temperatura se dá na taxa de $\hat{\beta}_t / \hat{\beta}_c \approx 0,50$. Assim, caso seja conveniente

aumentar em 14 unidades cada uma das concentrações (o que corresponde a uma unidade codificada, passando a 54, 68 e 82 unidades de °Brix), a alteração para a temperatura seria de meia unidade codificada (passando a 35, 45 e 55°C) e estes seriam os valores para a execução de um novo experimento de primeira ordem. Para se instalar um experimento com o objetivo de ajustar modelos de segunda ordem, pontos adicionais deveriam ser considerados. As Figuras 15 e 16 apresentam os gráficos referentes ao modelo ajustado para os tratamentos com e sem revestimento, respectivamente.

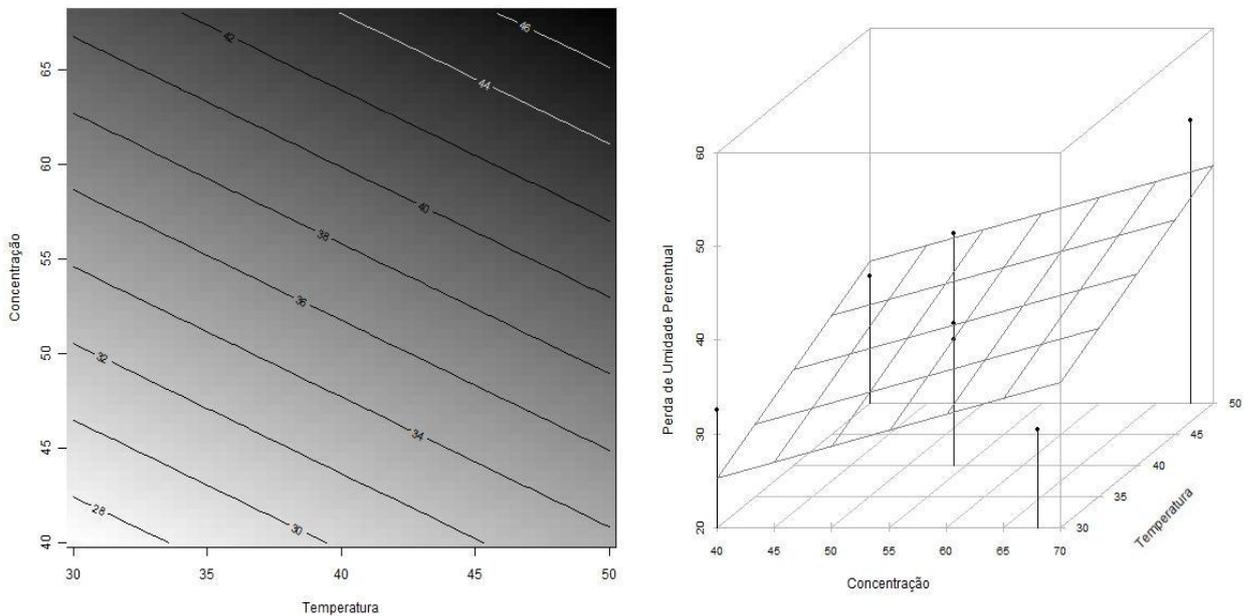


FIGURA 15- CURVAS DE NÍVEL E SUPERFÍCIE AJUSTADAS PARA O MODELO DE PERDA DE UMIDADE DAS RAÍZES DE YACON, DESIDRATADAS OSMOTICAMENTE COM REVESTIMENTO.

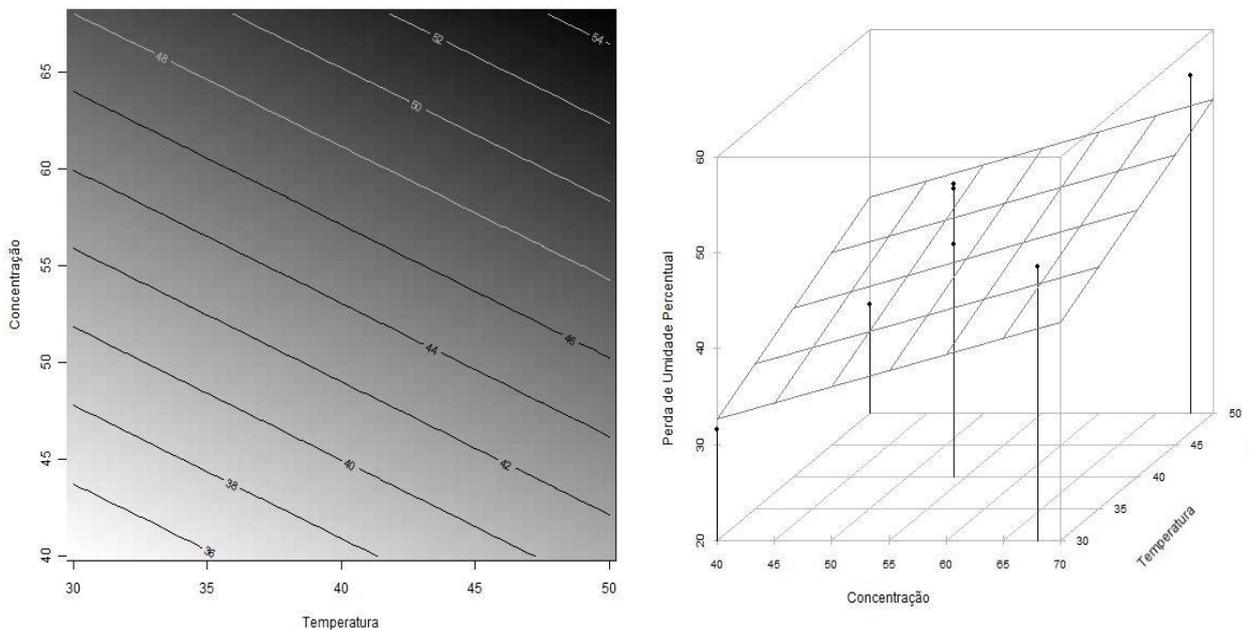


FIGURA 16- CURVAS DE NÍVEL E SUPERFÍCIE AJUSTADAS PARA O MODELO DE PERDA DE UMIDADE DAS RAÍZES DE YACON, DESIDRATADAS OSMOTICAMENTE SEM REVESTIMENTO.

Podemos observar que a perda de umidade nos tratamentos com e sem revestimento tiveram tendências semelhantes, porém, com níveis diferenciados para a perda de umidade, sendo sempre menor nos tratamentos com revestimento. É possível supor que a perda de umidade diminuiu com a utilização da cobertura de alginato de sódio devido a mesma formar uma barreira que atenuou o fluxo de água do alimento para a solução desidratante e/ou devido a mesma alterar a permeabilidade da membrana das células das raízes de yacon.

As Figuras 15 e 16 revelam que a variável de maior significância para a perda de umidade foi a concentração da solução osmótica, seguida da temperatura. Em seu estudo sobre a desidratação osmótica da cenoura utilizando sacarose, Uddin *et al.* (2004) também mostraram o efeito linear significativo da concentração de sacarose e do tempo de imersão, e efeito quadrático significativo da concentração de sacarose e da temperatura sobre a perda de umidade.

B) Incorporação de sólidos

Para a incorporação de sólidos o modelo ajustado segue:

$$IS = -9,01 + 0,27 \underset{p=0,01}{temp} + 0,23 \underset{p=0,003}{conc} - 6,68 \underset{p<0,001}{revest} \quad R^2 = 0,83 \quad (9)$$

De acordo com o modelo e as significâncias apresentadas, é possível verificar que há efeito da temperatura e da concentração na incorporação de sólido (em ambos os casos, aumentando os valores, maior é o ganho de sólidos). O efeito do revestimento é novamente significativo ($p \leq 0,05$), com uma redução média de 6,68% no ganho de sólidos decorrente de seu uso. Em seus estudos Azeredo (2000) também observou a diminuição na incorporação de sólidos devido a presença do revestimento de alginato de sódio, com redução média de 60,5% na incorporação de sólidos. A Tabela 7 apresenta a análise de variância para a incorporação de sólidos, reforçando a significância do modelo e indicando que ele não apresenta falta de ajuste.

TABELA 7– ANÁLISE DE VARIÂNCIA E FALTA DE AJUSTE PARA O MODELO DE INCORPORAÇÃO DE SÓLIDOS DAS RAÍZES DE YACON

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Somas de quadrados	Quadrados médios	F	Valor p
Regressão	3	303,81	101,27	16,57	<0,001
Resíduos	10	61,12	6,11		
Falta de ajuste	6	27,02	4,50	0,52	0,74
Erro Puro	4	34,10	8,52		
Total	13	364,93			

(*) - $p \leq 0,05$: significativo

As Figuras 17 e 18 apresentam as curvas de nível e superfície referentes ao modelo ajustado para o parâmetro incorporação de sólidos, para os tratamentos com e sem revestimento, respectivamente.

