



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Câmpus de São José do Rio Preto

Lucídio Molina Filho

**INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS DE PROCESSO SOBRE A CINÉTICA
DE SECAGEM DE ABÓBORA**
(Cucurbita moschata)

São José do Rio Preto
2011

Lucídio Molina Filho

**INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS DE PROCESSO SOBRE A CINÉTICA
DE SECAGEM DE ABÓBORA**
(Cucurbita moschata)

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia e Ciências de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências de Alimentos, Área de Concentração - Engenharia de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Aparecida Mauro.

São José do Rio Preto
2011

Molina-Filho, Lucídio.
Influência de variáveis de processo sobre a cinética de secagem de
abóbora (*Cucurbita moschata*) / Lucídio Molina Filho. - São José do Rio
Preto: [s.n.], 2011.
145 f. ; 30 cm.

Orientador: Maria Aparecida Mauro
Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de
Biociências, Letras e Ciências Exatas

1. Tecnologia de alimentos. 2. Alimentos - Desidratação. 3. Abóbora -
Secagem. 4. Alimentos – Avaliação sensorial. I. Mauro, Maria Aparecida.
II. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências
Exatas. III. Título.

CDU – 664.8.047

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do IBILCE
Campus de São José do Rio Preto - UNESP

LUCÍDIO MOLINA FILHO

**INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS DE PROCESSO SOBRE A CINÉTICA
DE SECAGEM DE ABÓBORA
(*Cucurbita moschata*)**

COMISSÃO JULGADORA
BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dra. Maria Aparecida Mauro
(Orientadora – IBILCE/UNESP)

Prof. Dr. Fabio Yamashita
(FEA/UDEL)

Prof. Dr. Joel Fernando Nicoletti
(FAE/UTFPR)

Prof. Dr. Jose Antônio Gomes Vieira
(IBILCE/UNESP)

Prof. Dr. Javier Telis Romeiro
(IBILCE/UNESP)

São José do Rio Preto
12/agosto/2011.

DADOS CURRICULARES

LUCÍDIO MOLINA FILHO

NASCIMENTO 25 / 09 / 62

FILIAÇÃO Lucídio Molina
Juracy Ribeiro Molina

1990 Curso de Graduação
Licenciatura Plena em Matemática
UFMS – Corumbá/MS

2005 Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de
Alimentos, nível de Mestrado
UNESP – São. José do Rio Preto/SP

2011 Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de
Alimentos, nível de Doutorado
UNESP – São José do Rio Preto/SP

Dedico

À minha esposa Soraya Corrêa da Costa Molina e aos meus filhos Letícia Corrêa da Costa Molina e Luciano Corrêa da Costa Molina. Pelo amor, carinho, apoio e incentivo, dando sentido as minhas conquistas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela valiosa oportunidade de vida, por me abençoar, dar força e capacitar para enfrentar os desafios que me são impostos pela vida.

Agradeço à minha orientadora Prof^a. Dra. Maria Aparecida Mauro pela oportunidade oferecida, incentivo, apoio, amizade e incansável dedicação, muitas vezes trabalhando finais de semana e após o seu horário de serviço para a realização deste trabalho e de nossas publicações.

Aos meus pais (*In memoriam*), Lúcido Molina e Juracy Ribeiro Molina, pelo alicerce de minha formação pessoal e todo amor e carinho que me dedicaram.

À minha esposa Soraya e aos meus filhos Letícia e Luciano, pelo apoio incondicional e pela compreensão por tantas vezes que me ausentei do convívio familiar para que eu pudesse desenvolver este trabalho. Vocês permanecerão sempre em minha vida e em meu coração, pois eu os amo muito.

Aos meus irmãos e sobrinhos que sempre me incentivaram e apoiaram em minha caminhada.

Ao Professor Dr. Javier Telis Romero, pela oportunidade e confiança depositada em min, que me motivaram a cursar a Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos e pelo incentivo para nunca desistir.

Ao Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos (DETA) da Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de São José do Rio Preto, que me permitiu cursar a Pós-Graduação e proporcionou o suporte necessário para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores integrantes da banca examinadora, Prof. Dr Fabio Yamashita, Prof. Dr. Joel Fernando Nicoleti, Prof. Dr. Javier Telis Romero e Prof. Dr. José Antônio Gomes Vieira, pelas correções e sugestões apresentadas neste trabalho.

Aos professores, Prof. Dr. Renato Alexandre Ferreira Cabral e a Prof^a. Dra. Maria Angélica Marques Pedro, por integrarem a banca na condição de suplente e por abrilhantarem com sua presença a apresentação desta tese.

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo suporte financeiro que viabilizou a realização deste trabalho (Proc. 07/07586-0) e pelas bolsas de iniciação científica (Proc 07/00809-3; Proc. 04/15550-7)

À Elen Cristina Frascareli e à Ana Karla Rebes pela contribuição imprescindível na colaboração e na execução de alguns dos experimentos.

Às Professoras do Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), Profª Dra Eliete Vaz de Faria, pela doação de embalagem para a realização de terceiro experimento de sensorial e à Pesquisadora Léa Mariza de Oliveira, que efetuou a análise da composição das referidas embalagens.

Aos Professores e funcionários do DETA, que direta ou indiretamente contribuíram para que eu tivesse êxito neste trabalho.

À coordenação de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, pela estrutura organizacional e colaboração que possibilitou a obtenção do título.

A Todos os meus sinceros agradecimentos.

*“Pensamos demasiadamente e
sentimos muito pouco. Precisamos mais
de humanidade que de máquinas. Mais de
bondade e ternura que de inteligência.
Sem isso, a vida se tornará violenta e tudo
se perderá.” (Charles Chaplin)*

*O trabalho científico- acadêmico tem
seu valor não apenas no seu produto final,
mas sim na dinâmica do saber, na
permanente troca de informações para o
constante desenvolvimento acadêmico,
científico, cultural e social.
(Desconhecido)*

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do branqueamento térmico, da aplicação de coberturas comestíveis e de parâmetros de secagem (temperatura e velocidade do ar) sobre a cinética de secagem de abóboras sobre o encolhimento e a capacidade de re-hidratação de abóboras. Fatias (4mm) de abóbora *Cucurbita moschata*, cultivar Rajada Seca Melhorada, frescas, branqueadas ou revestidas com cobertura comestível (pectina) foram secas às temperaturas de 60 ou 70°C usando velocidade do ar de 0,85m/s e 1,70m/s. A cinética de secagem foi avaliada segundo a solução analítica da Lei de Fick. Foi utilizada, como uma alternativa simplificada para calcular a difusividade, uma aproximação que incorpora o encolhimento na solução analítica da equação de Fick. O encolhimento das amostras frescas, branqueadas e com coberturas comestíveis foi determinado experimentalmente através de medidas de densidade. A capacidade de reidratação das amostras frescas, branqueadas e com cobertura, secas nas diferentes condições (60 e 70°C, velocidade de 0,85m/s e 1,70m/s) foi determinada em água a 25°C. O coeficiente de difusão da água também foi calculado através do ajuste da equação de Fick aos dados experimentais. Difusividades da água determinadas durante a secagem e na reidratação foram comparadas. Isotermas de sorção foram determinadas para amostras frescas e branqueadas, a 30, 50 e 70°C, em uma faixa de umidades relativas de 3 a 90%, utilizando o método gravimétrico. Para descrição matemática das isotermas foram testados os modelos de sorção de GAB, Oswin, BET, Halsey e Henderson. Os tratamentos também foram testados no desenvolvimento de um produto (“chips” de abóbora), através de avaliações sensoriais. As abóboras apresentaram período de taxa de secagem constante nas condições estudadas. As difusividades determinadas demonstraram a maior eficiência de secagem das amostras revestidas, seguidas das branqueadas e, por fim, das frescas. A avaliação dos ajustes da equação mostrou a importância de considerar o encolhimento no modelo de cinética de secagem de alimentos altamente deformáveis. A metodologia

proposta permitiu comparar amostras com espessuras e encolhimento diferentes. Na reidratação, as amostras com coberturas de pectina apresentaram os menores tempos de reconstituição, seguida das frescas e branqueada. O branqueamento influenciou ligeiramente a umidade de equilíbrio das amostras, que foi menor que das amostras frescas, o que foi atribuído à perda de sólidos solúveis e alterações estruturais durante o pré-tratamento. O calor isostérico de sorção indicou que uma quantidade maior de calor foi requerida para remover a água das amostras frescas em comparação às amostras branqueadas. A aplicação de coberturas pode ser útil como pré-tratamento para produtos desidratados que serão reconstituídos e o branqueamento, para produtos consumidos desidratados. No desenvolvimento do “chips” de abóbora através de avaliações sensoriais, o resultado final foi preferência e intenção de compra pelas amostras branqueadas em água fervente.

Palavras chave: secagem, reidratação, encolhimento, isotermas de sorção, análise sensorial

ABSTRACT

The purpose of this work was to evaluate the effect of the blanching, application of edible coating and drying parameters (temperature and air velocity) on the drying kinetics and rehydration capacity of pumpkins. Slices of Cucurbita moschata pumpkins, Rajada Seca Melhorada cultivar, fresh, blanched or coated with pectin, were dried at 60 or 70°C using air velocity of 0.85m/s or 1.70m/s. The drying kinetics was assessed according to analytical solution of Fick's equation. A simplified alternative, an approximation that incorporates the shrinkage in the analytical solution, was used to calculate diffusivity. The shrinkage of fresh, blanched and edible coated samples was determined in independent experiments using density measurements. The rehydration capacity of fresh, blanched and edible coated dried samples (60 and 70°C, 0.85m/s and 1.70m/s) was determined in water at temperature of 25°C. The water diffusion coefficients were also calculated by fitting the Fick equation to the experimental data. Water diffusivities, determined during drying and rehydration, were compared. Sorption isotherms were determined from fresh and blanched samples, at 30, 50 and 70°C in a 3 to 90% relative humidity range, using the gravimetric method. For mathematical description of the isotherms, GAB, Oswin, BET, Halsey and Henderson sorption models were tested. The treatments were also tested on developed product ("pumpkin chips") using a consecutive sensory assessment in three stages: pilot test in the laboratory, in individual cabins and in a central location. The diffusivities showed a greater drying efficiency for coated samples, followed by blanched ones and next fresh samples. However, the increase in thickness due to the coating of a thin slice increased the drying time of these samples. The assessment of the fitting showed the importance of considering the shrinkage in the drying kinetics model of highly deformable foods. The proposed methodology enables the comparison of samples of different thicknesses and shrinkage. The isosteric sorption heat indicated that a larger amount of heat was required to remove the water from the fresh sample as compared to the blanched sample. It was concluded that applying coating could be

useful as a pre treatment of dried products which will be reconstituted. On developing the pumpkin through sensorial acceptance, the final result was a preference and purchase intention for samples blanched in boiling water.

Keywords: drying, rehydration, shrinkage, desorption isotherms, sensory analysis

SUMÁRIO

RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xii
 CAPÍTULO 1	 17
1. INTRODUÇÃO GERAL	18
 CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	 21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1. A MATÉRIA PRIMA.....	22
2.2. ISOTERMAS DE SORÇÃO E CALOR ISOTÉRICO DE SORÇÃO.....	22
2.3. SECAGEM DE VEGETAIS.....	27
2.3.1. TRATAMENTOS PRÉVIOS À SECAGEM - COBERTURAS COMESTÍVEIS E BRANQUEAMENTO	31
2.4. CINÉTICA DE REIDRATAÇÃO	33
2.5. ANÁLISE SENSORIAL.....	34
 CAPÍTULO 3 - MOISTURE SORPTION ISOTHERMS OF FRESH AND BLANCHED PUMPKIN (<i>Cucurbita moschata</i>)	 36
ABSTRACT	37
RESUMO.....	38
3.1. INTRODUCTION	39
3.2. MATERIALS AND METHODS.....	41
3.2.1. MATERIALS	41
3.2.2. SAMPLES	41
3.2.3. BLANCHING	41
3.2.4. SORPTION ISOTHERMS	41
3.2.2. ANALYTICAL METHODS.....	42
3.2.6. MATHEMATICAL MODELING	42
3.2.6.1. SORPTION ISOTHERMS	42
3.2.6.2. NET ISOTERIC HEAT OF SORPTION	43
3.2.7.. STATISTIC METHODS	44
3.3. RESULTS AND DISCUSSION	44
3.3.1. SORPTION ISOTHERMS	44
3.4. CONCLUSIONS	54
3.5. REFERENCES	55
3.6. ACKNOWLEDGEMENTS	57
 CAPÍTULO 4 - DRYING KINETICS AND SHRINKAGE OF PRE-TREATED PUMPKIN SLICES (<i>Cucurbita moschata</i>)	 58
ABSTRACT	59
4.1. INTRODUCTION	60
4.2. MATERIALS AND METHODS.....	61
4.2.1. MATERIALS	61
4.2.2. EQUIPMENT	62
4.2.3. SAMPLE PREPARATION AND PRE-TREATMENT	62
4.2.4. ANALYTICAL METHODS.....	63
4.2.4.1. TOTAL SOLIDS DETERMINATION	63
4.2.4.2. DETERMINATION OF DENSITY, VOLUME AND THICKNESS	63

4.2.5. CONVECTIVE DRYING	64
4.2.6. SHRINKAGE COEFFICIENT	64
4.2.7. MATHEMATICAL MODELS	64
4.2.7.1. CONSTANT DRYING RATE	64
4.2.7.2. FALLING DRYING RATE	65
4.2.7.3. METHODOLOGY TO DETERMINE FITTING EFFICIENCY	66
4.3. RESULTS AND DISCUSSION	67
4.3.1. DRYING KINETICS	67
4.3.1.1. DRYING	67
4.3.1.2. SHRINKAGE	69
4.3.1.3. EFFECTIVE DIFFUSIVITY	70
4.4. CONCLUSIONS	80
4.5. REFERENCES	80
4.6. ACKNOWLEDGEMENTS	82

CAPÍTULO 5 - INFLUÊNCIA DE PRÉ-TRATAMENTOS E CONDIÇÕES DE SECAGEM NA CINÉTICA DE REIDRATAÇÃO DE ABÓBORA (*Cucurbita*

<i>moschata</i>)	83
RESUMO.....	84
5.1. INTRODUÇÃO	85
5.2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	87
5.2.1. MATERIAIS	87
5.2.2. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	88
5.3. SECAGEM	89
5.4. REIDRATAÇÃO	89
5.4.1. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	89
5.4.2. PROCESSO DE REIDRATAÇÃO	90
5.5. MÉTODOS ANALÍTICOS	90
5.5.1. ANÁLISE DE SÓLIDOS TOTAIS	90
5.5.2. MODELOS MATEMÁTICOS DOS PROCESSOS DE SECAGEM E REIDRATAÇÃO	91
5.5.3. METODOLOGIA DE EFICIÊNCIA DOS AJUSTES	92
5.6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	93
5.7. CONCLUSÃO.....	100
5.8. REFERÊNCIAS	101

CAPÍTULO 6 - ELABORAÇÃO DE “CHIPS” DE ABÓBORA (*Curcubita* *moschata*) UTILIZANDO COMO FERRAMENTA A ANÁLISE SENSORIAL PARA DETERMINAR A ACEITAÇÃO DO PRODUTO)

RESUMO.....	104
6.1. INTRODUÇÃO	105
6.2. MATERIAIS E METODOS.....	107
6.2.1. MATERIAIS	107
6.2.2. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	107
6.2.3. PRÉ-TRATAMENTO	107
6.2.4.1. BRANQUEAMENTO	108
6.2.4.2. COBERTURAS	108
6.2.4. SECAGEM CONVECTIVA	109
6.2.5. CONDIMENTAÇÃO DAS AMOSTRAS	109
6.2.6. ANÁLISE SENSORIAL.....	109

6.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES DA ANÁLISE SENSORIAL.....	111
6.3.1. PRIMEIRO EXPERIMENTO.....	111
6.3.2. SEGUNDO EXPERIMENTO	113
6.3.3. TERCEIRO EXPERIMENTO.....	116
6.4. CONCLUSÃO.....	119
6.5. REFERÊNCIAS	120
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES	121
7.1. CONCLUSÕES GERAIS.....	122
7.2. SUGESTÕES	123
CAPÍTULO 8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
APÊNDICE 1	131
APÊNDICE 2	133
APÊNDICE 3.....	134
APÊNDICE 4.....	135
APÊNDICE 5.....	137

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

INTRODUÇÃO GERAL

Algumas variedades de abóbora são excelentes fontes de carotenóides, principalmente α -caroteno e β -caroteno (ARIMA; RODRIGUEZ-AMAYA, 1988, AZEVEDO MELEIRO et al., 2003, RODRIGUEZ-AMAYA et al., 2008). Além da grande atividade pró-vitamínica A os carotenóides, por serem componentes reativos, têm caráter de agentes antioxidantes (ARIMA; RODRIGUEZ-AMAYA, 1988, RODRIGUES-AMAYA, 2002), o que se relaciona à prevenção de câncer, doenças cardíacas e outras doenças degenerativas (KRINSK, 1993).

A abóbora *Cucurbita moschata*, cultivar Rajada Seca Melhorada, devido ao seu tamanho é comercializada na forma de doce, em pedaços minimamente processados ou consumida por cozinhas industriais. Uma boa alternativa para popularizar a comercialização, aumentar a vida de prateleira e o enriquecimento da dieta alimentar humana é a disponibilidade de abóboras desidratadas na forma de pequenos pedaços para consumo direto (“Chips”), ou para a preparação de alimentos, em pedaços ou na forma de farinha.

Uma das técnicas tradicionais de conservação de alimentos é a secagem. No entanto, a secagem de vegetais com ar aquecido causa alterações devido às mudanças de cor e sabor, grande compactação e, principalmente, perda de nutrientes. A proposta de aplicação de coberturas comestíveis na superfície de vegetais, antes da secagem com ar aquecido, tem como objetivo exercer efeito protetor à oxidação de nutrientes, além de melhorar a aparência. Coberturas compostas por polissacarídeos geralmente apresentam boas propriedades de barreira ao oxigênio, particularmente sob condições de baixa umidade (CUQ et al., 1995), sendo, portanto, adequadas como componente básico para a formulação de coberturas comestíveis a serem aplicadas como tratamento prévio à secagem. Há indicativos de que durante o processo de secagem convectiva revestimentos exerçam efeito protetor em relação à oxidação de nutrientes, contribuindo também para a melhoria dos atributos de aparência (EIK, 2008, LAGO, 2007, ZHAO; CHANG, 1995). A proposta de aplicar branqueamento térmico antes da secagem de abóboras tem o intuito de inativar enzimas oxidativas que podem reduzir o conteúdo nutricional do alimento durante o processo de secagem, uma vez que as

temperaturas de secagem nem sempre são suficientemente altas para promover a inativação enzimática. Esse pré-tratamento pode alterar as propriedades do alimento, como difusividade da umidade, capacidade de sorção da água, encolhimento e capacidade de reidratação.

Este trabalho teve como objetivo disponibilizar dados úteis para projeto, otimização e controle do processo de secagem de abóboras. Para tanto foram investigados os efeitos de parâmetros de secagem e dos pré-tratamentos (branqueamento térmico e aplicação de coberturas), sobre a cinética de secagem de abóboras, o encolhimento e a capacidade de reidratação do produto. Efeitos do branqueamento e da temperatura, sobre as propriedades termodinâmicas da abóbora, também foram avaliados.

Para atingir esses objetivos, a investigação abordou os seguintes tópicos:

- Determinação de isothermas de dessorção e calor isostérico de sorção da abóbora fresca e branqueada termicamente;
- Avaliação da cinética de secagem em função da temperatura e velocidade de ar;
- Avaliação da cinética de secagem em função dos pré-tratamentos, branqueamento e aplicação de cobertura comestível (pectina);
- Determinação da difusividade da umidade na secagem;
- Determinação do encolhimento em função das condições de secagem;
- Determinação da capacidade de reidratação;
- Determinação da difusividade da água na reidratação;
- Elaboração de um produto para consumo direto em forma “chips” de abóbora e avaliação de sua aceitação através de análises sensorial.

O Capítulo 2 é uma revisão bibliográfica sobre todos os assuntos abordados na Tese.

O Capítulo 3 apresenta um estudo sobre propriedades termodinâmicas de abóboras frescas e branqueadas. Isothermas de sorção de umidade foram determinadas a 30, 50 e 70°C, utilizando-se o método gravimétrico. Os modelos de GAB, Oswin, BET, Halsey e Henderson foram ajustados aos dados experimentais e o calor isostérico de sorção foi determinado pela derivação da equação de Clausius-Clapeyron. Este trabalho foi aceito para publicação pela revista *Ciência e Tecnologia de Alimentos*.

No Capítulo 4, o trabalho apresentado teve como objetivo avaliar o efeito dos parâmetros de secagem, do branqueamento e da adição de cobertura, sobre a cinética de secagem de fatias de abóbora *Cucurbita moschata*. Foram utilizadas alternativas simplificadas para calcular difusividade com base na solução analítica da equação de Fick, incorporando o encolhimento de maneira aproximada através da dimensão característica como função da umidade. Ensaio independentes de encolhimento são apresentados. Este artigo foi enviado ao periódico *Journal of Food Engineering* para publicação.

O Capítulo 5 trata da reidratação das abóboras. O objetivo foi investigar a influenciados pré-tratamentos (branqueamento e cobertura de pectina) e das condições de secagem sobre a cinética de reidratação. Coeficientes de difusão foram determinados com base na lei de Fick e comparados com aqueles determinados na secagem.

O Capítulo 6 mostra o resultado do desenvolvimento de um produto para consumo final, “Chips de abóbora”. Foram efetuados teste piloto em laboratório e testes de avaliações sensoriais realizadas com duas técnicas distintas: em cabines individuais e em local centralizado (“central location”), com o objetivo de avaliar a influência dos tratamentos sobre a aceitação e preferência dos provadores.

No capítulo 7 encontram-se as conclusões gerais da Tese, juntamente com sugestões de futuros trabalhos.

Os capítulos 3 e 4 deste trabalho são de artigos enviados a periódicos, para publicação, durante a realização do doutorado. Com o intuito de manter a originalidade dessas publicações estes artigos estão apresentados em inglês. Os capítulos 5 e 6 são trabalhos na forma de artigo que ainda serão submetidos a periódicos.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A matéria prima

A abóbora é uma espécie indígena americana com significativa participação na alimentação de muitos países; possui ampla distribuição no Sudeste do México, América Central, Colômbia e Peru (WHITAKER; CARTER, 1946; WHITAKER; CUTLER, 1965). É uma espécie tropical, favorecida por temperaturas elevadas e tolerantes a temperaturas amenas; todas as cultivares são muito sensíveis à geada (UFRGS, 2005).

Abóboras *Cucurbita moschata*, cultivar menina brasileira, contêm em média 0,6% de proteínas, 0,02% de cálcio, 3,3% de carboidratos, 1,2% de fibras alimentares, 165 mg de potássio e 9 mg de cálcio (TACO, 2006). São excelentes fontes de carotenóides, principalmente α -caroteno e β -caroteno que, além de serem agentes antioxidantes, apresentam grande atividade pró-vitâmica A (RODRIGUEZ-AMAYA et al., 2008)

Durante a estocagem de abóboras ocorrem várias mudanças bioquímicas e físicas. Elas estão diretamente ligadas com a fisiologia pós-colheita da abóbora, tais como senescência, transpiração e respiração, que causam mudanças desfavoráveis na qualidade biológica e sensorial (SOJAK; GŁOWACKI, 2010).

2.2. Isotermas de Sorção e calor isostérico de sorção

A água é um componente muito importante em sistemas alimentícios, pois influencia fortemente as variáveis de um processo, as características do produto e seus atributos de estabilidade, sendo que as formas como a água afetam a natureza física e as propriedades dos alimentos são complexas devido às suas interações com o meio, que envolvem tanto a estrutura física como a composição química dos diversos solutos, incluindo polímeros e colóides ou partículas dispersas (PARK et al. 2001b). A água é essencial para a vida e os microorganismos não constituem uma exceção, já que eles necessitam de abundância de água para seu crescimento e multiplicação. A ausência de água, ou sua eliminação, determina a suspensão das atividades das bactérias e mofo que alteram os alimentos. Por esta razão, a desidratação pode ser usada como um

meio de conservação de alimentos (BURGESS; CUTTING, 1987). A afinidade existente entre a água e os outros componentes do produto define sua higroscopicidade e torna-se uma característica fundamental a influenciar o manuseio, estocagem e consumo de materiais biológicos (TEIXEIRA; QUAST, 1993).

A determinação da atividade de água (a_w) é uma das medidas mais importantes no processamento e na análise dos materiais biológicos devido a sua importância sobre sua qualidade e a estabilidade (PARK et al., 2001a). Ela reflete a disponibilidade de água para reações bioquímicas (oxidação, reações enzimáticas, reações de Maillard) e crescimento microbológico (**Figura 1**) sendo, portanto, um parâmetro muito utilizado para prever a deterioração de produtos alimentícios (VAN DEN BERG; BRUIN, 1981).

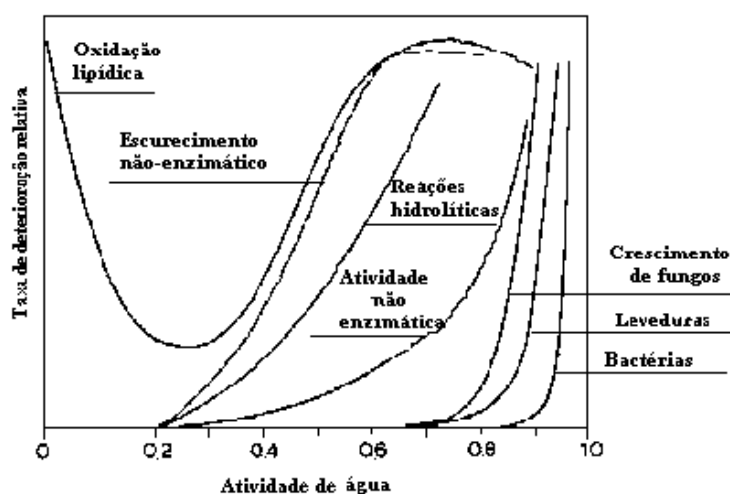


Figura 1: Avaliação da água para atividade microbiana. (VAN DEN BERG; BRUIN, 1978).

Atividade de água é o parâmetro termodinâmico que indica a relação de equilíbrio entre um alimento e a fase gasosa ao qual esse alimento está exposto. A atividade de água é dada pela relação entre a pressão parcial do vapor de água do alimento em equilíbrio com a fase gasosa e a pressão de vapor de água pura (saturação), à mesma temperatura (MOHSENIN, 1986). As isotermas de sorção de água são curvas que representam a relação de equilíbrio entre o conteúdo de

umidade no alimento e a atividade de água, a uma dada temperatura e pressão constantes. Informações sobre as isotermas de sorção são importantes no planejamento de processos de secagem e na segurança microbiológica dos alimentos (RIZVI, 1995). Além disso, possuem inúmeras aplicações tais como a avaliação de embalagens, modelagem de variação de umidade que ocorre durante a secagem, predição da estabilidade e vida de prateleira dos produtos, predição das condições finais de mistura de diversos ingredientes em alimentos formulados, dentre outras (SPIESS; WOLF, 1983).

O conhecimento dos dados de isotermas como função de duas ou mais temperaturas é importante para a análise termodinâmica e modelagem da cinética de secagem, e é também útil para avaliação de estabilidade alimentar durante o armazenamento (VEGA-GÁLVEZ et al., 2007). O conhecimento das propriedades termodinâmicas também pode proporcionar informações quanto à microestrutura associada a um alimento, bem como permitir interpretações teóricas para o fenômeno físico que ocorre nas interfaces água-alimento (RIZVI, 1995). Geralmente em alimentos, o calor isostérico de dessorção difere do calor de sorção devido a processos irreversíveis de sorção. Fenômenos que levam à diminuição de entropia durante a dessorção incluem a água que fica retida nos micros capilares e o colapso da matriz. Também pode ocorrer aumento de entropia durante a dessorção, por exemplo, devido a fenômenos como ruptura de canais ou expansão irreversível da matriz (RIZVI, 1995).

A isoterma pode ser dividida em três regiões (**Figura 2**), dependendo do estado em que se encontra a água presente no alimento. A região I engloba baixos níveis de umidade (a_w de 0 até cerca de 0,2), onde a maior parte das moléculas de água apresenta baixíssima mobilidade, comportando-se quase que como parte do sólido. Essa água é frequentemente referida como monocamada por se supor adsorvida em um filme monomolecular na superfície das macromoléculas que constituem o alimento sólido; na região II, cuja faixa de a_w está entre aproximadamente 0,2 e 0,6, as moléculas de água estão adsorvidas em camadas adicionais à monocamada, menos firmemente ligadas à superfície das macromoléculas; a região III, com a_w acima de valores cerca de 0,6, a água está presente em grandes capilares, relativamente livre para reações, e é capaz de solubilizar os compostos solúveis presentes (FORTES; OKOS, 1980). Muitos dos

dados de sorção disponíveis na literatura foram obtidos somente em uma dada temperatura, representando as condições normais de estocagem. Entretanto, propriedades de sorção através de uma extensa faixa de temperatura são essenciais para a modelagem dos processos de desidratação e re-hidratação, bem como para a estabilidade de estocagem de alimentos desidratados (CARRIZO, 2002).

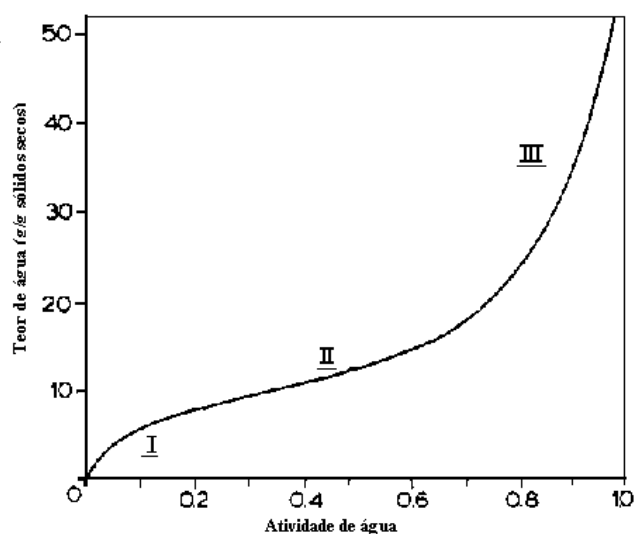


Figura 2: Região de isothermas para materiais higroscópicos (FORTES; OKOS, 1980).

Para a descrição matemática das isothermas de sorção de materiais biológicos, diversos modelos, empíricos, semi-empíricos e teóricos, têm sido encontrados na literatura (VAN DEN BERG; BRUIN, 1981). Dentre os modelos de multicamada, o modelo de BET destaca-se pelo significado físico de seus parâmetros, pela simplicidade e ao mesmo tempo e pela habilidade de ajustar todas as isothermas de sorção sigmoidais até a_w 0,4 (VAN DEN BERG; BRUIN, 1981). O modelo de BET é dado a seguir:

$$X = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w) + (C - 1) a_w} \quad (1)$$

onde a_w é a atividade de água, X representa o conteúdo de umidade em base seca (kg de água/kg de massa seca) e X_m representa a mono camada de água (kg água/kg massa seca) e C é uma constante.

Muitas correções foram propostas ao modelo de BET, mas a equação de GAB é considerada aquela que realmente melhorou o modelo, pelo significado físico de seus parâmetros e pela habilidade de ajuste (VAN DEN BERG; BRUIN, 1981). O modelo de GAB é conhecido como o modelo cinético baseado em um filme multicamadas, é o mais versátil e foi adotado por muitos pesquisadores para modelar curvas de isotermas de sorção para vários materiais alimentícios devido ao significado físico atrelado aos seus parâmetros (MAYOR et al. 2005).

$$X = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) + (C \cdot K \cdot a_w - K \cdot a_w)} \quad (2)$$

onde K é uma constante.

O calor isostérico de sorção (q_{st}) proporciona importante informação quanto ao estado da água num alimento e pode ser utilizado para estimar a energia requerida nos processos de desidratação de alimentos (KAYMAK-ETERKIN; GEDIK, 2004). Ele pode ser determinado pela **Equação (3)**, que é derivada da equação de Clausius – Clapeyron, aplicada ao alimento e à água pura (RIZVI, 1995).

$$\left. \frac{\partial \ln a_w}{\partial (1/T)} \right|_X = -\frac{Q_{st} - \lambda}{R} = -\frac{q_{st}}{R} \quad (3)$$

onde Q_{st} é o calor isostérico de sorção (kJ/mol), λ a entalpia molar para vapor de água purar (kJ/mol), R é a constante dos gases (kJ/mol.K) e T a temperatura (K).

