

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

ANTONIO ONIAS MESQUITA VÉRAS

**SECAGEM DE PIMENTA DEDO-DE-MOÇA (*Capsicum baccatum* var.
pendulum) EM SECADOR CONVECTIVO HORIZONTAL**

**SÃO CARLOS
2010**

**SECAGEM DE PIMENTA DEDO-DE-MOÇA (*Capsicum baccatum* var.
pendulum) EM SECADOR CONVECTIVO HORIZONTAL**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

ANTONIO ONIAS MESQUITA VÉRAS

**SECAGEM DE PIMENTA DEDO-DE-MOÇA (*Capsicum baccatum* var.
pendulum) EM SECADOR CONVECTIVO HORIZONTAL**

**Dissertação de Mestrado apresentada
como parte dos requisitos necessários
para a obtenção do título de Mestre em
Engenharia Química, área de
concentração em Pesquisa e
Desenvolvimento de Processos
Químicos**

Orientador: Prof. Dr. José Teixeira Freire

**SÃO CARLOS
2010**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

V476sp

Véras, Antonio Onias Mesquita.

Secagem de pimenta dedo-de-moça (*Capsicum baccatum*
var. *pendulum*) em secador convectivo horizontal / Antonio
Onias Mesquita Véras. -- São Carlos : UFSCar, 2010.
79 f.

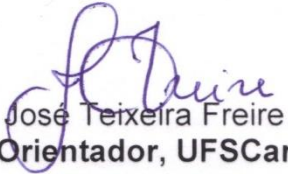
Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São
Carlos, 2010.

1. Secagem. 2. Pimenta dedo-de-moça. 3. Liofilização. 4.
Reidratação. 5. Germinação. I. Título.

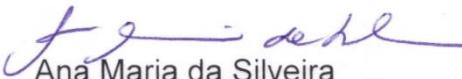
CDD: 660.28426 (20^ª)

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE **ANTONIO ONIAS MESQUITA VERAS** APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, EM 28 DE MAIO DE 2010.

BANCA EXAMINADORA:


José Teixeira Freire
Orientador, UFSCar


Leonardo da Silva Arrieche
UFES


Ana Maria da Silveira
UFSCar

A Deus Jeová e seu filho Jesus,
aos meus pais Sudá e Onísia, à
minha irmã maravilhosa Sudanísia e
à minha amada e preciosa Abigail.

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo que tenho e o que sou.

Aos meus pais pelo apoio, amor e carinho incondicionais e incomparáveis. Tudo foi e está sendo possível graças a vocês.

À minha querida irmã pelo carinho, afeto e saudade que só ela tem.

Aos meus familiares por toda a torcida.

À minha noiva, sempre presente nos momentos alegres e também nos mais difíceis, apoiando em tudo sem medir esforços. Sem ela teria sido bem difícil.

Ao meu amigo Edmundo Elenio pela ajuda, apoio e incentivo antes mesmo de saber da aprovação no mestrado.

Ao Professor José Teixeira Freire pela excelente orientação, pelo apoio a mim demonstrado desde o nosso primeiro contato e pela oportunidade de aprender mais do que FT.

À professora Ana Maria da Silveira que foi de ajuda inestimável ao longo do curso com suas dicas e conselhos fundamentais para o andamento do trabalho.

Ao professor Dermeval José Mazzini Sartori pela amizade e consideração.

Aos demais professores do DEQ/UFSCar, em especial aos do Centro de Secagem que sempre deram contribuições importantes para o projeto.

Aos técnicos Oscar e Adilson por toda a ajuda nos momentos complicados devido a equipamentos com defeitos além dos momentos de descontração.

Ao Edilson e a Juliana pelo carinho e amizade que construímos ao longo do curso.

Aos amigos Victor, Maritiza, Samy, Andressa e Wagner, Maribel, Thiago, Diana, Wagner Pedrotti, Lana, Amanda e muitos que preencheriam toda uma dissertação.

A todos os amigos que deixei em minha terra natal e aos novos que me acolheram em seus corações como a Adriana e sua família.

Ao Centro de Secagem pela honra de ter feito parte desse grupo de excelência.

A CAPES pela concessão do apoio financeiro.

RESUMO

A cultura da pimenta está bem difundida no Brasil desde a sua colonização. Esse vegetal, além de ser muito apreciado na culinária possui efeitos farmacológicos comprovados como o de redutor do colesterol, inibidor do apetite e a presença de substâncias antioxidantes como o ácido ascórbico e o beta-caroteno. É um produto cuja demanda aumenta a cada ano, mas que a forma como é produzido continua, em sua maioria, artesanal diminuindo a capacidade dos produtores de atender às necessidades do comércio. Visando contribuir para o melhoramento da produção da pimenta dedo-de-moça, verificou-se o comportamento desse vegetal na secagem analisando a influência do processo na composição nutricional e qualidades físicas no produto seco. Para isso, foram obtidas as cinéticas de secagem e a determinação das propriedades estruturais (densidade aparente, densidade real e porosidade) em função do teor de umidade durante a secagem. A avaliação da qualidade do produto final foi realizada pela quantificação de ácido ascórbico e estudo da reidratação. A secagem convectiva foi comparada com a secagem em liofilizador com relação a parâmetros de qualidade do produto como encolhimento, propriedades estruturais, retenção de vitamina C e características de reidratação. Para descrever a cinética de secagem e de reidratação foram utilizados modelos empíricos e semi-empíricos. A caracterização do processo de reidratação foi realizada a partir dos índices que levam em conta a capacidade de absorção de água e a perda de solutos. Avaliou-se também o aproveitamento das sementes resultantes do processamento para obtenção de novas mudas através da verificação da capacidade germinativa por meio de testes padronizados. As amostras obtidas da secagem por convecção a 60°C tiveram os melhores resultados em termos de qualidade nutricional, características de reidratação e propriedades estruturais, comparando-se com aquelas obtidas da liofilização. Na avaliação do uso das sementes após o processamento das pimentas para obtenção de novas mudas, a temperatura mais adequada foi de 40°C por causar menos prejuízo a capacidade germinativa.