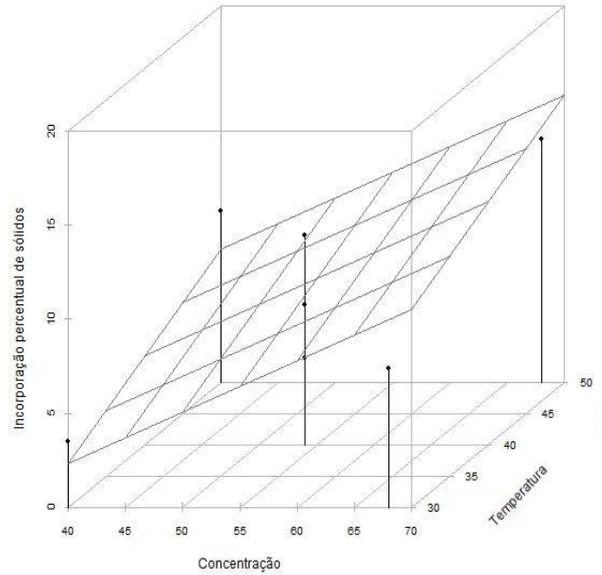
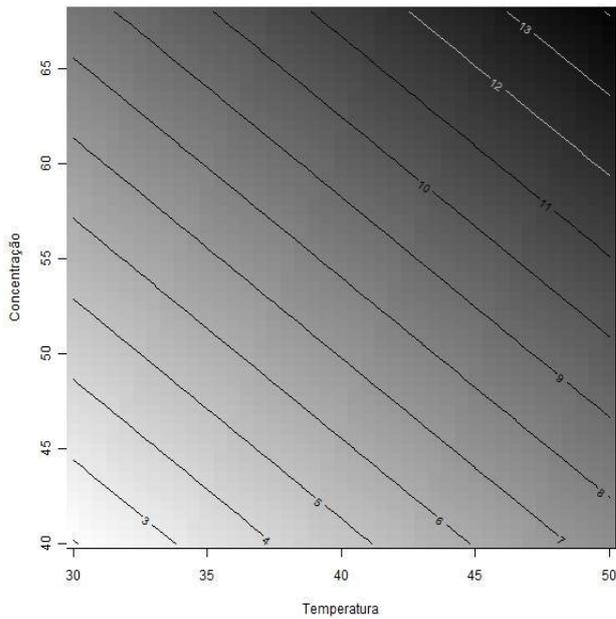


FIGURA 17- CURVAS DE NÍVEL E SUPERFÍCIE AJUSTADAS PARA O MODELO DE INCORPORAÇÃO DE SÓLIDOS DAS RAÍZES DE YACON, DESIDRATADAS OSMOTICAMENTE COM REVESTIMENTO.

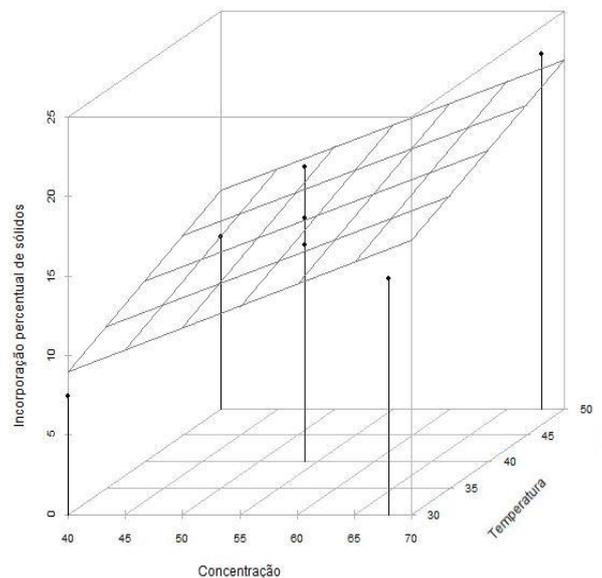
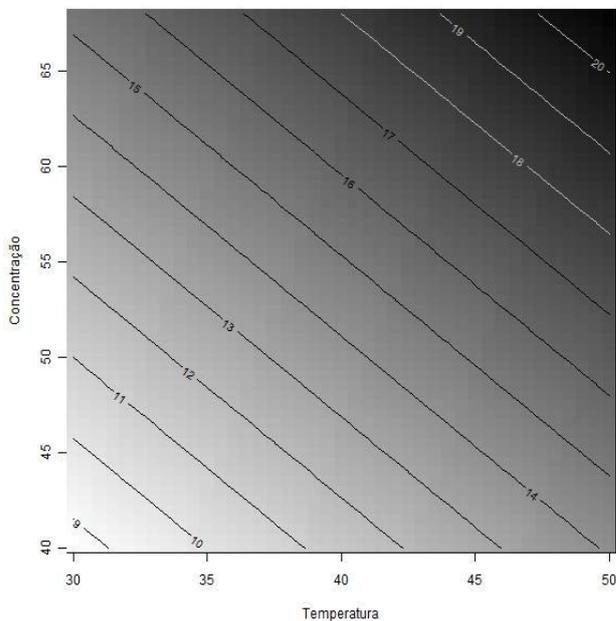


FIGURA 18- CURVAS DE NÍVEL E SUPERFÍCIE AJUSTADAS PARA O MODELO DE INCORPORAÇÃO DE SÓLIDOS DAS RAÍZES DE YACON, DESIDRATADAS OSMOTICAMENTE SEM REVESTIMENTO.

Quando comparadas as Figuras 17 e 18, podemos observar semelhanças quanto a sua forma, diferindo apenas os valores. Por meio das curvas de nível é possível observar o efeito significativo dos fatores temperatura e concentração sobre

a incorporação de sólidos, ou seja, a elevação da temperatura de desidratação e o aumento da concentração da solução de frutose provocaram um incremento da incorporação de sólidos. Estas observações estão em concordância com os resultados obtidos por Tonon et al. (2006) que também verificou o efeito destes fatores em seu estudo da desidratação osmótica de tomate, aplicando como solutos NaCl e sacarose, e temperatura na faixa de 20-40°C. De acordo com o modelo construído por Tonon *et al.* (2006), a temperatura foi o fator que mais influenciou a incorporação de sacarose, devido ao aumento da permeabilidade da membrana e da diminuição da viscosidade da solução. Além da temperatura, a composição as solução também influenciou positivamente o ganho de sacarose durante o processo, ou seja, quanto maior a concentração de solutos, maior sua incorporação.

Nos ensaios realizados sem revestimento pode ser observado a maior incorporação de sólidos pela elevação do plano na superfície de resposta. É possível supor que a aplicação da cobertura impediu a incorporação de sólidos devido a baixa afinidade do alginato de sódio pelo soluto. Azeredo (2000) já mencionou esta vantagem da aplicação de coberturas comestíveis previamente ao processo de desidratação osmótica.

C) Atividade da água

O modelo ajustado para a atividade de água é:

$$AA = 1,02828 - 0,00065_{p=0,01} \text{ temp} - 0,00107_{p<0,001} \text{ conc} - 0,0227_{p=0,19} \text{ revest} + 0,001_{p=0,008} \text{ conc} * \text{ revest} \quad (10)$$
$$R^2 = 0,94$$

Segundo o modelo ajustado quanto maior a temperatura e a concentração, menor a atividade de água, pois, quanto maior a concentração, maior o número de ligações entre as moléculas de água e o alimento e por conseqüência menos água disponível o produto terá (DAMODARAN, 2010). Além disso, no modelo a atividade de água é menor quando se utiliza revestimento e neste caso, diferentemente dos anteriores, o efeito da interação do revestimento e da concentração é significativo, indicando que a redução na atividade de água conforme se aumenta a concentração é menor com revestimento do que sem (Figuras 19 e 20), é estimado que sem revestimento a cada aumento unitário na concentração, a atividade de água reduza em 0,011 e em 0,010 com revestimento. A Tabela 8 apresenta a análise de variância, confirmando a significância do modelo sem falta de ajuste.

TABELA 8 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA E FALTA DE AJUSTE PARA O MODELO DE ATIVIDADE DE ÁGUA DAS RAÍZES DE YACON

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Somas de quadrados	Quadrados médios	F	Valor p
Regressão	4	0,0047	0,0012	33,9	<0,001
Resíduos	9	0,0003	0,00003		
Falta de ajuste	5	0,00025	0,00005	4,21	0,10
Erro Puro	4	0,00005	0,00001		
Total	13	0,00078			

(*) - $p \leq 0,05$: significativo

As Figuras 19 e 20 apresentam as curvas de nível e superfície referentes ao modelo ajustado para o parâmetro atividade de água, para os tratamentos com e sem revestimento, respectivamente.