Diversos termos e definições têm sido apresentados para definir a energia de sorção. Entalpia de ligação de água, calor isostérico de sorção, força de ligação de água, entalpia parcial, calor de sorção integral e calor de adsorção estão entre os muitos termos encontrados na literatura, mas nenhum é aceito universalmente. A razão disso é que a definição dos termos de energia dependerá de quais variáveis são mantidas constantes no processo de sorção, uma vez que são muitas variáveis envolvidas. Dessa forma, há controvérsias quanto à validade das quantidades termodinâmicas computadas para sistemas de alimentos. Os cálculos assumem verdadeiro equilíbrio e mudanças reversíveis, o que nem sempre é verdadeiro para sistemas de origem biológica; a histerese, por exemplo, é uma manifestação de irreversibilidade desses sistemas (RIZVI, 1995).

2.3. Secagem de Vegetais

A secagem ou desidratação é a forma mais comum da preservação alimentar, sendo utilizada para o aumento da vida de prateleira de produtos agrícolas. O objetivo principal na secagem de produtos agrícolas é a redução do conteúdo de umidade e da atividade de água a nível que permite o armazenamento seguro por um período extenso (PARK, et al. 2001b, DOYMAZ, 2007). Algumas das causas da ampla utilização da secagem de frutas e hortaliças se devem à redução de custo com transporte devido à diminuição de volume provocada pela perda de água, além de favorecer a sua comercialização devido à estabilidade dos alimentos à temperatura ambiente. A cinética de secagem é consideravelmente afetada pela temperatura do ar e pela dimensão característica do material, enquanto outros fatores exercem influência menor sobre a eficiência da cinética de secagem (KROKIDA et al. 2003). Os diferentes tipos de materiais celulares podem resultar em distintos comportamentos do alimento durante a cinética de secagem. Na secagem de uvas, a temperatura do ar de secagem foi o parâmetro externo de maior influência, quando comparado à velocidade do ar e à umidade relativa (BENNAMOUN; BELHAMRI, 2006). De forma similar, a secagem de alguns vegetais, tais como batata, cenoura, abóboras e tomates, também mostrou que a temperatura da secagem foi o fator mais importante na taxa de secagem dos materiais analisados, enquanto que o efeito da velocidade do ar e da umidade relativa foi considerado menor (KROKIDA et al., 2003). Estudando a influência da

velocidade do ar na cinética de secagem de maçãs, Velié et al. (2004) observaram que o aumento da velocidade do fluxo de ar resultou no aumento da taxa de remoção de água.

A cinética de secagem convectiva, se mal controlada, pode causar grande perda de qualidade do alimento em relação à cor, textura, aroma e sabor e também em relação à sua reconstituição, quando reidratado. Formação de crostas endurecidas sobre a superfície bem como encolhimento das amostras são os principais problemas apresentados por produtos desidratados (NIJHUIS et al., 1998). Na secagem de materiais biológicos, o tempo de secagem e a temperatura utilizada na mesma são considerados os dois fatores mais importantes na manutenção da sua qualidade nutricional (VERMA; GUPTA, 2004). Rodriguez-Amaya (2002) afirma que, qualquer que seja o método de processamento escolhido, a retenção de carotenóides diminui com o tempo mais longo de processamento, temperatura mais alta, tamanho e desintegração das partículas do alimento.

Como um método de preservação industrial, a secagem é amplamente utilizada como uma forma de reduzir a atividade de água e, conseqüentemente, minimizar as reações bioquímicas de degradação (SIMAL, 2005; KROKIDA, 2003). Aparentemente simples, a desidratação é, na realidade, uma operação complexa que envolve transferência de massa e de calor em regime transiente (DOYMAZ, 2007), acopladas com transformações bio-físico-químicas (MUJUNDAR, 1997, DOYMAZ, 2007). A complexidade dos fenômenos que ocorrem durante a secagem tem levado pesquisadores a propor diversas teorias e múltiplas fórmulas empíricas para prever a taxa de secagem (PARK et al, 2001b).

A secagem é, fundamentalmente, um processo simultâneo de transferência de calor e massa. A transferência de calor é dada por convecção enquanto a de massa considera aspectos importantes como: o transporte de água no interior do sólido a ser seco até a sua superfície e a remoção do vapor a partir da mesma. O processo pode ser dividido em três fases distintas, conforme mostra **Figura 3**.

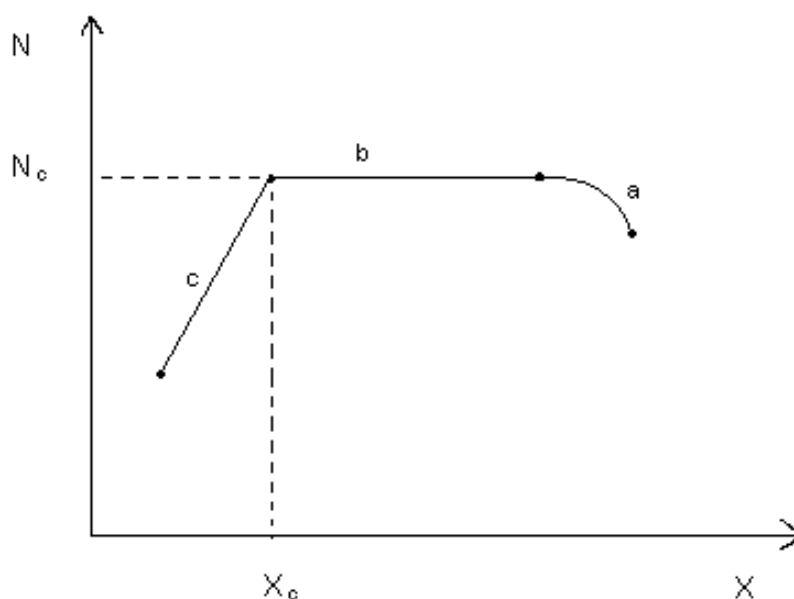


Figura 3. Curva de secagem

Onde:

X = Umidade em base seca (kg água/ kg massa seca).

N = Taxa de evaporação de umidade (kg água/ kg matéria seca·h).

X_c = Umidade crítica (kg água/ kg massa seca).

N_c = Taxa constante de secagem (kg água/ kg matéria seca·h).

O primeiro período (a) representa o início da secagem. Nesse período ocorre uma elevação gradual da temperatura do produto e da pressão de vapor da água. Essas elevações têm prosseguimento até o ponto em que a transferência de calor se torna equivalente à transferência de massa da água, iniciando-se o segundo período (b). Este é caracterizado pela taxa constante de secagem. A água evaporada é a água livre. Enquanto houver quantidade de água na superfície do produto suficiente para acompanhar a evaporação, a taxa de secagem será constante. No terceiro período (c), a taxa de secagem é decrescente. A quantidade de água presente na superfície do produto diminui. O fator limitante nessa fase é a redução da migração de umidade do interior para a superfície do produto. A transferência de calor não é compensada pela transferência de massa. A temperatura do produto aumenta, atingindo a temperatura do ar de secagem. Quando o produto atinge o conteúdo de umidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem, o processo é encerrado (Park et al.; 2001b).

Do ponto de vista da engenharia é importante desenvolver uma melhor compreensão de controle dos parâmetros deste complexo processo que é a secagem (DOYMAZ, 2009). A natureza não-linear desses fenômenos de transporte ocorridos dificulta o controle do processo, o que muitas vezes leva a alterações indesejáveis no produto (MUJUNDAR, 1997). A qualidade de produtos desidratados em secadores convencionais muitas vezes é baixa, devido à perda de nutrientes, alteração de sabor, compactação exagerada, dentre outros (MASKAN, 2001, RAMESH et al., 2001, SHI; LE MAGUER, 1999).

O processo de secagem tem o objetivo de produzir um alimento seco, que mantenha a qualidade requerida para consumo, minimizando custos e maximizando eficiência. Isso tem motivado a condução de estudos de parâmetros dos processos de secagem, a serem utilizados como ferramentas, a fim de melhorar a manutenção da qualidade da fruta desidratada em relação à textura, à aparência (como escurecimento ou perda de pigmentos) e também à preservação de nutrientes. Para melhorar o controle dos parâmetros de secagem, é importante dispor de modelos para simular as curvas de secagem em diferentes condições, onde se utilizam modelos teóricos, empíricos e semi-empíricos (SIMAL et al., 2005).

Visando aperfeiçoar métodos de controle do processo de secagem de alimentos e produtos agrícolas, são desenvolvidos modelos que se baseiam geralmente na transferência de massa e desconsideram a transferência de calor. Um dos modelos teóricos mais conhecidos é baseado na segunda Lei de Fick e aplica a teoria de difusão de água sob a forma líquida ou de vapor, para interpretar os processos de secagem. No entanto, para alimentos altamente deformáveis pela remoção de água, a utilização da solução analítica integrada da Lei de Fick não é adequada, pois considera a geometria constante. Neste caso, para considerar o modelo como teórico seria necessário integrar numericamente a equação diferencial (SOBRAL, 1987).

Com objetivo de otimizar os cálculos, alguns autores têm utilizado modelos simplificados para calcular a difusividade com base na Lei de Fick já integrada, incorporando de maneira aproximada o encolhimento na equação, através das dimensões características em função da umidade. Este procedimento já foi utilizado por alguns autores como Ramallo et.al. (2004), na desidratação osmótica de abacaxi em soluções de sacarose, Mayor et. al. (2007), na desidratação osmótica

de abóbora em solução de cloreto de sódio e Garcia et. al. (2007), na desidratação osmótica de abóbora em sacarose assim como na secagem de abóbora fresca e desidratada osmoticamente; Perez e Schmalko (2009), na secagem convectiva de abóbora, aplicaram procedimento similar, introduzindo a dimensão característica, dependente da umidade, na solução analítica integrada, porém, fazendo também a difusividade dependente da temperatura e da umidade, e resolvendo o problema numericamente.

2.3.1. Tratamentos Prévios à Secagem - Coberturas comestíveis e branqueamento

As temperaturas de secagem nem sempre são suficientemente altas para inativar enzimas oxidativas, que podem oxidar compostos fenólicos ou carotenóides, reduzindo o valor nutricional do alimento durante o processo de secagem. Uma das propostas desse trabalho é utilizar branqueamento térmico, com o intuito de inativar tais enzimas.

Os efeitos do branqueamento sobre a cinética de secagem podem ser diversos, em função do material processado. Fatias de manga branqueadas e secadas apresentaram coeficiente de difusão de água semelhante ao controle, isto é, às fatias sem branqueamento, o que foi atribuído à gelatinização do amido da manga (NIETO et al., 2001). Para morangos, o tratamento térmico aumentou significativamente a difusividade da água durante a secagem, o que foi atribuído à modificação da estrutura celular (ALVAREZ et al., 1995). Maças tiveram o coeficiente de difusão ligeiramente aumentado pelo branqueamento (NIETO et al., 1998). Com relação às coberturas, a fervura de cenouras em solução de amido, por 3 minutos, elevou a retenção de alfa e beta-caroteno durante o processo de secagem e posterior armazenamento (ZHAO; CHANG, 1995). Neste trabalho, ambos os efeitos do branqueamento e da presença da cobertura contribuíram para prevenção contra a oxidação. Baloch et al. (1986) assim como Zhao e Chang (1995), já haviam usado cobertura de amido com sucesso em cenouras, após o branqueamento, o que preveniu em parte a perda de carotenóides e prolongou a vida de prateleira. O branqueamento sozinho também não foi tão eficiente quando comparado com branqueamento e tratamento com SO₂ (BALOCH et al., 1987).

Constata-se na literatura a utilização de SO₂ em caquis desidratados, com o intuito de melhorar a cor e preservar compostos fenólicos durante a estocagem. Amostras sulfitadas apresentaram conteúdos maiores de compostos fenólicos que as sem sulfito, porém o metabissulfito proporcionou forte adstringência ao produto desidratado (AKYILDIZ et al., 2004).

Outra proposta foi utilizar filmes comestíveis sobre os pedaços das abóboras, a fim de reduzir o contato com o oxigênio durante o processo de secagem. Filmes e coberturas comestíveis são finas camadas de material digestível (em geral biopolímeros como o amido ou a pectina na forma de géis) adicionadas sobre o produto (DONHOWE; FENNEMA, 1994). Segundo Wong et al. (1994), a utilização destas coberturas em vegetais minimamente processados reduz a perda de aroma, cor e nutrientes pela redução da difusão de oxigênio para o interior do alimento e mantém a integridade física do mesmo. Há indicativos que durante o processo de secagem convectiva revestimentos exerçam efeito protetor em relação à oxidação de nutrientes, contribuindo também para a melhoria dos atributos de aparência. Eik (2008) realizou ensaios de secagens com fatias de caqui com cobertura de pectina e com cobertura de amaranto a temperaturas de 60 e 70°C. O revestimento das fatias com pectina aumentou significativamente a retenção de carotenóides durante a secagem nas duas temperaturas utilizadas. A cobertura de amaranto também aumentou a retenção, porém, não foi tão efetiva quanto a pectina.

As propriedades de permeabilidade a gases, de filmes e coberturas comestíveis, são de grande interesse para a definição da aplicação mais adequada. Por exemplo, filmes que atuam como barreiras ao oxigênio podem proteger alimentos que são sujeitos à oxidação. Ao mesmo tempo, frutas e vegetais frescos necessitam coberturas permeáveis ao dióxido de carbono. Assim, a permeabilidade seletiva pode ser muito útil para aplicações específicas. Filmes formados por hidrocolóides (proteínas, polissacarídeos) geralmente têm boas propriedades como barreira ao oxigênio, particularmente sob condições de baixa umidade (CUQ et al., 1995).

2.4. Cinética de Reidratação

A reidratação é um processo complexo que aponta para a restauração das propriedades da matéria-prima em que o produto desidratado é hidratado através do contato deste com uma fase líquida onde ocorre a sorção de água ou vapor de água (GARCÍA-SEGOVIA, 2011).

Alimentos secos que oferecem rápida reidratação representam uma parcela significativa do mercado de alimentos convenientes, devido a muitas vantagens, tais como extensa vida-de-prateleira, estabilidade microbiológica, facilidade de uso, baixo custo de transporte e grande valor agregado (SAYUY et al., 2005), sendo a capacidade de reidratação de vegetais desidratados a serem utilizados na preparação de alimentos, uma qualidade importante desses produtos. A taxa de reidratação e toda a água absorvida determinam as propriedades sensoriais e o tempo requerido para preparo de um produto para consumo (MALDONADO, 2010).

A reidratação do tecido vegetal seco é composta de três processos simultâneos: a entrada de água dentro do material seco, a expansão e o arraste (leaching) de sólidos solúveis, sendo em geral aceito o fato de que o grau de reidratação depende do grau de rompimento celular e estrutural (KROKIDA; MARINOS-KOURIS, 2003). A capacidade de reidratação de produtos secos é diminuída em função do encolhimento ocorrido durante a secagem do alimento (MAYOR; SERENO, 2004). A capacidade de reidratação pode ser considerada como uma medida da injúria do tecido causada pela secagem e os tratamentos realizados antes da secagem (McMINN; MAGEE, 1997). O grau de injúrias celulares irreversíveis é associado ao grau de reidratação de vegetais (JAYARAMAN et al. 1990).

Propriedades ótimas de reconstituição podem ser alcançadas pelo controle do processo de desidratação e reidratação. Assim, modelos matemáticos que descrevem a cinética de desidratação e de reidratação são importantes na otimização desses processos (PLANINIÉ et al, 2005), principalmente quando descrevem os mecanismos e a influência que certas variáveis de processo exercem sobre a transferência de umidade (KROKIDA; MARINOS-KOURIS, 2003).

O efeito de numerosas variáveis que afetam a reidratação tem sido estudado nos últimos anos. Essas variáveis incluem a temperatura do meio, viscosidade, composição, presença de partículas dispersas, microestrutura (exemplo: geometria,

porosidade, densidade, capilaridade, etc.) e regime de mistura (SAYUY et al., 2005). Devido a tantas variáveis, são também descritos vários modelos, desde simples modelos exponenciais até modelos mais teóricos como a equação de difusão de Fick (MALDONADO, 2010). A diversidade de modelos para ajuste está relacionada ao fato de que cada produto tem características diferentes de propriedades da matéria e de estrutura que, somado às injúrias causadas pelos diferentes processos de secagem, influenciam diretamente na cinética de reidratação. Krokida e Marinos-Kouris (2003) modelaram a reidratação de diversos alimentos segundo um modelo de cinética de primeira ordem. Planinic et al. (2005) obtiveram sucesso ao ajustar o modelo de Peleg aos dados experimentais de umidade de cenoura durante a reidratação. Veja-Gálvez (2009) modelando matematicamente a transferência de massa durante o processo de reidratação de Aloe Vera, propôs um novo modelo que comparou com os modelos de Fick, Peleg e Weibull, e concluiu que todas as equações utilizadas descrevem a cinética de reidratação do produto, sendo o modelo de Weibull e o modelo proposto, aqueles que apresentaram os melhores ajustes.

2.5. Análise sensorial

Os avanços tecnológicos e a globalização fizeram com que os consumidores se tornassem mais exigentes, preferindo alimentos mais saudáveis, de fácil preparo e consumo, com menos características de produtos industrializados e que não tragam ricos à saúde. A demanda crescente do mercado consumidor por produtos de mais alta qualidade indica a necessidade de tecnologias que minimizem as alterações que ocorrem na qualidade nutricional e sensorial dos alimentos devido ao processo e armazenamento e ao mesmo tempo aumentem a vida de prateleira (SLONGO, 2008).

As empresas de alimentos, sempre que desejam implantar uma inovação, melhorar uma fórmula, reduzir custos ou colocar no mercado um novo produto, precisam compreender quais atributos direcionam a preferência dos consumidores para poder adequar os seus produtos ao mercado (GUINARD et al., 2001).

A análise sensorial é uma ferramenta de grande importância no desenvolvimento e avaliação de um novo produto, pois é necessário saber se o

consumidor irá aprová-lo ou reprová-lo, o que possibilita adequá-lo às preferências do consumidor, já que é certamente o que vai determinar o sucesso ou fracasso comercial do produto (SLONGO, 2008).

Em ambientes industriais e acadêmicos são aplicados testes nos quais, após provar uma amostra de alimento, se expressa a intensidade do gostar do produto. Estes testes são utilizados como previsão para o comportamento de consumidores em relação aos alimentos e muitas vezes são realizados em laboratório (KOZLOWSKA, 2003).

Os testes de preferências são componentes valiosos e necessários de toda análise sensorial, cuja ferramenta de medida é o consumidor e, a partir de uma análise correta, é possível transformar dados subjetivos em objetivos, obtendo informações valiosas sobre o grau de apreciação dos consumidores em relação a um determinado produto. Nas análises a escala hedônica de nove pontos, que avalia o quanto o consumidor “gosta” ou “desgosta” do produto, é a mais utilizada para testes de preferência, devido à confiabilidade dos resultados e à fácil compreensão da ficha pelos consumidores (STONE; SIDEL, 1993).

CAPÍTULO 3

MOISTURE SORPTION ISOTHERMS OF FRESH AND BLANCHED PUMPKIN (*Cucurbita moschata*)

Este trabalho foi aceito para publicação pela revista *Ciência e Tecnologia de Alimentos*.

MOISTURE SORPTION ISOTHERMS OF FRESH AND BLANCHED PUMPKIN (*Cucurbita moschata*)

Lucídio MOLINA FILHO¹, Ana Karla Rebes GONÇALVES¹, Maria Aparecida MAURO^{1*}, Elen Cristina FRASCARELI¹

¹UNESP – São Paulo State University - Institute of Biosciences, Language, and Physical Sciences (IBILCE), Department of Food Engineering and Technology
Rua Cristóvão Colombo, 2265, CEP 15054-000, São José do Rio Preto, SP, Brazil.
Fone: +55 17 3221 2253 Fax: +55 17 3221 2299

* correspondent author *E-mail:* cidam@ibilce.unesp.br

Abstract

Moisture desorption isotherms of fresh and heat blanched pumpkins (*Cucurbita moschata*) were determined at three temperatures (30°, 50° and 70°C), using the standard, static-gravimetric method. The GAB, Oswin, BET, Halsey and Henderson models were tested and, with the exception of the Henderson model, showed satisfactory fits to the experimental data. The GAB model was used to analyze the fitting ability to describe the isotherm type. The shape of the desorption isotherms of fresh and blanched pumpkin at 30 and 50°C was intermediate between types II and III, and at 70°C it was type II for blanched pumpkin and close to type II for the fresh sample. The influence of blanching on the decrease in equilibrium moisture was very slight in comparison with the fresh samples and was related to the loss of soluble solids during the pre-treatment. The isosteric heats of sorption indicated that a larger amount of heat was required to remove the water from the fresh samples than from the blanched ones.

Keywords: blanching, pumpkin, desorption isotherms, isosteric heat, GAB model

Resumo

Isotermas de sorção de umidade de abóboras frescas e branqueadas termicamente foram determinadas em três temperaturas (30°, 50° e 70°C), utilizando o método estático gravimétrico padrão. Os modelos de GAB, Oswin, BET, Halsey e Henderson foram testados e, com exceção do modelo de Henderson, mostraram ajuste satisfatório aos dados experimentais. O modelo de GAB foi usado para analisar a habilidade do ajuste na descrição do tipo de isoterma. A forma das isotermas de dessorção de abóbora fresca e branqueada determinadas a 30 e 50°C foi intermediária aos tipos II e III e a 70°C foi do tipo II para abóbora branqueada e próxima ao tipo II para abóbora fresca. A influência do branqueamento sobre a redução da umidade de equilíbrio das amostras foi muito pequena em comparação com amostras frescas e foi relacionada à perda de sólidos solúveis durante o pré-tratamento. Os valores de calor isostérico de sorção para tecido de abóbora indicaram que maior calor foi requerido para remover água das amostras frescas do que das amostras branqueadas.

Palavras chave: branqueamento, abóbora, isotermas de sorção, calor isostérico, modelo de GAB

3.1. Introduction

Pumpkins, widely cultivated in Brazil, are a good source of carotenoids, mainly α -carotene and β -carotene, components that present pro-vitamin A activity (RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA; AMAYA-FARFAN, 2008). The consumption of carotenoid-rich foods has been associated with the prevention of cancer, macular degeneration and other degenerative diseases, mostly related to their antioxidant and free-radical scavenging properties (KRINSKY, 1993).

Drying is one of the most widely used primary methods of food preservation, aiming to reduce the water content to a level at which microbial and deterioration reactions are greatly minimized (DOYMAZ, 2007, AKPINAR; BICER, 2005). Drying also contributes to a reduction in production losses and to an extension in the storage life, thus making seasonal foods available throughout the year. However, physical, chemical and biochemical transformations occurring during air-drying represent one of the main problems that may lead to product quality depreciation (MUJUMDAR, 1997) since the maximum temperatures used in food drying are generally not sufficient to inactivate the enzymes. The application of heat blanching to fruits and vegetables before air-drying is thus aimed at stopping enzymatic activity and avoiding undesirable changes to the sensory and nutritional properties during drying and storage, enhancing product quality (CHANTARO et al., 2008; WOLFE; LUI, 2003).

Drying processes and dryer design require knowledge of the relationship between water content and vapor pressure equilibrium, since the vapor pressure gradients are the essential driving forces during these processes (VAN DEN BERG; BRUIN, 1981). Due to its importance in dehydration processes, rehydration conditions as well as in packaging and in quality changes during storage, the sorption of water vapor by foods has received much attention (VEGA-GÁLVEZ et al., 2009; MOREIRA et al., 2009; MORAES et al., 2008; PARK; YADO; BROD, 2001). The sorption isotherm consists of a graphic representation of the relationship between the water content and the equilibrium relative humidity at constant temperature. Knowledge of the moisture sorption isotherm data as a function of two or more temperatures is important for the thermodynamic analysis and modeling of drying kinetics, and it is also useful to evaluate food stability during storage (VEGA-

GÁLVEZ et al., 2007). Knowledge of the thermodynamic properties can also provide information about the food microstructure as well as allowing for the theoretical interpretation of physical phenomena occurring at the water-food interface (RIZVI, 1995).

Water affects the physical nature and properties of food in a complex way due to interactions with their solutes, colloids and dispersed particles (PARK; YADO; BROD 2001). The water activity of a food reflects the availability of water for deteriorative reactions and microbiological growth and is one of the major control variables in food preservation technology (VAN DEN BERG; BRUIN, 1981).

Many theoretical, partially theoretical and empirical models can be found in the literature for the mathematical description of food system moisture sorption (VAN DEN BERG; BRUIN, 1981). Boquet, Chirife and Iglesias (1978) evaluated the usefulness of eight two-parameter isotherms in describing the moisture sorption isotherms of 39 different natured foods and found that the most versatile models were those of Halsey and Oswin. In addition the Henderson model has found much practical application, and is one of the only equations including a direct temperature term (VAN DEN BERG; BRUIN, 1981).

The BET model, based on the multilayer adsorption of water, is considered the best model for interpreting sorption isotherms (MATHLOUTHI; ROGÉ, 2003). Of the multilayer models available for sorption, this model acts as a useful compromise between theory and practice, since the equation parameters have physical significance and the model has the ability to fit sigmoidal sorption isotherms up to an a_w of about 0.4 (VAN DEN BERG; BRUIN, 1981). The GAB model was considered an important improvement on the BET equation, and its application has shown a good fit up to an a_w of 0.9 (VAN DEN BERG; BRUIN, 1981, LEWICKI, 1997).

Calculation of the energy consumption during drying demands knowledge of the enthalpy of water sorption throughout the entire range of moisture contents (TSAMI, 1990). The enthalpy of sorption yields a figure for the theoretical minimum amount of heat required to remove a given amount of water (RIZVI; BENADO, 1984).

The purpose of this work was to evaluate the influences of temperature and heat blanching on the behavior of the desorption isotherms and on the isosteric heat of sorption of pumpkins.

3.2. Materials and methods

3.2.1. Materials

Mature pumpkins (*Cucurbita moschata*) of the Rajada Seca Melhorada cultivar, with a total weight of approximately 40 kg, were obtained from the local market (CEAGESP - São José do Rio Preto-SP, Brazil) and stored at ambient temperature (25°C). Saturated aqueous salt solutions were prepared using NaOH, LiCl, CH₃COOK, MgCl₂, K₂CO₃, NaBr, NaNO₂, NaCl, KCl and BaCl₂ (all analytical grade) and commercial formaldehyde (40%) was used for cleaning the material.

3.2.2. Samples

The pumpkins were cut into portions transversally to their axes, and the extremities discarded. Each portion was cut into longitudinal pieces, peeled, seeded and sliced (4 x 10⁻³m thickness). To standardize the samples, circles were cut from the slices using a cork borer with a 2.8 x 10⁻²m diameter, and then a 2.2 x 10⁻²m plug removed from the center of each circle and discarded. The resulting rings were put in a plastic bag, mixed and divided into two portions, one for fresh and one for blanched sampling.

3.2.3 Blanching

Pumpkin rings (0.4kg) were placed in a wire basket, immersed in boiling water (2.0 x 10⁻²m³, 98.3° C at 489m altitude) for 60 seconds, cooled with tap water for a further minute, drained and dried on absorbent paper.

3.2.4 Sorption isotherms

The gravimetric static method (RIZVI, 1995) was employed to determine the equilibrium moisture of fresh and blanched pumpkin at 30, 50 and 70°C. Saturated salt solutions were prepared in glass flasks previously cleaned with formaldehyde (40%) to avoid microbial growth. The relative humidity range was from 5 to 90%,

obtained using ten salts: NaOH, LiCl, CH₃COOK, MgCl₂, K₂CO₃, NaBr, NaNO₂, NaCl, KCl and BaCl₂. Five gram samples (in triplicate) of fresh and blanched pumpkin were weighed in plastic baskets and placed in the glass flasks on top of acrylic tripods arranged in the flasks to maintain the samples above the solutions. Fresh and blanched samples were characterized with respect to total solids and sugars in independent assays. Each flask, containing three fresh and three blanched samples, was hermetically closed and placed in a temperature-controlled incubator. A BOD incubator was used at 30 and 50°C (sensor PT100, precision of $\pm 0,1$ and homogeneity $\pm 1^\circ\text{C}$). An oven with air circulation was used at 70°C (type J sensor, precision of $\pm 2^\circ\text{C}$ and homogeneity $\pm 4^\circ\text{C}$). The samples were weighed periodically until constant weight. The total solids contents were then determined and the average equilibrium moisture contents related to the corresponding water activity.

3.2.5. Analytical Methods

The solids contents of the fresh and blanched samples were determined gravimetrically by drying to constant weight in a vacuum oven at 60°C and 10 kPa. The reducing and total sugar contents were determined by oxy-reduction titration (WILLIAM, 1970).

3.2.6. Mathematical modeling

3.2.6.1. Sorption isotherms

BET, GAB, Halsey, Henderson and Oswin models (**Table 1**) were fitted to the food system moisture sorption.

Table 1: Water sorption isotherm models

Model	Equation	
BET	$X = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)(1 + C - a_w)}$	(1)
GAB	$X = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w)(1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)}$	(2)
Halsey	$X = \left[\frac{-a}{\ln(a_w)} \right]^{\frac{1}{b}}$	(3)
Henderson	$X = \left[\frac{\ln(1 - a_w)}{a} \right]^{\frac{1}{b}} \quad a = kT, \quad T \text{ em } ^\circ Ra$	(4)
Oswin	$X = a \left[\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right]^b$	(5)

where C , K , a and b are constants; a_w is the water activity; X represents the moisture content on a dry weight basis (kg water/kg dry matter) and X_m is the monolayer of water (kg water/kg dry matter).

3.2.6.2. Net isosteric heat of sorption

The net isosteric heat of sorption of water (q_{st}) can be determined from **Equation (6)**, which is derived from the Clausius – Clapeyron equation, applied to food and pure water (RIZVI, 1995).

$$\left. \frac{\partial \ln(a_w)}{\partial (1/T)} \right|_X = -\frac{Q_{st} - \lambda}{R} = -\frac{q_{st}}{R} \quad (6)$$

where Q_{st} is the integral isosteric heat of sorption (kJ/mol), λ the molar enthalpy of vaporization of pure water (kJ/mol), R the gas constant (kJ/mol.K) and T the temperature (K). The net isosteric enthalpy is obtained by subtracting the value obtained for the corresponding equation for pure water.

The net isosteric heat of sorption can be calculated from **Equation (6)** by plotting the sorption isostere as $\ln(a_w)$ against $(1/T)$ for a specific moisture content of the material and determining the slope, which equals (q_{st} / R) (Tsami et al., 1990). This procedure is repeated for different moisture contents in order to determine the

dependence of (q_{st}) on the moisture content (X). The method presents an overall error due to plotting graphical differentiation (Kaymak-Eterkin; Gedik, 2004).

An empirical exponential relationship between the net isosteric heat of sorption (q_{st}) and the moisture content (X_{eq} , dry basis) was proposed by Tsami et al. (1990) in the following form:

$$q_{st} = q_0 \exp(-X / X_0) \quad (7)$$

where $q_0 = q_{st}$ at $X = 0$ and, at $X = X_0$, $q_{st} = 0.368q_0$. The constant X_0 is a characteristic moisture content (kg water kg⁻¹ dry matter) of a food material at which the net isosteric heat of sorption has been reduced by 63%. Due to exponential decay, the net isosteric heat of sorption becomes very small at high moisture contents.

3.2.7. Statistic methods

The efficiency of fit was evaluated based on the adjusted coefficient of determination (R^2) and on the mean relative modulus, P , defined by **Equation (8)** (LOMAURO; BAKSHI; LABUZA 1985),

$$P(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y^{\exp} - y^{\text{calc}}|}{y^{\exp}} \quad (8)$$

where $y^{\exp}$ represents the experimental value, y^{calc} the calculated value and n is the number of the observations.

The graphic software ORIGIN v. 5.0 (MICROCAL SOFTWARE, 1997), which adjusts non-linear functions, was used to determine the adjustment constants of the isotherms. and the **Equation (7)**.

3.3. Results and discussion

3.3.1 Sorption isotherms

The equilibrium moisture contents experimentally determined at the temperatures of 30°C, 50°C and 70°C were compared with the values calculated according to the GAB equation (**Equation 2**) for fresh (**Figure 1**) and blanched (**Figure 2**) pumpkin. The desorption curves showed that at constant water activities

the values for the equilibrium moisture content decreased with rise in temperature, following the same tendency as the majority of agricultural products (RESENDE et al., 2006). The influence of blanching on the pumpkin isotherms was small, showing behavior quite similar to that of fresh pumpkin isotherms. Nevertheless, the blanched samples showed slightly lower values for the moisture equilibrium than the fresh ones at 30°C, 50°C (**Figures 3 and 4**, respectively). Moreover, as temperature increased, difference between fresh and blanched curves diminished at low and intermediate moisture levels and even showed a small inversion at 70°C (**Figure 5**).