Palavras-Chave: Pimenta dedo-de-moça. Secagem convectiva. Liofilização. Reidratação. Ácido ascórbico. Germinação.

ABSTRACT

The cultivation of pepper is widespread in Brazil since its colonization. This plant, besides being much appreciated in the cuisine has proven pharmacological effects such as lowering cholesterol, inhibiting appetite and the presence of antioxidants such as ascorbic acid and beta-carotene. It is a product whose demand increases every year, but generally still produced handmade diminish the ability of producers to meet the needs of commerce. To contribute to improving the production of pepper *dedo-de-moça*, it was the behavior of this plant in analyzing the influence of drying process on the nutritional composition and physical qualities of the dried product. For this, drying kinetics were obtained and certain structural properties (apparent density, real density and porosity) as a function of moisture content during drying. Assessing the quality of the final product was performed by quantification of ascorbic acid and study of rehydration. The convective drying and freeze-drying was compared with respect to product quality parameters such as shrinkage, structural properties, vitamin C retention and rehydration characteristics. To describe the kinetics of drying and rehydration were used empirical and semi-empirical equations. The characterization of the rehydration process was carried out from the indices that take account of the capacity of water absorption and loss of solutes. The use of seed from the drying of peppers to obtain seedlings was studied by checking the germination through standardized tests. The samples of convective drying at 60 °C had the best results in terms of nutritional quality, rehydration characteristics and structural properties, comparing with those obtained from freeze-drying. In assessing the use of seeds of peppers after processing to obtain new seedlings, the most suitable temperature was 40 °C to cause less damage to germination.

Keywords: Pepper *dedo-de-moça*. Convective drying. Freeze drying. Rehydration. Ascorbic acid. Germination.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE QUADROS E TABELAS.....	vii
NOMENCLATURA.....	viii
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Pimenta.....	4
2.2 Secagem.....	6
2.2.1 Secagem da Pimenta.....	7
2.2.2 Cinética de Secagem.....	9
2.2.3 Secadores.....	12
2.3 Propriedades estruturais.....	17
2.3.1 Densidade Aparente.....	17
2.3.2 Densidade Real.....	18
2.3.3 Porosidade.....	19
2.3.4 Encolhimento.....	20
2.4 Avaliação da qualidade do produto.....	21
2.4.1 Ácido Ascórbico (Vitamina C).....	21
2.4.2 Reidratação.....	22
2.4.3 Germinação.....	25
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
3.1 Material.....	28
3.2 Equipamentos.....	29
3.2.1 Secador Convectivo.....	29
3.2.2 Liofilizador.....	30
3.3 Procedimentos Experimentais.....	31
3.3.1 Secagem.....	31
3.3.2 Propriedades Estruturais.....	32
3.3.3 Avaliação da Qualidade do Produto.....	35
3.4 Procedimento de Cálculo.....	37

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4.1 Secagem.....	39
4.2 Propriedades Estruturais.....	49
4.3 Avaliação da Qualidade do Produto.....	57
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	67
5.1 Conclusões.....	67
5.2 Sugestões.....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1:	Foto da pimenta dedo-de-moça em corte longitudinal exibindo suas sementes e as demais estruturas morfológicas.....	5
Figura 3.1:	Pimenta e amostra em forma de placa 4,0x1,0 cm	28
Figura 3.2:	Unidade de secagem convectiva: 1) soprador; 2) aquecedor elétrico; 3) controlador de temperatura; 4) sistema de homogeneização do ar e 5) câmara de secagem.....	29
Figura 3.3:	Fotografia do liofilizador utilizado nos experimentos.....	30
Figura 3.4:	Aparato utilizado no congelamento com nitrogênio líquido: 1) recipiente adiabático; 2) recipiente com nitrogênio líquido e 3) material isolante.....	32
Figura 3.5:	Foto da solução de pimenta antes (a) e depois (b) da titulação.....	35
Figura 4.1:	<i>MR</i> em função do tempo para a secagem de pimenta em secador convectivo nas velocidades de a) 1,5m/s; b) 2,0m/s e c) 2,5m/s parametrizados na temperatura do ar.....	40
Figura 4.2:	<i>MR</i> em função do tempo na secagem de pimenta nas temperaturas de a) 50°C; b) 60°C e c) 70°C parametrizados na velocidade do ar.....	41
Figura 4.3:	Taxa de secagem em função do teor de umidade (b.s) nas velocidades de a) 1,5m/s; b) 2,0m/s e c) 2,5m/s parametrizados na temperatura.....	43
Figura 4.4:	Taxa de secagem em função do teor de umidade (b.s) nas temperaturas de a) 50°C; b) 60°C e c) 70°C parametrizados na velocidade do ar.....	44
Figura 4.5:	Parâmetro <i>n</i> em função da velocidade do ar na secagem.....	48
Figura 4.6:	Densidade aparente em função do teor de umidade (b.s).....	51
Figura 4.7:	Densidade real em função do teor de umidade (b.s).....	53
Figura 4.8:	Porosidade em função da umidade (b.s) das amostras desidratadas por convecção.....	54
Figura 4.9:	Encolhimento da pimenta em função de <i>MR</i> durante a secagem convectiva nas velocidades a) 1,5m/s; b) 2,0m/s e c) 2,5m/s parametrizados na temperatura do ar.....	55