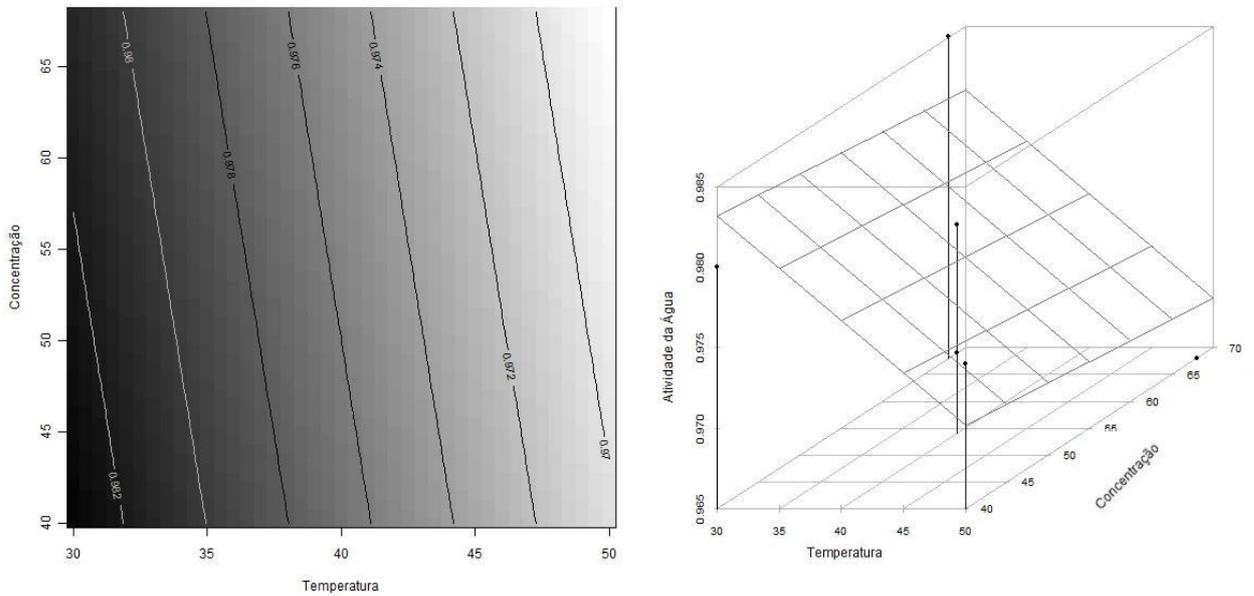


FIGURA 19- CURVAS DE NÍVEL E SUPERFÍCIE AJUSTADAS PARA O MODELO DE ATIVIDADE DE ÁGUA DAS RAÍZES DE YACON, DESIDRATADAS OSMOTICAMENTE COM REVESTIMENTO.

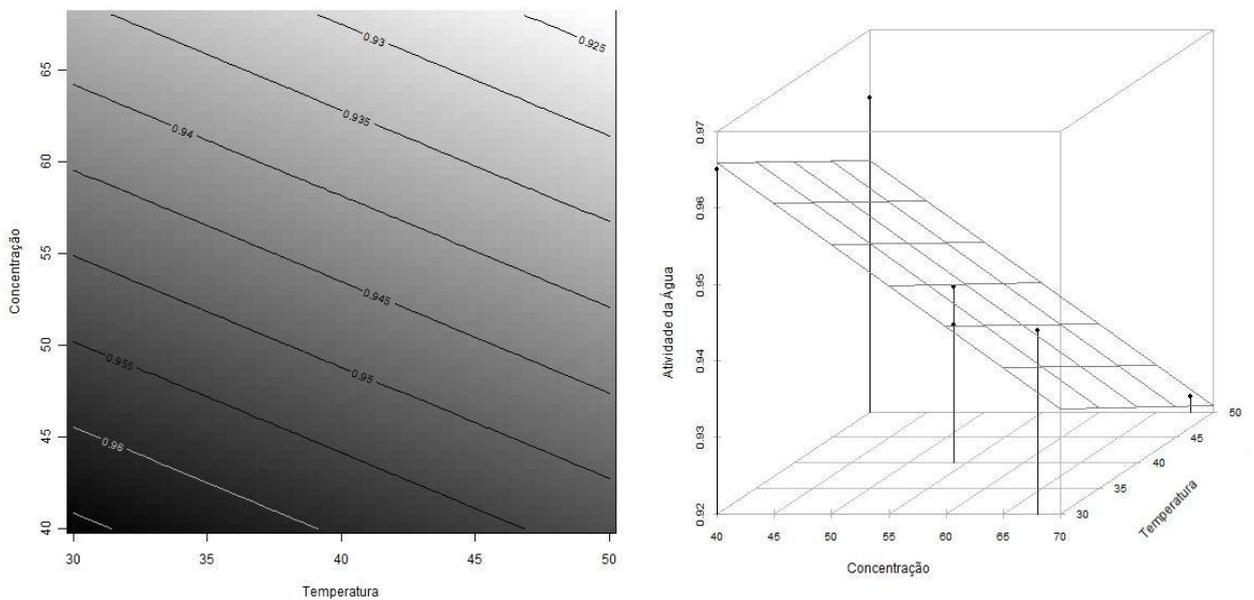


FIGURA 20- CURVAS DE NÍVEL E SUPERFÍCIE AJUSTADAS PARA O MODELO DE ATIVIDADE DE ÁGUA DAS RAÍZES DE YACON, DESIDRATADAS OSMOTICAMENTE SEM REVESTIMENTO.

A Figura 19 demonstra o significativo efeito da variável temperatura sobre a redução da atividade de água para os ensaios com revestimento. Isto pode ser observado pela gradual alteração da intensidade da cor na curva de nível, em

relação ao eixo temperatura. Já a Figura 20 mostra que a variável que teve efeito mais pronunciado sobre a atividade de água para os tratamentos sem revestimento foi a concentração. Isto pode ser observado pela maior inclinação do plano em relação ao eixo concentração, na superfície de resposta. O aumento da concentração da solução osmótica favorece a incorporação do soluto pelo material, acarretando em ligações entre as moléculas de soluto incorporadas e as moléculas de água livre que interagem com os grupos orgânicos polares das moléculas de soluto. Estas ligações provocam conseqüentemente a diminuição da disponibilidade de água livre, ocasionando a redução da atividade de água do material (UBOLDI EIROA, 1981).

O modelo matemático proposto por Tonon *et al.* (2006) também demonstrou maior influência da composição da solução sobre a atividade de água de tomates, sendo seguido pelos efeitos significativos da temperatura e da interação temperatura x composição.

5.3 SECAGEM

O processo de secagem foi realizado imediatamente após o tratamento osmótico, sendo as amostras pesadas e levadas à estufa para a determinação da massa seca total. As amostras foram levadas ao secador em telas de nylon, pois as fatias em contato com a bandeja de metal oxidam ficando com coloração escura, em tons de preto.

Os resultados dos ensaios de secagem estão apresentados na Tabela 9, na qual é apresentada a redução gradual da umidade e da atividade de água do yacon em função do tempo. Podemos observar que na temperatura de secagem de 50°C a amostra atingiu a umidade de equilíbrio após 210 minutos na estufa, para ambos os tratamentos, sem e com revestimento. Na temperatura de 60°C, o tratamento com revestimento teve o tempo de secagem reduzido em 30 minutos em comparação ao tratamento sem revestimento na mesma temperatura, sendo necessário para este 180 minutos para atingir o equilíbrio. Na temperatura de 70°C, todos os tratamentos atingiram a umidade de equilíbrio após 150 minutos na estufa. Como esperado, o aumento da temperatura do ar de reduziu o tempo de secagem.

TABELA 9- VARIAÇÃO DA UMIDADE E DA ATIVIDADE DE ÁGUA DAS RAÍZES DE YACON DURANTE O PROCESSO DE SECAGEM SEM E COM REVESTIMENTO, EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA

Tempo	SEM Revestimento						COM Revestimento					
	Umidade (%)			Aw			Umidade (%)			Aw		
	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C
0	59,54	88,94	60,45	0,935	0,943	0,940	75,17	78,38	71,62	0,971	0,978	0,962
30	42,86	60,10	30,35	0,858	0,842	0,792	62,37	55,01	49,47	0,945	0,929	0,920
60	24,49	42,80	16,64	0,766	0,689	0,444	48,10	38,63	20,67	0,859	0,638	0,501
90	17,04	20,32	8,30	0,693	0,381	0,318	28,98	17,95	11,19	0,574	0,583	0,324
120	11,65	15,39	5,90	0,444	0,364	0,319	11,33	14,30	8,09	0,576	0,439	0,308
150	8,21	11,40	4,01	0,333	0,362	0,339	12,81	12,12	5,42	0,354	0,322	0,312
180	11,45	9,39	---	0,380	0,346	---	8,79	---	---	0,379	0,326	---
210	8,39	---	---	0,347	---	---	8,83	---	---	0,352	---	---

FONTE: O autor (2011)

Comparando as umidades inicial e final das amostras verificamos uma redução média de 89,57% para os ensaios sem revestimento e 88,41% para os com

revestimento. Padilha (2009) estudou o tempo de secagem de yacon sem inibidor químico, com solução de cloreto de cálcio e solução de metabissulfito de sódio, em estufa ventilada a 55°C. Neste estudo foi observado uma redução nos valores de umidade, igual ou superior a 50%, somente após 18 horas de secagem. Estas amostras não foram submetidas a nenhum pré-tratamento osmótico, sendo apenas higienizadas, sanitizadas, descascadas e fatiadas. O efeito do pré-tratamento osmótico também foi observado por Moura (2004), que utilizou solução de sorbitol e relatou que amostras de yacon sem pré-tratamento, secas a 60°C em estufa convectiva, apresentaram tendência ao equilíbrio em 2,5 horas de secagem, enquanto as fatias pré-tratadas osmoticamente a tendência ao equilíbrio foi alcançada em 1,75 horas.