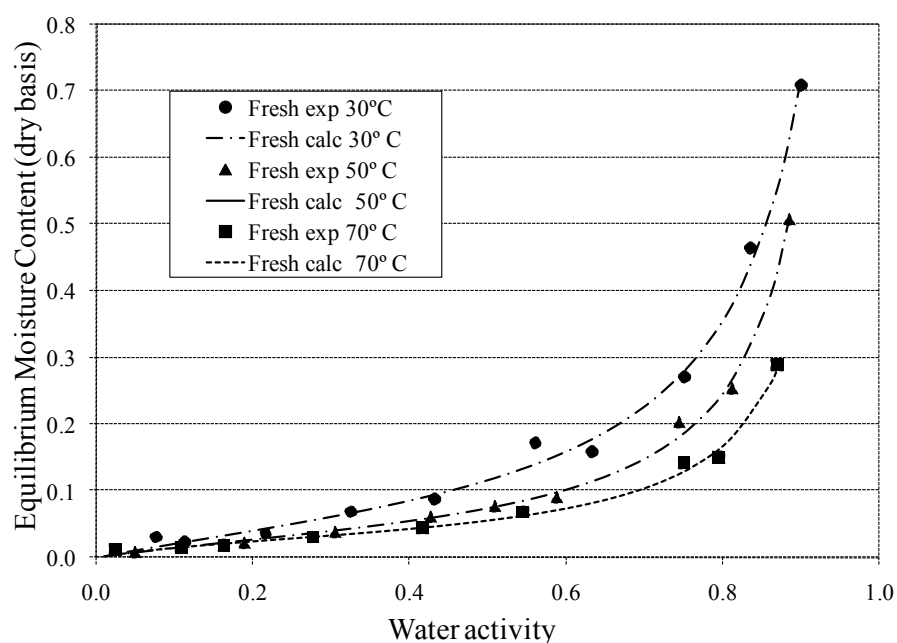


Figure 1 – Comparison between experimental and calculated (GAB model) equilibrium moisture contents (dry weight basis, dwb) for fresh pumpkin at 30, 50 and 70°C

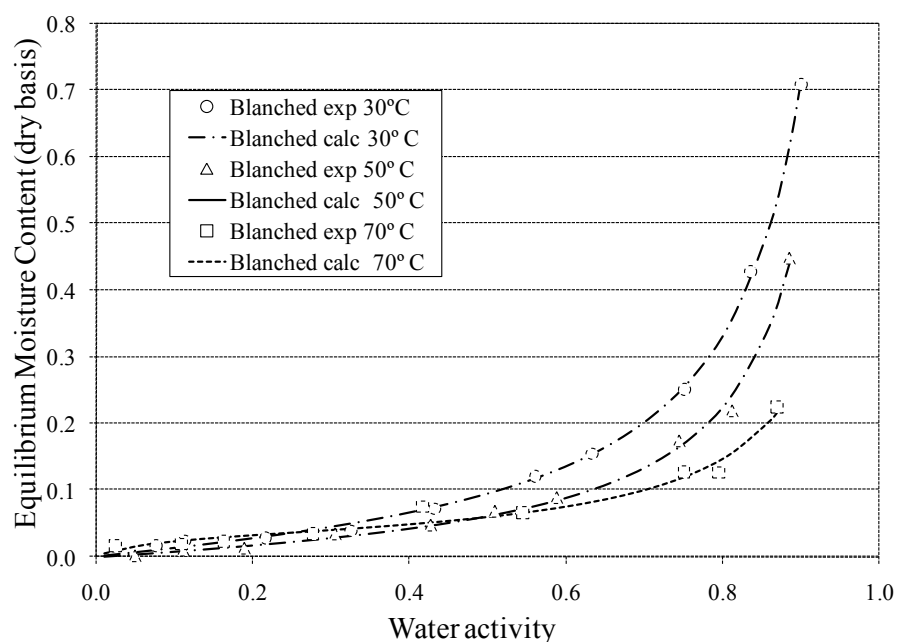


Figure 2 –Comparison between experimental and calculated (GAB model) equilibrium moisture contents (dry weight basis, dwb) for blanched pumpkin at 30, 50 and 70°C

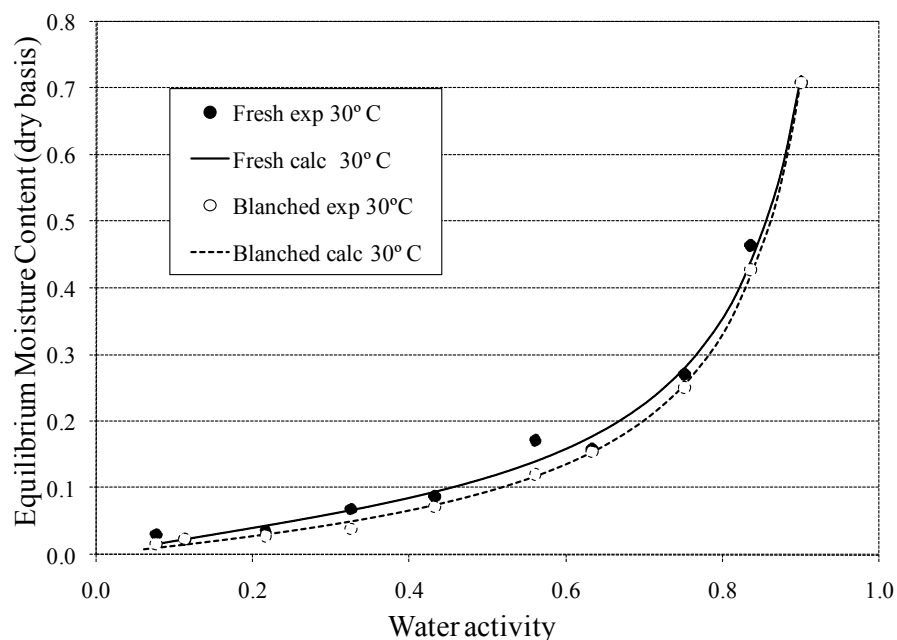


Figure 3 –Comparison between experimental and calculated (GAB model) equilibrium moisture contents (dry weight basis, dwb) for fresh and blanched pumpkin at 30°C

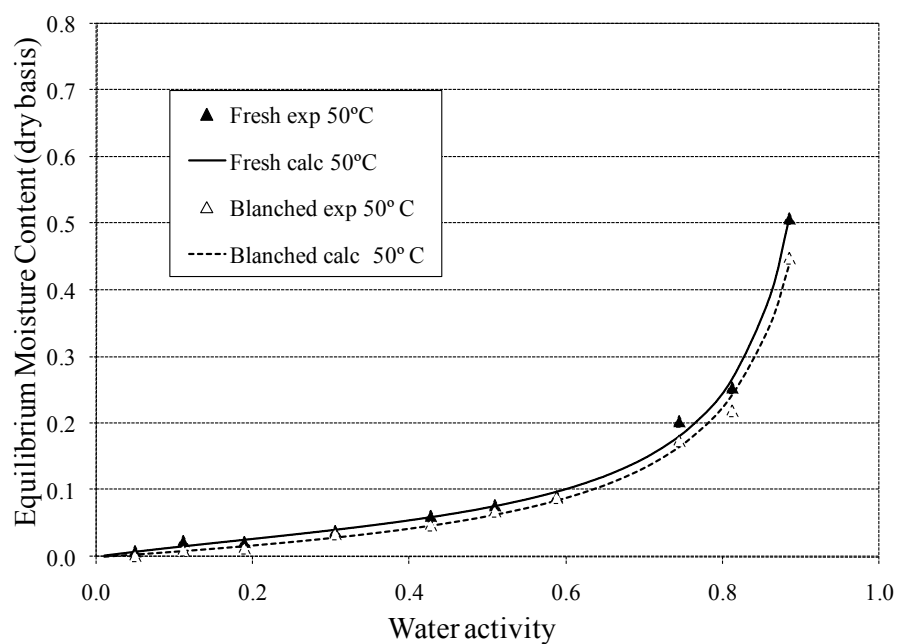


Figure 4 –Comparison between experimental and calculated (GAB model) equilibrium moisture contents (dry weight basis, dwb) for fresh and blanched pumpkin at 50°C

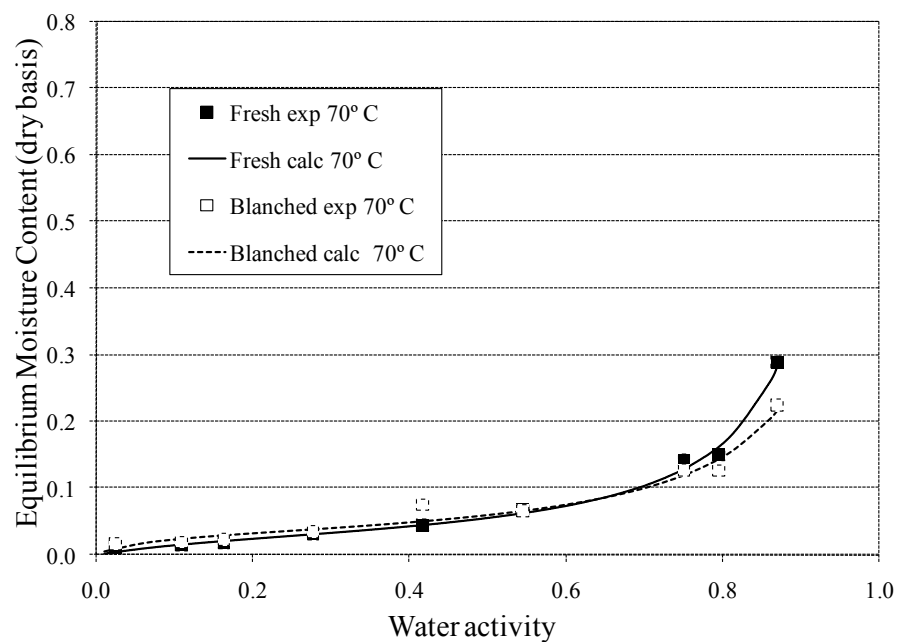


Figure 5 –Comparison between experimental and calculated (GAB model) equilibrium moisture contents (dry weight basis, dwb) for fresh and blanched pumpkin at 70°C

Independent tests were carried out to characterize the fresh and blanched samples (**Table 2**). The total sugar loss during blanching was approximately 15%, which could explain the lower equilibrium moisture content of the blanched samples when compared to the fresh ones, since sugars retain a larger amount of water (CHIRIFE et al., 1980) than cellulosic compounds (PAPADAKIS et al., 1993) and proteins (BULL, 1944), which, together with the sugars, are the major pumpkin components (TACO, 2006).

Table 2: Water content and total sugar content on both wet and dry weight bases, of fresh and blanched pumpkin

	Water content kg/kg wet matter	Reducing sugar	Non- reducing sugar	Total sugar content kg/kg wet matter	Sugar content kg/kg dry matter
Fresh	0.9347	0.0163	0.0170	0.0333	0.5087
Blanched	0.9565	0.0089	0.0099	0.0189	0.4325

Sorption models (**Table 1**) were tested with experimentally defined equilibrium moisture data (**Table 3**), to describe fresh and blanched pumpkin sorption isotherm curves. With the exception of Halsey's equation when fitted to 50°C data of blanched tissue and Henderson's equation, in general all the models showed satisfactory adjustments to the experimental data (**Table 4**). For fresh tissue data, the best fitting were obtained with BET and GAB equations, since the values for R^2 were always higher than 0.98 and P values were lower than 13.3%. Blanched tissue showed a satisfactory fit of GAB, BET, Halsey and Oswin models only at 30°C ($R^2 > 0.99$ and $P < 12.6\%$). For 50°C isotherm, BET, GAB and Oswin models were acceptable ($R^2 > 0.99$ and $P < 17.5\%$) while for 70°C isotherm, BET, GAB, Halsey and Oswin models showed $R^2 > 0.95$ and $P < 17.9\%$.

P modulus value below 10% is an indicative of a good fit for practical purposes (LOMAURO; BAKSHI; LABUZA, 1985). However, the P presented values are justified by the low equilibrium moisture contents obtained in relative humidity around 5% since the P calculation is based on the relative residual (**Equation (8)**), which amplifies the deviations when the moisture content is quite low.

Table 3: Equilibrium moisture content (dry weight basis) of fresh and blanched pumpkin at 30°C, 50°C and 70°C, and corresponding water activity (a_w)

Temperature	Salt	Water activity a_w	Equilibrium content	Equilibrium content
			X_{eq}	X_{eq}
			(dwb)* Fresh pumpkin	(dwb)* Blanched pumpkin
30°C	NaOH	0.0758	0.0300±0.0072	0.0162±0.0013
	LiCl	0.1128	0.0222±0.0002	0.0239±0.0012
	CH ₃ COOK	0.2160	0.0350±0.0054	0.0281±0.0017
	MgCl ₂	0.3244	0.0678±0.0007	0.0389±0.0027
	K ₂ CO ₃	0.4317	0.0870±0.0054	0.0716±0.0032
	NaBr	0.5603	0.1716±0.0555	0.1209±0.0053
	NaNO ₂	0.6330	0.1581±0.0013	0.1547±0.0022
	NaCl	0.7509	0.2704±0.0200	0.2516±0.0028
	KCl	0.8350	0.4640±0.0795	0.4278±0.0052
	BaCl ₂	0.9000	0.7097±0.0224	0.7094±0.0084
50°C	NaOH	0.0494	0.0073±0.0007	0.0021±0.0008
	LiCl	0.1110	0.0226±0.0090	0.0106±0.0017
	CH ₃ COOK	0.1890	0.0213±0.0021	0.0135±0.0017
	MgCl ₂	0.3050	0.0376±0.0028	0.0347±0.0027
	K ₂ CO ₃	0.4270	0.0606±0.0040	0.0480±0.0031
	NaBr	0.5090	0.0765±0.0030	0.0688±0.0015
	NaNO ₂	0.5880	0.0899±0.0026	0.0892±0.0142
	NaCl	0.7440	0.2030±0.0086	0.1742±0.0095
	KCl	0.8120	0.2537±0.0130	0.2192±0.0086
	BaCl ₂	0.8850	0.5083±0.0123	0.4478±0.0134
70°C	NaOH	0.0230	0.0109±0.0024	0.0159±0.0017
	LiCl	0.1073	0.0144±0.0021	0.0187±0.0031
	CH ₃ COOK	0.1620	0.0174±0.0012	0.0233±0.0010
	MgCl ₂	0.2760	0.0299±0.0037	0.0344±0.0045
	K ₂ CO ₃	0.4160	0.0446±0.0023	0.0754±0.0385
	NaBr	0.4970	nd**	nd**
	NaNO ₂	0.5440	0.0682±0.0029	0.0662±0.0031
	NaCl	0.7506	0.1423±0.0034	0.1280±0.0008
	KCl	0.7950	0.1498±0.0040	0.1267±0.0035
	BaCl ₂	0.8700	0.2894±0.0127	0.2258±0.0053

*dwb: dry weight basis

**non-determined

Table 4: BET, GAB, Halsey, Henderson and Oswin model fitting constants for fresh and blanched pumpkins, determined at 30, 50 and 70°C; corresponding R^2 and $RMSR$

Sample	Model	T (°C)	R^2	P (%)	Parameters				
					a	B	C	K	X_m
Fresh	BET	30	0,9849	12,98%			3,0505		0,0759
		50	0,9877	11,40%			1,9177		0,0584
		70	0,9816	13,32%			4,2217		0,0366
	GAB	30	0,9853	12,68%			2,6575	0,9916	0,0809
		50	0,9927	8,52%			3,2653	1,0303	0,0460
		70	0,9846	13,30%			6,3183	1,0267	0,0312
	Halsey	30	0,9815	13,75%	0,0796	0,9646			
		50	0,9957	15,88%	0,0668	0,8796			
		70	0,9908	9,01%	0,0405	0,9740			
	Henderson	30	0,9570	24,10%	3,1919	0,7245			
		50	0,9503	29,20%	3,7861	0,6635			
		70	0,9426	25,56%	6,9871	0,8525			
	Oswin	30	0,9852	19,50%	0,1169	0,8189			
		50	0,9854	12,74%	0,0756	0,9001			
		70	0,9769	13,27%	0,0611	0,7654			
Blanched	BET	30	0,9926	12,59%			1,6106		0,0766
		50	0,9922	16,35%			1,3596		0,0541
		70	0,9510	17,46%			22,4103		0,0296
	GAB	30	0,9926	12,57%			1,5902	0,9993	0,0771
		50	0,9926	17,45%			1,5621	1,0114	0,0495
		70	0,9598	17,89%			15,5818	0,9818	0,0322
	Halsey	30	0,9906	11,55%	0,0813	0,8775			
		50	0,9657	41,44%	0,0672	0,7822			
		70	0,9615	12,02%	0,0213	1,2316			
	Henderson	30	0,9703	24,16%	3,0064	0,6233			
		50	0,9738	19,80%	4,0644	0,6540			
		70	0,9240	20,39%	15,7155	1,1978			
	Oswin	30	0,9927	11,96%	0,0952	0,9142			
		50	0,9915	16,58%	0,0618	0,9491			
		70	0,9534	16,32%	0,0671	0,5789			

Five types of isotherms are described by Brunauer (BRUNAUER et al., 1940; IUPAC, 1985) The GAB model describes sigmoidal type isotherms (type II) well and fulfils the requirements of the BET model when the parameters are kept within the following regions: $0.24 < K \leq 1$ and $5.67 \leq C \leq \infty$. Outside these regions the isotherm is either no longer sigmoidal or the monolayer capacity is estimated with an error larger than $\pm 15.5\%$ (LEWICKI, 1997).

Table 4 shows that only the fresh and blanched pumpkin curves prepared at 70°C complied with the requirement for parameter C , and that only the blanched one complied with parameter K . The other isotherms, adjusted using the GAB model, presented parameter C outside the band, showing mixed behavior between types II and III (slightly sigmoidal). Mayor et al (2005) also found forms of fresh pumpkin parenchyma isotherms (cv *Cucurbita Pepo* L.) between types II and III at 5, 25 and 45°C.

Figures 6 and 7 show the curves for the neperian logarithm of water activity ($\ln(a_w)$) as a function of the inverse values of the absolute temperature ($1/T$) for specific values of equilibrium moisture (dwb) for fresh and blanched pumpkin, respectively.

Figure 8 shows the net isosteric heat of sorption values (q_{st}) for fresh and blanched pumpkins, according to the equilibrium moisture values (dwb) calculated for different equilibrium moisture contents at 30°, 50° and 70°C, using **Equation (6)**. The net isosteric heat of sorption is represented by the slopes of the lines obtained (**Figures 6 and 7**), and decreases as the product moisture content increases. Such a behavior can be explained by considering that sorption of the first layers of water occurs at the most active sites available, originating high energy of interaction (MAZZA; LE MAGUER, 1980). **Table 5** shows the values obtained for the constants q_0 and X_0 , as well as the coefficient of determination (R^2) established by fitting **Equation (7)** to the values of q_{st} and X_{eq} shown in **Figure 8**.

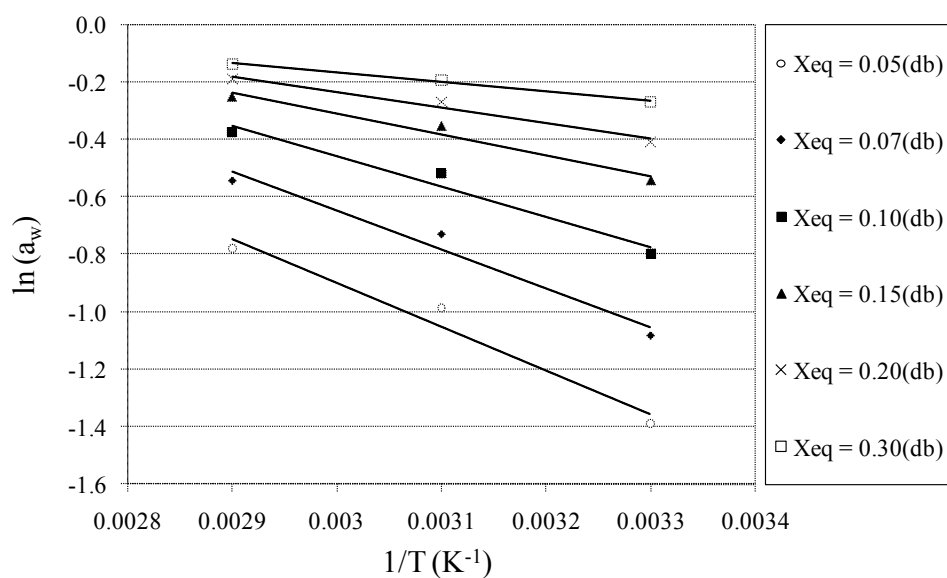


Figure 6: Neperian logarithm of the water activity ($\ln(a_w)$) as a function of the inverse values of absolute temperature ($1/T$) for the fresh samples

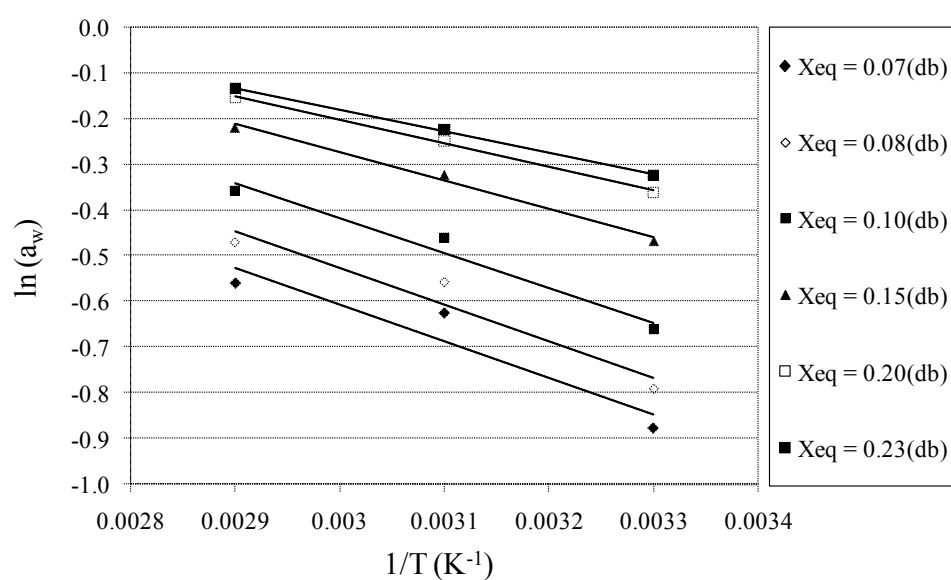


Figure 7: Neperian logarithm of the water activity ($\ln(a_w)$) as a function of the inverse values of absolute temperature ($1/T$) for the blanched samples

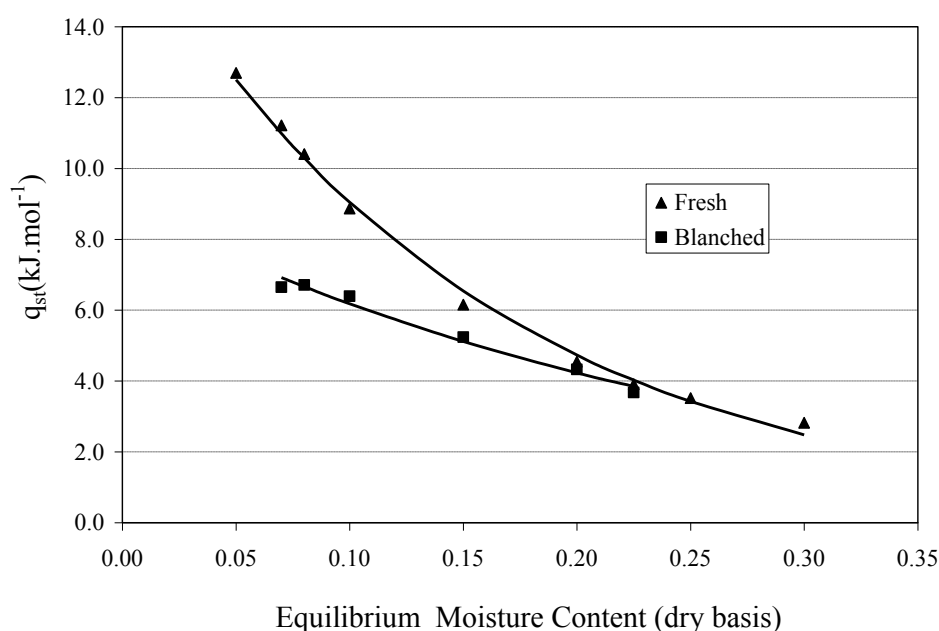


Figure 8: Comparison between the net isosteric heat of sorption values determined by the slopes of the lines obtained (**Figures 6 and 7**) and calculated (continuous line: **equation (7)**), as a function of equilibrium moisture content for fresh and blanched pumpkin

Table 5: The constants q_0 and X_0 and the coefficient of determination (R^2) established by fitting equation (7) to the values of q_{st} and X_{eq} shown in **Figure 8**

	q_0 (kJ/mol)	X_0 (dry basis)	R^2
Fresh	17.29	0.1544	0.9975
Blanched	9.02	0.2645	0.9899

The net isosteric heat of sorption was inversely proportional to the moisture content (**Table 5**), which was to be expected due to the higher degree of binding energy of the water to the surface food material for the lower moisture contents (GABAS; MENEGALLI; TELIS-ROMERO, 2000). It can be seen that the heat of sorption of the fresh samples was higher than that of the blanched samples when the moisture content was low. This means that a larger amount of heat is required to

remove the water from the fresh sample as compared to the blanched sample. These results were related to the higher sugar contents of the fresh tissue.

However, the heat sorption difference decreases as moisture content increases until this difference is minimal, nearly 0.25 (dwb) (**Figure 8**). At low moisture content, a percentage of the sugars might be insoluble due to their high concentration and this effect would be more pronounced in fresh tissue. As moisture increases, the solubility increases, which would diminish the binding energy degree and the temperature influence on the net isosteric heat of sorption.

3.4. Conclusions

The blanching process had a slight influence on the equilibrium moisture content of the samples, which decreased as compared to the fresh samples, this being associated with the loss of soluble solids during the pre-treatment. The GAB, Oswin, BET and Halsey models in general showed satisfactory fits to the experimental data. The GAB model was used since its fitted parameters allowed for the analysis of curve types. The isotherms of the fresh and blanched samples determined at 30 and 50°C showed behaviors between types II and III. At 70°C, only the isotherm of the blanched sample clearly showed type II behavior. The behavior of the fresh sample was very similar to that of type II, but one of the parameters did not meet the requirements. The isosteric heats of sorption were shown to be quite similar to each other in the moisture levels around 0.25 (dwb). For lower moisture levels, the isosteric heat values indicated that the temperature had a greater influence on the fresh samples than on the blanched ones.

3.5. References

- AKPINAR, E. K.; BICER, Y. Modelling of the drying of eggplants in thin-layers International Journal of Food Science and Technology, v.40, n. 3, p.273–281, 2005.
- BOQUET, R.; CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H.A. Equations for fitting water sorption of foods: Evaluation of various two-parameter models. Journal of Food Technology, v.13, n.4, p. 319-327, 1978.
- BRUNAUER, S.; DEMING, L.S.; DEMING, W.E.; TROLLER, E. On the theory of Van de Walls adsorption of gases. Journal of the American Chemical Society, v. 62, n. 7, p. 1723-1732, 1940.
- BULL, H.B. Adsorption of water vapor by proteins. Journal of the American Chemical Society, v. 66, n. 9, 1499-1507, 1944.
- CHANTARO P, DEVAHASTIN S, CHIEWCHAN N. Production of antioxidant high dietary fiber powder from carrot peels. LWT-Food Science and Technology, v. 41, n. 10, p. 1987-1994, 2008.
- CHIRIFE, J.; FERRO FONTAN, C.; BENMERGUI, E.A. The prediction of water activity in aqueous solutions in connection with intermediate moisture foods. IV. Aw prediction in aqueous non electrolyte solutions. Journal of Food Technology, v.15, n.1, p.59-70, 1980.
- DOYMAZ, I. The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. Journal of Food Engineering, v. 79, n. 1, p. 243-248, 2007.
- GABAS, A.L.; MENEGALLI, F.C.; TELIS-ROMERO, J. Water sorption enthalpy-entropy compensation based on isotherms of plum skin and pulp. Journal of Food Science, v. 65 n. 4, p. 680-684, 2000.
- IUPAC – International Union of Pure and Applied Chemistry. Reporting physisorption data for gas/solid systems. Pure and Applied Chemistry, v.57, n.4, p.603-619, 1985.
- KAYMAK-ERTEKIN F.; GEDIK A. Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. Lebensmittel - Wissenschaft und Technologie, v.37, n.4, p. 429–438, 2004.
- KRINSKY, N.I. Actions of Carotenoids in Biological Systems. Annual Review of Nutrition, v. 13, p. 561-587, 1993.
- LEWICK, P.P. The applicability of the GAB model to food water sorption isotherms. International Journal of Food Science and Technology, v.32 , n.6, p. 553-557, 1997.

- LOMAURO, C.J.; BAKSHI, A.S.; LABUZA, T.P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations part I: Fruit, vegetable and meat products LWT - Food Science and Technology v.18, n.2, p. 111-117, 1985.
- MATHLOUTHI, M.; ROGÉ, B. Water vapour sorption isotherms ad the caking of food powders. Food Chemistry, v.82, n.1, p. 61-71, 2003.
- MAYOR, L.; MOREIRA, R.; CHENLO, F.; SERENO, A.M. Water sorption isotherms of fresh and partially osmotic dehydrated pumpkin parenchyma and seeds at several temperatures. European Food Research Technology, v.220, n.2, p.163-167, 2005.
- MAZZA, G; LEMAGUER, M. Dehydration of onion: Some theoretical and practical considerations. Journal of Food Technology, v. 15, n. 2, p. 181-194, 1980.
- MICROCAL SOFTWARE, INC. One Roundhouse Plaza, Northampton, MA, 01061, USA, 1997
- MORAES, M.A.; ROSA, G.S.; PINTO, L.A.A. Moisture sorption isotherms and thermodynamic properties of apple Fuji and garlic. International Journal of Food Science and Technology, v.43, n.10, p. 1824-1831, 2008.
- MOREIRA, R.; CHENLO, F.; TORRES, M.D. Simplified algorithm for the prediction of water sorption isotherms of fruits, vegetables and legumes based upon chemical composition. Journal of Food Engineering, v. 94, n 3-4, p. 334-343, 2009
- MUJUMDAR, A. S. Drying Fundamentals. In C. G. J. Baker (Ed.), Industrial Drying of Foods. Baker, London: Blackie Academic & Professional, p.7-30, 1997.
- PAPADAKIS, S.E.; BAHU, R.E.; MCKENZIE, K.A.; KEMP, I.C. Correlations for the equilibrium moisture content of solids. Drying Technology, v.11, n.3, p.543-553, 1993.
- PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (Pyrus sp.) com e sem desidratação osmótica, Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 21, n. 1 , p. 73-77, 2001.
- RESENDE, O.; CORRÊA, P.C.; GONELI, A.L.D.; RIBEIRO, D.M. Isotermas e Calor Isostérico de Sorção do Feijão, Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 26, n. 3, p. 626-631, 2006.
- RIZVI, S. S. H. Thermodynamic properties of foods in dehydration. In M. A. Rao and S. S. H. Rizvi (Eds.), 2nd ed, revised and expanded, Engineering properties of foods. New York: Marcel Dekker, 1995. p. 223-309.
- RIZVI, S.S.H.; BENADO, A.L. Thermodynamic properties of dehydrated foods. Food Technology, v. 38, n. 3, p.83-92, 1984.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D.B.; KIMURA, M.; AMAYA-FARFAN, J. Fontes Brasileiras de Carotenóides: Tabela Brasileira de Composição de Carotenóides em Alimentos. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Biodiversidade e Florestas. 100p, 2008.

- SARAVACOS, G.D. Mass transfer properties of foods. In M. A. Rao and S. S. H. Rizvi (Eds.), 2nd ed, revised and expanded, Engineering properties of foods. New York: Marcel Dekker, 1995. p. 169-221.
- TACO - Tabela brasileira de composição de alimentos / NEPA-UNICAMP.-Versão II. - 2. ed. - Campinas, SP: NEPA- Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação UNICAMP, 113p, 2006.
- TSAMI E.; MAROULIS Z.B.; MORUNOS-KOURIS D; SARVACOS G.D. Heat of sorption of water in dried fruits. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 25, n.3, p. 350-359, 1990.
- VAN DEN BERG, C.; BRUIN, S. Water activity and its estimation in food systems: theoretical aspects, in *Water activity: influences on food quality*, Ed. L.B. Rockland and G.F. Stewart, Academic Press, New York, 1981.
- VEGA-GÁLVEZ, A.; LEMUS-MONDACA, R.; FITO P; ANDRÉS A. Moisture sorption isotherms and isosteric heat of red bell pepper (var. Lamuyo). *Journal of Food Science*, v. 13; n.4, p. 309-316, 2007.
- VEGA-GÁLVEZ, A.; LÓPEZ, J.; MIRANDA, M.; DI SCALA; K., YAGNAM, F.; URIBE, E. Mathematical modelling of moisture sorption isotherms and determination of isosteric heat of blueberry variety O'Neil. *International Journal of Food Science and Technology*, v.44, n. 10, p. 2033-2041, 2009.
- WILLIAM, H. (Ed.) *Official Methods of Analysis*, 11th ed. Arlington: Association of Official Analytical Chemists, AOAC, 1970.
- WOLFE,K.L.; LUI, R.H. Apple peels as a value-added food ingredient. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.51, n.6, p. 1676-1683, 2003.