- Figura 4.10: Deformações de uma amostra durante a secagem convectiva a 1,5 m/s e 50°C e o tempo de permanência desta no equipamento. 56
- Figura 4.11: Razão de reidratação em função do tempo para as amostras secas nas velocidades de a) 1,5m/s; b) 2,0m/s e c) 2,5m/s parametrizadas na temperatura do ar..... 60

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 2.1:	Principais trabalhos com secagem do gênero <i>Capsicum</i>	8
Quadro 2.2:	Equações para cinética de secagem.....	12
Quadro 2.3:	Equações mais utilizadas para cinética de reidratação.....	23
Tabela 4.1:	Critérios estatísticos dos ajustes às equações em 1,5m/s.....	46
Tabela 4.2:	Critérios estatísticos dos ajustes às equações em 2,0m/s.....	46
Tabela 4.3:	Critérios estatísticos dos ajustes às equações em 2,5m/s.....	46
Tabela 4.4:	Parâmetros ajustados com as equações de secagem para 1,5m/s.....	47
Tabela 4.5:	Parâmetros ajustados com as equações de secagem para 2,0m/s.....	47
Tabela 4.6:	Parâmetros ajustados com as equações de secagem para 2,5m/s.....	47
Tabela 4.7:	Parâmetros das equações de ajustes das amostras liofilizadas.....	49
Tabela 4.8:	Densidades aparentes das amostras em estudo.....	50
Tabela 4.9:	Densidades reais das amostras em estudo.....	52
Tabela 4.10:	Teor de vitamina C nas amostras <i>in natura</i> em cada experimento.....	57
Tabela 4.11:	Conteúdo de vitamina C nas amostras secas.....	58
Tabela 4.12:	Parâmetros da equação Exponencial e critérios estatísticos.....	61
Tabela 4.13:	Parâmetros da equação de Peleg e critérios estatísticos.....	61
Tabela 4.14:	Parâmetros da equação de Weibull e critérios estatísticos.....	62
Tabela 4.15:	Índices de reidratação das amostras secas de pimenta.....	63
Tabela 4.16:	Resultados do teste de germinação.	65

NOMENCLATURA

a, b, k, n	parâmetros relativos às equações de cinética de secagem dimensionais ou adimensionais dependendo da equação	
I	radiação incidente superficial	[MT ⁻³]
k ₁ , k ₂	parâmetros relativos às equações de reidratação dimensionais ou adimensionais dependendo da equação	
m	massa	[M]
MR	$= \frac{X-X_e}{X_0-X_e}$, umidade adimensional	[-]
N	número de pontos experimentais	
P	pressão	[ML ⁻¹ T ⁻²]
R ²	coeficiente de determinação	
RR _e	parâmetro relativo às equações de reidratação dimensional ou adimensional dependendo da equação	
RR	razão de reidratação	[-]
S	teor de sólido seco	[-]
t	tempo	[T]
T	temperatura	[θ]
T _f	temperatura do fluido	[θ]
T _g	temperatura de transição vítrea	[θ]
U _{bs}	umidade em base seca	[-]
U _{bu}	umidade em base úmida	[-]
v	velocidade do fluido	[LT ⁻¹]
V	volume	[L ³]
V _a	volume da câmara da amostra	[L ³]
V _A	volume da alíquota	[L ³]
V _e	volume da câmara de expansão	[L ³]
V _T	volume de titulação	[L ³]
X	teor de umidade em base seca	[-]

SÍMBOLOS GREGOS

ε	porosidade da amostra	[-]
---	-----------------------	-----

ρ	densidade	[ML ⁻³]
β, α	parâmetros relativos às equações de reidratação dimensionais ou adimensionais dependendo da equação	

SUBSCRITOS

0	estado inicial
AF	aferido
ap	aparente
ar	ar
bs	base seca
bu	base úmida
cr	crítica
e	equilíbrio
exp	experimental
hex	hexano
pim	pimenta
pic	picnômetro
pred	predito
r	real
re	reidratação
s	matéria seca
t	total
tit	titulado na padronização da solução indicadora

ABREVIações

Aa	ácido ascórbico
b.s	base seca
CAA	capacidade de absorção de água
CLAE	cromatografia líquida de alta eficiência
CR	capacidade reidratação
CRS	capacidade de retenção da matéria seca
EMQ	erro médio quadrático
EP	entre papel

RAS	regras para análise de sementes
RR	razão de reidratação
SA	sobre areia
SQR	soma dos quadrados dos resíduos
SP	sobre o papel
TPG	teste padrão de germinação

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Atualmente, as lavouras de pimenta apresentam-se como um dos melhores exemplos de cultura familiar e integração do pequeno agricultor com a agroindústria no Brasil. A crescente demanda do mercado, estimado em 80 milhões de reais ao ano, tem impulsionado o aumento da área cultivada e o estabelecimento de agroindústrias, tornando o agronegócio de pimentas um dos mais importantes do país (EMBRAPA, 2009).

Além do aspecto comercial, há um grande interesse por seus efeitos farmacológicos benéficos ao ser humano. A pimenta possui ação vasodilatadora e estimula a produção de endorfina no cérebro, hormônio que produz a sensação de bem-estar. A ação antioxidante também já foi comprovada e é atribuída à presença de ácido ascórbico (vitamina C) e beta caroteno (RIETJENS et al., 2002; ALVES, 2002; ZÚÑIGA; JIMÉNES; GORDILLO, 2005;).