As Figuras 21 e 22 mostram a variação da atividade de água das fatias de yacon durante o processo de secagem nas três diferentes temperaturas, para os ensaios sem e com revestimento, respectivamente.

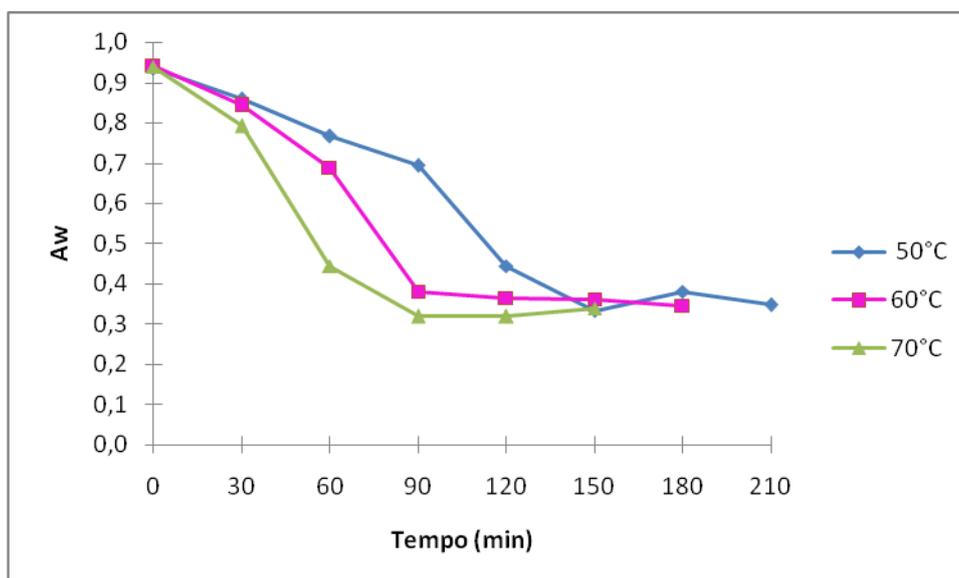


FIGURA 21- VARIAÇÃO DA ATIVIDADE DE ÁGUA DAS RAÍZES DE YACON DURANTE O PROCESSO DE SECAGEM PARA OS ENSAIOS SEM REVESTIMENTO, EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA

Podemos observar pela Figura acima que a diminuição da atividade de água durante o processo de secagem ocorreu gradativamente, sendo mais pronunciada a partir dos primeiros 30 minutos de processo. Após 120 minutos de secagem a

atividade de água das amostras sofreu pequenas alterações, mostrando uma tendência à estabilidade.

A redução da atividade de água foi mais rápida no processo de secagem com a maior temperatura (70°C), com um decréscimo de 63,94% em relação ao teor de A_w do início da secagem. No processo de secagem nas temperaturas de 50°C e 60°C a redução no teor de A_w foi de 62,89% e 63,31%, respectivamente, para os ensaios sem revestimento. A atividade de água final destes ensaios ficou no intervalo de 0,339 a 0,347. De acordo com Uboldi Eiroa (1981) com este nível de atividade de água o produto é classificado como alimento de baixa atividade de água ($A_w \leq 0,60$), sendo por isso, altamente estável quanto ao aspecto microbiológico. Além de inibir o crescimento microbiano, alimentos com este nível de atividade de água apresentam mais estabilidade em relação ao escurecimento não enzimático, reações hidrolíticas e atividade enzimática. Entretanto, os alimentos desidratados, se por qualquer causa absorverem umidade de maneira a elevar a sua A_w , eles se transformarão em bons substratos para o desenvolvimento de microrganismos, principalmente leveduras, a menos que tenham sido adicionados conservantes, ou que estejam bem protegidos por embalagens adequadas.

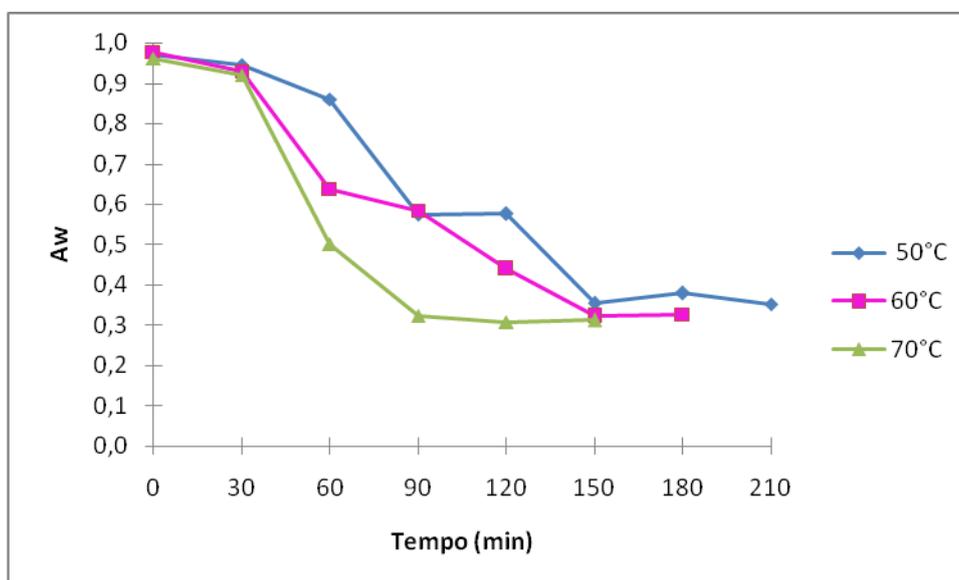


FIGURA 22– VARIAÇÃO DA ATIVIDADE DE ÁGUA DAS RAÍZES DE YACON DURANTE O PROCESSO DE SECAGEM PARA OS ENSAIOS COM REVESTIMENTO, EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA

Os ensaios realizados com revestimento tiveram comportamento semelhante aos sem revestimento. A atividade de água reduziu gradativamente, principalmente a partir de 30 minutos de processo, sendo pronunciada até 150 minutos de secagem. O aumento da temperatura de secagem favoreceu a redução da atividade de água, sendo atingida a menor atividade de água na temperatura de 70°C, após 150 minutos de processo de secagem. A atividade de água final destes ensaios está no intervalo de 0,312 a 0,352. Os ensaios com revestimento apresentaram um decréscimo médio de atividade de água de 65,99%, superior a média de 63,38% determinada para os ensaios sem revestimento.

As Figuras 23 e 24 a seguir, mostram o adimensional de secagem versus o tempo para as três temperaturas, nos ensaios com ausência de revestimento ou com presença de revestimento.

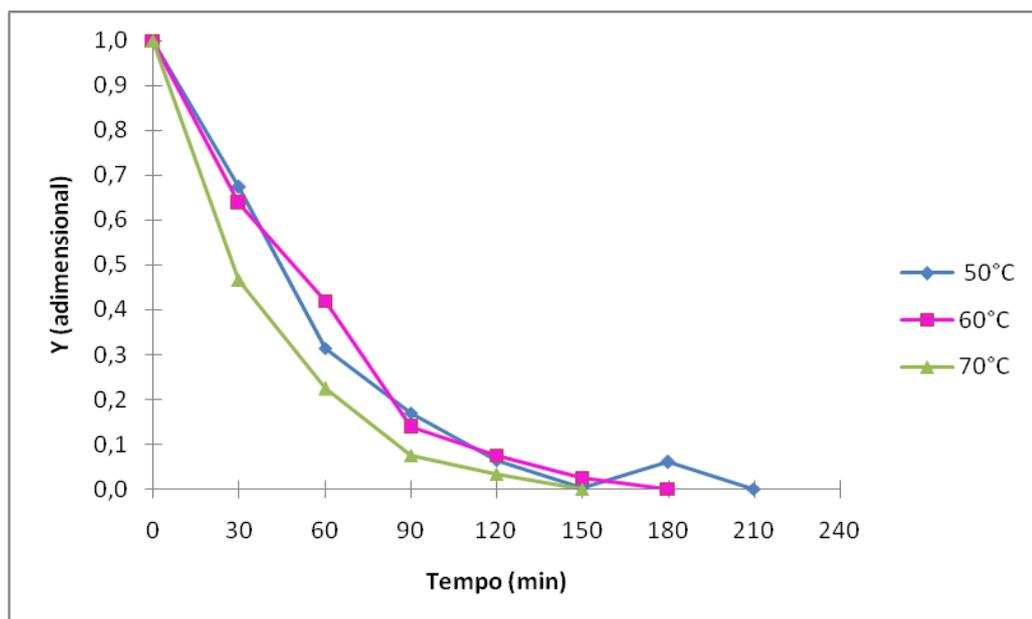


FIGURA 23- CURVA DE SECAGEM DAS RAÍZES DE YACON EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA, PARA OS ENSAIOS SEM REVESTIMENTO