3.6. Acknowledgements

The authors are grateful to FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) for their financial support (Proc 07/07586-0) and for the studentships (Proc 07/00809-3; Proc. 04/15550-7)

CAPÍTULO 4

DRYING KINETICS AND SHRINKAGE OF PRE- TREATED PUMPKIN SLICES

(Cucurbita moschata)

Este artigo foi enviado ao periódico *Journal of Food Engineering* para publicação.

DRYING KINETICS AND SHRINKAGE OF PRE-TREATED PUMPKIN SLICES (*Cucurbita moschata*)

Lucídio MOLINA-FILHO, Elen C. FRASCARELI, Maria A. MAURO

Department of Food Engineering and Technology, Institute of Biosciences,
Language and Physical Sciences (IBILCE), UNESP – São Paulo State University,
Rua Cristóvão Colombo 2265, 15054-000 São José do Rio Preto, SP, Brazil

Summary

Drying kinetics of fresh, blanched or pectin coated pumpkin slices was evaluated at 60 and 70°C, 0.85m·s⁻¹ and 1.70m·s⁻¹ air velocities. The effect of the pre-treatments, drying parameters and shrinkage consideration on the moisture diffusivity was investigated. The shrinkage volume and thickness were experimentally determined and selective shrinkage of the thickness with respect to the area of the slice was observed. In order to take shrinkage into account, shrinkage coefficients were incorporated in the analytical solution of Fick's equation to calculate the diffusivities in an approximate way. Under the studied drying conditions a constant-rate period was found. The falling-rate period was described by the diffusion equation. The use of shrinkage in the simplified method that considered similar shrinkage in both the area and thickness proved to be adequate to predict the experimental drying data of the fresh and coated pumpkin.

Keywords: drying, blanching, edible coating, pumpkin, diffusivity, shrinkage

4.1. Introduction

Pumpkins (*Curcubita moschata*), widely cultivated in Brazil, are important sources of carotenoids, mainly α -carotene and β -carotene. In addition to their great pro-vitamin A activity, the carotenoids are anti-oxidant agents (Rodriguez-Amaya et al., 2008), and thus connected to the prevention of cancer, macular degeneration, heart diseases and other degenerative diseases (Krinsk, 1993).

Consumer demand for processed foods that preserve their original properties has increased. In industrial terms this requires the development of operations that minimize the adverse effects of food processing (Nijhuis et al., 1998). The drying process provides many advantages with respect to food stability at room temperature for long periods of time. However, degradation of the food quality during drying is one of the greatest problems encountered in the design and control of drying processes, due to the physical, chemical and biochemical alterations caused by this process (Mujumdar, 1997). In addition, the maximum drying temperatures used in foods are generally insufficient to inactivate the enzymes that are related to nutritional losses. Hence, the application of heat blanching to the vegetable matter before drying fruits and vegetables aims to interrupt the enzymatic activity, avoiding undesirable changes in the sensory characteristics and nutritional properties that could occur during the drying process and subsequent storage, thus improving the quality of the dehydrated product (Chantaro et al., 2008; Wolfe; Lui, 2003). The coating of food pieces with edible films has also been used as a treatment prior to drying, contributing to the retention of the nutrients by decreasing contact of the vegetable matter with oxygen during the drying process, as demonstrated with persimmon slices (Eik, 2008).

It is important to have models that simulate the drying curves under different conditions in order to improve the control the drying parameters, and for this purpose theoretical, empirical and semi-empirical models are used (Simal et al., 2005). One of the most well-known theoretical models is based on Fick's Law and applies the theory of water diffusion in the liquid or vapor form in order to interpret food and agricultural product drying processes. Nevertheless the diffusion coefficient is effective, since the diffusivity of water depends on the concentration, porosity and tortuosity of the material. Fick's equation is generally used as an

integrated analytical solution, but has been found inadequate for highly deformable materials. If one considers shrinkage of the material this implies a numerical solution to the equation. However some authors have used simplified alternatives to calculate the diffusivity based on an analytical solution, incorporating the shrinkage in the equation in an approximate way, via the characteristic dimension as a function of the moisture content. This procedure was shown to be adequate to fit the experimental data in osmotic dehydration of pumpkin in sodium chloride solutions (Mayor et al., 2006), in osmotic dehydration of pineapple in sucrose solutions under some specific conditions (Ramallo et al. 2004) and in osmotic dehydration of pumpkin in sucrose solutions, as also in drying and osmotic dehydration of fresh pumpkin (Garcia et al., 2007). Similar procedure was applied by Perez & Schmalko (2009). The authors, investigating the drying of fresh and blanched pumpkins, considered the characteristic dimension as dependent on the moisture content in the integrated analytical solution. They also considered the diffusion coefficient to vary with the temperature and moisture content, solving the problem numerically.

Considering the nutritional richness of pumpkin (*Cucurbita moschata*) and the lack of available data concerning this, the present research proposes to evaluate the influence of temperature, air velocity and shrinkage on the drying kinetics of fresh, coated with pectin and blanched pumpkin slices based on the Diffusion Law, and the influence of deformation on the moisture diffusivity using simplified methodologies.

4.2. Material and methods

4.2.1 Materials

Mature Pumpkins (*Cucurbita moschata*) of the cultivar Rajada Seca Melhorada, at mature stage and weighing between 30 and 50kg, were acquired on the local market – CEAGESP (São José do Rio Preto - Brazil) and stored at room temperature.

Low methoxylated pectin (Grindsted Pectin LA 210, Danisco - Brazil) for industrial use was used in the coating procedure, and the calcium chloride used was of USP food grade and hydrated ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Synth, Labsynth - Brazil).

4.2.2 Equipment

The drying experiments were carried out in a fixed bed dryer equipped with a centrifugal fan (Ibaram, model CV3600 - Brazil) with a 2 CV motor, a drying chamber with a cross-sectional area of $9.61 \times 10^{-2} \text{m}^2$, and air velocity regulated by a frequency inverter (WEG, μ line, model ML-7.0/200-240 - Brazil) connected to the motor of the fan. A semi-analytical balance (Gehaka, model BG4000 - Brazil), with a precision of 0.01g and capacity for 4.0kg was connected to the dryer, which had an RS232 interface for transmitting the data to a computer, where the weights were recorded over time. A program compatible with the electronic spreadsheets of Microsoft Excel was used. A digital micro-processed controller with a PT 100 type probe was used to control the temperature (Novus, model N489D - Brazil) and the plate of the balance was substituted by a structure constructed to support three metal mesh trays. The air flow was incident parallel to the samples.

4.2.3 Sample preparation and pre-treatment

The pumpkins were cut in three portions in a transversal direction to their axis and the ends cut off. Each piece was then cut longitudinally into four parts and two opposite parts of each piece were peeled and seeded. The part of the pumpkin closest to the center was removed, since this was composed of spongy tissue. The piece was sliced ($3.7 \times 10^{-3} \text{m}$ thickness) using an electric vegetable cutter. The transversal area of the slices was approximately $34 \times 10^{-2} \text{m}^2$. The slices were immediately placed into a plastic bag to avoid loss of moisture to the environment and also to mix them in order to make a random selection of the samples. Shrinkage was determined experimentally from samples cut into disks ($3.7 \times 10^{-3} \text{m}$ thickness, $3.6 \times 10^{-2} \text{m}$ diameter).

Two separate pre-treatment processes were applied: blanching and coating with pectin. Heat blanching of the pumpkin samples was carried out in boiling water (98.3°C at 489m altitude) for 1 minute. Approximately $4 \times 10^{-1} \text{kg}$, contained in a perforated basket, were blanched in 20 liters of boiling water and then cooled in running water at room temperature for the same period of time. The slices were dried with absorbent material to remove excess moisture from the surface. The coating consisted of a 2% low methoxylated pectin solution prepared at 70°C under

constant stirring and then cooled to 40°C before applying to the samples. The slices were immersed in this solution during 60s, and then in a 1% calcium chloride solution during 30s in order to promote gelation of the pectin coating. After that, the slices were rinsed in distilled water (10s).

4.2.4 Analytical methods

4.2.4.1 Total solids determination

A gravimetric method was used to determine the solids content in approximately 3g of sample dried to constant weight in a vacuum oven at 60°C and 10 kPa. This analysis was carried out in quintuplicate for the fresh, blanched and coated samples; and in triplicate for the dried samples.

4.2.4.2 Determination of density, volume and thickness

The density of the fresh, blanched and coated samples cut into disks was determined by the volume displacement method in a glass pycnometer made from a 20ml burette soldered to an approximately 100ml glass flask substituting the tip, and to an open-topped recipient (approximately 100ml) with a sintered glass stopper. The apparatus was partially filled with toluene up to a specific mark, stoppered and inverted to read the calibration. For each measurement, the pycnometer was filled with toluene up to the calibration mark; the previously weighed samples were placed in the upper recipient, stoppered and inverted to read the new volume. The difference between the two readings represented the sample volume. The whole process was carried out in a fume cupboard with exhaustion, and each analysis was carried out in duplicate. The area was determined by taking two measurements of the diameter of each disk with the aid of graph paper. The thickness was determined from the area and volume.

4.2.5 Convective drying

The drying trials of the treated and fresh pumpkin slices were carried out at 60°C and 70°C with air velocities of 0.85m·s⁻¹ and 1.70m·s⁻¹. The pumpkin slices were placed between two metallic screens to avoid deformation during drying. The samples were distributed in three trays with an approximate mass of 2×10⁻¹kg, and the system recorded the loss of sample weight every second.

4.2.6 Shrinkage coefficient

Shrinkage coefficients were determined based on the measurements of density, volume and thickness of dried samples. The drying times used in these experiments were chosen from the drying curves already obtained. After drying, the samples were wrapped in plastic film and stored in plastic containers for approximately 24 hours to equilibrate the moisture content before measurement. Shrinkage curves were determined for fresh samples dried at 60 and 70°C with air velocities of 0.85m·s⁻¹ and 1.70m·s⁻¹, and for the blanched and coated samples at 70°C and 1.70m·s⁻¹.

4.2.7 Mathematical models

4.2.7.1 Constant drying rate

When a moist, solid food is exposed to an air current at fixed velocity, temperature and relative humidity, its temperature adjusts to the conditions of the drying until reaching a stationary state. If the food enters this regime, the drying rate will be constant whilst these conditions remain. Few foods present such a period, and when they do, it tends to be for a relatively short time as compared to the other drying periods. The drying rates were evaluated from the graphs of the rate of water mass evaporated as a function of the water content. The mass transfer flow was calculated from **Equation (1)**:

$$N = -\frac{m_s}{A(t)} \frac{\Delta X}{\Delta t} \quad (1)$$

where N is the drying rate, m_s is the mass of dry solids, $(\Delta X/\Delta t)$ represents the variation in moisture (dry weight basis, d.b.), $A(t)$ is the surface area for heat and mass transfer, where evaporation occurs, and area changes as a function of time (t). Thus the constant drying rate period could be identified, where the flow did not vary with the moisture content.

4.2.7.2 Falling drying rate

In the drying of fruits and vegetables, the majority of the process occurs during the falling drying rate period. Fick's second law was used to describe the drying process in the falling period, presented below in its general form:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{\text{eff}} \nabla^2 X \quad (2)$$

where X is the fraction of the water mass on a dry weight basis (d.b.), D_{eff} is the effective drying coefficient, and t the drying time.

The moisture content of the original sample was considered to be homogenous, as also that of the blanched and coated samples.

$$X = X_0, \quad t = 0 \quad (3)$$

The external resistance during drying was considered to be negligible due to the high air velocity, and the concentration at the interface was represented by the water content of the sample in equilibrium with the drying air, that is:

$$X = X_{\text{eq}}, \quad t \geq 0 \quad (4)$$

In the central plane of the slice, the concentration gradient was nil.

$$\left. \frac{\partial X}{\partial z} \right|_{z=0} = 0, \quad t \geq 0 \quad (5)$$

Since the phenomenon of migration is complex, the effective diffusivity includes all the effects that could interfere with this phenomenon. The solid is considered to be an infinite flat plate with both surfaces exposed to the drying air, constant effective diffusivity and the effect of the temperature gradient on the inside of the sample negligible. Thus the analytical solution is as follows in the integrated form (Crank, 1975), that is, in terms of the mean concentration in the plate at time t :

$$X = \frac{\bar{X}(t) - X_{\text{eq}}}{X_0 - X_{\text{eq}}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp \left[- (2n-1)^2 \frac{\pi^2 D_{\text{eff}} t}{e^2} \right] \quad (6)$$

where X is the mean residual moisture content, non-dimensional, $\bar{X}(t)$ is the mean fraction of the water mass (d.b.) found in the plate at time t . X_0 and X_{eq} are the fractions of the water mass (d.b.), where 0 represents the initial instant ($t=0$) and eq the equilibrium, and e is the sample thickness.

In the integrated analytical solution for flat plates (**Equation 6**) six terms were used in series, which was sufficient for their convergence.

Three methods were used to calculate the effective diffusivity coefficient, based on the analytical solution for the already integrated Fick's equation (**Equation 6**).

Method A: thickness calculated from the cube root of the volume of water evaporated;

Method B: thickness determined from the displacement of volume and measurement of the area;

Method C: initial thickness without considering shrinkage.

The first two methods were a simplified procedure that incorporated shrinkage in an approximate way in the equation via the characteristic dimension as a function of water content, while the third method did not consider shrinkage.

4.2.7.3 Methodology to determine fitting efficiency

The graphic software ORIGIN v. 6.0 (MICROCAL SOFTWARE, 1997), which fits non-linear functions, was used to determine the fitting constants. The fitting efficiency was based on the coefficient of determination of the fit (R^2) and the mean relative error (P%) as defined by **Equation 7** (Lomauro et. al., 1985):

$$P(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y^{\text{exp}} - y^{\text{calc}}|}{y^{\text{exp}}} \quad (7)$$

where y^{exp} represents the experimental value, y^{calc} the calculated value and n the number of observations.

4.3. Results and discussion

4.3.1 Drying kinetics

4.3.1.1 Drying

Figure 1 (a) shows the water content (wet weight basis) as a function of drying time for the fresh and pre-treated samples at a temperature of 70°C and drying air velocity of 1.70m·s⁻¹.

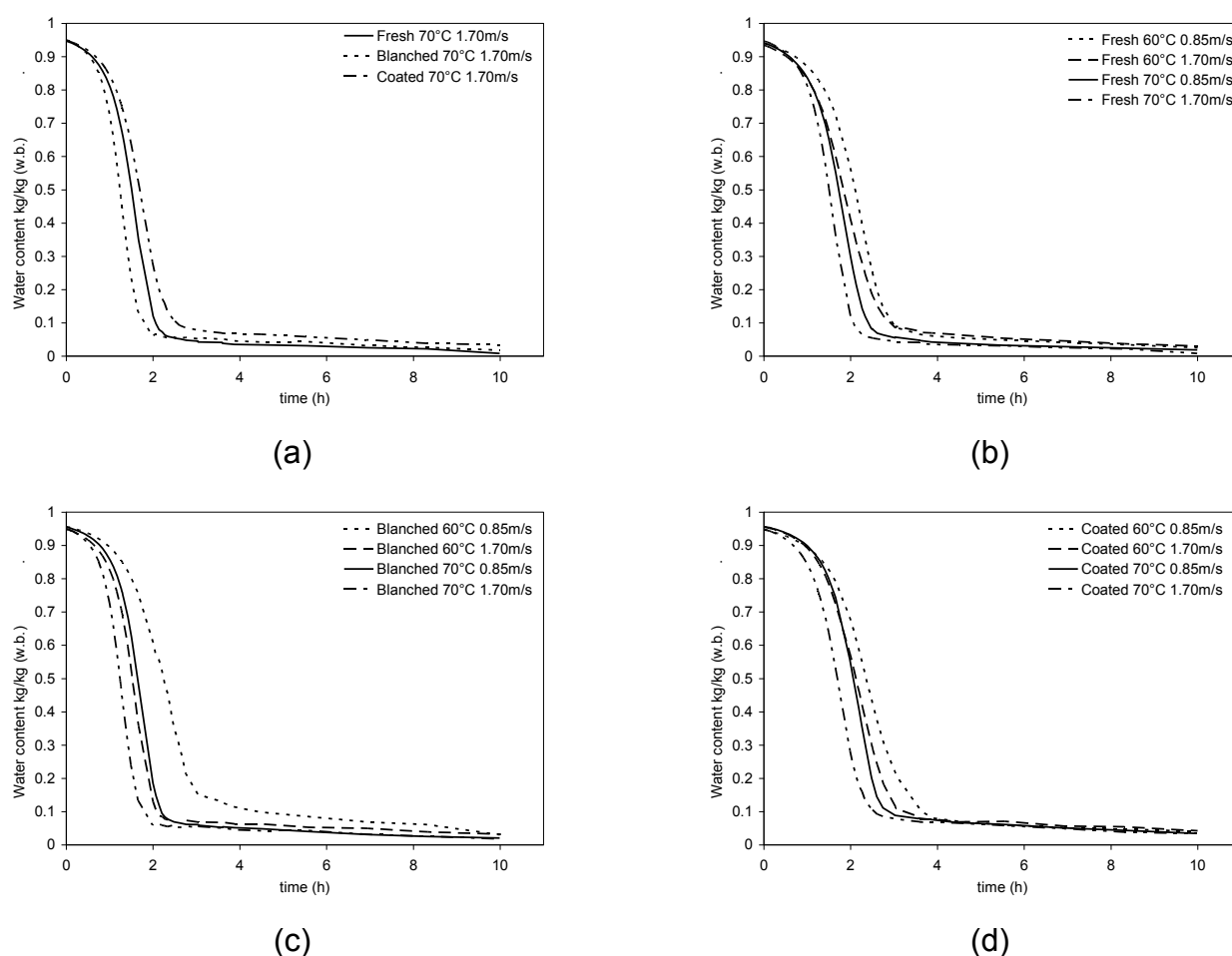


Figure 1: Comparison of the water content as a function of the drying time for (a) fresh, blanched and coated samples at 70°C and 1.70m·s⁻¹ air velocity; (b) fresh samples, (c) blanched samples (d) coated samples, dried at temperatures of 60 and 70°C with air velocities of 0.85 and 1.70m·s⁻¹

It can be seen that the blanched samples were the quickest to dry, followed by the fresh samples and finally the coated ones. Similar blanching effect on drying rates of sweet potatoes was found by Doymaz (2011). This same behavior shown in **Figure 1 (a)** was repeated for the other experiments with the other

combinations of drying temperature and air velocity. **Figures 1 (b), (c) and (d)** show the water content (wet basis) as a function of drying time for the fresh, blanched and coated pumpkins slices, respectively. These curves compare the influence of temperature and air velocity on the drying of the pumpkin slices, and show that the drying time decreased with increase in air velocity and temperature, temperature being the parameter that most influenced the process.

Figures 2 (a), (b) and (c) show the mass transfer flux (**Equation 1**) as a function of water content (dry weight basis), where constant rate periods can be identified. In general these periods corresponded to approximately 20 minutes, and hence this time was used as the standard to determine the value of the critical moisture content. This made a better representation of the drying mechanisms possible and permitted to fit the Fick model to the experimental data as from the critical moisture content.

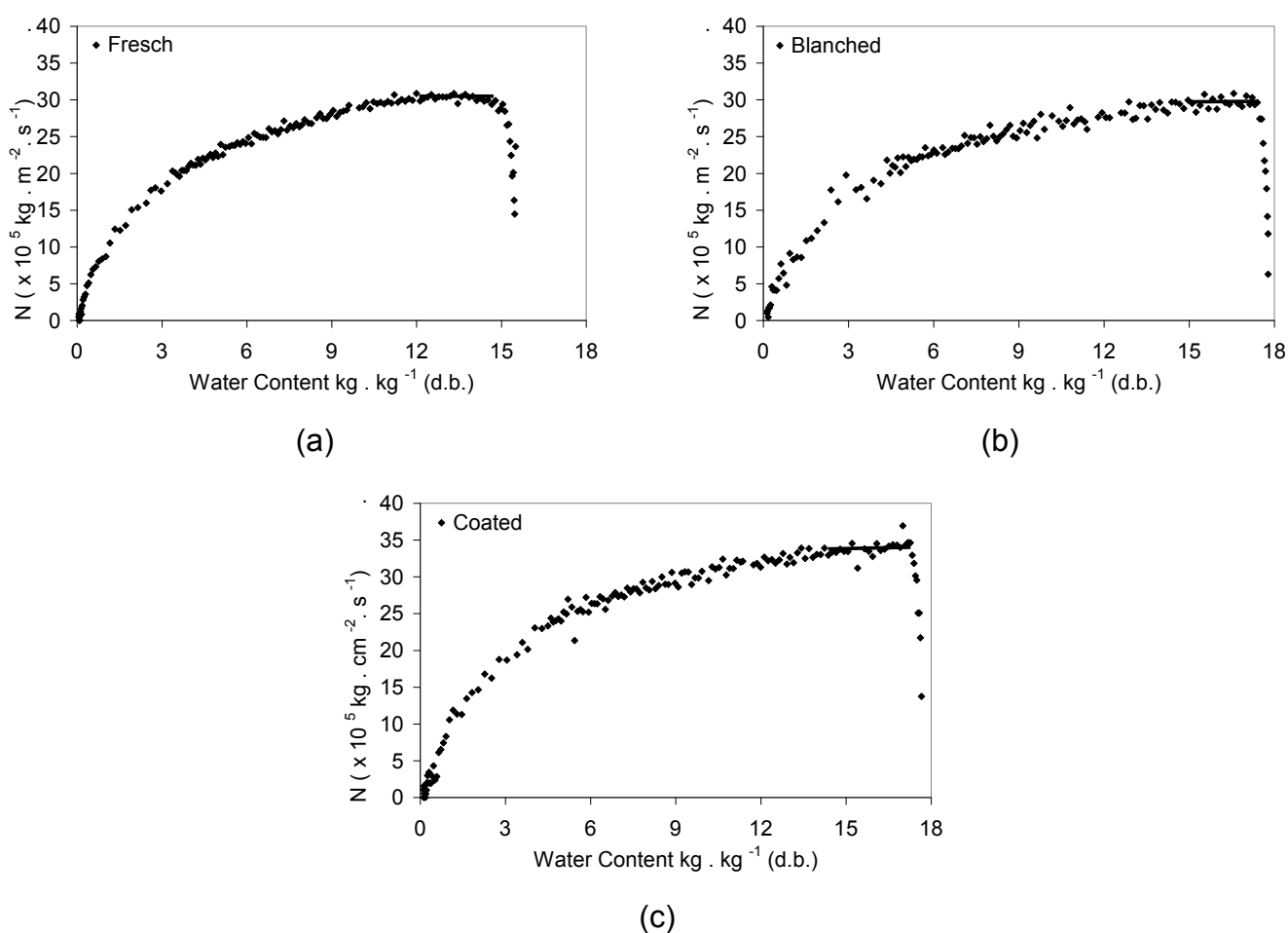


Figure 2 – Drying rates for the fresh, blanched and pectin coated sample at 60°C and 0.85m·s⁻¹ air velocity

4.3.1.2 Shrinkage

Figure 3 shows volumetric shrinkage (volume/initial volume, V/V_0) as a function of moisture ratio (water content/initial water content, X/X_0) and compares fresh samples dried at temperatures of 60 and 70°C with air velocities of 0.85 and 1.70m·s⁻¹, and also blanched and coated samples dried at 70°C and 1.70m·s⁻¹. This figure shows that neither the temperature nor the air velocity had much influence on the shrinkage coefficient of the fresh samples, nor on those of the other treatments.

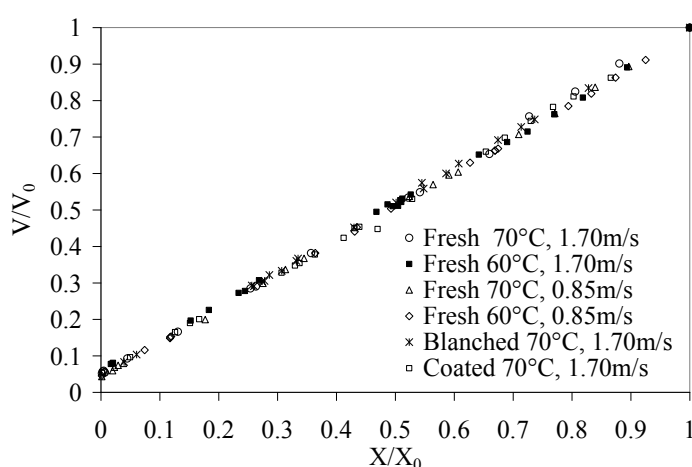


Figure 3 – Comparison of the ratio between the volume (V/V_0) as a function of the ratio between the moisture contents (X/X_0), for fresh samples dried at temperatures of 60 and 70°C with air velocities of 0.85 and 1.70m·s⁻¹, and blanched and coated samples dried at 70°C and 1.70m·s⁻¹ air velocity

In **Figure 4** the volumetric variation of the water evaporated during the drying of the fresh samples (70°C, 0.85m·s⁻¹), represented as a function of the moisture content, was compared with the variation in volume obtained by experimental measurements of volume displacement (item 2.4.2). The figure shows that the difference was slight and that the direct measurement was slightly lower. These slightly lower values could be related to the collapse of the material, due to its initial porosity.

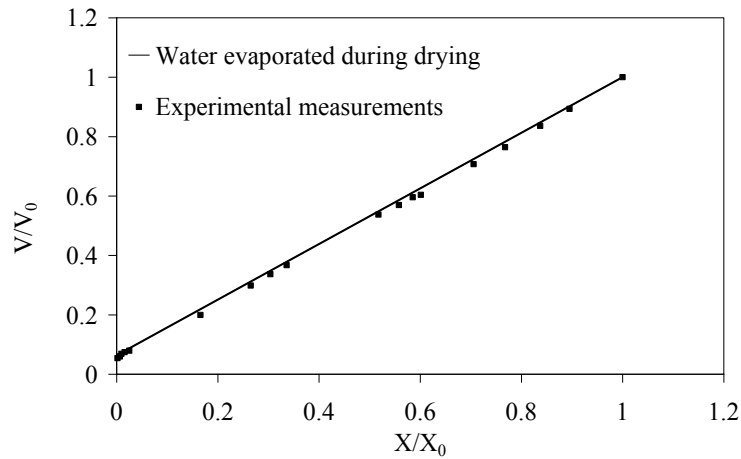


Figure 4 – Comparison of the direct measurement of the volume with the variation in the volume of water evaporated during the drying of fresh samples at a temperature of 70°C and 0.85m·s⁻¹ air velocity

4.3.1.3 Effective diffusivity

To determine the effective diffusivity (**Equation 6**), the value for thickness was inserted in different ways, according to methods A, B and C.

Method A

As from the volumetric variation in the water obtained from the drying curve in each experiment, the values for the thicknesses of the samples were determined, considering that shrinkage occurred in the same proportion in each of the dimensions of the solid according to **Equation 8**.

$$\frac{e}{e_0} = \sqrt[3]{\frac{V}{V_0}} \quad (8)$$

where e is the thickness at time t , e_0 is the thickness at time $t=0$, v is the volume at time t and v_0 is the volume at time $t=0$.

Such an approximation is admissible when one considers that the variation in volume is proportional to the volume of water evaporated during drying.

Method B

This method used the experimentally measured thickness obtained in the shrinkage tests (item 2.6). It is important to point out that the shrinkage trials were carried out using disks (3.7×10^{-3} m thick and $10.2 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ in area), whereas in the drying trials the slices had a parallelogram format (3.7×10^{-3} and $34 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ mean area).

The variations in thickness were very similar for the different drying trials of the fresh samples (60 and 70°C, 0.85 and $1.70 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), as also for the blanched and coated samples at 70°C and $1.70 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (**Figure 5a**). Therefore in the case of the blanched and coated samples, the same functionality was used for all drying conditions.

Since the shrinkage experiments were independent, in order to introduce values for thickness in **Equation 6**, correlations had to be determined between the thicknesses and moisture contents, which were described by the second degree polynomial (**Equations 9 to 14**). The equations shown below were obtained by fitting the second degree polynomials to the curves.

Fresh 60°C; $0.85 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$\frac{e}{e_0} = -0.5134 \left(\frac{X}{X_0} \right)^2 + 1.4232 \left(\frac{X}{X_0} \right) + 0.0709 \quad (9)$$

Fresh 60°C; $1.70 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$\frac{e}{e_0} = -0.4925 \left(\frac{X}{X_0} \right)^2 + 1.3901 \left(\frac{X}{X_0} \right) + 0.0987 \quad (10)$$

Fresh 70°C; $0.85 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$\frac{e}{e_0} = -0.4330 \left(\frac{X}{X_0} \right)^2 + 1.3385 \left(\frac{X}{X_0} \right) + 0.0996 \quad (11)$$

Fresh 70°C; $1.70 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$\frac{e}{e_0} = -0.4458 \left(\frac{X}{X_0} \right)^2 + 1.3783 \left(\frac{X}{X_0} \right) + 0.0855 \quad (12)$$

Blanched 70°C; $1.70 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$\frac{e}{e_0} = -0.4839 \left(\frac{X}{X_0} \right)^2 + 1.4080 \left(\frac{X}{X_0} \right) + 0.0701 \quad (13)$$

Coated 70°C; 1.70m·s⁻¹

$$\frac{e}{e_0} = -0.4730 \left(\frac{X}{X_0} \right)^2 + 1.3968 \left(\frac{X}{X_0} \right) + 0.0690 \quad (14)$$

In order to evaluate if there was preferential shrinkage of the thickness of the fresh samples in relation to the other dimensions, **Figure 5b** compares the calculated (**Equation 8**, method A) and experimentally obtained thicknesses (method B) as a function of moisture content, in fresh samples dried at 70°C, 0.85m·s⁻¹. The thicknesses of fresh samples obtained experimentally by volume displacement were compared with the thicknesses calculated using **Equation 8**, which considers that shrinkage occurs equally in all dimensions. The experimentally measured thicknesses decreased quicker than the calculated ones, showing that there was preferential shrinkage of the thickness in relation to the area of the slice.

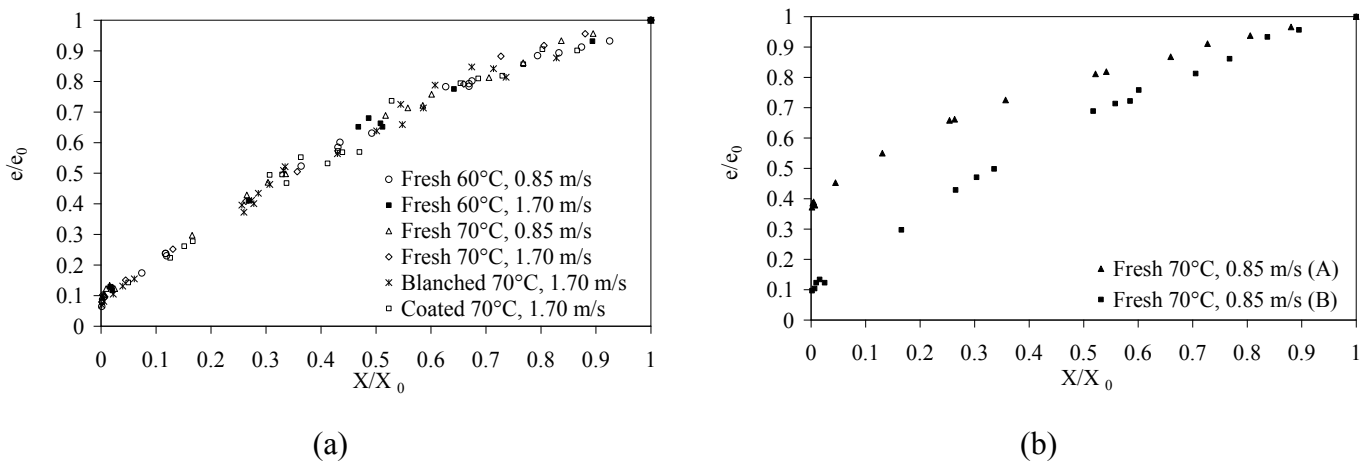


Figure 5 –Comparison of the ratio between the thicknesses (e/e_0) (a) measured experimentally (method B) in fresh samples dried at 60 and 70°C with air velocities of 0.85 and 1.70m·s⁻¹, and blanched and coated samples dried at 70°C and 1.70m·s⁻¹; (b) calculated (**Equation 8**, method A) and measured experimentally (method B) in fresh samples, dried at 70°C and 0.85m·s⁻¹ air velocity

Method C:

The analytical solution of Fick's equation (**Equation 6**), when integrated with the initial thickness e_0 , assumes that the thickness remains constant throughout the entire process.

$$\frac{e}{e_0} = 1 \quad (15)$$

In order to fit **Equation 6** to the drying data, the thicknesses obtained by methods A, B and C were used. It is important to point out that the mean initial thicknesses determined by the volume displacement method were different between the trials with fresh ($3.7 \times 10^{-3} \text{ m}$), blanched ($3.7 \times 10^{-3} \text{ m}$) and coated ($4.4 \times 10^{-3} \text{ m}$) samples. **Tables 1, 2 and 3** show the diffusivities, the coefficients of determination (R^2) and the relative errors, P (%), as a function of temperature and air-drying velocity. The diffusivities were determined in two different ways: ignoring the constant rate period, that is, determining the diffusivity over the whole drying curve as from $t_0 = 0 \text{ min}$; and considering the falling rate period as from the critical moisture content, which corresponded to approximately 20 minutes of drying time ($t_0 \cong 20 \text{ min}$).