A vitamina C é conhecida como uma vitamina termolábil, que perde sua atividade devido a um número de fatores incluindo pH, umidade, oxigênio, temperatura e catalisadores de íons metálicos (UDDIN et al., 2002). Um dos maiores interesses da indústria de alimentos é garantir a máxima retenção dos nutrientes durante o processamento e estocagem e, segundo Gregory (1996), o ácido ascórbico pode servir como um índice de qualidade nutricional dos alimentos.

Os vegetais, como um todo, apresentam-se como um meio propício para o desenvolvimento de microorganismos e a ação de enzimas deteriorantes pelo seu elevado grau de umidade no momento da colheita. A redução dessa umidade, que pode ser feita pela aplicação do processo de secagem, limita o teor de água presente no alimento aumentando o tempo de vida de prateleira dos produtos.

A secagem convencional com ar é um dos processos mais usados na desidratação de alimentos (KROKIDA; KARATHANOS; MAROULIS, 1998). Quando ar quente escoa sobre um material úmido, calor é transferido para a superfície, evaporando a água. O vapor de água difunde-se através de uma camada limite, sendo levado pela corrente de ar. Com isso, cria-se uma região de baixa pressão de vapor de água na superfície do material e uma diferença de pressão de vapor de

Introdução

água é estabelecida entre o interior úmido do material e o ar seco (FELLOWS, 2000).

Outro processo de secagem é a liofilização, onde a água contida no produto é retirada por sublimação (MUJUMDAR, 1987; PITOMBO, 1989). Devido às baixas temperaturas e a inexistência de ar, a liofilização é indicada para substâncias termolábeis, materiais biológicos e farmacêuticos (LOMBRAÑA; IZKARA, 1996). Quando é usada na secagem de alimentos, resulta em produtos com grande valor agregado, pois conforme Krokida, Karathanos e Maroulis (1998), os alimentos liofilizados costumam apresentar propriedades de alta qualidade, tais como baixa densidade aparente, alta porosidade, sabor apreciável, retenção de aromas e excelente capacidade de reidratação quando comparados com produtos obtidos por outros processos de secagem.

Durante a secagem, as propriedades osmóticas das paredes celulares dos alimentos podem ser reduzidas (KAYMAK-ERTEKIN, 2002) e para medir esses danos, bem como a perda de integridade e a redução das propriedades hidrofílicas verifica-se a capacidade de reidratação. Durante a reidratação, a água é absorvida rapidamente nos estágios iniciais, e depois a taxa de absorção diminui gradualmente até o teor de umidade de equilíbrio, quando a água preencheu todos os poros e o alimento atingiu um teor de umidade próximo ao do original (MARQUES; PRADO; FREIRE, 2009).

Um dos grandes desafios para os produtores rurais é minimizar as perdas no processamento da sua produção. No caso da cultura da pimenta, Peter et al., (2005) comentaram que, apesar da crescente demanda pelo produto, as formas de processamento continuavam artesanais. Geralmente, a produção é espalhada em terreiros para secar sob a ação do sol resultando em grandes perdas e contaminação.

Assim como em qualquer outra cultura agrícola, a da pimenta necessita ter sua lavoura renovada com o plantio de novas mudas. Para isso, é necessário o uso de sementes de qualidade que, geralmente, possuem preços elevados. Devido a essa necessidade, é crescente o interesse de produtores rurais de aproveitar parte de suas sementes para o plantio.

Para avaliar a qualidade das sementes utiliza-se o teste padrão de germinação (TPG). No caso da pimenta podem ser usados substratos de papel ou areia. As sementes junto com o substrato escolhido são acondicionadas em estufa

Introdução

climatizada por até 14 dias e então, contabilizadas as que se desenvolveram. Esse teste visa mostrar se a semente possui um embrião apto a gerar uma planta saudável sob condições ambientais favoráveis (BRASIL, 2009).

Apesar da popularidade da pimenta dedo-de-moça, os trabalhos sobre sua secagem são escassos. Os dois trabalhos presentes na literatura mais direcionados ao tema secagem são os de Chaves (2009) e Peter et al., (2005). No primeiro, foram avaliadas as características de reidratação e cinética de secagem em liofilizador e o segundo, verificou a cinética de amostras secas por ar aquecido com gás GLP.

Sob esse contexto, o presente trabalho tem como objetivos fornecer informações sobre a cinética de secagem da pimenta dedo-de-moça em secador convectivo, a influência desse tratamento no conteúdo de vitamina C e na reidratação, confrontar os resultados obtidos desse secador com os resultantes do processo de liofilização e verificar a viabilidade do uso das sementes como subproduto da secagem. Para alcançar tal objetivo, foram seguidas as seguintes etapas:

- estudo da cinética de secagem em secador convectivo em função de variáveis como temperatura e velocidade do ar;
- avaliação das propriedades estruturais como densidade, porosidade e encolhimento com relação ao processo de secagem;
- avaliação da qualidade do produto seco pela verificação do seu conteúdo de vitamina C e seu comportamento durante a reidratação;
- estudo da cinética de secagem em liofilizador a fim de comparar com os resultados obtidos na secagem convectiva já que o processo de liofilização é considerado padrão e
- verificar por meio de testes padrões a viabilidade do aproveitamento das sementes após a secagem do fruto.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo apresenta-se uma revisão dos principais trabalhos encontrados na literatura com relação à matéria-prima, processo de secagem, propriedades estruturais e a avaliação da qualidade do produto seco dando embasamento ao que foi proposto.