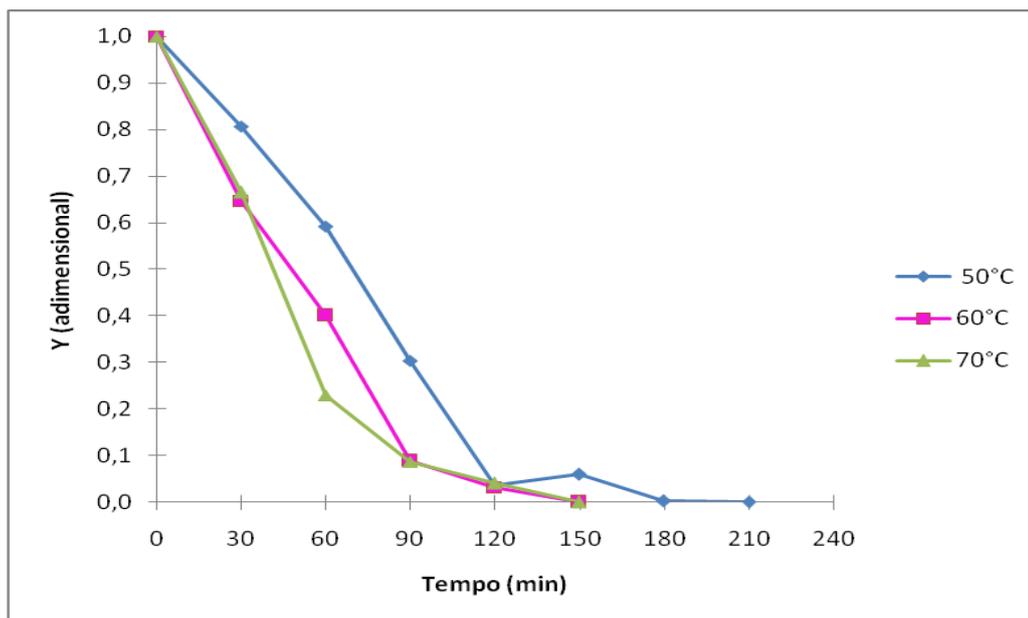


FIGURA 24- CURVA DE SECAGEM DAS RAÍZES DE YACON EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA, PARA OS ENSAIOS COM REVESTIMENTO

Por meio da Figuras 23 e 24, é possível perceber que as curvas de secagem dos tratamentos com e sem revestimento tiveram comportamento semelhante. O aumento da temperatura favoreceu o decréscimo da umidade, atingindo a umidade de equilíbrio mais rapidamente. Em todos os ensaios a taxa de secagem foi maior nos primeiros 90 minutos, e neste intervalo, a umidade reduziu em média 78,27% nos ensaios sem revestimento e em média 74,31% nos ensaios com revestimento. Em relação a taxas de secagem, Moura (2004) observou que elas apresentam comportamento diferenciado para as várias combinações de condições de pré-tratamento, notando influência da temperatura do ar de secagem, além da influência da concentração da solução osmótica. O aumento da concentração da solução osmótica provoca maior incorporação de sólidos e conseqüentemente, maior resistência à retida de água durante a secagem convectiva.

Em relação ao tempo de secagem a temperatura de 70°C retirou mais água em menos tempo, reduziu a umidade em 93,37% e 92,43% em 150 minutos nos ensaios sem e com revestimento, respectivamente, enquanto as temperaturas de 50 e 60°C alcançaram o equilíbrio em maior tempo com menor perda de umidade. Na temperatura de 60°C a umidade reduziu em 89,44% após 180 minutos de secagem no ensaio sem alginato de sódio e reduziu em 84,54% após 150 minutos no ensaio com presença de revestimento. Na temperatura de 50°C as reduções foram de

85,91% e 88,25% após 210 minutos nos ensaios sem e com cobertura de alginato de sódio, respectivamente. Moura (2004) obteve o mesmo resultado secando yacon, pré-tratado em solução de sorbitol, nas mesmas temperaturas utilizadas neste estudo. E concluiu que o tempo de secagem na temperatura de 70°C retirou mais água em menor tempo e as temperaturas de 50 e 60°C tenderam ao equilíbrio em maior tempo com menor diminuição no teor de água. Porém nem sempre o aumento da temperatura aumenta a velocidade de secagem, pois pode ocorrer aquecimento da superfície do alimento e, por conseguinte enrijecimento, o que diminui a difusividade da água (MOURA, 2004).

A Figura 25 apresenta amostras de fatias de yacon, sem (A) e com (B) revestimento, desidratadas osmoticamente, a 68°Brix e 30°C por 60 minutos e em seguida, secas em estufa convectiva nas diferentes temperaturas.

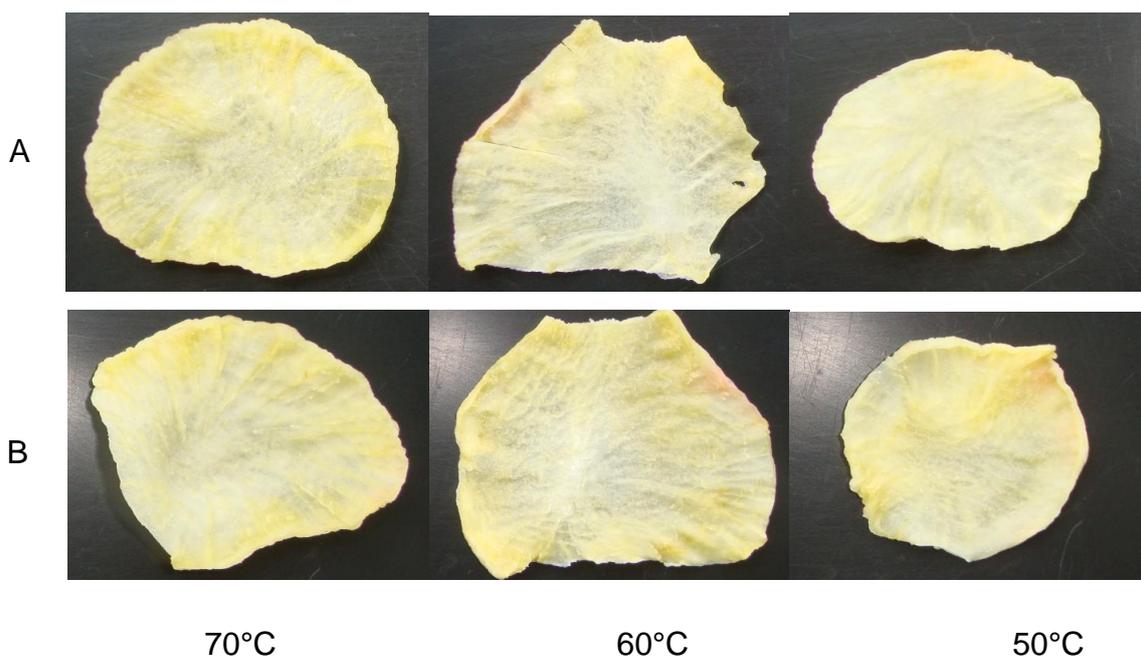


FIGURA 25 - YACON SUBMETIDO AO PRÉ-TRATAMENTO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COM FRUTOSE E AO PROCESSO DE SECAGEM CONVECTIVA: (A) SEM COBERTURA, (B) COM COBERTURA DE ALGINATO DE SÓDIO.

5.4 ISOTERMAS DE SORÇÃO

A Tabela 10 relaciona os valores médios de umidade de equilíbrio com a atividade de água determinada pelos sais, para a construção das isotermas de sorção.

TABELA 10– UMIDADE DE EQUILÍBRIO DO YAÇON DESIDRATADO E SECO ATINGIDA EM ESTUFA B.O.D. A 25°C, EM FUNÇÃO DA ATIVIDADE DE ÁGUA DOS SAIS

Aw	X _{eq} (g água/100 g m.s.)	
	DESIDRATADO	SECO
0,112	12,7998	2,9050
0,432	22,8281	10,2903
0,529	25,2368	14,2994
0,642	30,2980	21,0746
0,753	44,9276	33,2436
0,844	53,2638	47,5806

FONTE: O Autor (2011)

Como esperado, foi possível observar que a umidade de equilíbrio do material é crescente à medida que a atividade de água dos sais aumenta. A amostra de yacon seco apresentou menor umidade de equilíbrio em relação à amostra de yacon desidratado, em todas as diferentes atividades de água. Segundo Iguedjtal (2008), durante o processo de secagem os alimentos sofrem alterações na estrutura associadas a uma deformação do produto (redução) devido à grande quantidade de água removida. Em um processo clássico de secagem são observadas duas fases, a primeira fase envolve a remoção de água com deformação do produto, e a segunda fase, com remoção de água limitada, mas um com aumento de temperatura que leva a degradação térmica do produto. Esta alteração estrutural causada pelo processo de secagem pode ser uma possível explicação para a diferença no teor de umidade de equilíbrio entre as amostras.