Table 1 shows the mass transfer flux calculated (**Equation 1**) during constant rate periods. **Table 2, 3, 4** shows diffusion coefficients, determination coefficients (R^2) and relative error (P) calculated by method A, B, C respectively.

In general trials (1) and (2) showed good reproducibility for the three treatments, fresh, blanched and coated samples (**Table 1 and 2**). The effective diffusion coefficients increased with increase in drying temperature and air velocity. In general the coated samples showed greater diffusion coefficients than the blanched and fresh samples, except for method C, in which shrinkage was not considered. Although the coefficients of the coated samples were generally greater than those of the other samples, the drying curves showed lower rates for these samples, due to the greater initial thickness of these samples (**Figure 1a**). The initial thickness of the coated samples was, on average, $4.4 \times 10^{-3} \text{ m}$, almost 20% greater than the mean thickness of the other treatments ($3.7 \times 10^{-3} \text{ m}$). If, on the one hand the diffusivity of the water in the coatings was high, on the other hand the increase in thickness due to the coating of a thin slice resulted in a reasonable increase in the drying time of these samples.

Table 1: The mass transfer flow was calculated a function of temperature and air-drying velocity, considering the constant rate period ($t = 20\text{min}$)

T (°C)	V(m/s)	trial	N $\times 10^5$ (kg $\cdot$ m $^{-2}$ $\cdot$ seg $^{-1}$)		
			Fresh	Blanched	Coated
60	0.85	1	30.29	33.90	33.64
		2	27.02	29.73	30.82
60	1.70	1	35.53	42.65	39.98
		2	35.30	42.86	38.65
70	0.85	1	37.98	41.05	38.84
		2	33.77	40.19	38.59
70	1.70	1	43.74	52.68	47.93
		2	43.64	51.29	47.90

Table 2: Diffusion coefficients calculated by method A and respective determination coefficients (R^2) and relative error (P) as a function of temperature and air-drying velocity; ignoring the constant rate period ($t_0 = 0\text{min}$) and considering the falling rate period as from the critical moisture content ($t_0 \cong 20\text{min}$)

method A				Fresh			Blanched			Coated		
T (°C)	V(m/s)	trial	t_0 (min)	$D_{\text{eff}} \times 10^{10}$ (m 2 $\cdot$ s $^{-1}$)	R^2	P%	$D_{\text{eff}} \times 10^{10}$ (m 2 $\cdot$ s $^{-1}$)	R^2	P%	$D_{\text{eff}} \times 10^{10}$ (m 2 $\cdot$ s $^{-1}$)	R^2	P%
60	0.85	1	0	1.34	0.984	6.54	1.39	0.985	7.88	1.74	0.981	6.26
			20	1.42	0.986	5.94	1.41	0.983	7.98	1.81	0.982	5.61
		2	0	1.22	0.978	6.36	1.25	0.982	6.48	1.63	0.976	5.86
			20	1.29	0.981	5.44	1.30	0.984	6.04	1.68	0.976	5.49
60	1.7	1	0	1.56	0.989	7.26	1.75	0.991	13.88	2.05	0.987	7.68
			20	1.64	0.989	7.00	1.83	0.992	13.48	2.14	0.986	7.70
		2	0	1.57	0.990	7.08	1.68	0.989	11.81	1.91	0.987	5.47
			20	1.66	0.990	6.63	1.70	0.989	11.33	1.94	0.985	5.35
70	0.85	1	0	1.64	0.991	8.35	1.63	0.990	13.00	1.97	0.987	7.65
			20	1.72	0.992	7.52	1.74	0.990	13.06	2.08	0.988	7.32
		2	0	1.54	0.989	7.21	1.74	0.991	8.95	1.93	0.988	6.44
			20	1.64	0.990	6.65	1.85	0.992	8.56	2.00	0.987	6.16
70	1.7	1	0	1.84	0.992	11.75	2.14	0.988	23.42	2.41	0.991	10.29
			20	1.94	0.993	10.42	2.21	0.988	23.14	2.52	0.991	9.78
		2	0	1.94	0.992	10.58	2.03	0.986	18.47	2.37	0.992	9.77
			20	2.07	0.993	9.40	2.05	0.987	17.31	2.49	0.993	8.87

Table 3: Diffusion coefficients calculated by method B and respective determination coefficients (R^2) and relative error (P) as a function of temperature and air-drying velocity; ignoring the constant rate period ($t_0 = 0 \text{ min}$) and considering the falling rate period as from the critical moisture content ($t_0 \cong 20 \text{ min}$)

method B				Fresh			Blanched			Coated		
T (°C)	V(m/s)	trial	t_0 (min)	$D_{\text{eff}} \times 10^{11}$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	R^2	P%	$D_{\text{eff}} \times 10^{11}$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	R^2	P%	$D_{\text{eff}} \times 10^{11}$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	R^2	P%
60	0.85	1	0	6.31	0.934	15.25	6.58	0.920	18.74	8.64	0.934	12.20
			20	7.78	0.932	14.41	7.98	0.921	17.33	10.56	0.929	11.43
		2	0	6.14	0.935	11.48	6.32	0.935	13.10	8.40	0.936	9.52
			20	7.48	0.928	11.01	7.78	0.932	12.17	9.83	0.932	9.19
	1.7	1	0	7.28	0.930	21.11	8.58	0.943	31.35	9.22	0.922	20.19
			20	8.79	0.930	20.00	9.85	0.937	33.07	11.17	0.923	19.11
		2	0	7.28	0.936	20.86	7.92	0.924	28.80	9.01	0.925	14.20
			20	8.82	0.937	20.02	8.92	0.924	28.11	10.95	0.926	12.60
70	0.85	1	0	7.44	0.934	24.41	7.81	0.943	28.50	9.00	0.935	18.55
			20	8.82	0.935	23.66	9.19	0.936	29.98	11.05	0.935	17.63
		2	0	6.89	0.938	20.10	7.67	0.928	27.86	8.92	0.936	16.09
			20	8.45	0.938	19.56	9.18	0.936	29.98	10.94	0.939	15.00
	1.7	1	0	8.68	0.940	32.03	11.29	0.945	39.82	10.83	0.927	28.66
			20	10.15	0.932	33.70	13.37	0.930	45.02	12.30	0.923	28.76
		2	0	8.87	0.935	32.82	10.35	0.926	37.56	10.59	0.934	27.84
			20	10.20	0.925	34.54	11.61	0.911	40.23	12.28	0.933	27.75

Table 4: Diffusion coefficients calculated by method C and respective determination coefficients (R^2) and relative error (P) as a function of temperature and air-drying velocity; ignoring the constant rate period ($t_0 = 0 \text{ min}$) and considering the falling rate period as from the critical moisture content ($t_0 \cong 20 \text{ min}$)

method C				Fresh			Blanched			Coated		
T (°C)	V(m/s)	trial	t_0 (min)	$D_{\text{eff}} \times 10^{10}$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	R^2	P%	$D_{\text{eff}} \times 10^{10}$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	R^2	P%	$D_{\text{eff}} \times 10^{10}$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	R^2	P%
60	0.85	1	0	2.85	0.884	19.95	3.19	0.896	20.77	3.40	0.879	17.19
			20	3.31	0.904	17.20	3.66	0.911	17.83	3.88	0.895	15.03
		2	0	2.31	0.878	16.61	2.56	0.881	18.07	2.90	0.877	14.63
			20	2.64	0.898	14.17	2.94	0.897	15.80	3.23	0.891	12.82
	1.7	1	0	3.65	0.898	24.16	5.54	0.880	53.36	4.75	0.893	22.92
			20	4.27	0.918	20.26	6.74	0.902	45.73	5.54	0.912	19.53
		2	0	3.63	0.894	26.08	4.62	0.902	33.08	3.76	0.900	16.44
			20	4.28	0.913	22.26	5.47	0.920	27.95	4.18	0.908	14.62
70	0.85	1	0	4.18	0.897	30.35	4.98	0.878	46.12	4.60	0.883	24.39
			20	4.97	0.917	25.05	6.08	0.905	39.31	5.42	0.902	21.34
		2	0	3.54	0.889	26.06	4.58	0.893	35.20	4.19	0.884	21.44
			20	4.20	0.912	22.05	5.49	0.915	29.55	4.84	0.896	19.43
	1.7	1	0	5.56	0.889	49.24	7.47	0.870	74.07	6.47	0.898	34.40
			20	6.73	0.912	41.20	9.37	0.910	54.13	7.72	0.919	28.79
		2	0	5.39	0.896	43.27	6.13	0.905	43.72	6.50	0.891	37.76
			20	6.55	0.924	34.10	7.44	0.934	32.11	7.79	0.911	32.78

The diffusivity of the water in the blanched samples was always higher than that in the fresh samples, which was associated with the loss of sugars during blanching ($0.13 \pm 0.02 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$), decreasing the equilibrium moisture (Molina-Filho et al., 2011), as also by tissue damage caused by the pre-treatment.

Coefficients of determination for the fit (R^2) with values above 0.85 (Vega-Gálvez et al. 2007), and values for the relative error below 10% (Lomauro et al., 1985), corresponded to an acceptable fit of the model.

Method A fitted **Equation 6** to the experimental results better than the other methods, and the measurements of error demonstrated that the fit was acceptable for the fresh and coated samples, but less efficient for the blanched samples, mainly at 70°C.

Using method B, the coefficient of diffusion was lower as compared to the use of method A, since the experimental measurements of thickness, due to preferential shrinkage, are lower than the thickness calculated considering the variations occurring equally in all the dimensions (method A). Since the mathematical model (**Equation 6**) does not consider the variation in mass transfer area during the drying process, the resulting diffusivity is always smaller than the value that would be found if this term was considered. Thus in method B, despite the fact that the dimension considered is the experimental thickness, the diffusivity would be greater if the reduction in area was also considered. This fact probably explains why the first method presented more efficient fits, since the calculated thickness, greater than the real one, would compensate the effect of ignoring the reduction in area. This also explains why the diffusion model with volumetric shrinkage incorporated in the same manner, presented a good fit, as shown in a previous work with pumpkins (Garcia et al., 2007). However, Perez & Schmalko (2009), using a similar procedure, did not obtain a good fitting when diffusivities were determined in fresh and blanched pumpkins, probably due to the number of fitting equations, since their proposed model also considered an Arrhenius type equation to describe the dependence on different drying temperatures and the diffusion coefficient dependent on moisture.

Method C produced the highest coefficient of diffusion when compared to the other two methods, since the thickness introduced into **Equation 6** was constant

(e_0) throughout the whole drying process, whereas in the other methods the thickness varied with the decrease in moisture content.

The determination of diffusivity in the exclusively falling rate period, that is, as from the critical moisture content, resulted in greater coefficients of diffusion than those calculated considering the whole drying period. Small differences were observed between these coefficients when method A was applied (ranging from 1 to 7%). The differences found with the other methods were larger, varying from 12 to 25% for method B and from 12 to 23% for method C.

For all the methods, the fit of **Equation 6** to the data obtained was generally lower for the blanched samples than for the fresh and coated samples, probably because this pre-treatment makes the sample thickness and form less regular due to the damage caused by heat blanching in boiling water.

The temperature of 70°C and air velocity of $1.7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ corresponded to the worst fits of the diffusion equation, which could be associated with very fast drying of the sample surface, resulting in the formation of some dryer, more rigid areas in an irregular way.

Figures 6 (a), (b) and (c) compare the experimental results obtained for drying (experiment 1) of the fresh, blanched and coated samples at 60°C with an air velocity of $0.85\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, as compared to the values predicted by methods A, B and C. It can be seen from the Figures that method A represented the experimental data best. Method B presented the most sinuous curves, reflecting the strong influence of the experimentally measured shrinkage. Method C, which did not consider sample shrinkage and hence used a constant thickness (initial thickness), presented a very bad fit, but nevertheless the curve followed the analytical solution expected from Fick's equation, which is exponential.

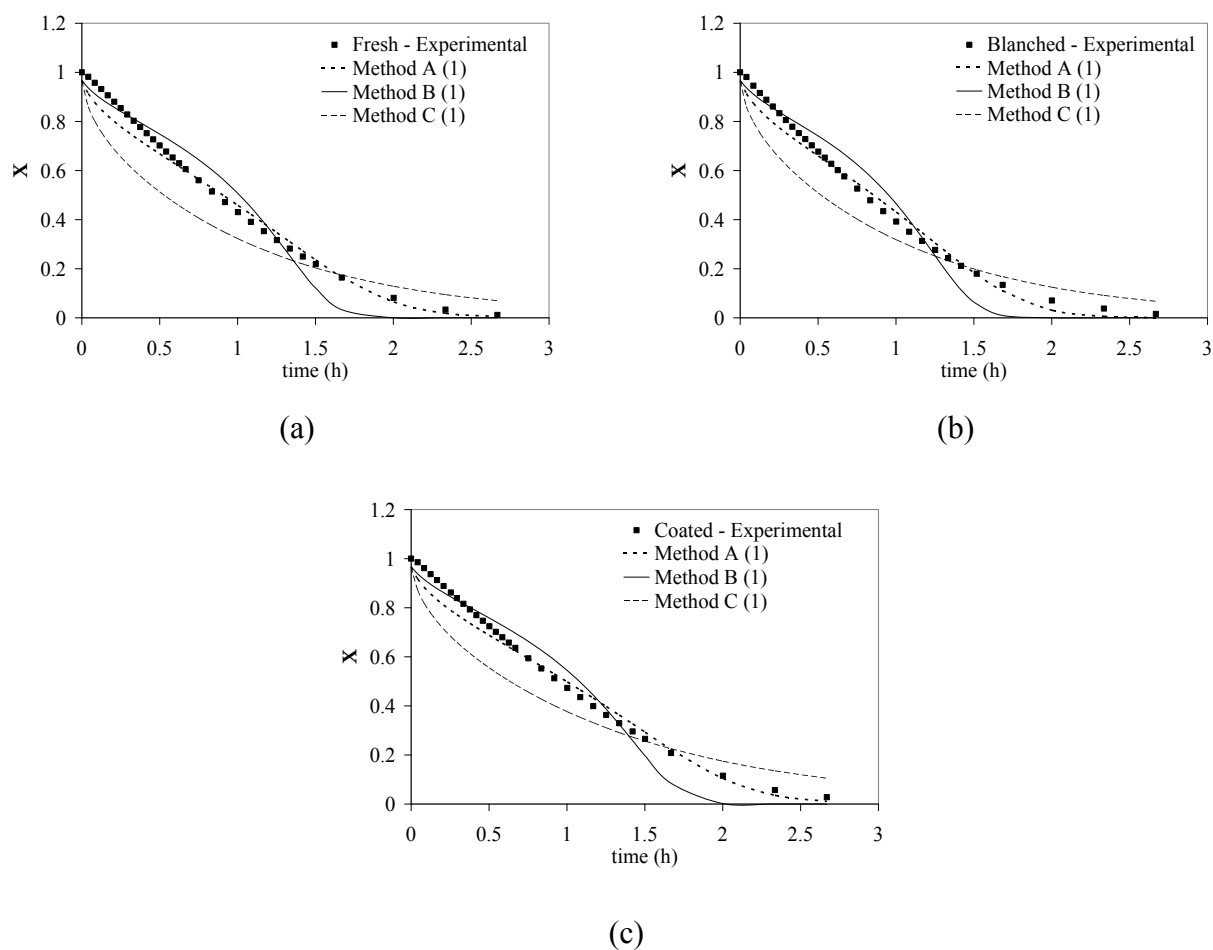


Figure 6 – Comparison of the experimental moisture contents (non-dimensional) and those predicted by method A, B and C for drying trial (1) at 60°C and $0.85\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ for (a) fresh samples, (b) blanched samples and (c) coated samples

Method A, that considered similar shrinkage in all dimensions, presented the best fitting of the diffusion equation. Since the thickness of the slice thus calculated was larger than the real thickness (method B), this over-estimation probably compensated the decrease in the mass transfer area during drying, which is not contemplated in the one-dimension diffusion model. Simplified alternative methods to consider changes in the mass transfer area during drying should be investigated in further works.

4.4 – Conclusions

The highest drying rates corresponded to the higher temperatures and air velocities, the temperature being the parameter that most influenced the process. The highest drying rates were obtained for the blanched samples, followed by the fresh samples and finally the coated samples. The diffusivities did not follow the same behavior due to the increase in thickness of the coated sample. In general, the coated samples presented larger values for the coefficient of diffusion, suggesting that the diffusivity of the water in the coating was high. The higher rates and diffusivities found for the blanched samples were attributed to the tissue damage and reduction in the soluble solids content caused by blanching. The variation in volume as a function of the moisture content was very similar for the different drying conditions. A comparison of the experimental measurements for shrinkage of the thickness and area of the slices showed selective shrinkage of the thickness in relation to the area of the slice.

The determination of diffusivity in the exclusively falling rate period resulted in greater diffusion coefficients than those calculated considering the whole drying period. Results showed the importance of shrinkage in evaluating the drying kinetics of highly deformable foods.

The proposed simplified method A, which considered similar shrinkage in all dimensions, proved to be adequately fitted to experimental data of fresh and coated pumpkin during drying. The method allowed comparing samples with different initial thicknesses and shrinkage rates. Nevertheless, further works should investigate simplified alternative methods to consider changes in the mass transfer area during drying.

4.5. References

- Chantaro, P., Devahastin, S., Chiewchan, N. (2008). Production of antioxidant high dietary fiber powder from carrot peels. *LWT - Food Science and Technology* 41, 1987-1994.
- Crank, J. (1975). *The Mathematics of Diffusion*, 2 Ed. London: Clarendon Press – Oxford.
- Doymaz, B. (2011). Thin-layer drying characteristics of sweet potato slices and mathematical modelling. *Heat and Mass Transfer* 47, 277–285
- Eik, N. M. (2008). Avaliação de pré-tratamentos e aplicação de coberturas comestíveis na secagem de frutas. Dissertação de mestrado Unicamp/FEA. Campinas-SP.
- Garcia, C.C., Mauro, M. A., Kimura, M. (2007). Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (*Cocurbita moschata*). *Journal of Food Engineering* 82, 284–291.
- Krinsky, N.I. (1993). Actions of Carotenoids in Biological Systems. *Annual Review of Nutrition* 13, 561-587.
- Lomauro, C.J., Bakshi, A.S., Labuza, T.P. (1985). Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: fruit, vegetables and meat products. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* 18 (2), 111-117.
- Mayor, L., Cunha R.L., Sereno, A.M. (2007). Relation between mechanical properties and structural changes during osmotic dehydration of pumpkin. *Food Research International* 40, 448–460.
- Microcal Software, INC. One Roundhouse Plaza, Northampton, MA, 01061, USA, 1997.
- Molina-Filho, L, Gonçalves, A.K.R., Elen Frascareli, E.C, Mauro, M.A. (2011). Moisture sorption isotherms of fresh and blanched pumpkin (*Cucurbita moschata*). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, in press.
- Mujumdar, A.S. (1997). Drying fundamentals. In C. G. J. Baker (Ed.), *Industrial Drying of Foods* (pp. 7–30). London: Blackie Academic and Professional.
- Nijhuis, H.H., Torringa, H.M., Muresan S., Yuksel, D., Leguijt, C., Kloek, W. (1988). Approaches to improve the quality of dried fruit and vegetables. *Trends in Food Science & Technology* 9 (1), 13-20.
- Oboh, G. (2005). Effect of blanching on the antioxidant properties of some tropical green leafy vegetables. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* 38, 513 – 517.

- Perez, N. E., Schmalko, M.G. (2009). Convective drying of pumpkin: influence of pretreatment and drying temperature. *Journal of Food Process Engineering* 32 (1), 88–103.
- Ramallo, L. A., Schvezov, C., Mascheroni, R. H. (2004). Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple. *Food Science Technology International* 10(5), 323-332.
- Rodriguez-Amaya, D. B., Miekko, K., Godoy, H. T., Amaya-Farfan, J. (2008). Updated Brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid. *Journal of Food Composition and Analysis* 21 (6), 445-463.
- Simal, S., Femenia, A., Garau, M.C., Roselló, C. (2005). Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. *Journal of Food Engineering* 66, 323–328.
- Vega-Gálvez, A., Lemus-Mondaca, R., Fito, P., Andre, A. (2007). Note: Moisture Sorption Isotherms and Isosteric Heat of Red Bell Pepper (var. Lamuyo). *Food Science and Technology International* 13 (4), 309 – 316.
- Wolfe, K. L., Liu, R. H. (2003). Apple peels as a value-added food ingredient. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51, 1676-1683.

4.6. Acknowledgements

To FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) for their financial support (Process 07/07586-0) and for the studentship (Process 04/15550-7), and to Danisco Textural Ingredients- Brasil for donating the pectin.

CAPÍTULO 5

***INFLUÊNCIA DE PRÉ-TRATAMENTOS E
CONDIÇÕES DE SECAGEM NA CINÉTICA DE
REIDRATAÇÃO DE ABÓBORA
(*Curcubita moschata*)***

**INFLUÊNCIA DE PRÉ-TRATAMENTOS E CONDIÇÕES DE SECAGEM NA
CINÉTICA DE REIDRATAÇÃO DE ABÓBORA (*Curcubita moschata*)**

Lucídio MOLINA-FILHO, Elen C. FRASCARELI, Maria A. MAURO

Department of Food Engineering and Technology, Institute of Biosciences,
Language and Physical Sciences (IBILCE), UNESP – São Paulo State University,
Rua Cristóvão Colombo 2265, 15054-000 São José do Rio Preto, SP, Brazil

Resumo

Amostras frescas, branqueadas e com cobertura foram secas às temperaturas de 60 ou 70°C, com velocidade do ar de secagem de 0,85 ou 1,70m·s⁻¹ e depois reidratadas em água à temperatura de 25°C por um período de 6 horas. No processo de secagem a temperatura foi o parâmetro que apresentou maior influência na taxa de redução de umidade das amostras e também influenciou a reidratação. As amostras branqueadas secaram mais rapidamente, seguidas das frescas e das com cobertura, enquanto que durante a reconstituição, ocorreu o contrário, isto é, as menores taxas de reidratação corresponderam às amostras branqueadas e as maiores, às amostras com cobertura. A reconstituição das amostras variou entre 30 minutos e duas horas e meia. Ao longo das 6 horas de reidratação, as amostras ultrapassaram o valor de umidade que tinham antes da secagem. Em geral as amostras com cobertura comestível atingiram mais rapidamente a umidade que possuíam antes da secagem, seguidas pelas amostras frescas e por fim, branqueadas. Os coeficientes de difusão de água na reidratação seguiram essa mesma tendência, maiores para as amostras com cobertura e menores para as amostras branqueadas. Na reidratação das amostras frescas e branqueadas, secas à temperatura de 60°C, constatou-se que a difusividade diminuiu com o aumento da velocidade do ar de secagem, o que se repete para as amostras frescas e secas a 70°C, das amostras branqueadas. Comportamento mais definido foi encontrado na reidratação das amostras com cobertura, em que a difusividade diminuiu com o aumento da temperatura e diminuiu ligeiramente com o

aumento da velocidade do ar de secagem, podendo-se afirmar que quanto mais baixa a taxa de secagem, maior foi a taxa de reidratação. Concluiu-se que a influência do revestimento predominou no comportamento dessas amostras.

Palavras chaves: Secagem, reidratação, pré-tratamentos, branqueamento, cobertura comestível, abóbora, coeficiente de difusão.

5.1. Introdução

Abóboras (*Curcubita moschata*), muito cultivadas no Brasil, são fontes importantes de carotenóides, principalmente α -caroteno e β -caroteno. Além da grande atividade pró-vitâmica A, os carotenóides, por serem componentes reativos, têm caráter de agentes antioxidantes (RODRIGUEZ-AMAYA, 2008), ligando-se à prevenção do câncer, degeneração macular, doenças cardíacas e outras doenças degenerativas (KRINSK, 1993).

A demanda dos consumidores por produtos processados que preservem propriedades originais do produto tem aumentado. Em termos industriais, isto requer o desenvolvimento de operações que minimizam os efeitos adversos de processamento de alimentos (NIJHUIS et al., 1998). A desidratação é um processo amplamente usado para a conservação dos alimentos. Nele ocorre a diminuição do teor de água no material e conseqüentemente há uma diminuição na sua atividade de água, o que reduz o desenvolvimento microbiano e a deterioração da qualidade devido a reações bioquímicas indesejáveis (MAYOR et al., 2007).

Facilidade de transporte, armazenagem e manuseio de produtos secos também são fatores importantes em um mundo globalizado. Além disso, a secagem reduz desperdícios e perdas pós-colheita, e pode permitir que a produção seja mais absorvida pelo setor industrial e de distribuição de alimentos. Finalmente, o desenvolvimento de alimentos desidratados que mantêm propriedades sensoriais à temperatura ambiente devido a diversos fatores como estabilidade de seus

componentes aromáticos ou proteção contra degradação enzimática e oxidativa, pode contribuir na sua comercialização com o aumento de seu valor agregado (MARQUES et al., 2009).

A grande variedade de alimentos desidratados disponíveis para consumo nos dias de hoje (“snacks”, misturas secas e sopas, frutas secas, etc.), a preocupação em atender especificações de qualidade do produto e requisitos de conservação de energia, enfatiza a necessidade de compreender profundamente a operação e os problemas relacionados ao projeto e à operação de plantas de secagem (KROKIDA; MARINOS-KOURIS, 2003).

A enorme gama de produtos desidratados disponíveis no mercado, muitos deles reconstituídos antes do consumo, têm levado a investigações sobre eficiência e otimização de processos de reidratação. A reidratação é um processo complexo que visa restaurar as propriedades que o alimento possuía antes do processamento, o que ocorre ao colocar um produto desidratado em contato com uma fase líquida (MALDONADO et al., 2010). A capacidade de reidratação de vegetais desidratados a serem utilizados na preparação de alimentos também é uma qualidade importante a ser observada.

A remoção de água da estrutura celular de um vegetal induz a variações nos atributos físicos do sistema e essas alterações ocorridas durante a desidratação desempenharão um papel fundamental na capacidade de reidratação desse alimento (MCMINN and MAGEE, 1997). As mudanças na estrutura e composição dos tecidos dos alimentos ocorrem não só na secagem, mas também durante tratamentos prévios como a desidratação osmótica (ATARÉS et al., 2009), sendo que todos os processos influenciam as propriedades específicas de reconstituição. Além disso, o grau de reidratação depende do grau de injúrias que os pré-tratamentos e a secagem provocam sobre a estrutura celular (Bilbao-Sáinz et al., 2005). As modificações da estrutura do tecido celular podem causar alterações irreversíveis para certas propriedades dos alimentos (JAYARAMAN et al. 1990). Diminuição da resistência mecânica e perda de açúcares e vitaminas solúveis durante a reidratação (MALDONADO et al., 2010) são algumas das consequências da perda de integridade do tecido.

Os atributos do alimento reconstituído são indicativos do grau de modificação estrutural ocorridos durante a secagem (McMINN and MAGEE, 1997). Diversos

autores têm apresentado modelos para representar a reidratação. Krokida & Marinos-Kouris (2003) modelaram a reidratação de diversos alimentos segundo um modelo de cinética de primeira ordem. Planinic et al. (2005) obtiveram sucesso ao ajustar o modelo de Peleg aos dados obtidos experimentalmente na reidratação de cenoura.

A compreensão dos mecanismos de transferência de massa é importante para simulações confiáveis de processos de secagem e reidratação, bem como para aplicações eficientes de reidratação, a nível comercial. Modelos matemáticos de desidratação e reidratação são importantes para o projeto e otimização desses processos (Maldonado et al, 2010). É importante dispor de modelos para simular as curvas de secagem em diferentes condições, sendo utilizados modelos teóricos, empíricos e semi-empíricos (SIMAL et al., 2005). Tais modelos baseiam-se geralmente na transferência de massa e desconsideram a transferência de calor. Alguns autores têm assumido que estes processos de secagem e reidratação de alimentos são controlados principalmente pela difusão da água, negligenciando outros mecanismos, e faz a análise dos dados experimentais utilizando a segunda Lei de Fick. A equação de difusão representou bem a secagem e reidratação fruto de tamarineira (FALADE and ABBO, 2007), a reidratação da Aloe vera (VEJA-GALVEZ et. al., 2009) assim como na reidratação de manga desidratada (MALDONADO et al, 2010).

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência de pré-tratamentos e parâmetros de secagem (temperatura e velocidade do ar de secagem) sobre o tempo de reconstituição e a cinética de reidratação de fatias de abóboras, bem como comparar as difusividades na secagem e na reidratação, utilizando a equação de difusão de Fick.

5.2. Materiais e métodos

5.2.1. Materiais.

Abóboras *Cucurbita moschata* maduras, do cultivar Rajada Seca Melhorada, no estágio maduro, com peso entre 30 e 50kg, foram adquiridas no mercado local - CEAGESP (São José do Rio Preto) e armazenadas em temperatura ambiente.

A pectina usada para a formação de coberturas foi a de baixa metoxilação, de uso industrial (Pectina LA 210, Grindsted, Danisco - Brazil) e o cloreto de cálcio usado foi o hidratado, de grau comestível USP ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Synth, Labsynth - Brasil).

5.2.2. Preparação das amostras.

Abóboras foram limpas, descascadas, tiveram as sementes retiradas e as extremidades descartadas e foram cortadas transversalmente em três peças. Em seguida, cada peça foi dividida em quatro partes no sentido longitudinal e selecionaram-se quatro partes distintas do quadrante e foram descascadas. A região da abóbora próxima ao centro foi removida, pois essa era composta por um tecido esponjoso que a diferenciava do tecido mais compacto, encontrado no restante do vegetal. As partes selecionadas foram cortadas em fatias de 3,7mm de espessura em um cortador elétrico de legumes e imediatamente acondicionadas em um saco plástico para evitar a perda de umidade para o ambiente e para misturá-las para a realização de uma seleção aleatória das amostras.

Dois processos foram utilizados como pré-tratamento, o branqueamento térmico ou a aplicação de cobertura de pectina.

O branqueamento térmico das fatias de abóbora foi realizado em água em ebulição (98,3°C, a 489m de altitude) durante 1 minuto. Aproximadamente $4 \times 10^{-1} \text{kg}$, contidas em cesto perfurado, foram branqueadas em 20 litros de água em ebulição. O resfriamento das amostras foi realizado durante o mesmo tempo usando água corrente à temperatura ambiente. Em seguida, as fatias foram secas com um material absorvente para a retirada do excesso de umidade da superfície.

A cobertura foi preparada com uma solução aquosa de pectina a 2% (p/p) e uma solução aquosa de cloreto de cálcio a 1% (p/p). A solução de pectina foi preparada com água destilada, sob agitação constante a 70°C. , foi resfriada até a temperatura de 40°C para a aplicação nas amostras. A solução de cloreto de cálcio foi preparada em água destilada à temperatura ambiente. A concentração ideal das soluções de pectina e cloreto cálcio foi determinada com base nos resultados do trabalho de Eik (2008).

Aproximadamente 250g de fatias de abóbora, eram imerso de três em três na solução de pectina durante 60 segundos. Após esse tempo, as fatias eram

colocadas, durante 30 segundos em uma solução de cloreto de cálcio e em seguida, durante 10 segundos em um recipiente com água destilada para retirar o excesso de cloreto de cálcio.

5.3. Secagem

Fatias de abóboras previamente tratadas (branqueadas ou com aplicação de cobertura) e sem tratamento prévio foram secadas com ar aquecido a 60 e 70°C, com velocidades de 0,85 e 1,70m·s⁻¹. As secagens foram conduzidas durante 6 horas em secador de leito fixo, que possui uma câmara de secagem onde o ar incide paralelo às bandejas com velocidade controlada. Acoplado ao secador há uma balança semi analítica (4 kg, precisão de 0,01), cujo prato foi substituído por uma estrutura construída para apoiar três bandejas constituídas de tela metálica. Essa balança dispõe de uma interface RS 232 para transmissão de dados a um microcomputador, onde o peso é registrado a cada segundo em computador através de um software compatível com planilhas eletrônicas. Conteúdo de sólidos totais foi determinado antes e após cada secagem.