2.1 Pimenta

As pimentas constituem um grupo de espécies botânicas com características próprias, que produzem frutos geralmente com sabor picante, embora também existam pimentas doces (REIFSCHNEIDER, 2000). A planta é arbustiva, atingindo 120 cm de altura, com ampla formação de ramificações laterais e possibilidade de tornar-se perene. Normalmente é autopolinizada, todavia a polinização cruzada pode ocorrer (CAMARGO, 1984).

O gênero *Capsicum* possui cerca de 25 espécies, sendo apenas cinco domesticadas: *C. annuum* L. var. *annuum* (pimentão), *C. baccatum* L. var. *pendulum* (pimenta dedo-de-moça), *C. chinense* Jacq. (pimenta-de-cheiro), *C. frutescens* L. (pimenta malagueta) e *C. pubescens* (pimenta rocoto). As demais espécies são semidomesticadas e silvestres (REIFSCHNEIDER, 2000; HUNZIKER, 1979)

As pimentas, assim como os pimentões, pertencem à família Solanaceae, gênero *Capsicum* spp. e são originárias das Américas. O Brasil se destaca como o país possuidor de maior número de espécies silvestres do gênero, pois a sua distribuição natural, além da zona andina (Argentina-Venezuela) que vai até América Central, predomina também na zona litorânea brasileira mas sua origem exata é controversa: alguns pesquisadores acreditam que elas surgiram na Bacia Amazônica, enquanto outros afirmam que se originaram na América Central ou ainda no México (BONTEMPO, 2007; BIANCHETTI, 1996).

O cultivo de pimentas era uma característica de tribos indígenas brasileiras quando do descobrimento do Brasil. Com a imensa variabilidade de pimentas nativas, diversas tribos cultivavam e colhiam pimentas; e o plantio por

Revisão Bibliográfica

tribos indígenas continua até hoje, como entre os índios mundurucus, da bacia do rio Tapajós (EMBRAPA, 2009).

As pimentas conquistaram o mundo e o comércio das especiarias com o seu colorido, ardor e beleza. As variedades do gênero *Capsicum* são presença obrigatória na culinária de quase todos os povos (LINGUANOTTO NETO, 2004). No Brasil, são produzidas algumas dezenas de variedades dessas pimentas. Apesar do cultivo ainda ser feito de maneira rústica, é um mercado que movimenta em torno de 80 milhões de reais por ano, incluindo o consumo interno e as exportações. Apenas a comercialização de sementes é responsável por um mercado de mais de três milhões de reais anuais. As pimentas vermelhas respondem pelo terceiro lugar em produção e consumo de hortaliças para tempero no Brasil, ficando atrás apenas do alho e da cebola (REIFSCHNEIDER, 2000).

A pimenta da espécie *Capsicum baccatum* é conhecida popularmente como dedo-de-moça, pimenta caiena ou chifre-de-veado. Essa espécie apresenta-se na cor vermelha quando madura e mede cerca de 7,0 cm de comprimento. Atualmente é uma pimenta que está presente nas especiarias dos países da América latina, nos Estados Unidos e no Japão. É consumida *in natura* ou na forma de molhos, pastas e desidratada com as sementes que é popularmente denominada de calabresa (EMBRAPA, 2009). A Figura 2.1 apresenta a foto de um fruto de pimenta dedo-de-moça em corte longitudinal exibindo suas sementes e as demais estruturas morfológicas.

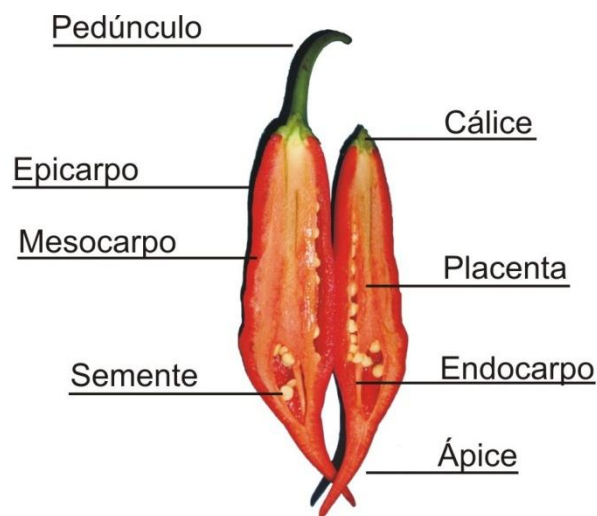


Figura 2.1: Foto da pimenta dedo-de-moça em corte longitudinal exibindo suas sementes e as demais estruturas morfológicas.

Revisão Bibliográfica

Segundo Bontempo (2007) o principal produtor dessa pimenta no Brasil é o município de Turuçu no estado do Rio Grande do Sul. O método de secagem mais empregado nesse local é o natural. As pimentas, após a colheita, são espalhadas em terreiros a céu aberto e retiradas quando estão secas. A duração do processo de secagem varia com a intensidade solar e dos ventos (PETER *et al.*, 2005).

Todo esse processo além de ser muito demorado, não garante a qualidade e a higiene do produto, pois toda a produção fica sujeita a contaminação de diversas fontes. Além disso, qualquer mudança inesperada no clima pode destruir tudo o que foi colhido. Assim, é mais do que necessário pesquisar meios de aperfeiçoar o processamento desse tipo de produto.

2.2. Secagem

A secagem é um dos processos mais difundidos de transferência de calor e massa, com aplicações em diversas áreas da engenharia. Além de ser um dos métodos mais usados na preservação dos alimentos, Garcia *et al.*, (2004) comentaram que a operação de secagem é fundamental no sistema de produção, por que além de reduzir a umidade, para permitir a conservação de sua qualidade fisiológica no armazenamento, possibilita a antecipação da colheita evitando perdas de natureza diversa.