As isotermas de sorção foram ajustadas para os modelos de GAB, BET e OSWIN, descritos nas Equações 5, 6 e 7 (Item 4.7), e o método de estimativa utilizado para estimar os parâmetros foi o método de Gauss-Newton. Na Tabela 11 são mostrados os valores dos parâmetros calculados para os ajustes, além do coeficiente de determinação (R^2) e do erro relativo médio (E).

TABELA 11– VALORES DOS PARÂMETROS DOS MODELOS DE ISOTERMAS DE SORÇÃO ESTIMADOS PARA AS RAÍZES DE YACON DESIDRATADAS E SECAS

MODELO	CONSTANTES	YACON	
		DESIDRATADO	SECO
GAB	X_m	59,740 (\pm 213, 897)	17,369 (\pm 6,759)
	C_{Gab}	1,544 (\pm 11,380)	0,974 (\pm 0,306)
	K	0,384 (\pm 1,37)	0,879 (\pm 0,036)
	R^2	0,95	0,99
	E (%)	17,08	7,87
BET	X_m	175,842 (\pm 147,309)	30,563 (\pm 4,824)
	C	0,214 (\pm 0,162)	0,549 (\pm 0,059)
	n	16,953 (\pm 5,292)	20,348 (\pm 1,181)
	R^2	0,95	0,99
	E (%)	17,35	6,87
OSWIN	A	25,629 (\pm 0,834)	13,635 (\pm 0,327)
	B	0,438 (\pm 0,026)	0,750 (\pm 0,017)
	R^2	0,98	0,99
	E (%)	7,96	5,14

FONTE: O Autor (2011)

O modelo de GAB forneceu valores de umidade de monocamada (X_m) menores que os obtidos por BET. A região correspondente à monocamada de água é a região inicial da curva ($A_w < 0,20$). Nesta região as moléculas de água possuem elevadas energias de ligação aos grupos polares diretamente acessíveis e com pequeno grau de liberdade (UBOLDI EIROA, 1981). Pelos coeficientes de determinação, podemos dizer que todos os modelos apresentaram bom ajuste, porém os altos erros relativos médios observados para os modelos de GAB e BET para o yacon desidratado permitem indicar OSWIN como o modelo de melhor ajuste. Além do menor erro relativo, uma boa indicação de melhor ajuste para o modelo de OSWIN é o mesmo possuir menos parâmetros em relação aos outros modelos ajustados, apenas dois parâmetros. Já os modelos de GAB e BET possuem três parâmetros e tiveram maior desvio padrão dos parâmetros estimados. O modelo de GAB não apresentou bom ajuste para as raízes de yacon desidratadas, pois apresentou desvio padrão dos parâmetros superiores aos próprios valores estimados para os parâmetros.

Nas Figuras 26 e 27 são apresentadas as comparações entre os valores experimentais e os previstos pelos modelos aplicados, para as isotermas de trabalho das raízes de yacon desidratado e das raízes de yacon seco. As Figuras a seguir mostram o comportamento exponencial das isotermas.

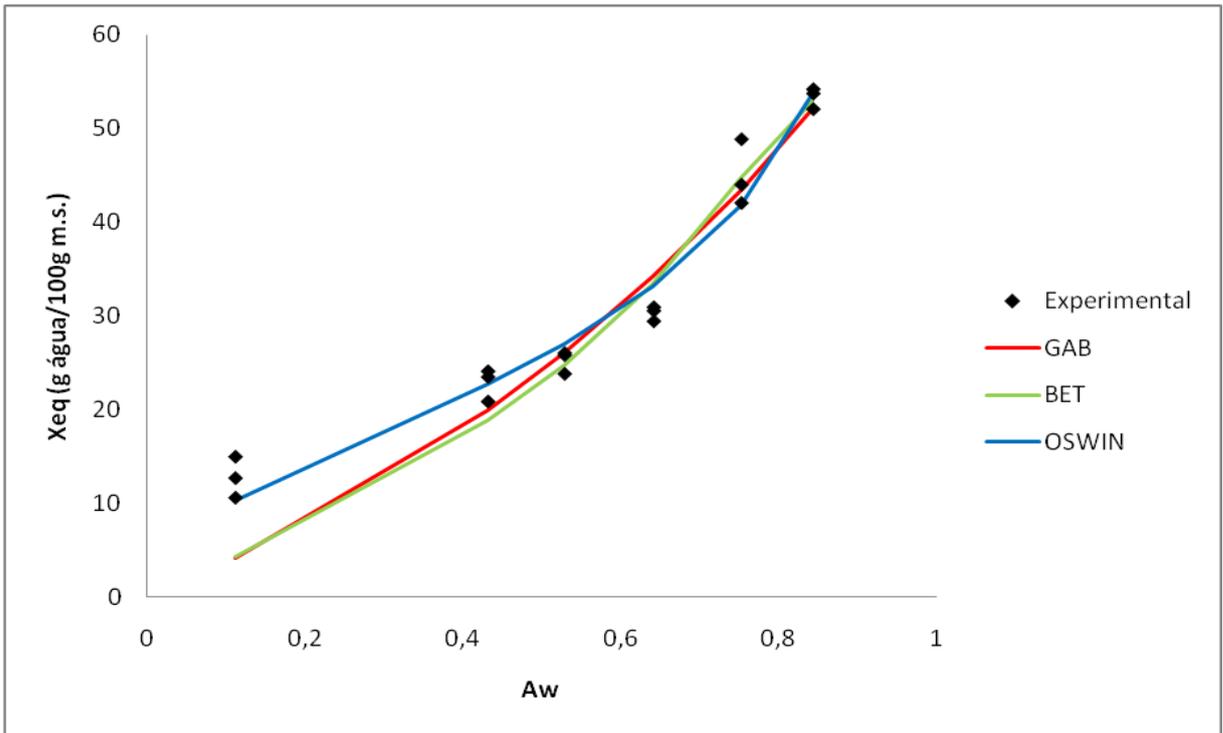


FIGURA 26– ISOTERMAS DE SORÇÃO DO YAÇON DESIDRATADO AJUSTADAS PELOS MODELOS DE BAG, BET E OSWIN, EM FUNÇÃO DA ATIVIDADE DE ÁGUA DOS SAIS

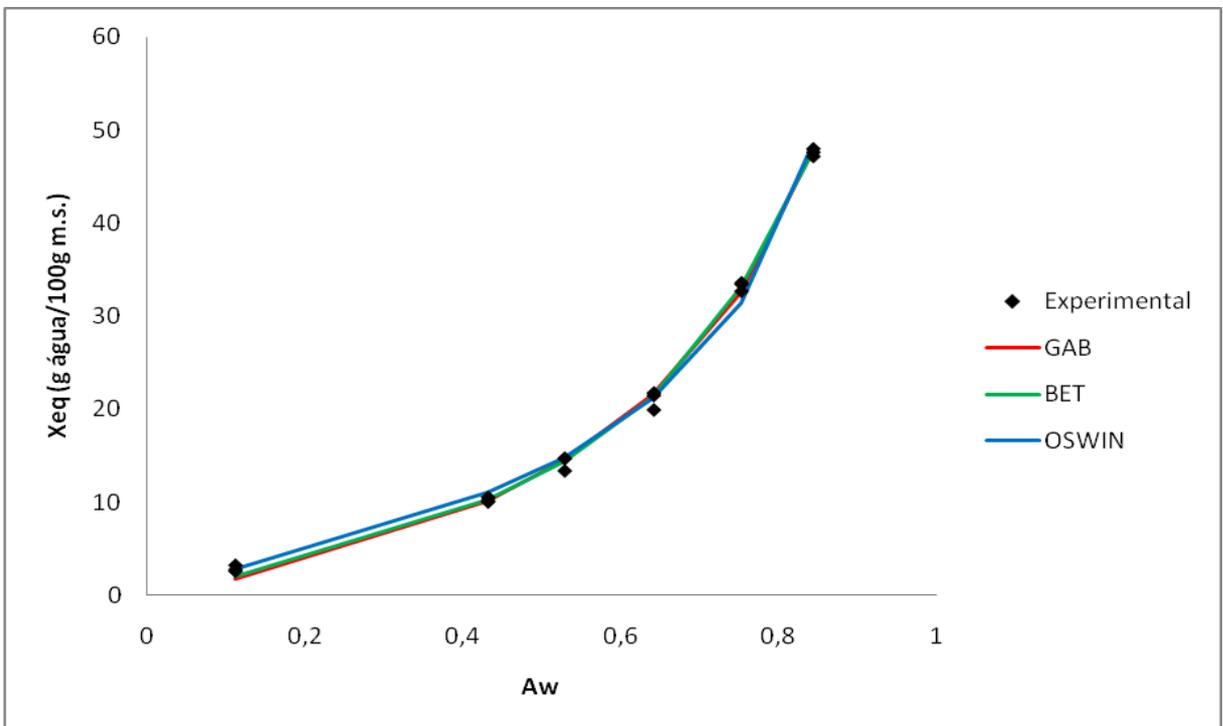


FIGURA 27– ISOTERMAS DE SORÇÃO DO YAÇON SECO AJUSTADAS PELOS MODELOS DE BAG, BET E OSWIN, EM FUNÇÃO DA ATIVIDADE DE ÁGUA DOS SAIS

Ajustando as isotermas de trabalho do yacon desidratado e seco para os modelos matemáticos obtivemos R^2 e o erro relativo (%) para cada um destes modelos. Assim, a escolha do modelo mais adequado para a determinação da umidade de equilíbrio e a avaliação do melhor ajuste foi feita pelo valor do desvio relativo entre os valores experimentais e os valores previstos pelo modelo. Segundo esta análise foi determinado o modelo de OSWIN como o que apresentou melhor ajuste às isotermas, tanto para o yacon desidratado como para o yacon seco, pois forneceu os menores valores de erro relativo (%). Podemos observar ainda pelas Figuras 26 e 27 que o modelo de OSWIN foi o modelo que mais cruzou pela região de confiança dos pontos experimentais.