5.4. Reidratação

5.4.1. Preparação das amostras

Os processos de secagem foram conduzidos e amostras foram armazenadas para a reidratação. Após seis horas de secagem as fatias foram retiradas do secador, colocadas em sacos duplos de polietileno, os quais foram selados e inseridos em vidros contendo sílica em seu interior. Os vidros foram fechados hermeticamente e armazenados dentro de dessecadores até a realização da reidratação.

5.4.2. Processo de Reidratação

As fatias de abóbora secas foram reidratadas pela imersão em água destilada com temperatura controlada a 25°C. Aproximadamente 5 gramas das amostras secas foram pesadas e colocadas em 600 mL de água destilada, em recipientes quadrados de 20 x 20 cm contendo uma peneira quadrada de 18x18cm em cada um. A reidratação das amostras foi conduzida durante 6 horas, sendo que as amostras foram pesadas a cada 5 minutos na primeira meia hora, a cada 15 minutos até 1 hora, e de trinta em trinta minutos até atingir 6 horas. Transcorrido o tempo, as peneiras contendo as amostras eram retiradas e as fatias eram colocadas sobre um papel absorvente para retirar o excesso de água da superfície antes da pesagem. Sólidos totais antes e após 6 horas de reidratação foram determinados nas amostras.

Calculou-se a umidade da amostra em cada pesagem com a umidade inicial e as variações de massa. Entretanto, uma vez que há perda de sólidos durante a reidratação, a variação de massa é o resultado da entrada de água e da saída de sólidos. Portanto, através das massas e umidades determinadas antes e ao final das 6 horas de reidratação, calculou-se o total de massa de sólidos perdida durante todo o processo. A umidade correspondente a cada pesagem foi corrigida, através da distribuição do total de massa de sólidos perdida. Essa distribuição foi feita proporcionalmente à variação percentual de massa (saída de sólidos e entrada de água) determinada a cada pesagem.

5.5. Métodos analíticos

5.5.1. Análise de sólidos totais

Para a determinação de sólidos totais, utilizou-se o método gravimétrico, no qual aproximadamente 3g de amostras trituradas e pesadas em um frasco pesa-filtro de vidro, com tampa, foram secadas em uma estufa a vácuo a 60°C, 10 kPa, até que a amostra apresentasse massa constante. Essa análise foi feita em quintuplicada para as amostras frescas, branqueamento e com a aplicação de coberturas; e em triplicada para as amostras após secagem.

5.5.2. Modelos matemáticos dos processos de secagem e reidratação

Para estimar os coeficientes de difusão de água tanto no processo de secagem quanto na reidratação, utilizou-se a segunda lei de Fick. Como o fenômeno de migração é complexo, trabalhou-se com uma difusividade efetiva, que engloba todos os efeitos que podem intervir nesse fenômeno. As soluções analíticas para a segunda lei de Fick aplicam-se aos sólidos de formas geométricas simples e constantes ao longo do processo. Considerou-se que o sólido é uma placa infinita, com ambas as superfícies em contato com o ar de secagem ou com o líquido de hidratação, que a difusividade efetiva é constante, que o efeito do gradiente de temperatura no interior da amostra é desprezível e que teor de umidade inicial é uniforme. Tem-se a seguinte solução analítica, na forma integrada (CRANK, 1975), isto é, em termos de concentração média, na placa, num tempo t :

$$X = \frac{\bar{X}(t) - X^{eq}}{X^0 - X^{eq}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left[-(2n-1)^2 \frac{\pi^2 D_{ef} t}{e^2}\right] \quad (1)$$

onde X é a umidade residual média, adimensional, sendo $\bar{X}(t)$ a fração de massa de água (bs), média, obtida na placa num tempo t . X^0 e X^{eq} são as frações de massa de água (bs), onde 0 representa o instante inicial ($t=0$) e eq, o equilíbrio. e é a espessura da amostra.

Na solução analítica integrada para placas planas (**Equação 1**) foram utilizados seis termos da série, o que foi suficiente para sua convergência.

A partir da variação volumétrica da água, medida em cada experimento de secagem e de reidratação, determinaram-se as espessuras das amostras, considerando que o encolhimento ocorre na mesma proporção, em cada uma das dimensões do sólido, segundo a **Equação 2**:

$$\frac{e}{e_0} = \sqrt[3]{\frac{V}{V_0}} \quad (2)$$

onde e é a espessura num instante t , e_0 é a espessura no instante inicial ($t=0$), V é o volume num instante t e V_0 é o volume em $t=0$. Essa aproximação é admissível ao considerar que a variação de volume é proporcional ao volume de água evaporada durante a secagem ou absorvida durante a reidratação.

5.5.3. Metodologia de eficiência dos ajustes

Para determinação das constantes de ajuste foi utilizado um software estatístico, ORIGIN v. 6.0 (Microcal Software, 1997), que ajusta funções não lineares. A eficiência dos ajustes baseia-se no coeficiente de determinação do ajuste (R^2) e no erro relativo médio (P%) definido pela **Equação (3)** (LOMAURO et. al., 1985).

$$P(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y^{\text{exp}} - y^{\text{calc}}|}{y^{\text{exp}}} \quad (3)$$

onde y^{exp} representa o volume experimental, y^{calc} o volume calculado e n é o número de observações.

5.6. Resultados e Discussões

Na **Figura 1.a** são apresentadas as curvas de secagem (conteúdo de umidade, em base úmida, em função do tempo) à temperatura de 70°C e velocidade do ar de secagem de 0,85m·s⁻¹, onde é feita a comparação entre as amostras frescas e as pré-tratadas. Nesta comparação verifica-se que as amostras branqueadas secaram mais rapidamente, seguidas das frescas e das com cobertura. Esse comportamento observado se repetiu em todas as condições de temperatura e velocidade.

As curvas mostradas nas **Figuras 1.b, 1.c, 1.d**, comparam a influência da temperatura e da velocidade do ar sobre a variação do conteúdo de umidade (b.u.)

em função do tempo, das fatias de abóbora frescas, branqueadas e com cobertura de pectina, respectivamente. O tempo de secagem diminuiu com o aumento da velocidade e da temperatura, sendo que a temperatura foi o parâmetro que mais influenciou no processo.

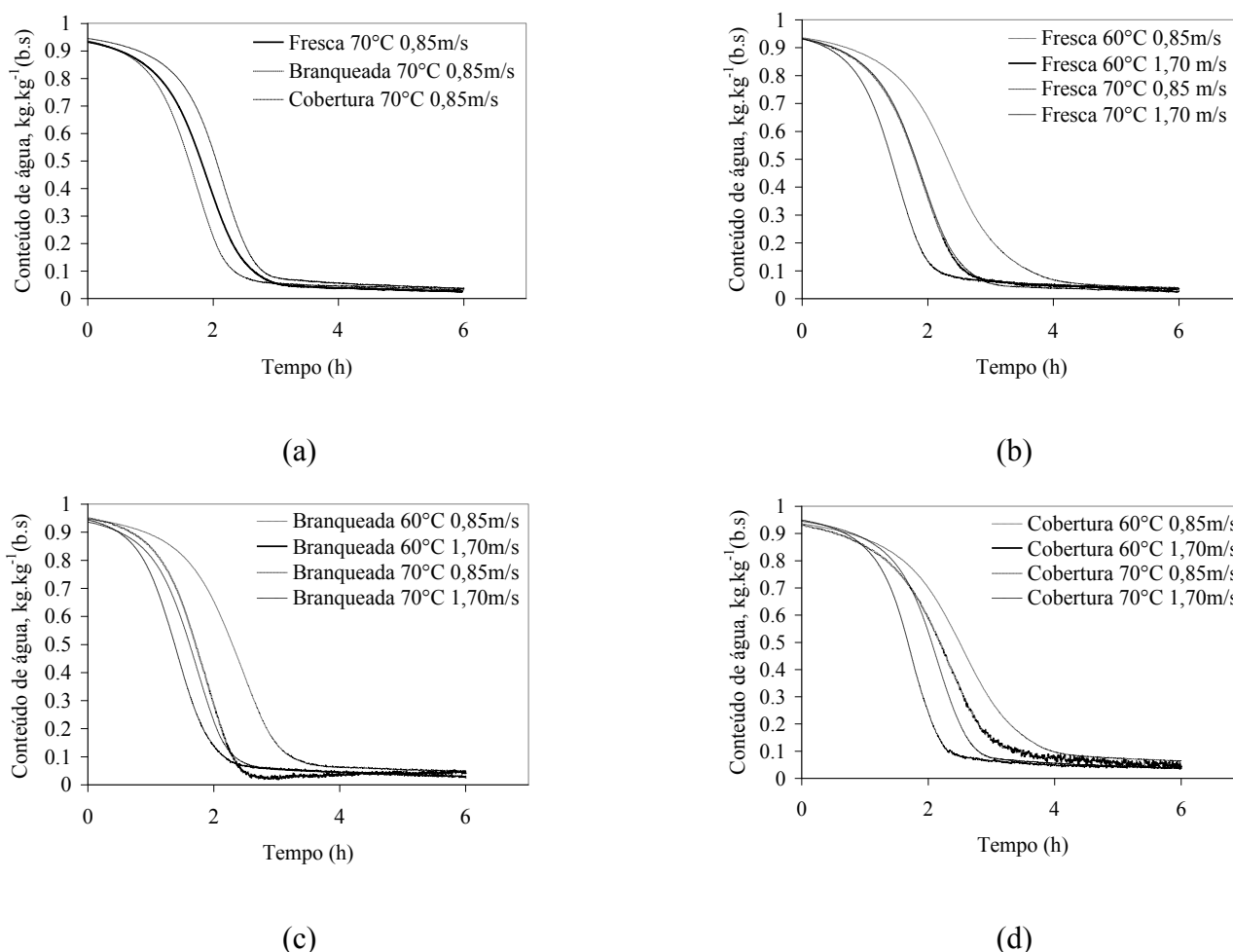


Figura 1 - Comparação entre as curvas de secagem (conteúdo de umidade em b.u.) (a) Influência dos diferentes tratamentos sobre a cinética de secagem a 70°C, 0,85 m.s⁻¹; Influência da temperatura (60° e 70°C) e velocidade do ar de secagem (0,85 e 1,70 m.s⁻¹) sobre a cinética de secagem de amostras (b) frescas; (c) branqueadas; (d) com cobertura

A **Tabela 1** apresenta os coeficientes de difusão de umidade na secagem das amostras a 60° e 70°C e velocidade do ar de secagem de 0,85 e 1,7 m.s⁻¹. Constata-se, para todos os tratamentos, que na secagem a difusividade da água aumentou com o aumento da temperatura e da velocidade do ar de secagem. As secagens das amostras com aplicação de cobertura apresentaram coeficientes de difusão maiores que das amostras branqueadas e frescas. Apesar dos coeficientes

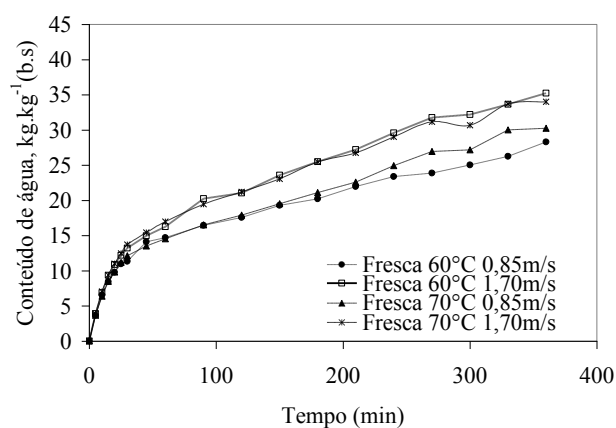
resultarem maiores para amostras com cobertura, as curvas demonstram velocidades de secagem menores para essas amostras (**Figura 1a**), devido à maior espessura da amostra com revestimento. Essas curvas comparam amostras de espessuras diferentes, sendo que a espessura inicial das amostras com cobertura foi, em média, 4,4 mm, quase 20% superior às espessuras médias dos demais tratamentos (3,7 mm), devido à adição da camada de pectina. Por essa razão, as difusividades não acompanham as taxas de secagem. A difusividade da água de amostras branqueadas sempre resultou maior que de amostras frescas, o que foi associado às injúrias provocadas no tecido pelo tratamento prévio.

Tabela 1: Coeficientes de difusão de umidade na secagem das amostras a 60° e 70°C, velocidade do ar de secagem de 0,85 e 1,7 m·s⁻¹.

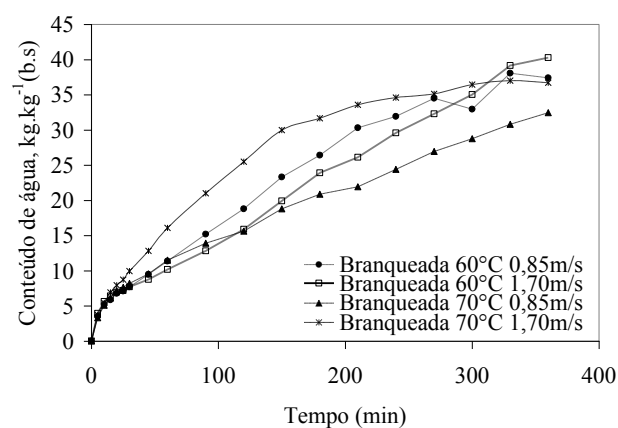
T (°C)	v(m/s)	Fresca			Branqueada			Cobertura		
		$D_{ef} \times 10^{10}$ (m ² . s ⁻¹)	R ²	P%	$D_{ef} \times 10^{10}$ (m ² . s ⁻¹)	R ²	P%	$D_{ef} \times 10^{10}$ (m ² . s ⁻¹)	R ²	P%
60	0,85	1,34	0,98 4	6,5	1,39	0,985	7,9	1,74	0,98 1	6,3
60	1,7	1,56	0,98 9	7,3	1,75	0,991	13, 9	2,05	0,98 7	7,7
70	0,85	1,64	0,99 1	8,4	1,63	0,990	13, 0	1,97	0,98 7	7,7
70	1,7	1,84	0,99 2	11,8	2,14	0,988	23, 4	2,41	0,99 1	10,3

O coeficiente de determinação do ajuste (R^2) com valor maior que 0,85 (Vega-Gálvez et. al. 2007) assim como valores de erro relativo médio (P%) menores que 10% (Lomauro et al., 1985) correspondem a um ajuste aceitável do modelo.

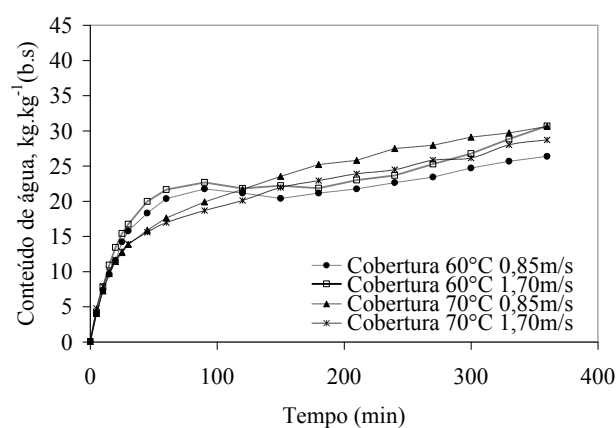
A **Figura 2** compara as curvas de reidratação (conteúdo de umidade, em base seca, em função do tempo) das amostras frescas, branqueadas e com aplicação de cobertura que foram submetidas às secagens à temperatura de 60 e 70°C, com velocidade do ar de 0,85 e 1,70 m·s⁻¹.



(a)



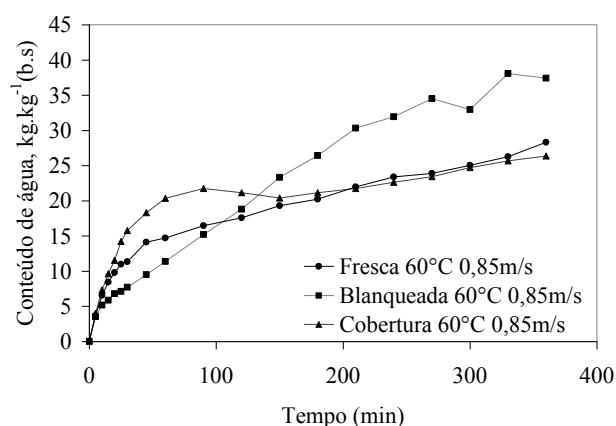
(b)



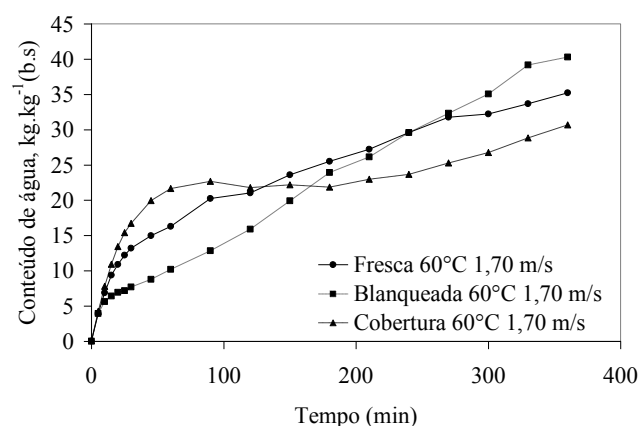
(c)

Figura 2 - Comparação entre as curvas de *reidratação* (conteúdo de umidade, em base seca) das amostras (a) frescas; (b) branqueadas; (c) com a aplicação de cobertura, secas nas diferentes condições de temperatura (60 e 70°C) e velocidade do ar de secagem (0,85 m·s⁻¹ e 1,70 m·s⁻¹)

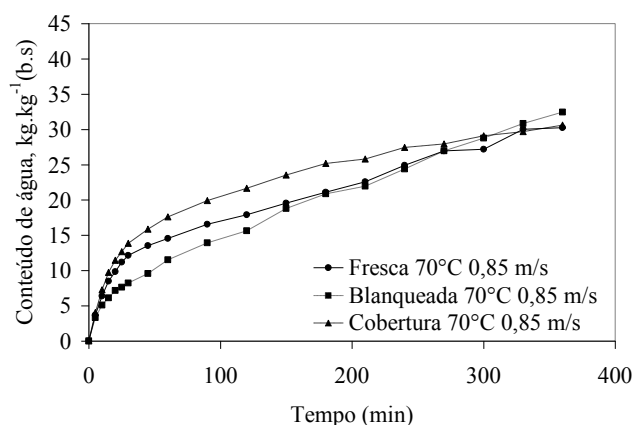
Na **Figura 3**, comparam-se as curvas de reidratação entre as amostras frescas, branqueadas e com aplicação de coberturas. Constata-se que ao final de 6 horas de reidratação as amostras branqueadas, em geral, absorvem mais umidade que as amostras com cobertura e frescas.



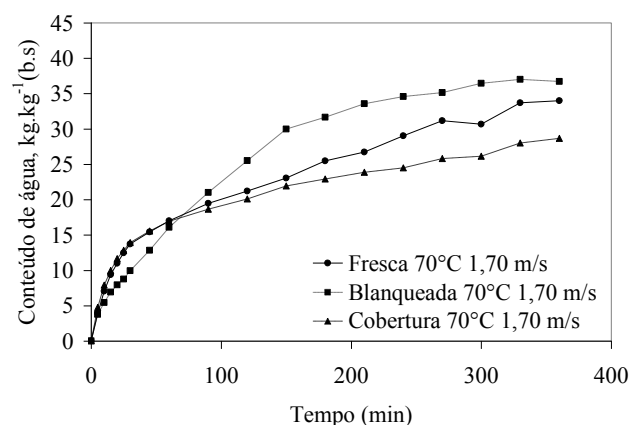
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3 - Comparação entre as curvas de *reidratação* (conteúdo de umidade, em base seca) das amostras frescas, branqueadas e com a aplicação de cobertura, (a) secas a 60°C, 0,85 m·s⁻¹; (b) secas a 60°C, 1,70 m·s⁻¹; (c) secas a 70°C, 0,85 m·s⁻¹; (d) secas a 70°C, 1,7m·s⁻¹

Avaliando-se o efeito da temperatura de secagem (**Figura 3**) sobre a reidratação das amostras com cobertura, quando secas a 60°C, pode-se constatar que a taxa de reidratação é alta, atingindo um máximo de umidade entre 80 e 90 minutos (alta difusividade, no início), para depois estabilizar e a amostra ainda voltar a se reidratar a uma taxa aproximada das amostras frescas. Aparentemente foi a cobertura se hidratou rapidamente no início do processo.

A 70°C não se observa nenhum valor máximo de umidade na hidratação das amostras com cobertura e, na velocidade menor do ar de secagem, a hidratação foi superior às demais amostras por longos tempos, enquanto que a secagem a

$1,70\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ produziu umidades após 60 minutos mais baixas que as amostras frescas e branqueadas

Quanto ao efeito da velocidade do ar de secagem (**Figura 3**), após a rápida hidratação das amostras com cobertura, os valores de umidade tendem a ficar abaixo daqueles encontrados nas amostras frescas (60 e 70°C , na velocidade de $1,70\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), ou então tendem a se igualar à umidade das amostras frescas (60 e 70°C , na velocidade de $0,85\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$).

Após a reconstituição das amostras com cobertura, naquelas desidratadas na velocidade maior, parece que o revestimento exerceu alguma proteção ao tecido de abóbora conforme a reidratação avançou. As amostras branqueadas, por sua vez, apresentaram taxas iniciais muito baixas. A reidratação do material branqueado parece ter sido comprometida no início do processo, apresentando baixíssimos coeficientes de difusão (**Tabela 3**). Conforme a reidratação avançou, as amostras branqueadas continuaram hidratando-se às maiores taxas e aproximadamente constantes, exceto as amostras secas a 70°C e $1,7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Isso sugere que o branqueamento causou danos irreversíveis ao tecido, comprometendo a reconstituição do produto.

As amostras ultrapassaram o valor de umidade que tinham antes da secagem, após um longo tempo de reidratação. O peso das amostras não estabilizou enquanto as mesmas permanecem submersas em água (**Figura 3**), devido à permanente perda de sólidos solúveis durante o período de imersão. Entretanto, as umidades após 6 horas de reidratação foram consideradas de equilíbrio para a determinação dos coeficientes de difusão, aproximação que se supôs razoável.

A exposição das amostras em água faz com que as mesmas percam sólidos que se solubilizam, por difusão. Na reidratação de manga foi observada perda de sólidos, principalmente de açúcares e vitaminas (Maldonado, 2010), assim como na reidratação de maçã (Atares et al., 2009)

Na **Tabela 2** estão apresentados os valores de umidade das amostras branqueadas, com cobertura e frescas, antes da secagem e antes da reidratação, a umidade após 6 horas de reidratação (considerada umidade de equilíbrio) e o tempo de reidratação necessário para a amostra se reconstituir.

Tabela 2: Umidade das amostras branqueadas, com cobertura e frescas, antes da secagem (W_S^0), antes da reidratação (W_R^0) e no equilíbrio W_R^{eq} ; tempo de reidratação para reconstituição da amostra (t_R)

	$v \text{ (m}\cdot\text{s}^{-1})$	$T \text{ (}^\circ\text{C)}$	W_S^0 (Kg·100kg ⁻¹)	W_R^0 (Kg·100kg ⁻¹)	W_R^{eq}	$t_R \text{ (min)}$
Branqueada	0,85	60	94,66	4,63	97,39	112
		70	93,39	2,81	97,01	94
	1,70	60	95,28	4,41	97,58	152
		70	94,37	2,78	97,35	65
Cobertura	0,85	60	93,30	5,91	96,36	25
		70	94,36	3,65	96,84	53
	1,70	60	93,68	5,95	96,84	24
		70	95,07	3,91	96,63	104
Fresca	0,85	60	93,59	3,32	96,59	57
		70	93,37	2,35	96,80	53
	1,70	60	93,02	3,52	97,24	31
		70	92,86	1,74	97,14	27

*tempos encontrados utilizando a técnica de interpolação entre os valores experimentais de umidade e tempo em seus limites superior e inferior.

O tempo para reconstituição completa da amostra, ou seja, para a amostra atingir a umidade que possuía antes da secagem, em geral foi baixo. Isso foi observado também no trabalho de Perez and Schimalko, 2009 e Veja-Galvez et. al.,2009, sendo que, em geral, as amostras com cobertura comestível se reconstituíram mais rapidamente, seguidas das frescas e das branqueadas. Quanto maior a quantidade de sólidos solúveis, maior foi a taxa de sorção de água, o que se atribui às interações desses sólidos com a água.

Foi observado que na temperatura de secagem de 70°C a reidratação inicial das amostras com cobertura foi mais lenta que a 60°C (**Tabela 2**) assim como a difusividade foi menor na maior temperatura, o que poderia ser atribuído a alterações na estrutura do revestimento.

Os dados experimentais foram ajustados a segunda lei de Fick e estão demonstrados na **Tabela 3**, com os seus respectivos valores para R^2 , $P(\%)$. Os coeficientes de difusão foram calculados no período compreendido entre o início da reidratação até as amostras atingirem a umidade que possuía antes da secagem.

Tabela 3: Valores dos coeficientes de difusão para reidratação das amostras secas a 60° e 70°C e velocidade do ar de secagem de 0,85 e 1,7m·s⁻¹.

		Fresca			Branqueada			Cobertura		
T (°C)	v(m/s)	$D_{ef} \times 10^{10}$ (m ² . s ⁻¹)			$D_{ef} \times 10^{10}$ (m ² . s ⁻¹)			$D_{ef} \times 10^{10}$ (m ² . s ⁻¹)		
		R^2	P%		R^2	P%		R^2	P%	
60	0,85	2,16	0,963	3,3	0,66	0,901	5,5	3,88	0,873	7,6
60	1,7	1,78	0,941	3,1	0,50	0,908	4,3	3,56	0,870	7,4
70	0,85	1,89	0,953	3,6	0,82	0,977	1,9	2,50	0,960	3,5
70	1,7	2,08	0,917	3,9	0,95	0,892	4,9	2,36	0,944	7,7

Na reidratação das amostras secas a temperatura de 60°C foi observada que a difusividade diminuiu com o aumento da velocidade do ar de secagem, já na temperatura de 70°C a difusividade tende a aumentar com o aumento da velocidade do ar de secagem; exceto para amostras com cobertura que o coeficiente de efetivos de difusão, diminuiu com o aumento da temperatura e da velocidade do ar de secagem. Em geral, as amostras com aplicação de cobertura apresentaram maiores coeficientes de difusão que as amostras branqueadas e frescas, isso se deve provavelmente ao fato de a água se ligar a matéria sólida. No processo de branqueamento ocorre perda de sólidos e injúrias na estrutura celular, provocando um menor coeficiente de difusão na reidratação das amostras branqueadas; enquanto as amostras com cobertura, que tiveram um acréscimo de sólido com a adição da pectina gelificada pelo cálcio, obtiveram o maior coeficiente de difusão na reidratação.

As taxas iniciais de reidratação foram maiores para amostras com cobertura comestível, seguidas das frescas e das branqueadas. Ao comparar a difusividade durante a secagem com a difusividade da água na reidratação, observou-se que na secagem os maiores coeficientes foram para as branqueadas seguidas das frescas e com cobertura e na reidratação os coeficientes foram maiores para as amostras com cobertura e frescas, enquanto que para as branqueadas, eles caíram à metade.

5.7. Conclusões

A influência da temperatura e velocidade do ar de secagem sobre a taxa de reidratação das amostras não mostra tendência clara. O peso das amostras não estabilizou enquanto as mesmas permaneceram submersas na água. A constante exposição das amostras em água faz com que as mesmas percam sólidos. A taxa de reidratação das amostras branqueadas tendeu menos ao equilíbrio que as frescas e com cobertura. As amostras ultrapassaram o valor de umidade que tinham antes da secagem, isso se deve ao longo tempo de reidratação. Em geral as amostras com cobertura comestível atingiram mais rapidamente a umidade que possuía antes da secagem seguida das frescas e das branqueadas. Foi observado que a temperatura de secagem de 70°C influenciou negativamente na reidratação das amostras com cobertura. As amostras com aplicação de cobertura apresentaram maiores coeficientes de difusão que as amostras branqueadas e frescas. Na reidratação das amostras secas a temperatura de 60°C foi observada que a difusividade diminuiu com o aumento da velocidade do ar de secagem, já na temperatura de 70°C a difusividade tende a aumentar com o aumento da velocidade do ar de secagem, exceto para as cm coberturas, cujo coeficiente diminuiu com o aumento da temperatura e da velocidade do ar de secagem.

A reidratação do material branqueado é comprometida no início do processo com uma baixa difusividade da água e com o passar do tempo a impregnação de água aumenta rapidamente. Isso demonstra injúrias irreversíveis nesse tecido.

5.8. Referências

- ATARÉS, L., CHIRALT, A., GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C. Effect of the impregnated solute on air drying and rehydration of apple slices (ct. Granny Smith). **Journal of Food Engineering**, v. 91, p. 305–310, 2009.
- BILBAO-SÁINZ, C., ANDRÉS, A., FITO, P. Hydration kinetics of dried apple as affected by drying conditions. **Journal of Food Engineering**, v. 68, p. 369–376, 2005
- CRANK, J. **The Mathematics of Diffusion**, 2 Ed. London: Clarendon Press – Oxford, 1975.
- FALADE, K.O., ABBO, E.S. Air-drying and rehydration characteristics of date palm (Phoenix dactylifera L.) fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 724–73, 2007
- JAYARAMAN, K.S., Das GUPTA, D.K. & BABU RAO, N. Effect of pretreatment with salt and sucrose on the quality and stability of dehydrated cauliflower. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 25, p. 47-60; 1990
- KRINSKY, N.I. Actions of Carotenoids in Biological Systems. **Annual Review of Nutrition**, v. 13, p. 561-587, 1993.
- KROKIDA, M.K., MARINOS-KOURIS, D. Rehydration kinetics of dehydrated products. **Journal of Food Engineering**, v. 57, p. 1-7, 2003.
- LOMAURO, C.J., BAKSHI, A.S. AND LABUZA, T.P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: fruit, vegetables and meat products. **Lebensmittel- Wissenschaft und technologie**, v. 18, n. 2, p. 111-117. 1985
- MALDONADO, S., ARNAU, E., BERTUZZI, M.A. Effect of temperature and pretreatment on water diffusion during rehydration of dehydrated mangoes. **Journal of Food Engineering**, v. 96, p. 333–341, 2010.
- MARQUES, G. L., PRADO, M. M., FREIRE, J.T. Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, p. 1232–1237., 2009
- MAYOR, L., CUNHA R.L., SERENO, A.M. Relation between mechanical properties and structural changes during osmotic dehydration of pumpkin. **Food Research International** , v. 40, p. 448–460, 2007.
- McMINN, W.A.M.; MAGEE, T.R.A., 1997. Physical characteristics of dehydrated potatoes – Part II. **Journal of Food Engineering** 33, 49-55.
- MICROCAL SOFTWARE,INC. One Roundhouse Plaza, Northampton, MA, 01061, USA, 1997

- NIJHUIS, H.H.; TORRINGA, H.M.; MURESAN S.; YUKSEL, D.; LEGUIJT, C.; KLOEK, W. Approaches to improve the quality of dried fruit and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, v. 9, n. 1, p. 13-20; 1998
- PEREZ, N. E & SCHMALKO, M.G. Convective drying of pumpkin: influence of pretreatment and drying temperature. **Journal of Food Process Engineering**, v. 32, n. 1, p. 88–103, 2009.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; MIEKO, K; GODOY, H. T; AMAYA-FARFAN, J. Updated Brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 21; n. 6 , p. 445-463. 2008.
- SIMAL, S., FEMENIA, A., GARAU, M.C., ROSELLÓ, C. Use of exponential, Page"s and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. **Journal of Food Engineering**, v. 66, p. 323–328., 2005.
- VEGA-GALVEZ, A., NOTTE-CUELLO, E., LEMUS-MONDACA, R., ZURA, L.,AND MIRANDA, M.,. Mathematical Modelling of Mass Transfer during Rehydration Process of Aloe vera (Aloe barbadensis Miller), **Food and Bioproducts Processing**, v 87, p. 254 - 260. 2009
- VEGA-GÁLVEZ, A.; LEMUS-MONDACA, R.; FITO P; ANDRÉS A. Moisture sorption isotherms and isosteric heat of red bell pepper (var. Lamuyo). **Journal of Food Science**, v. 13; n.4, p. 309-316, 2007.

CAPÍTULO 6

**ELABORAÇÃO DE “CHIPS” DE ABÓBORA
(*Cucurbita moschata*) UTILIZANDO COMO
FERRAMENTA A ANÁLISE SENSORIAL PARA
DETERMINAR A ACEITAÇÃO DO PRODUTO**

ELABORAÇÃO DE “CHIPS” DE ABÓBORA (*Cucurbita moschata*) UTILIZANDO COMO FERRAMENTA A ANÁLISE SENSORIAL PARA DETERMINAR A ACEITAÇÃO DO PRODUTO

Lucídio MOLINA FILHO, Ana Karla Rebes GONÇALVES, Elen Cristina FRASCARELI, Maria Aparecida MAURO*.