Muitas vezes o processo de secagem é utilizado visando o fator econômico do frete e do manuseio e em outras situações, o material é seco para depois sofrer um processo de reidratação a níveis desejáveis. Nos produtos agrícolas e alimentícios a secagem é utilizada para preservação, permitindo que o transporte seja realizado sem necessidade de refrigeração (KEEY, 1972).

O processo de secagem de produtos como a pimenta pode ser realizado pelo método natural ou artificial. No método natural, ainda muito utilizado pelos agricultores, a umidade do material é removida pela incidência da radiação solar na superfície do vegetal que se encontra em campos ou em grandes terreiros. A fim de acelerar o processo e homogeneizar o produto, o mesmo é revolvido, o que justifica a necessidade de grande mão de obra. Embora apresente baixo custo, tanto na instalação como no consumo de energia, este método não é recomendado pelo fato do material ficar exposto às ações climáticas, muitas vezes não favoráveis ao processo (EL-SEBAIL *et al.*, 2002; PETER *et al.*, 2005; NASCIMENTO, 2009).

Revisão Bibliográfica

Na secagem dita artificial, o processo convencional de secagem por ar quente, em secadores do tipo bandeja, túnel ou esteira, ainda é muito difundido para a secagem de alimentos, devido a sua simplicidade e flexibilidade (LUNA; MARTINEZ, 1997). Sabe-se que, nesses tipos de equipamentos, o período final do processo é especialmente importante. Isso porque, nessa fase, as partes externas do material já estão secas e sua temperatura, que no início do processo era aproximadamente igual à temperatura de bulbo úmido do ar de secagem, sofre uma elevação, tendendo a igualar-se à temperatura de bulbo seco do ar. Dessa maneira, os atributos físicos, sensoriais e nutricionais do produto podem ser prejudicados (SILVA, 2007).

Com o objetivo de preservar a maior quantidade possível de nutrientes em frutas e em outros alimentos, tem-se utilizado o processo de liofilização (PITOMBO, 1989; RIGHETTO, 2003; MARQUES, 2008; CHAVES, 2009). Essa técnica de secagem retira a umidade contida no material através do congelamento da parte líquida e posterior sublimação do gelo. Por trabalhar com baixas temperaturas e, geralmente sob vácuo é um processo recomendado para materiais termossensíveis, alimentos e produtos farmacêuticos gerando produtos de qualidade superior quando comparado às outras técnicas de secagem (PITOMBO, 1989; RATTI, 2001).

Uma abordagem mais detalhada sobre a secagem da pimenta será mostrada a seguir. Mais adiante será feita uma revisão sobre os dois métodos de secagem utilizados no presente trabalho.

2.2.1 Secagem da pimenta

A pimenta, assim como outros alimentos, começou a ser desidratada pelo método de secagem natural e, no Brasil os primeiros a usar este produto na forma seca foram os índios (NASCIMENTO FILHO; BARBOSA; LUZ, 2007). Os frutos de pimentas são comercializados inteiros, em flocos com as sementes (pimenta calabresa) e em pó (páprica) (EMBRAPA, 2009).

No Quadro 2.1 encontram-se agrupados os principais trabalhos sobre secagem do gênero *Capsicum* de forma a obter uma visão geral dos avanços nas pesquisas que tratam da secagem deste material.

Revisão Bibliográfica

Observa-se a partir do quadro que a maioria dos trabalhos refere-se à secagem da espécie *Capsicum annum* L. que é conhecido no Brasil como pimentão (EMBRAPA, 2009).

Quadro 2.1: Principais trabalhos com secagem do gênero *Capsicum*.

Referências	Método/tipo de secador	Espécie de pimenta	Avaliação da Qualidade	Condições Operacionais
TURHAN e TURHAN, 1997.	Secador tipo túnel.	<i>C. annum</i> L.	Cinética.	v= 2,0 m/s; T= 50; 60; 70 e 80°C.
GUPTA <i>et al.</i> , 2002.	Estufa.	<i>C. annum</i> L.	Cor.	55; 60; 65 e 70°C.
KAYMAK-ERTEKIN, 2002.	Leito fluidizado.	<i>C. annum</i> L.	Reidratação.	v= 0,5; 1,8; 2,5; 4,1 e 4,5 m/s e 60°C.
TUNDE-AKINTUNDE; AFOLABI e AKINTUNDE, 2005.	Método natural e convectivo.	<i>C. annum</i> L.	Cinética.	v= não especificado T= 45 e 60°C.
ERGÜNEŞ e TARHAN, 2006.	Natural e estufa.	<i>C. annum</i> L.	Retenção da cor.	Pré-tratamentos, v e T não especificados.
KIM <i>et al.</i> , 2006.	Estufa.	<i>C. annum</i> L.	Atividade antioxidante. Ácido ascórbico e cor	70°C por 6h e 80°C por 5h seguidos de 60°C por 18h.
KOOLI <i>et al.</i> , 2007.	Natural e convectivo (com radiação).	<i>C. annum</i> cv. Baklouti.	Validação de modelo.	l= 0; 380; 520 e 800 W/m ² T= 32; 42 e 49°C v=0,5; 1,0 e 1,5m/s.
VEGA <i>et al.</i> , 2007.	Convectivo.	<i>C. annum</i> L.	Ajustes.	T=50; 60; 70 e 80°C v=2,5m/s.
VEGA-GÁLVEZ <i>et al.</i> , 2008.	Convectivo.	<i>C. annum</i> L.	Reidratação, cor, firmeza, vitamina C e integridade estrutural.	T=50; 60; 70 e 80 v=2,5 Reidratação a 30°C/ 24h.
SCALA e CRAPISTE, 2008.	Secador de fluxo cruzado.	<i>C. annum</i> L.	Vitamina C e Carotenóides totais.	T=50; 60 e 70°C v=0,2 e 1,2m/s.
PETER <i>et al.</i> , 2005.	Natural e secador de leito móvel.	<i>C. baccatum</i>	Cor.	T=40 e 80°C v=3,0 m/s.
CHAVES, 2009.	Liofilizador.	<i>C. baccatum</i> .	Reidratação.	