Em relação ao yacon desidratado o modelo de OSWIN apresentou o menor erro relativo 5,14%, seguido do modelo de BET (6,87%) e do modelo de GAB (7,87%). Em relação ao yacon seco o modelo de OSWIN apresentou erro relativo de 7,96%, seguido dos modelos de GAB e BET que apresentaram erros relativos de 17,08% e 17,34%, respectivamente. Segundo Park (2001a), geralmente é considerado que valores de desvio relativo médio abaixo de 10% indicam um razoável ajuste para as práticas propostas.

Pela representação gráfica (Figuras 26 e 27) dos valores experimentais observamos que o comportamento das isotermas de trabalho obtidas para o yacon desidratado e seco foi do tipo III, segundo Schwanke (2003). Brandalero *et al.* (2005) apresentaram isotermas de pedaços de abacaxi desidratado em solução de sacarose, sem revestimento e revestidos com alginato e gelatina. O ajuste dos dados das isotermas de sorção foi feito através de regressão não linear utilizando-se o modelo de Halsey modificado. Foi observado que o comportamento das isotermas dos abacaxis também foi do tipo III, que segundo Brandalero *et al.* (2005), é típico para alimentos com alto teor de açúcares, o que condiz com a nossa amostra. A isoterma para as frutas revestidas com gelatina apresentou sobreposição à do controle (sem revestimento). Abacaxis revestidos com alginato apresentaram teor de umidade maior para todos os valores de atividade de água (A_w) quando comparados com os demais tratamentos.

6 CONCLUSÕES

Em sua composição a raiz tuberosa de yacon apresenta elevado conteúdo de umidade e pode ser considerada uma fonte pobre de proteínas (0,26%) e lipídeos (0,07%), uma boa fonte de fibra alimentar (6,88g/100g) e de minerais como o cálcio (36,17 mg/100g), fósforo (14,63 mg/100g), ferro (13,84 mg/100g) e zinco (0,36mg/100g).

A condição ótima encontrada para o processo de desidratação osmótica de fatias de yacon, no intervalo pesquisado, foi: revestimento com alginato de sódio, desidratado por 60 minutos, em solução de frutose a 68°Brix e temperatura de 30°C.

O aumento da concentração da solução osmótica e o aumento da temperatura favoreceram a perda de umidade, porém aumentaram também a incorporação de sólidos.

A utilização do revestimento de alginato de sódio no processo prévio à desidratação osmótica do yacon reduziu a incorporação de sólidos em média de 42,5% em relação ao material não revestido.

Os modelos matemáticos construídos são adequados para prever os valores das respostas de interesse. A concentração da solução osmótica foi a variável de maior significância para a perda de água, e a presença de revestimento a variável de maior significância para a incorporação de sólidos, seguida da temperatura e concentração.

A atividade de água do produto do pré-tratamento é menor quanto maior a temperatura e a concentração da solução. O modelo para atividade de água foi o único que apresentou efeito significativo da interação entre o revestimento e a concentração da solução desidratante.

No processo de secagem convectiva, o aumento da temperatura do ar da estufa reduziu o tempo de secagem e favoreceu a diminuição da atividade de água (A_w) nos tratamentos sem e com revestimento.

Em relação às isotermas, a avaliação do melhor ajuste foi feita pelo valor do desvio relativo entre os valores experimentais e os valores estimados. O modelo que melhor representou os resultados das isotermas de trabalho do yacon foi o de OSWIN, apresentando os valores de erro relativo de 7,96% para o yacon desidratado e de 5,14% para o yacon seco.

Para todos os valores de atividade de água, as amostras secas de yacon exibiram conteúdos de umidade de equilíbrio menores do que as amostras desidratadas osmoticamente.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional da Vigilância Sanitária – ANVISA. Disponível em: <http://www4.anvisa.gov.br/base/visadoc/CP/CP%5B8989-1-0%5D.PDF>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2011.

AOAC. **Official Methods of Analysis**. 16ª edição. Association of Official Analytical Chemists, Washington, EUA, 1997.

ANTONIO, G.C.; KUROZAWA, L.E.; XIDIEH MURR, F. E.; PARK, K.J. Otimização da Desidratação Osmótica de Batata Doce (*Ipomoea batatas*) Utilizando Metodologia de Superfície de Resposta. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.9, n.2, p. 135-141, abr./jun. 2006.

AVIGAD, G.; DEY, P.M. Carbohydrate metabolism: storage carbohydrates. In: DEY, P.M.; HARBORNE, J.B. (Ed.). *Plant Biochemistry*. Londres: Academic Press, p. 143-204, 1997.

AZEREDO, H.M.C.; JARDINE, J.G. Desidratação osmótica de abacaxi aplicada à tecnologia de métodos combinados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n.1, abr. 2000.

BORNET, F.R.J. Undigestible sugars in food products. **The American Journal of Clinical Nutrition**, n. 59, p. 763-769, 1994.

BOSSCHER, D.; LOO, J.V.; FRANCK, A. Inulin and oligofructose as prebiotics in the prevention of intestinal infections and diseases. **Nutrition Research Reviews**, n. 19, p. 216-226, 2006.

BRANDELERO, R.P.H.; VIEIRA, A.P.; TELIS, V.R.N.; TELIS-ROMERO, J.; YAMASHITA, F. Aplicação de revestimento comestível em abacaxis processados por métodos combinados: isotermas de sorção e cinética de desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 285-290, 2005.

BROD, F.P.R.; ALONSO, L.F.T.; PARK, K.J. Secagem de produtos agrícolas. XI SEMEAGRI – Semana de Engenharia Agrícola da Unicamp. **Agrológica - Empresa Jr. de Engª Agrícola**, Campinas, 122 p, 1999.

CAPITO, S.M.P. Raíz tuberosa de yacón (*Polymnia sonchifolia*): caracterização química e métodos de determinação de frutanos (CG e CLAE-DPA). (Dissertação de

Mestrado - Faculdade de Ciências Farmaceuticas, Universidade de São Paulo.), 105p, 2001.

CHATTERTON, N.J., HARRISON, P.A., THORNLEY, W.R., BENNET, J.H. Separation and quantification of fructan (inulin) oligomers by anion exchange chromatography in: FUCHS, A. Inulin and Inulin-containing Crops, Ed: **Elsevier Science Publishers**: v.3, p.93, 1993.

CÓRDOVA, K.R.V. Desidratação osmótica e secagem convectiva de maçã Fuji comercial e industrial. (Dissertação de Mestrado – Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná), 167p, 2006.

CORNILLON, P. Characterization of osmotic dehydrated apple by NMR and DSC. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v.33, p.261-267, 2000.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K.L.; FENNEMA, O.R. Química de Alimentos de Fennema. 4ª edição. Porto Alegre: Artmed, 2010.

DITCHFIELD, C. Estudo dos métodos para a medida da atividade de água. (Dissertação de Mestrado – Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo), 195p, 2000.

EDELMAN, J.; JEFFORD, T.G. The mechanism of fructosan metabolism in higher plants as exemplified in *Heliantus tuberosus*. **New Phytologist**, v. 67, p 517-531, 1968.

FORTES, R.C.; MUNIZ, L.B. Efeitos da suplementação dietética com frutooligossacarídeos e inulina no organismo humano: estudo baseado e evidências. **Comunicação em Ciências da Saúde**, v. 20, n. 3, p. 241-252, 2009.

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

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

GIBSON, G.R.; ROBERFROID, M.B. Dietary modulation of the human colonic microbiota – introducing the concept of prebiotics. **Journal of Nutrition**, Madison, v. 125, p. 1401-1412, 1995.

GOTO, K.; FUKAI, K.; HIDIKA, J., NANJO, F.; HARA, Y. Isolation and structural analysis of oligosaccharides from yacon (*Polymnia sonchifolia*). **Bioscience Biotechnology and Biochemistry**, Tokyo, v. 59, p. 2346-2347, 1995.

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**, Lima, v.86, p.157-165, 2004.

GRAU, A.; REA, J. Yacon. *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. In: HERMANN, M.; HELLER, J. **Andean roots and tubers: Ahipa, arracacha, maca and yacon. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops**. Rome: IPK, Gatersleben / IPGRI. p. 199-242., 1997.