¹UNESP – São Paulo State University - Institute of Biosciences, Language, and Physical Sciences (IBILCE), Department of Food Engineering and Technology
Rua Cristóvão Colombo, 2265, CEP 15054-000, São José do Rio Preto, SP, Brazil.

Fone: +55 17 3221 2253 Fax: +55 17 3221 2299

* correspondent author *E-mail:* cidam@ibilce.unesp.br

Resumo:

Na elaboração de um novo produto para consumo direto, em forma de salgadinho (“Chips” de abóbora), foram realizados vários experimentos de avaliação sensorial com o objetivo de selecionar o melhor tratamento prévio à secagem, para a fabricação do produto. Foram realizados três experimentos distintos com provadores não treinados, sendo que as condições de secagem foram temperatura de 70°C e 1,7m·s⁻¹ de velocidade do ar. O primeiro experimento foi realizado utilizando três tipos de tratamentos: fatias de 4mm de abóboras frescas, branqueadas (1min) e com cobertura de pectina. Após a análise sensorial de aceitação do produto foi constatada uma maior aceitação com diferença significativa a 5% no parâmetro sabor para as amostras branqueadas, sendo que a espessura da amostra causava sensação desagradável no céu da boca. Nos demais experimentos, as fatias de 7mm, após a secagem, tiveram aspersão de óleo seguidas de adição de sal e orégano. O segundo experimento quantificou a aceitação e preferência do produto obtido das amostras frescas, branqueadas em água fervente (2,5min) e branqueadas em salmoura (2min), sendo que esta última não recebeu adição de sal. As amostras branqueadas (em água fervente) tiveram uma melhor aceitação que as demais, com intenção de compra de 47%, seguidas

das frescas com 31%, branqueadas em salmoura com 9% e não opinaram 13%. No terceiro experimento, que consistiu em verificar a aceitação e preferência de um produto final para consumo foi utilizada a técnica de testes em local centralizado (“central location”). Amostras frescas e branqueadas em água fervente (por 2,5min) foram provadas por consumidores que manifestaram intenção de compra de 68% para as amostras branqueadas, 43% para as frescas, 6% para as duas e 3% não opinaram.

Palavras chave: Desidratação, teste de preferência, pré-tratamento, “central location”.

6.1. Introdução

A secagem convectiva de frutas e hortaliças é um processo amplamente utilizado na industrialização de alimentos, por ser de fácil aplicação, que se baseia na diminuição do nível de água inibindo assim o desenvolvimento microbiano e grande parte das reações de deterioração (DOYMAZ, 2007). A abóbora utilizada neste trabalho, *Cucurbita moschata* do cultivar Rajada Seca Melhorada, é fonte de carotenóides e estes, por serem componentes reativos, tem caráter de agentes antioxidantes (RODRIGUEZ-AMAYA, 2008) que auxiliam na prevenção do câncer, doenças cardiovasculares e outras doenças degenerativas (KRINSK, 1993). Tais compostos são sensíveis à oxidação e, por essa razão, um branqueamento térmico aplicado antes da secagem pode interromper a atividade enzimática oxidativa e melhorar a qualidade do produto desidratado (CHANTARO et al., 2008; WOLFE; LUI, 2003). Ao trabalhar com abóboras verdes, Chang (2003) percebeu que quando se aumenta o tempo de branqueamento e de desidratação osmótica em soluções de sacarose, com ou sem adição de sal, tem-se uma redução no grau de escurecimento das mesmas. Entretanto, abóboras tratadas osmoticamente e secadas apresentam grau de escurecimento menor que as branqueadas secas. Além disso, a adição de sal na solução osmótica diminuiu o escurecimento. Este método pode ser aplicado quando existe interesse de um produto salgado.

Para um novo produto ser lançado a nível comercial é necessário percorrer várias etapas, que vão desde o desenvolvimento do produto até o marketing. É importante para as indústrias de alimentos investigarem cuidadosamente a reação dos consumidores às mudanças nas propriedades sensoriais de um produto antes de lançar novas versões no mercado (HERSLETH, 2011).

As empresas de alimentos sempre que desejam implantar uma inovação, melhorar formulações ou reduzir custos, precisam avaliar o gosto dos consumidores para os seus produtos. Os profissionais da área de sensorial e os de marketing podem usar vários métodos para dimensionar a aceitação pelos consumidores de um produto (BOUTROLLE, 2007). Para avaliar a aceitação do produto, são utilizados como ferramenta os testes de preferência com perguntas sobre gostar (utilizando uma escala hedônica de 9 pontos) e probabilidade de compra do produto. A escala hedônica de 9 pontos inicialmente foi criada para auxiliar o planejamento de cardápios nas cantinas de soldados americanos (WICHCHUKIT, 2011), sendo hoje em dia muito usada para efetuar teste de preferência.

Para se comercializar um produto é extremamente importante realizar pesquisa mais precisa de aceitação com o objetivo de atingir o seu público consumidor. Um método de prever a aceitação do mercado seria o de dar aos consumidores a oportunidade de provar os produtos no ambiente onde são comercializados (WICHCHUKIT, 2011). Uma destas técnicas é o teste em local centralizado ("Central Location").

O objetivo desse trabalho foi desenvolver um produto para consumo final que tivesse boa aceitação, o que foi conduzido em três etapas. Para o primeiro experimento foi efetuado um teste piloto que teve o objetivo de verificar a influência dos tratamentos na degustação do produto. O segundo e o terceiro tiveram o objetivo de avaliar a aceitação e preferência de um produto pré-elaborado com condimentos ("chips" de abóbora), sendo que neste último foi aplicado teste em local centralizado.

6.2. Materiais e métodos

6.2.1. Materiais.

Abóboras *Cucurbita moschata* maduras, do cultivar Rajada Seca Melhorada, no estágio maduro, com peso entre 30 e 50kg, foram adquiridas no mercado local - CEAGESP (São José do Rio Preto) e armazenadas em temperatura ambiente.

A pectina usada para a formação de coberturas foi a de baixa metoxilação, de uso industrial (Pectina LA 210, Grindsted, Danisco - Brazil) e o cloreto de cálcio usado foi o hidratado, de grau comestível USP ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Synth, Labsynth - Brasil). Sal de cozinha, óleo de canola e orégano foram adquiridos no mercado local.

6.2.2. Preparação das amostras

Com o objetivo de tornar as amostras homogêneas, as abóboras tiveram as extremidades descartadas, foram cortadas transversalmente em três peças e em seguida cada peça foi dividida em quatro partes no sentido longitudinal. Para cada tratamento foram selecionadas três partes opostas de cada peça. As sementes foram retiradas, as partes descascadas, e a região da abóbora próxima ao centro foi removida, pois essa era composta por um tecido esponjoso que a diferenciava do tecido mais compacto, encontrado no restante do vegetal. A polpa foi cortada em fatias em um cortador elétrico de legumes. No primeiro experimento a espessura foi de 4mm, em formato de um trapézio irregular. Nos demais experimentos a espessura foi de 7mm, em formato circular de 35mm de diâmetro. As fatias foram imediatamente acondicionadas em um saco plástico e misturadas para a seleção aleatória das amostras.

6.2.3. Pré-tratamentos.

Os processos utilizados como pré-tratamentos foram branqueamento térmico em água ou em salmoura e aplicação de cobertura de pectina.

6.2.3.1. Branqueamento

O branqueamento térmico das fatias de abóbora foi realizado em água destilada ou em salmoura, em ebulição. Os tempos de branqueamento para as amostras com diferentes espessuras foram determinados com base no teste de peroxidase. O teste consistiu em analisar amostras branqueadas por tempos crescentes, utilizando-se gotas de uma solução de guaiacol 0,5% em álcool etílico puro e peróxido de hidrogênio (20 volumes), pingadas no centro da amostra (PREGNOLATTO & PREGNOLATTO, 1985). Se a enzima peroxidase catalisar a degradação do peróxido de hidrogênio, liberando oxigênio, este, por sua vez, reagirá com o guaiacol e a solução apresentará coloração marrom avermelhada; em caso negativo, a solução ficará incolor (SADER; RASSINI, 1987).

No primeiro experimento (4mm) foi realizado o branqueamento das amostras em água em ebulição durante 1 minuto. Para as fatias de 7mm foram encontrados os tempos de branqueamento de 2,5 minutos em água destilada e de 2,0 minutos em salmoura.

Aproximadamente 400g de fatias, contidas em cesto perfurado, foram imersas 10 litros de água destilada em ebulição e os tratamentos em salmoura utilizaram 9,5 litros de água destilada e 500g de sal comercial. O resfriamento das amostras foi realizado em água corrente à temperatura ambiente com os mesmos tempos utilizados na imersão do banho térmico. Em seguida, as fatias foram secas com um material absorvente para a retirada do excesso de umidade da superfície.

6.2.3.2. Coberturas

Para a formação das coberturas foi utilizada solução aquosa de pectina a 2% (p/p) e solução aquosa de cloreto de cálcio a 1% (p/p). A solução de pectina foi preparada sob agitação constante a 70°C e em seguida, foi resfriada até a temperatura de 40°C para a aplicação nas amostras. A concentração ideal das soluções de pectina e cloreto cálcio foi determinada com base nos resultados do trabalho de Eik (2008).

Foram preparadas 500g de cada solução em recipientes plásticos. Aproximadamente 250g de fatias de abóbora foram preparadas, sendo imersas em solução de pectina, durante 60 segundos. Após esse tempo, as fatias eram imersas, durante 30 segundos, na solução de cloreto de cálcio e em seguida, durante 10 segundos, em um recipiente com água destilada para retirar o excesso de cloreto de cálcio.

6.2.4. Secagem convectiva

Os ensaios de secagem das fatias de abóboras tratadas e fatias frescas foram realizados a 70°C em um secador de leito fixo, com câmara de secagem para três bandejas construídas em tela, onde o ar incide paralelo às amostras com velocidade controlada. A velocidade do ar utilizada para os ensaios foi de $1,7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ e o tempo de secagem foi de 6 horas para amostras de 4mm e 10 horas para amostras de 7mm. As fatias de abóbora foram dispostas entre duas telas metálicas para diminuir as deformações durante a secagem. Para a secagem das amostras distribuiu-se, nas três bandejas, uma massa de aproximadamente 200g.

6.2.5. Condimentação das amostras.

Para o segundo e terceiro experimento, as amostras, ao serem retiradas do secador, sofreram aspersão de óleo de canola (13% sobre a massa da amostra seca), adição de orégano (3% sobre a massa da amostra seca) e de sal (5% de NaCl sobre a massa da amostra seca), exceto as amostras previamente branqueadas em salmoura, que não tiveram adição de sal após a secagem.

6.2.6. Análise Sensorial

Para a realização da análise sensorial, as amostras foram preparadas previamente aos ensaios. Após a secagem, no primeiro e segundo experimentos, foram colocadas em sacos duplos de polietileno, acondicionados em vidros com

tampa e armazenados dentro de dessecadores protegidos contra a luz até a realização da análise sensorial; e no terceiro experimento foram colocadas em saquinhos que foram produzidos com um filme laminado com impressão com gramadura de $119\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ (PET/impressão/alumínio/PE).

Em todos os experimentos foi utilizado uma escala hedônica de 9 pontos variando entre “desgostei muitíssimo” (nota 1) e “gostei muitíssimo” (nota 9), as amostras foram codificadas com números de três algarismos aleatórios, colaboradores eram provadores não treinados e as amostras foram apresentadas simultaneamente em ordem aleatória. Nos dois primeiros experimentos, as amostras foram servidas em pires de porcelana, foram avaliados os seguintes atributos: aparência geral, cor, textura e sabor. O teste foi realizado em cabines individuais com luz branca. No ultimo experimento as amostras foram servidas em um prato descartável sobre uma mesa posicionada estrategicamente evitando o contato verbal entre os provadores e os demais consumidores, porém mantendo contato visual com todo o ambiente ao seu redor.

No primeiro experimento, que foi um teste piloto, houve a participação de docentes, funcionários e alunos de pós-graduação do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos do IBILCE-UNESP. O total de colaboradores (provadores não treinados) foi trinta e três, aos quais foram entregues dois formulários, sendo o primeiro para a avaliação da cor e da aparência geral e o segundo para a avaliação do sabor e da textura, num teste afetivo de aceitação. Apenas aqueles provadores que concordassem em provar as amostras e afirmassem que não possuíam aversão ao produto recebiam o segundo formulário.

No segundo e terceiro experimentos, cujo objetivo era efetuar teste afetivo de aceitação e de preferência, foram encaminhados os projetos para o Comitê de Ética em pesquisa- IBILCE- UNESP, onde o relatório do segundo experimento foi aprovado pelo parecer 49/08 e o projeto do terceiro experimento, autorizado pelo parecer 24/07, está com seu relatório final em julgamento.

O segundo experimento foi realizado com voluntários da comunidade do IBILCE-UNESP, onde trinta e dois provadores não treinados avaliaram os atributos aparência geral, cor, aroma, crocância e sabor, e responderam questões sobre preferência e frequência de compra. O último experimento (terceiro) foi realizado com um grupo de 64 potenciais consumidores, utilizando-se a técnica de testes em

local centralizado (“central location, sendo realizado no Mercado Municipal de São José do Rio Preto – SP. Foi entregue aos colaboradores uma ficha/questionário onde foram avaliados os atributos aparência geral, cor, aroma, crocância, sabor, com questões sobre preferência e frequência de compra.

Todos os formulários possuíam um espaço para que os provadores fizessem os comentários que julgassem necessários.

Para a avaliação estatística dos dados obtidos foram aplicados análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey, utilizando o software Excel da Microsoft.

6.3. Resultado e Discussão

6.3.1. Primeiro Experimento

Os resultados das médias das notas dadas pelos colaboradores (provadores) e os desvios-padrão para o primeiro experimento estão descritos na **Tabela 1** e na **Figura 1**.

Tabela 1. Média e desvio padrão dos valores* atribuídos pelos provadores às amostras tratadas e não tratadas, submetidas à secagem a 70°C e 1,7m·s⁻¹, para os atributos.aparência geral, cor, sabor e textura

	DMS**	Fresca	Branqueada	Com Cobertura
Aparência Geral	1,0	6,2 ± 1,7 ^a	5,9 ± 1,9 ^a	5,7 ± 1,9 ^a
Cor	0,9	6,0 ± 1,8 ^a	5,9 ± 2,2 ^a	5,8 ± 1,8 ^a
Textura	0,8	4,8 ± 1,9 ^a	5,5 ± 2,2 ^a	5,2 ± 2,3 ^a
Sabor	0,7	4,8 ± 2,3 ^b	5,6 ± 2,1 ^a	4,5 ± 2,5 ^b

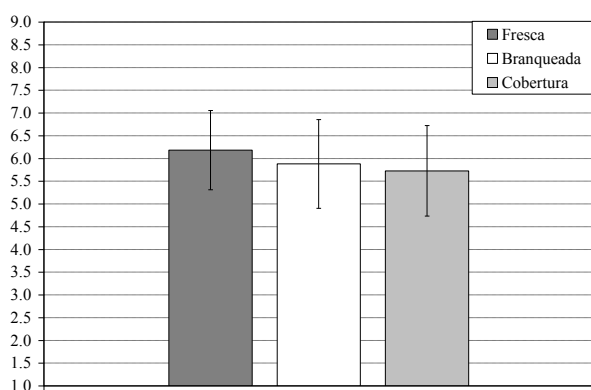
**DMS diferença mínima significativa do teste de Tukey ao nível de 5%

Médias na mesma linha com letras diferentes apresentam diferença significativa ao nível de 5%.

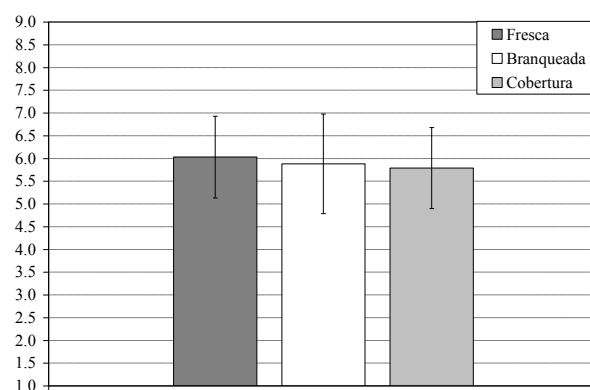
A maioria das amostras recebeu notas acima de 5,0, dentro de uma escala de 1 a 9. De um modo geral, as melhores notas foram atribuídas à aparência geral e à cor das amostras.

Apenas o aspecto do sabor das amostras branqueadas apresentou diferença significativa à nível de 5% (**Tabela 1**) e a maior média em relação às demais amostras. Não foi detectada diferença significativa entre as amostras com aplicação de cobertura e as sem tratamento.

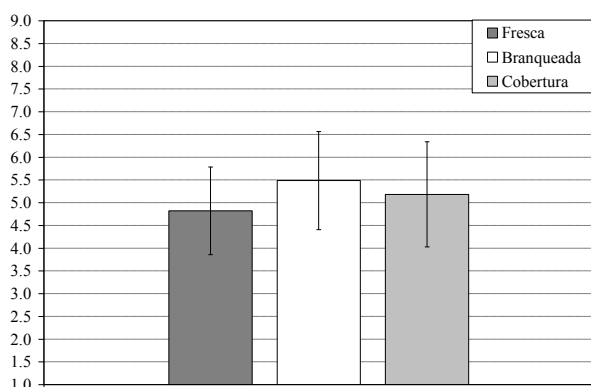
Na **Figura 1**, que apresenta o gráfico das médias e os desvios padrão das notas, constata-se que a aceitação da aparência geral e da cor das amostras foi muito similar para os três tratamentos.



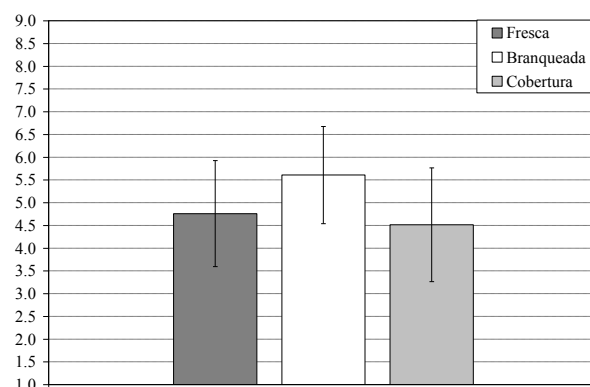
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 1. Comparação entre médias e desvios padrão das notas de (a) aparência geral; (b) cor; (c) textura; (d) sabor, em amostras tratadas e não tratadas, submetidas à secagem a 70°C e 1,7m·s⁻¹.

Na ficha de avaliação sensorial, foi relatado pelos provadores que a espessura muito fina das amostras, causou uma sensação desagradável no palato da boca, principalmente quando as amostras eram as branqueadas.

6.3.2. Segundo Experimento

Uma vez que nos ensaios preliminares (Fresca, Branqueada e com cobertura, 4mm) as amostras com cobertura receberam as menores notas, optou-se pela não avaliação sensorial dessas amostras na segunda etapa. As amostras branqueadas apresentaram a maior nota de sabor que as demais, assim como a maior média total (soma das notas de todos os atributos). Frente à boa aceitação das amostras branqueadas com o intuito de homogeneizar o sal na amostra, optou-se por introduzir um novo tratamento, o branqueamento com salmoura. Portanto, a avaliação sensorial foi realizada com amostras frescas e amostras tratadas em branqueamento em água fervente (2,5min) e branqueamento em salmoura (2min).

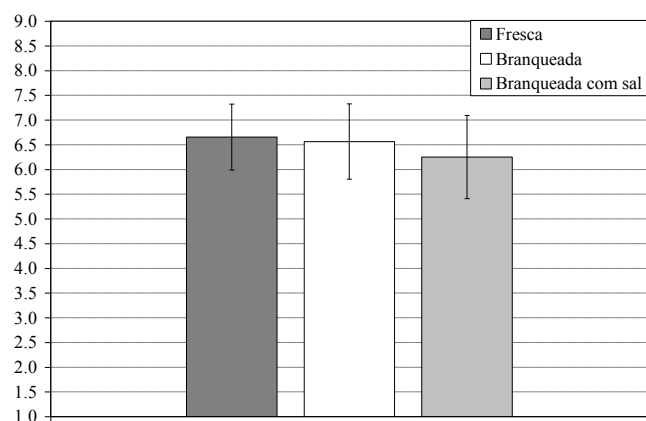
Os resultados das médias das notas dadas pelos provadores e os respectivos desvios-padrão para o segundo experimento estão apresentados na **Tabela 2**. A distribuição da frequência de notas, em porcentagem, está apresentada na **Figura 2**.

Tabela 2: Média e desvio padrão dos valores* atribuídos pelos provadores às amostras de fatias de abóbora pré-tratadas e não tratadas, submetidas à secagem a 70°C e 1,7m·s⁻¹, para os aspectos de aparência geral, cor, aroma, crocância, e sabor.

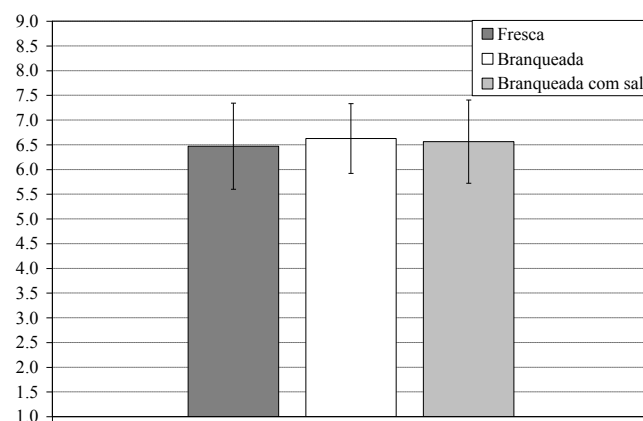
	DMS**	Fresca	Branqueada	Branqueada com sal
Aparência Geral	0,6	6,7 ± 1,3 ^a	6,6 ± 1,5 ^a	6,3 ± 1,7 ^a
Cor	0,8	6,5 ± 1,7 ^a	6,6 ± 1,4 ^a	6,6 ± 1,7 ^a
Aroma	0,7	5,9 ± 1,7 ^{ab}	6,5 ± 1,4 ^a	5,8 ± 1,8 ^b
Textura	1,0	6,2 ± 1,9 ^a	5,5 ± 2,0 ^a	4,0 ± 2,3 ^b
Sabor	0,7	6,3 ± 1,9 ^a	6,5 ± 2,0 ^a	6,0 ± 1,8 ^a

**DMS diferença mínima significativa do teste de Tukey ao nível de 5%

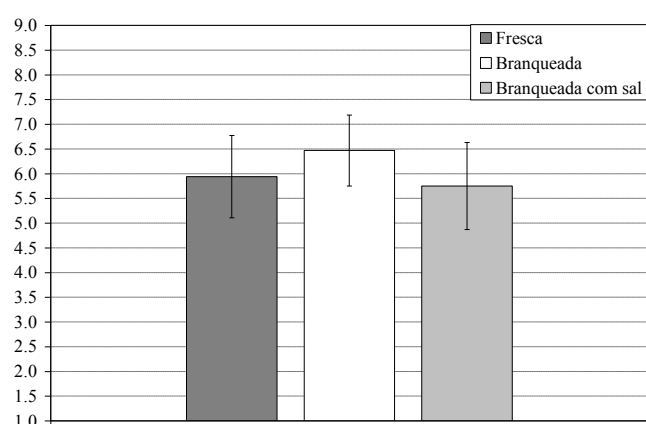
Médias na mesma linha com letras diferentes apresentam diferença significativa ao nível de 5%.



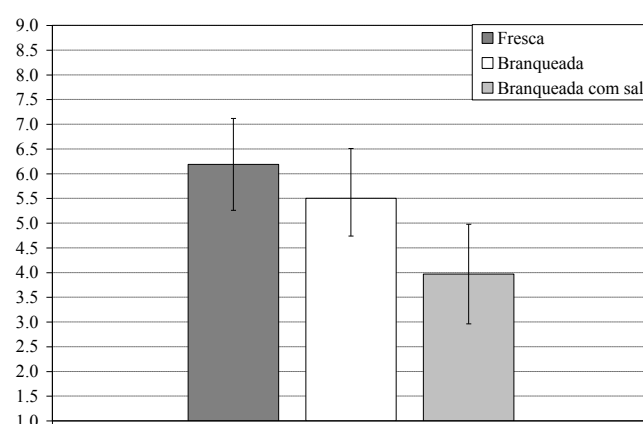
(a)



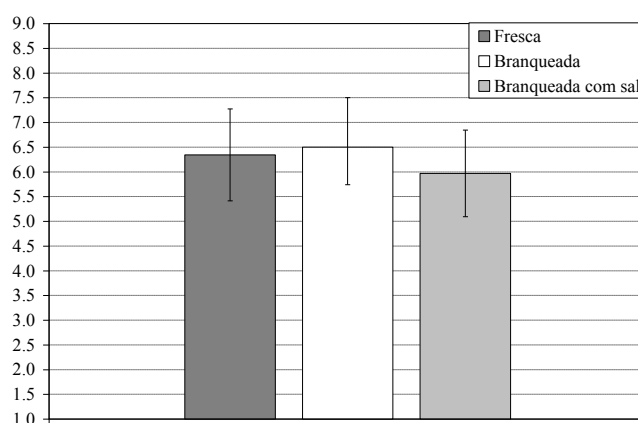
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 2. Comparação entre médias e desvios-padrão das notas dadas pelos provadores para os aspectos de (a) aparência geral; (b) cor; (c) aroma; (d) crocância; (e) sabor, relativas às amostras tratadas e não tratadas submetidas à secagem a 70°C e 1,7m·s⁻¹.

A maioria das amostras recebeu nota acima de 6,0, dentro da escala hedônica de 1 a 9, o que representa valores maiores que dois terços da escala. Em geral as maiores notas foram atribuídas à cor e à aparência geral das amostras.

Aroma e crocância apresentaram diferença significativa de 5% (**Tabela 2**). Para aroma, as amostras branqueadas em água fervente diferiram das amostras branqueadas em salmoura. Já em relação à crocância, as amostras branqueadas em salmoura diferiram das amostras frescas e das amostras tratadas termicamente em água fervente. Ainda em relação à crocância, as amostras tratadas termicamente receberam as menores notas. Não houve diferença significativa entre as amostras quando os atributos foram cor, aparência geral e sabor. No geral, amostras frescas e branqueadas em água fervente receberam as maiores notas.

Na análise da **Figura 2**, as amostras branqueadas em água fervente não divergiram dos demais tratamentos para os atributos: aparência geral e cor, enquanto que apresentaram os maiores valores para o aroma e o sabor.

Os resultados obtidos no questionamento de intenções de compra para um possível lançamento do produto comercialmente são apresentados na **Figura 3**.

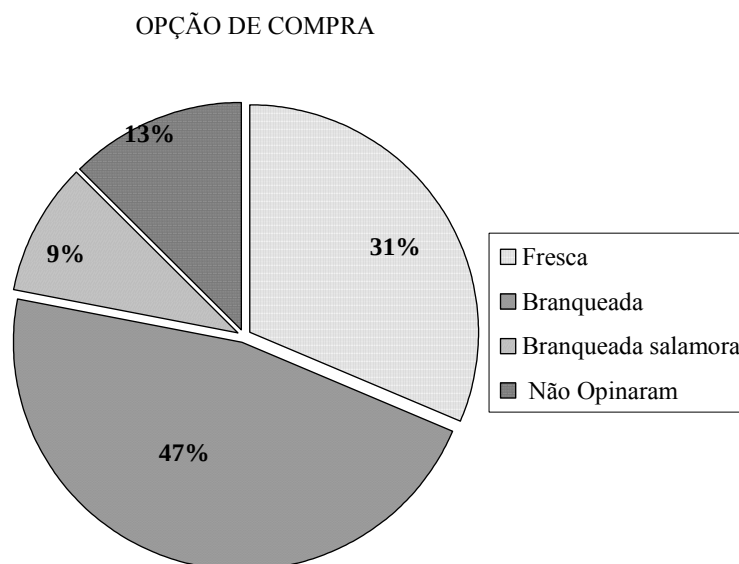


Figura 3: Gráfico de pizza para preferência de compra do consumidor

Dentre as pessoas que comprariam o produto, 47% optaram pela amostra branqueada em água fervente, sendo mais que o valor da soma das intenções de compra dos outros dois produtos.

Através da análise sensorial foi possível verificar que as amostras tratadas termicamente com água fervente durante 2,5 minutos não divergiu em relação às amostras frescas. Quando amostras frescas foram comparadas com amostras branqueadas em salmoura por 2 minutos, notou-se que as tratadas apresentaram uma qualidade inferior às não tratadas. No geral, amostras frescas e branqueadas em água fervente receberam as maiores notas. Verifica-se que o produto com maior preferência de compra foi o previamente branqueado em água fervente (**Figura 3**), o que confirma a tendência dos resultados mais favoráveis a esse tratamento, como já observado no primeiro experimento.

6.3.3. Terceiro experimento

Para realizar este experimento foram analisados os resultados dos experimentos anteriores e optou-se pela utilização de dois tratamentos, amostras frescas e branqueadas em água em ebulição por 2,5 minutos. Com o objetivo analisar a aceitação do produto por potenciais consumidores, testes afetivos de aceitabilidade e preferência foram realizados utilizando a técnica de avaliação em local centralizado (“Central Location”).

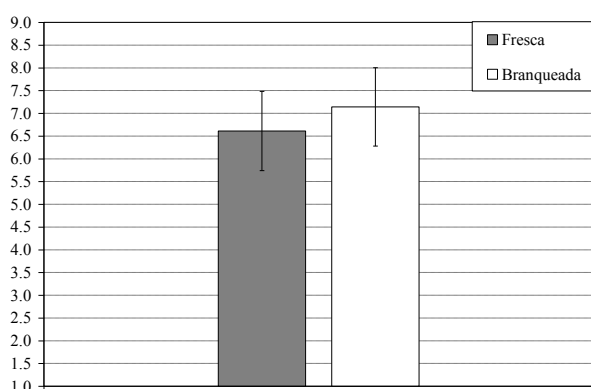
As médias das notas dadas pelos provadores consumidores e os respectivos desvios padrões, para o terceiro experimento, estão demonstrados na **Tabela 3**.

Tabela 3. Média e desvio padrão dos valores* atribuídos pelos provadores às amostras de fatias de abóbora fresca e branqueada, submetidas à secagem à 70°C e $1,7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, para os aspectos de aparência geral, cor, aroma, crocância, e sabor

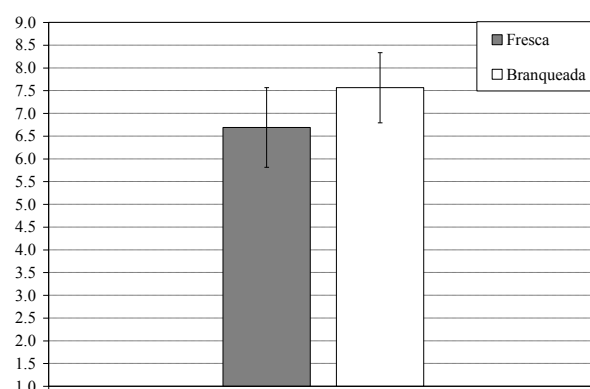
	DMS	Fresca	Branqueada
Aparência Geral	0,5	$6,6 \pm 1,7^a$	$7,1 \pm 1,7^b$
Cor	0,5	$6,7 \pm 1,8^a$	$7,6 \pm 1,5^b$
Aroma	0,5	$6,4 \pm 1,8^a$	$7,0 \pm 1,7^b$
Crocância	0,7	$6,5 \pm 1,9^a$	$6,8 \pm 1,9^a$
Sabor	0,6	$6,1 \pm 2,1^a$	$7,2 \pm 1,6^b$

**DMS diferença mínima significativa do teste de Tukey ao nível de 5%

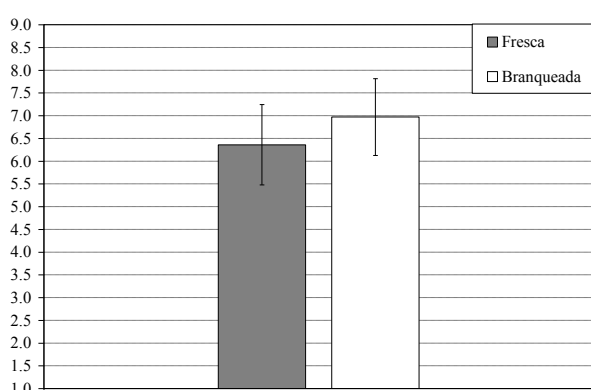
Médias na mesma linha com letras diferentes apresentam diferença significativa ao nível de 5%.