Na comparação da secagem natural com a artificial, a maioria dos autores verificou que o método artificial produziu amostras com qualidade superior em relação à cor e ao teor nutricional que são atributos comercialmente atraentes. (TUNDE-AKINTUNDE; AFOLABI; AKINTUNDE, 2005; PETER *et al.*, 2005; ERGÜNEŞ; TARHAN, 2006).

Revisão Bibliográfica

Com relação à retenção da cor, inúmeros tipos de pré-tratamentos já foram testados. Ergüneş e Tarhan (2006), por exemplo, examinaram seis formulações que envolviam oleato de etila, hidróxido de sódio e carbonato de potássio em diferentes concentrações. No entanto, nenhum desses pré-tratamentos forneceu um produto com a característica desejada de uma cor vermelha forte. Já Vega-Gálvez *et al.*, (2008) verificaram que as amostras que passaram pelo pré-tratamento de imersão por 10 minutos em solução contendo 20% (m/m) de NaCl, 1,0% (m/m) de CaCl₂ e 0,3% (m/m) de Na₂S₂O₅, antes da secagem, conservaram a cor vermelha em 76% contra 18% das que ficaram sem pré-tratamento.

Com relação a pimenta dedo-de-moça, Peter *et al.*, (2005) verificaram que a secagem artificial ou convectiva se sobrepusera à natural com relação ao tempo exigido para se atingir a umidade desejada 10%(b.s). Além disso, os autores concluíram que aspectos sensoriais como cor também tiveram melhores resultados na secagem por convecção.

Chaves (2009) analisando a secagem de *Capisicum baccatum* em liofilizador, estudou a influência do tipo de congelamento (freezer convencional e nitrogênio líquido) da amostra na cinética de secagem e verificou a capacidade de reidratação do produto seco. O método usado no congelamento não influenciou de forma significativa o tempo de secagem e no processo de reidratação a pimenta liofilizada chegou a re-absorver cerca de 90% do teor de umidade inicial.

2.2.2 Cinética de Secagem

Com o objetivo de buscar melhorias à secagem da pimenta dedo-de-moça, torna-se necessário conhecer os fenômenos simultâneos de transferência de calor e massa entre a fase sólida e fluida envolvidos no processo.

Para isso, a compreensão desses fenômenos depende de investigações a partir de estudos específicos frente à cinética de secagem que permitam, através de dados da umidade do material em função do tempo, conhecer os mecanismos predominantes na transferência de massa do material para o fluido. Além disso, possibilita estabelecer as equações da umidade em função do tempo para diferentes períodos de taxa de secagem que deve ser relacionada a um determinado produto e uma determinada operação.

Revisão Bibliográfica

A evolução das transferências simultâneas de calor e de massa, no curso da operação de secagem, faz com que esta seja dividida em três períodos: período 0 ou período em que se entra em regime operacional; período 1 ou período de secagem à taxa constante e período 2 ou de secagem à taxa decrescente (PRADO; ALONSO; PARK, 2000).

A duração do período de taxa constante depende dos coeficientes de transferências de calor e massa, área exposta, geometria, diferenças de temperaturas, velocidades e umidades entre o fluido de secagem e a superfície do sólido, além da constituição do próprio material a ser seco.

O término deste período é alcançado, quando a migração interna de água para a superfície não consegue mais suprir a taxa de evaporação da água livre da superfície, sendo o valor de umidade deste estado denominado de umidade crítica (X_{cr}) (FORTES; OKOS, 1980). A partir deste ponto, a velocidade de migração da umidade do interior para a superfície do material diminui em função do tempo de secagem; causando um desequilíbrio entre a transferência de calor e a transferência de massa. Conseqüentemente, a temperatura da superfície do material se eleva e a taxa de secagem decresce rapidamente, ficando a taxa de secagem dependente das condições internas do material. Denomina-se esta etapa de período de taxa decrescente.

Nesse período a migração da umidade começa a controlar o processo de secagem, podendo ser constituído por duas ou mais fases, nas quais são propostos vários mecanismos para descrever a transferência de umidade em produtos capilares e porosos, entre as quais se tem: o escoamento capilar do líquido, difusão do vapor devido à diferença de concentração, difusão térmica do vapor e movimento do líquido e vapor devido à diferença de pressão total (PINTO, 1996; SENADEERA *et al.*, 2003).

Segundo Villar (1999), as curvas de secagem à taxa decrescente podem ser côncavas, convexas ou aproximar-se de uma linha reta. Podem apresentar um ponto de inflexão, quando ocorre uma mudança na forma física do material, como contração ou ruptura, ou quando há formação de uma película na superfície do mesmo parcialmente seco.