GUIGOZ, Y.; ROCHAT, F.; PERRIUSSEAU-CARRIER, G.; ROCHAT, J.; SCHIFFRIN, E.J. Effects of oligosaccharides on the faecal flora and non-specific immune system in elderly people. **Nutrition of Research**, Tarrytown, v. 22, p. 13-25, 2002.

HERMAN, M.; FREIRE, I., PAZOS, C. Compositional diversity of the yacon storage root. **CIP Program Report**. Lima, p. 425-432, 1997-1998.

HUBINGER, M.D.; PEZANTES, D.V.; KUROZAWA, L.E.; SOBRAL, P.J.A. Isothermas de dessorção de filé de bonito (*Sarda sarda*) desidratado osmoticamente e defumado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 305-311, 2009.

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

KIM,D.H., CHOI, Y.J.; SONG, S.K.; YUN, J.W. Production of inulo-oligosaccharides using endo-inulinase from a *pseudomonas* sp. **Biotechnology Letters**, v.19, n. 4, p.369-371, 1997.

LENART, A.; DABROWSKA, R. Osmotic dehydration os apples with polysaccharide coatings. **Polish Journal of Foods and Nutrition Science**, v. 6, n. 4, p. 105-112, 1997.

MANRIQUE, I.; HERMANN, M.; BERNET, T. **Yacon – Fact Sheet**. International Potato Center. Lima, 2004.

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

MASTRANGELO, M. M.; ROJAS, A. M.; CASTRO, M. A.; GERSCHENSON, L. N.; ALZAMORA, S. M. Texture and structure of glucose-infused melon. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Chichester, v. 80, n. p. 769-776, 2000.

MAURER, G. Mitos y verdades del yacón. Disponível em: <http://www.alertanutricional.org/interior.php?num=27>. Acesso em: 17/08/2010.

McCLEARY, B.V., BLAKENEY, A.B. Measurement of inulin and oligofructan. **Cereal Foods World**, v.44, p. 398-406, 1999.

MICHELS, I. Aspectos tecnológicos do processamento mínimo de tubérculos de yacón (*Polymnia sonchifolia*) armazenados em embalagens com atmosfera modificada. (Dissertação de Mestrado – Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná), 115p, 2004.

MYERS, R.H.; MONTGOMERY, D.C. Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. John Wiley & Sons: Canada, 1995.

MOSCATTO, J.A.; PRUDÊNCIO-FERREIRA, S.H.; HAULY, M.C.O. Farinha de yacón e inulina como ingredientes na formulação de bolo de chocolate. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.24, n.4, p.634-640, out.-dez. 2004.

MOURA, C. P. Aplicação de redes neuronais para a predição e otimização do processo de secagem de yacón (*Polymnia sonchifolia*) com pré-tratamento osmótico. (Dissertação de Mestrado – Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná), 107p, 2004.

NEVES, L. S. ; GRANATO, D. ; PINTO, A. ; SANTOS, E. ; ABRAAO, I. ; FADEL, J. ; BERTOL, K. . Inativação enzimática para a produção de suco de Yacón. In: **VI Semana de Engenharia de Alimentos**, 2005. VI Semana de Engenharia de Alimentos.

OLIVEIRA, R.A.; PARK, K.J.; CHIORATO, M.; PARK, K.J.B.; NOGUEIRA, R.I. Otimização da extração de inulina de raízes de chicória. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 131-140, 2004.

OZDEMIR, M.; OZEN, B.F.; DOCK, L.L.; FLOROS, J.D. Optimization of osmotic dehydration of diced green peppers by response surface methodology. **Food Science and Technology**, v.41, p. 2044-2050, 2008.

PADILHA, V.M.; ROLIM, P.M.; SALGADO, S.M.; LIREVA, A.V.S.; OLIVEIRA, M.G. Tempo de secagem e da atividade de óxido-redutases de *yacon* (*Smallanthus sonchifolius*) sob tratamento químico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.7, p.2178-2184, 2009.

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**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001a.

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**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001b.

PASSOS, L.M.L.; PARK, Y.K. Frutooligosacarídeos: implicações na saúde humana e utilização em alimentos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 385-390, 2003.

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.

PEDRESCHI, R.; CAMPOS, D.; NORATTO, G.; CHIRINOS, R.; ZEVALLOS, L.C. Andean yacon root (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. Endl) fructooligosaccharides as a potential novel source of prebiotics. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, n. 51, p. 5278-5284, 2003.

QUEMENER, B.; THIBAUT, J-F.; COUSSEMENT, P. Integration of inulin determination in the AOAC method for measurement of total dietary fibre. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.21, p.175-178, 1997.

RAHMAN, P.M.S.; BUCKLE, K.A.; PERERA, C.O. Osmotic dehydration kinetics of pineapple wedges using palm sugar. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v.29, p.452-459, 1996.

RAOULT-WACK, A. L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 5, n. 8, p. 255-260, 1994.

ROBERFROID, M. Prebiotics: The Concept Revisited. **The Journal of Nutrition**, n. 137, p. 830-837, 2007.

SANTANA, I.; CARDOSO, M.H. Raiz tuberosa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): potencialidade de cultivo, aspectos tecnológicos e nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.3, p.898-905, 2008.

SCHWANKE, R.O. Determinação da difusividade de hidrocarbonetos aromáticos em Zeólitas Y por métodos cromatográficos. (Dissertação de Mestrado – Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina), 115p, 2003.

SERENO, A.M.; HUBINGER, M. D.; COMESAÑA, J. F.; CORREA, A. Prediction of water activity of osmotic solutions. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 49, p.103-114, 2001.

SHI, J.; PAN, Z.; MCHUGH, T.H.; WOOD, D.; HIRSCHBERG, E.; OLSON, D. Drying and quality characteristics of fresh and sugar-infused blueberries dried with infrared radiation heating. **Food Science and Technology**, v. 41, p.1962-1972, 2008.

SILVA, R.F. Use of inulin as a natural texture modifier. **Cereal Foods World**, St. Paul., v. 41, n.10, p.792-795, 1996.

SOUZA NETO, M.A.; MAIA, G.A.; LIMA, J.R.; FIGUEIREDO, R.W.; SOUZA FILHO, S.M.; LIMA, A.S. Cinética de desidratação osmótica de manga. **Publicatio UEPG Ciências Exatas e daTerra, Ciências Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v.10, n. 2, p.37-44, 2004.

STEVENS, C.; MERIGGI, A.; BOOTENS, K. Chemical modification of inulin, a valuable renewable resource and its industrial applications. **BioMacromolecules**, v.2, n. 1, p. 1-16, 2001.

STOJANOVIC, J.; SILVA, J.L. Influence of osmotic concentration, continuous high frequency ultrasound and dehydration on antioxidants, colour and chemical properties of rabbiteye blueberries. **Food Chemistry**, v.101, p. 898–906, 2007.

TEIXEIRA NETO, R.O.; QUAST, D.G. Isotermas de adsorção de umidade em alimentos. **ITAL**, Campinas, v. 8, p. 141-194, 1993.

TORREGGIANI, D.; BERTOLO, G. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 49, 247-256, 2001.

TONON, R.V.; BARONI, A.F.; HUBINGER, M.D. Estudo da desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias pela metodologia de superfície de resposta. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 3, p.715-723, 2006.

TRAVAGLINI, D.A.; AGUIRRE, J.M.; SILVEIRA, E.T.F. Desidratação de frutas In: AGUIRRE, J.M.; GASPARINO FILHO, J. **Desidratação de frutas e hortaliças – manual técnico**. Campinas, ITAL, 1999.

UBOLDI EIROA, M.N. Atividade de água: influência sobre o desenvolvimento de microrganismos e métodos de determinação em alimentos. **Boletim ITAL**, Campinas, v. 18, n. 3, p. 353-383, 1981.

UDDIN, M.B.; AINSWORTH, P.; IBANOGLU, S. (2004). Evaluation of mass exchange during osmotic dehydration of carrots using response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, 65, 473-477.

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

VALENTOVÁ, K.; STEJSKAL, D.; BARTEK, J.; DVORÁCKOVÁ, S.; KREN, V.; ULRICHOVÁ, J.; SIMÁNEK, V. Maca (*Lepidium meyenii*) and yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in combination with silymarin as food supplements: In vivo safety assessment. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, p. 1006-1013, 2008.

VENDRELL-PASCUAS, S.; CASTELLOTE-BARGALLÓ, A.I.; LOPEZ-SABATER, M.C. Determination of inulin in meta products by high-performance liquid chromatography with refractive index detection. **Journal of Chromatography**, v.881, p.591-597, 2000.

Yacon syrup. Disponível em: <http://www.candida-cure-recipes.com/yacon-syrup.html>. Acesso em: 17/08/2010.

YUN, J.W. Fructooligosaccharides – occurrence, preparation, and application. **Enzyme and Microbial Technology**, n. 19, p. 107-117, 1996.

ZULETA, A.; SAMBUCETTI, M.E. Inulin determination for food labeling. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v.49, n. 10, p. 4570-4572, 2001.