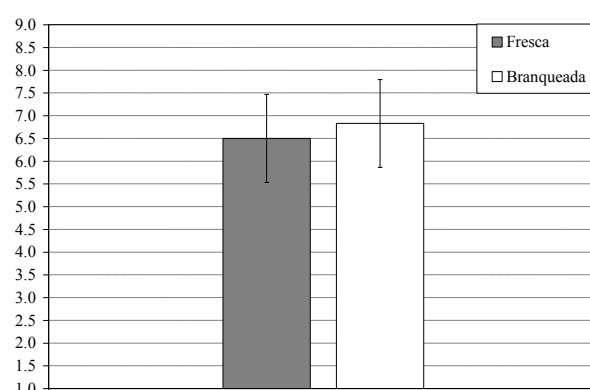
(a)



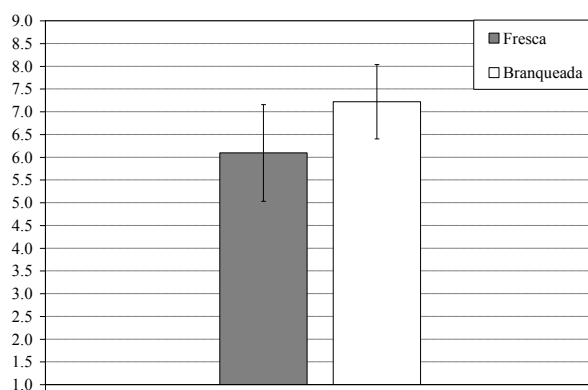
(b)



(c)



(d)



(f)

Figura 4. Comparação entre médias e desvios padrão das notas dadas pelos provadores para os aspectos de aparência geral (a), cor (b), aroma (c), crocância (d) e sabor (f), relativas às amostras tratadas e não tratadas submetidas à secagem a 70°C e 1,7m·s⁻¹.

Assim como no segundo experimento, todas as amostras receberam notas acima de 6,0, dentro da escala hedônica de 1 a 9, o que representa valores maiores que dois terços da escala.

Somente o atributo crocância não apresentou diferença significativa de 5% (**Tabela 3**). As notas dadas a todos os demais atributos das amostras tratadas com branqueamento tiveram valores significativamente superiores que às amostras frescas.

Na análise da **Figura 4** pode-se observar que as amostras branqueadas obtiveram as maiores notas em todos os atributos.

O resultado para as questões de preferência de compra está demonstrado no gráfico da **Figura 5**.

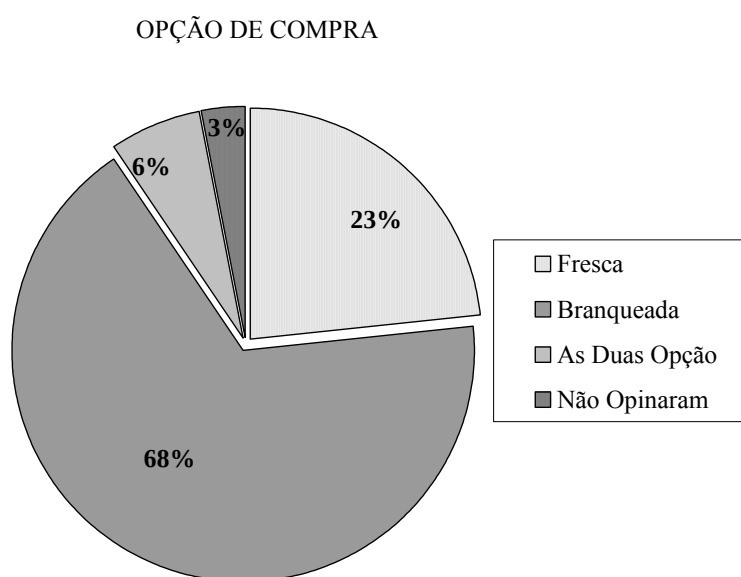


Figura 5: Gráfico de pizza para preferência de compra do consumidor

As médias das amostras previamente branqueadas foram significativamente maiores ($p < 0,05$) que das frescas para os atributos aparência geral, cor, aroma e sabor, e tiveram 68% das intenções de compra contra 23% das amostras sem tratamento prévio (**Figura 5**).

6.4. Conclusões

No primeiro experimento foi constatada nota média para sabor de amostras branqueadas significativamente maior ($p < 0.05$) que para as demais amostras. Foi relatado pelos provadores que a espessura das amostras (principalmente as amostras branqueadas) causou uma sensação desagradável no céu da boca. O segundo experimento, que foi de um produto pré-elaborado (condimentado), a maior aceitação foi das amostras previamente branqueadas em água fervente, com 47% da intenção de comprar o produto, contra 31% das frescas e 13% das branqueadas com salmoura. No último experimento as notas médias das amostras previamente branqueadas foram significativamente maiores ($p < 0,05$) que das frescas para os atributos aparência geral, cor, aroma e sabor, e tiveram 68% das intenções de compra contra 23% das amostras sem tratamento prévio, sendo que 6% dos provadores comprariam as duas amostras e 3% não opinaram. Os resultados demonstram que o branqueamento antes da secagem contribuiu para a maior aceitação do produto desidratado. Concluiu-se que o branqueamento térmico diminuiu o sabor de abóbora crua, favorecendo a aceitação e a preferência por essas amostras.

6.5. Referências

- BOUTROLLE, I., DELARUE, J., ARRANZ, D., ROGEAUX, M., KOSTER, E.P. Central location test vs. home use test: Contrasting results depending on product type. **Food Quality and Preference**, v. 18, p. 490–499, 2007
- CHANG, M. J., HAN, M.R., KIM, M.H. Effects of salt addition in sugar based osmotic dehydration on mass transfer and browning reaction of green pumpkin. **Agricultural Chemistry Biotechnology**, v. 46, n.3, p.92 -96, 2003.
- CHANTARO, P., DEVAHASTIN, S., CHIEWCHAN, N. Production of antioxidant high dietary fiber powder from carrot peels. **Food Science and Technology- LWT**, v. 41, p. 1987-1994, 2008.
- DOYMAZ, I. The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. **Journal of Food Engineering**, v 79, n 1, p. 243-248, 2007
- Eik, N. M. (2008). **Avaliação de pré-tratamentos e aplicação de coberturas comestíveis na secagem de frutas**. Dissertação de mestrado Unicamp/FEA. Campinas-SP.
- HERSLETH, M., LENGARD, V., VERBEKE, W., GUERRERO, L., NÆS, T. Consumers' acceptance of innovations in dry-cured ham: Impact of reduced salt content, prolonged aging time and new origin. **Food Quality and Preference**, v. 22, p. 31–41, 2011.
- KRINSKY, N.I. **Actions of Carotenoids in Biological Systems**. Annual Review of Nutrition 13, 561-587, 1993.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; MIEKO, K; GODOY, H. T; AMAYA-FARFAN, J. Updated Brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 21; n. 6, p. 445-463, 2008.
- WICHCHUKIT, S. O'MAHONY, M. „Liking“, „Buying“, „Choosing“ and „Take Away“ preference tests for varying degrees of hedonic disparity, **Food Quality and Preference**, v. 22, p. 60–65, 2011.
- WOLFE, K.L.; LUI, R.H. Apple peels as a value-added food ingredient. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.51, n.6, p. 1676-1683, 2003.
- PREGNOLATTO, W.; PREGNOLATTO, N. P. (coordenadores). Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3a ed.
- SADER, R.; RASSINI, J. B. Verificação de misturas varietais em cultivares de soja, pelo método da peroxidase. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 9, n. 3, p. 65-68, 1987.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES GERAIS E SUGESTÕES

CONCLUSÕES GERAIS E SUGESTÕES

7.1. Conclusões Gerais

Na determinação de propriedades de sorção, o branqueamento ocasionou uma pequena influencia sobre a umidade de equilíbrio das abóboras, que foi menor que nas abóboras frescas, o que levou a concluir que perda de sólidos solúveis durante o pré-tratamento diminuiu a capacidade de retenção de água das amostras tratadas. A umidade de equilíbrio variou mais com a temperatura que com branqueamento térmico. O calor isostérico de sorção indicou que uma quantidade maior de calor foi requerida para remover a água das amostras frescas em comparação às amostras branqueadas, concluindo-se que os danos promovidos pelo branqueamento foram favoráveis à desidratação desse material.

Os efeitos da temperatura sobre a cinética de secagem foram maiores que da velocidade do ar aquecido, nas condições estudadas. As abóboras apresentaram período de taxa de secagem constante. As fatias apresentaram encolhimento de espessura preferencial às outras dimensões. O método que considerou o encolhimento igual em todas as dimensões apresentou melhor ajuste aos dados experimentais, o que levou a concluir que, uma vez que o modelo de difusão não incorpora a variação da área superficial de transferência de massa, a espessura calculada, maior que a real, compensa o efeito da área ser negligenciada no modelo. As maiores difusividades foram determinadas nas amostras revestidas, seguidas das branqueadas e, por fim, das frescas. Entretanto, a maior espessura das fatias com adição de cobertura resultou em tempos mais longos de secagem dessas amostras. A metodologia proposta permitiu comparar amostras com espessuras e encolhimento diferentes e demonstrou a importância da consideração do encolhimento no modelo de cinética de secagem de alimentos altamente deformáveis.

Na reidratação as amostras branqueadas apresentaram a pior reconstituição, com as menores taxas iniciais, para, em seguida, continuarem se hidratando às maiores taxas. Concluiu-se que o branqueamento causou danos irreversíveis ao

tecido, comprometendo a reconstituição dos produtos. Por outro lado, a reconstituição de amostras com adição de cobertura mostrou-se bastante promissora, uma vez que apresentou tempos curtos de reidratação, com exceção da amostra desidratada a 70°C, 1,70m.s⁻¹. Conclui-se que a aplicação de coberturas pode ser útil como pré-tratamento para produtos desidratados que serão reconstituídos.

No desenvolvimento dos “chips” de abóbora através de avaliações sensoriais, concluiu-se que o produto com maior aceitação e intenção de compra foi o previamente branqueado em água fervente, provavelmente porque o branqueamento minimiza o sabor de cru das amostras, favorecendo o atributo sabor. Esse resultado é satisfatório uma vez que há indícios de esse pré-tratamento preserva a abóbora durante a secagem e no armazenamento do produto.

Ao analisar parâmetros, conclui-se que o branqueamento foi o pré-tratamento mais eficiente na desidratação das abóboras, otimizando assim o processo de secagem, e que o produto gerado teve maior aceitação para consumo direto como produto desidratado de abóbora, enquanto que a aplicação de cobertura mostrou-se mais adequada à produção de produtos de abóbora que serão reidratados.

7.2. Sugestões

Avaliar diferentes cortes variando as formas dos pedaços de abóbora juntamente com a intensidade do branqueamento com o intuito de preservar mais a estrutura do vegetal.

Testar outros tipos de coberturas comestíveis, com adição de condimentos, inclusive com atividade antioxidante como o orégano.

Avaliar a retenção de nutrientes após o processamento e durante o armazenamento.

Investigar as alterações estruturais a nível celular numa tentativa de compreender melhor as alterações causadas pelos processos e suas consequências sobre o produto desidratado e reidratado.

CAPÍTULO 8

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AKYILDIZ, A.; AKSAY, S.; BENLI, H.; KIROGLU, F.; FENERCIOGLU, H. Determination of changes in some characteristics of persimmon during dehydration at different temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 65, p. 95-99, 2004.
- ALVAREZ, C.A.; AGUERRE, R.; GÓMEZ, R.; VILADES, S.; ALZAMORA, S.M.; GERSCHENSON, L.N. Air dehydration of strawberries: effects of blanching and osmotic pretreatments on the kinetics of moisture transport. **Journal of Food Engineering**, v. 25, p. 167-178, 1995.
- ARIMA, H.K., RODRIGUEZ-AMAYA, D.B., 1988. Carotenoid composition and vitamin A value of commercial Brazilian squashes and pumpkins. *Journal of Micronutrient Analysis* 4, 177–191.
- AZEVEDO-MELEIRO, C.H., RODRIGUEZ-AMAYA, D.B., 2003. Estudo da composição de carotenóides em pimentões. Paper presented at the V Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos, Campinas, Brasil.
- BALOGH, A.K., BUCKLE, K.A., EDWARDS, R.A. Carotenoid stability in dehydrated sulphited carrot. **Journal of Food Science and Agricultural**, v. 40, p. 179-187, 1987.
- BALOGH, A.K., BUCKLE, K.A., EDWARDS, R.A., Effect of coating with starch and nordihydroguaiaretic acid on the stability of carotenoid of dehydrated carrot. **Journal of Chemical Society Pak**, v. 8, n. 1, p. 59-62, 1986.
- BENNAMOUN, L., BELHAMRI, A. Numerical simulation of drying under variable external conditions: Application to solar drying of seedless grapes. **Journal of Food Engineering**, v. 76, p. 179-187, 2006.
- BENNAMOUN, L., BELHAMRI, A. Numerical simulation of drying under variable external conditions: Application to solar drying of seedless grapes. **Journal of Food Engineering**, v. 76, p. 179-187, 2006.
- BURGESS, G.H.O.; CUTTING, C.L., **El pescado y las industrias derivadas de la pesca**. Zaragoza: Editora ACRIBIA, v. 384, p. 1987
- CARRIZO, J. M. **Influência de pré-tratamentos osmóticos na cinética de secagem de pimentão utilizando um coletor solar**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto - SP, p. 100, 2002.
- CUQ., B., GINTARD, N., GUILBERT, S. (1995). Edible films and coatings as active layers. In **Edible Active Layers**. M.L.Rooney (Editor). London: Blackie Academic & Professional.

- DONHOWE, I.G., FENNEMA, O. **Edible Films and Coatings: Characteristics, Formation, Definitions, and Testing Methods**. In *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*. J. M. Krochta (Ed). Lancaster, Pennsylvania: Technomic Publishing Co., Inc., p. 1-24; 1994.
- DOYMAZ, I. The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. **Journal of Food Engineering**, Essex, England, v 79, n 1, p. 243-248, 2007
- DOYMAZ, I. Thin-layer drying of spinach leaves in a convective dryer, **Journal of Food Engineering**, Essex, England, v 32, p. 112-125, 2009
- EKI, N. M., **Avaliação de pré-tratamentos e aplicação de coberturas comestíveis na secagem de frutas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual Campinas (UNICAMP/FEA). Campinas-SP, 2008.
- FORTES, M.; OKOS, M. R. Drying theories: their bases and limitations as applied to foods and grains. In: Mujumdar, A. S. (Ed.). **Advances in drying**. Washington: Hemisphere Publishing Co., 1980, v. 1, p 119-154.
- GARCIA, C.C., MAURO, M.M., KIMURA, M. Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (*Cucurbita Moschata*). **Journal of Food Engineering**, v. 82, p. 284-291, 2007
- GARCÍA-SEGOVIA, P., ANDRÉS-BELLO, A., MARTÍNEZ-MONZÓ, J. Rehydration of air-dried Shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) caps: Comparison of conventional and vacuum water immersion processes. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, p. 480-488, 2011.
- GUINARD, J.X., UOTANI, B., SCHLICH, P. Internal and external mapping of preferences for commercial lager beers: comparison of hedonic ratings by consumers blind versus with knowledge of brand and price. **Food Quality and Preference**, v. 12, p. 243-255, 2001
- JAYARAMAN, K.S., Das GUPTA, D.K. & BABU RAO, N. Effect of pretreatment with salt and sucrose on the quality and stability of dehydrated cauliflower. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 25, p. 47-60; 1990
- LAGO, E.S. **Avaliação das condições cromatográficas de análise e efeito da aplicação de cobertura comestíveis nos carotenóides de abóboras desidratadas**. 72 pp. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos), Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", UNESP, São José do Rio Preto, 2007
- KAYMAK-ERTEKIN F., GEDIK A. Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. **Lebensmittel - Wissenschaft und Technologie**, v.37, n.4, p. 429-438, 2004.
- KOZLOWSKA, K., JERUSZKA, M., MATUSZEWSKA, I., ROSZKOWSKI, W., BARYLKO-PIKIELNA, N., BRZOZOWSKA, A. Hedonic tests in different locations as predictors of apple juice consumption at home in elderly and young subjects. **Food Quality and Preference**, v. 14, p. 653-661, 2003.

- KRINSKY, N.I. Actions of Carotenoids in Biological Systems. Annual Review of Nutrition, v. 13, p. 561-587, 1993.
- KROKIDA, M.K., MARINOS-KOURIS, D. Rehydration kinetics of dehydrated products. **Journal of Food Engineering**, v. 57, p. 1-7, 2003a.
- KROKIDA, M.K.; KARATHANOS, V.T.; MAROULIS, Z.B.; MARINOS-KOURIS, D. Drying kinetics of some vegetables. **Journal of Food Engineering**, v. 59, n. 4, p. 391-403, 2003b.
- MALDONADO, S., ARNAU, E., BERTUZZI, M.A. Effect of temperature and pretreatment on water diffusion during rehydration of dehydrated mangoes. **Journal of Food Engineering**, v. 96, p. 333-341, 2010.
- MASKAN, M. Kinetics of Colour Change of Kiwifruits during Hot Air and Microwave Drying. **Journal of Food Engineering**, v. 48, p.169-175; 2001.
- MAYOR, L. & SERENO, A.M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering**. v. 61, p. 373-386, 2004.
- MAYOR; L.; MOREIRA; R.; CHENLO; F.; SERENO, A.M. Water sorption isotherms of fresh and partially osmotic dehydrated pumpkin parenchyma and seeds at several temperatures. **European Food Research Technology**, v.220, n.2, p. 163-167, 2005.
- McMINN, W.A.M.; MAGEE, T.R.A. Physical characteristics of dehydrated potatoes – Part II. **Journal of Food Engineering**, v.33, p. 49-55; 1997.
- MOHSENIN, N.N. **Physical properties of plants and animals materials**. 2^a ed. Amsterdam: Gordon and Breach Publishers, p. 841, 1986.
- MUJUMDAR, A. S. (1997). **Drying Fundamentals**. In **Industrial Drying of Foods**, edited by Christopher G. J. Baker London: Blackie Academic & Professional, p. 7-30
- NIETO, A.; CASTRO, M.A.; ALZAMORA, S.M. Kinetics of moisture transfer during air drying of blanched and/or osmotically dehydrated mango. **Journal of Food Engineering**, v. 50, p. 175-185, 2001.
- NIETO, A.; SALVATORI, D.; CASTRO, M.A.; ALZAMORA, S.M. Air behaviour of apples affected by blanching and glucose impregnation. **Journal of Food Engineering**, v. 36, p. 63-79, 1998.
- NIJHUIS, H.H.; TORRINGA, H.M.; MURESAN S.; YUKSEL, D.; LEGUIJT, C.; KLOEK, W. Approaches to improve the quality of dried fruit and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, v. 9, n. 1, p. 13-20; 1998
- 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, São Paulo, Brasil,, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001a.

- PARK, K.J., YADO, M.K.M., BROD, F.P.R. Estudo de secagem de pêra Bastlett (*Pyrus* sp) em fatias. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, v.21, p. 288-292, 2001b.
- PEREZ, N. E & SCHMALKO, M.G. Convective drying of pumpkin: influence of pretreatment and drying temperature. **Journal of Food Process Engineering**, v. 32, n. 1, p. 88–103, 2009.
- PLANINIÉ, M., VELIÉ, D., TOMAS, S., BILIÉ, M., BUEIÉ, A. Modelling of drying and rehydration of carrots using Peleg's model. **European Food Research Technology**, v. 221, p. 446-451, 2005.
- RAMALLO, L. A., SCHVEZOV, C, & MASCHERONI, R. H. (2004). Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple. **Food Science Technology International**, v. 10, v. 5, p. 323-332, 2004
- RAMESH, M.N., WOLF, W., TEVINI, D., & JUNG, G. Influence of processing parameters on the dryung spice paprika. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 63-72; 2001.
- RIZVI, S. S. H.. **Thermodynamic properties of foods in dehydration**. In M. A. Rao & S. S. H. Rizvi (Eds.), 2nd ed, revised and expanded, Engineering properties of foods (p. p. 133-214). New York: Marcel Dekker. 1995.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. (2002), Effects of processing and storage on food carotenoids, **Sight and Life Newsletter**, Vol. 3, pp. 25-35.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D.B., KIMURA, M. AND AMAYA-FARFAN, J. (2008), Fontes Brasileiras de Carotenóides: **Tabela Brasileira de Composição de Carotenóides em Alimentos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/ Secretaria de Biodiversidade e Florestas. 100 pp.
- SANGA E.C.M., MUJUMDAR, A.S., Raghavan, G.S.V., Simulation of convection-microwave drying for a shrinking material. **Chemical Engineering and Processing**, v. 41, p. 487–499, 2002.
- SAYUY, S., MARABI, A., WALLACH, R. New approach to model rehydration of dry food particulates utilizing principles of liquid transport in porous media. **Trends in Food Science & Technology**. v. 16, p. 495-506, 2005.
- SHI, J., LE MAGUER, M., KAKUDA, Y., LIPTAY, A., NIEKAMP, F. Lycopene Degradation and Isomerization in Tomato Dehydration, **Food Research International**, v. 32, p. 15-21; 1999
- SIMAL, S.; FEMENIA A.; GARAU, M.C.; ROSSELLÓ, C. Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. **Journal of Food Engineering**, v. 66: p. 323-328; 2005
- SLONGO, P. A. **Uso de alta pressão hidrostática em presunto fatiado: avaliação físico-química e sensorial e modelagem do crescimento microbiano**. Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2008

- SOBRAL, P.J. do AMARAL. **Secagem de sangue bovino incorporado a proteína texturizada de soja em leite fluidizado e em leite fixo**. Tese de Mestrado, faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP, Campinas, SP. 171 p; 1997
- SOJAK, M., GLOWACKI, Sz. Analysis of giant pumpkin (*Cucurbita maxima*) drying kinetics in various technologies of convective drying. **Journal of Food Engineering**, v. 99, p. 323–329, 2010.
- SPIESS, W. E. L., WOLF, W. R. (1983). Critical evaluation of methods to determine moisture sorption isotherms. In: ROCKLAND, L. B.; BEAUCHAT, L. R. EDS. **Water activity: theory and application to food**. New York: Marcel Dekker, 1223, p. 215-233.
- STONE, H., SIDEL, J. L. (1993). **Sensory evaluation practices** (2d ed.). San Diego, California: Academic Press Inc.
- TACO, **Tabela brasileira de composição de alimentos** (NEPA-UNICAMP) - Versão II. 2. ed. Campinas, SP: NEPA-UNICAMP, p. 113, 2006.
- TEIXEIRA NETO, R. O.; QUAST, D. G. Isotermas de adsorção de umidade em alimentos. **Instituto de Tecnologia de Alimentos**. Campinas. v. 8, p. 141-197, 1993.
- UFRGS (2005). **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**; disponível em <http://www.ufrgs/alimentus/feira/mpfruta/abobora/index.htm>, Acesso no mês de junho, 2005.
- VAN DEN BERG, C.; BRUIN, S. Water activity and its estimation in food systems: theoretical aspects, in **Water activity: influences on food quality**, Ed. L.B. Rockland and G.F. Stewart, Academic Press, New York, 1981.
- VAN DER BERG, C.; BRUIN, S. (1978). Water Activity and its estimation in food system: Theoretical aspects second. In: **Symposium on Properties of Water in relation to food quality and stability**, 2^a ed., Osaka, p. 10-16, 1978.
- VEGA-GALVEZ, A., NOTTE-CUELLO, E., LEMUS-MONDACA, R., ZURA, L., AND MIRANDA, M. Mathematical Modelling of Mass Transfer during Rehydration Process of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller). **Food and Bioprocess Processing**, v. 87, p. 254 – 260, 2009.
- VEGA-GÁLVEZ, A.; LEMUS-MONDACA, R.; FITO P; ANDRÉS A. Moisture sorption isotherms and isosteric heat of red bell pepper (var. Lamuyo). **Journal of Food Science**, v. 13; n.4, p. 309-316, 2007.
- VELIÈ, C., PLANINIÉ, M., TOMAS, S., BILIÉ, M. Influence of airflow velocity on kinetics of convention apple drying. **Journal Food Engineering**. v. 64, p. 97-102, 2004
- VELIÈ, C., PLANINIÉ, M., TOMAS, S., BILIÉ, M. Influence of airflow velocity on kinetics of convention apple drying. **Journal Food Engineering**. v. 64, p. 97-102, 2004.

- VERMA, R.C., GUPTA, A., Effect of pre-treatments on quality of solar-dried amla. **Journal of Food Engineering**, v.65, p. 397–402, 2004.
- WHITAKER, T.W.; CARTER, G.F. Critical notes on the origin and domestication of the cultivated species of Cucurbita. **Journal of Botany**, v. 33, n. 1, p. 10-15; 1946
- WHITAKER, T.W.; CUTLER, H.C. Cucurbita and cultures in the Americas. **Economic Botany**, v. 19, p. 334-349; 1965.
- WONG, D. W. S., CAMIRAND, W. M., PAVLATH, A. E. (1994). Development of Edible Coatings for Minimally Processed Fruits and Vegetables. In **Edible Coatings and Films to Improve Food Quality**. Edited by J. M. Krochta. Lancaster:U.S.A. p. 65-88p.
- ZHAO, Y.P., CHANG, K.C. Sulfite and starch affect color and carotenoids of dehydrated carrots (*Daucus carota*) during storage. **Journal of Food Science**, v. 60, n. 2, p.324-326; 1995

Apêndice 1

Fichas do primeiro experimento (piloto)

Ficha 1

Nome: _____ **Sexo:** _____ **Idade:** _____

Avalie cada amostra usando a escala abaixo para descrever o quanto você gostou ou desgostou para cada atributo.

1. Desgostei muitíssimo
2. Desgostei muito
3. Desgostei regularmente
4. Desgostei ligeiramente
5. Indiferente
6. Gostei ligeiramente
7. Gostei regularmente
8. Gostei muito
9. Gostei muitíssimo

Número da amostra

Cor

Aparência Geral

Comentários (utilize o verso, se necessário): _____

Continuação, fichas do primeiro experimento (piloto)

Ficha 2

Nome: _____ **Sexo:** _____ **Idade:** _____

Avalie cada amostra usando a escala abaixo para descrever o quanto você gostou ou desgostou para cada atributo.

1. Desgostei muitíssimo
2. Desgostei muito
3. Desgostei regularmente
4. Desgostei ligeiramente
5. Indiferente
6. Gostei ligeiramente
7. Gostei regularmente
8. Gostei muito
9. Gostei muitíssimo

Número da amostra

Sabor

Textura

Comentários (utilize o verso, se necessário):

Apêndice 2

Ficha do segundo experimento

Nome: _____ **Sexo:** _____ **Idade:** _____

Avalie cada amostra usando a escala abaixo para descrever o quanto você gostou ou desgostou para cada atributo.

1. Desgostei muitíssimo
2. Desgostei muito
3. Desgostei regularmente
4. Desgostei ligeiramente
5. Indiferente
6. Gostei ligeiramente
7. Gostei regularmente
8. Gostei muito
9. Gostei muitíssimo

Características	Amostra	Amostra	Amostra
Aroma			
Cor			
Textura			
Aparência Geral			
Sabor			

Entre os três produtos oferecidos, qual você compraria? _____

Com que frequência? (diariamente, semanalmente, mensalmente)

Comentários (se necessário utilize o verso) _____

Apêndice 3

Ficha do terceiro experimento

Nome: _____ **Sexo:** _____ **Idade:** _____

Avalie cada amostra usando a escala abaixo para descrever o quanto você gostou ou desgostou para cada atributo.

- 10. Desgostei muitíssimo
- 11. Desgostei muito
- 12. Desgostei regularmente
- 13. Desgostei ligeiramente
- 14. Indiferente
- 15. Gostei ligeiramente
- 16. Gostei regularmente
- 17. Gostei muito
- 18. Gostei muitíssimo

Características	Amostra	Amostra	Amostra
Aparência Geral			
Cor			
Aroma			
Crocância			
Sabor			

Entre os três produtos oferecidos, qual você compraria? _____

Com que frequência? (diariamente, semanalmente, mensalmente)

Comentários (se necessário utilize o verso) _____

Apêndice 4

Análise de composição da embalagem do terceiro experimento.

Relatório de Ensaio

INTERESSADO: CCQA - LAFISE

MATERIAL ANALISADO: Filme laminado com impressão

ANALISTAS: Léa Mariza de Oliveira e Daniele Fidelis

DATA DE RECEBIMENTO DA AMOSTRA: 22/09/09

Descrição da Amostra

Foi recebida para caracterização das camadas por infravermelho uma amostra de filme laminado, impressão Teste.

Método

As camadas da estrutura foram identificadas por espectroscopia no infravermelho, em equipamento Perkin Elmer, com transformada de Fourier, modelo Spectrum 100. Foi utilizada a técnica da Reflectância Total Atenuada (ATR). Os espectros no infravermelho foram obtidos com base nas normas ASTM E 1252-98 *standard practice for general techniques for obtaining infrared spectra for qualitative analysis* e ASTM E 573-01 *standard practices for internal reflection spectroscopy*. Reagentes químicos foram utilizados para separação das camadas da estrutura.

Detalhes da metodologia utilizada são descritos por Lemos et al. (2008).

Resultado

Foram encontradas duas camadas de material plástico na amostra. As quais foram identificadas como poliéster (PET) e polietileno (PE). Sendo assim, a provável estrutura da amostra é:

PET/impressão/alumínio/PE

Na Figura 1 são apresentados os espectros ATR das camadas externa (PET) e interna (PE) da amostra analisada.

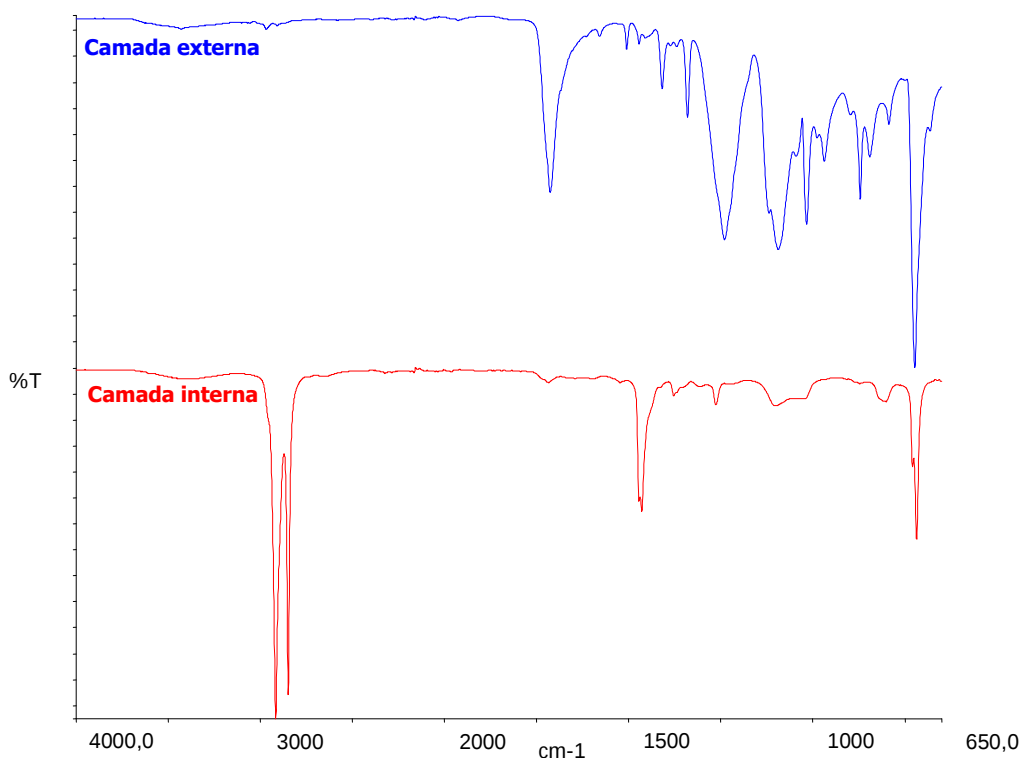


FIGURA 1. Espectros ATR das camadas externa e interna da amostra analisada.

Observações

Este trabalho foi realizado com equipamentos e instrumentos de inspeção, medição e ensaio calibrados. Suas incertezas totais estão de acordo com os critérios de aceite estabelecidos pelo Sistema de Gestão da Qualidade do ITAL e não foram consideradas no cálculo dos resultados apresentados, mas encontram-se à disposição do contratante, mediante consulta formal.

Este relatório foi elaborado de acordo com a Norma Interna CE-017 - Elaboração e Envio de Relatórios, os resultados apresentados aplicam-se apenas às amostras enviadas ao CETEA para ensaio e só pode ser reproduzido na íntegra, a reprodução parcial requer aprovação formal deste Centro.

Os documentos e registros relativos a esse trabalho, assim como a cópia desse relatório, serão mantidos pelo CETEA pelo período de 5 anos.

Este relatório somente é válido com as assinaturas ou a rubrica originais em todas as páginas.

Campinas, 01 de outubro de 2009.

Apêndice 5

Fotos da Abóbora Rajada Seca Melhora (30 a 50kg), sendo preparadas para a secagem