Na secagem de produtos agrícolas, o período de taxa decrescente é quase sempre o predominante (OLIVEIRA; OLIVEIRA; PARK, 2006; RODRIGUES *et al.*, 2002; GUPTA *et al.*, 2002). Os trabalhos encontrados sobre a secagem de

Revisão Bibliográfica

pimentas mostraram que para este tipo de material também não há período de taxa constante (TURHAN; TURHAN, 1997; KAYMAK-ERTEKIN, 2002; TUNDE-AKINTUNDE; AFOLABI; AKINTUNDE, 2005; ERGÜNEŞ; TARHAN, 2006; SCALA; CRAPISTE, 2008). Esse comportamento na secagem da pimenta ocorre, provavelmente, devido a sua composição coloidal e hidrofílica (KAYMAK-ERTEKIN, 2002). Dessa maneira, mesmo havendo umidade superficial livre, a água pode estar na forma de suspensão de células e de solução (açúcares e outras moléculas), apresentando uma pressão de vapor inferior à da água pura.

A taxa de secagem pode ser acelerada com o aumento da temperatura do ar de secagem e, ou, com o aumento do fluxo de ar que passa pelo produto por unidade de tempo. A quantidade de ar utilizada para a secagem depende de vários fatores, entre eles: umidade inicial do produto e espessura da camada.

Diversos autores (FEMENIA, 2000; GUPTA *et al.*, 2002; KROKIDA; MARINOS-KOURIS, 2003) analisando a cinética de secagem de frutas e legumes, consideraram a temperatura do ar como o parâmetro de maior influência na taxa de secagem. Concluíram ainda que a velocidade do ar de secagem não alterou de maneira significativa o processo.

A fim de tentar descrever a curva característica da cinética de secagem de produtos agrícolas, a literatura disponibiliza várias equações empíricas e semi-empíricas. Geralmente, os estudos têm como objetivo a busca da representação da cinética de secagem que melhor se ajuste aos dados experimentais e, assim, obter as equações de taxa de secagem para a utilização na modelagem do problema (MASSARANI; TELLES, 1992).

O Quadro 2.2 apresenta as equações de secagem semi-empíricas mais utilizadas na secagem de frutas, legumes e hortaliças.

A Equação 2.1, foi proposta por Lewis (1921) em analogia à lei do resfriamento de Newton a qual estabelece uma proporcionalidade entre a taxa de secagem e o teor de água livre contida na partícula. As Equações 2.2 a 2.4 são oriundas das modificações empíricas da equação de Lewis (1921), sendo k e n parâmetros ajustáveis.

Revisão Bibliográfica

Quadro 2.2: Equações para cinética de secagem.

Equação	Referências
$MR = \exp(-k.t)$ (2.1) $k = a.\exp(-b/T_f)$	Lewis (1921) <i>apud</i> Barrozo <i>et al.</i> , 2004
$MR = \exp(-k.t^n)$ (2.2) <i>onde</i> $k = a.\exp(-b/T_f)$	Page (1949) <i>apud</i> Barrozo <i>et al.</i> , 2004.
$MR = a.\exp(-k.t)$ (2.3) $k = a.\exp(-b/T_f)$	Brooker <i>et al.</i> , (1974) <i>apud</i> Barrozo <i>et al.</i> , 2004
$MR = \exp[-(k.t)^n]$ (2.4) $k = \exp(a+b/T_f)$	Overhults <i>et al.</i> , (1973) <i>apud</i> Nascimento (2009)

Sendo que,

$$MR = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (2.5)$$

onde X é a umidade em um determinado tempo do processo, X_e é a umidade de equilíbrio e X_0 é a umidade da amostra inicial. T_f é a temperatura do fluido, t é o tempo de secagem e a , b , c e k são constantes.

O parâmetro k , denominado constante de secagem varia com a temperatura segundo uma função do tipo Arrhenius. Os parâmetros reunidos no Quadro 2.2 apresentam forte dependência com as variáveis operacionais para os quais foram estimados.

A equação de Page (1949), Equação 2.2, é, provavelmente, a mais usada para representar as curvas de secagem por convecção forçada de materiais orgânicos como batatas (AKPINAR; BICER; YILDIZ, 2003), arroz (IGUAZ *et al.*, 2003), vagem, ervilha (SENADEERA *et al.*, 2003) e pimentões (KAYMAK-ERTEKIN, 2002; TURHAN; TURHAN, 1997).

2.2.3 Secadores

Neste subitem será feita uma abordagem sobre a secagem convectiva e a liofilização, pois foram estes os métodos usados neste trabalho para a obtenção da pimenta na forma seca.

Secagem Convectiva

Os secadores convectivos têm sido muito usados na desidratação de frutas e legumes por serem mais simples para se construir e econômicos (em termos de manutenção) quando comparados a outros modelos (ALVES; SILVEIRA, 2002; MACHADO *et al.*, 2008).

A secagem convectiva é considerada como um processo simultâneo de transferência de massa e calor, onde a água é transferida por difusão do interior do material para sua superfície e desta para a corrente de ar por convecção.

Assim, parte do calor que é transferido ao produto é utilizada para vaporizar a água (calor latente de vaporização), ou seja, a quantidade de calor que causa mudança de estado físico, mas não de temperatura. A outra parte da energia em movimento é utilizada para elevar a temperatura do material (calor sensível) isto é, a quantidade de calor que não causa mudança de estado físico, apenas aumenta a temperatura. Durante este processo, para determinadas unidades do fluido e sólido, os fatores que influenciam a taxa de secagem são: velocidade do ar de secagem, temperatura do ar de secagem e a geometria da amostra, assim como as propriedades físicas do material (FORTES; OKOS 1980).

Diante disso foi feita uma busca de informações na literatura com o enfoque na secagem de pimentas e frutas em geral, quanto à influência da velocidade e da temperatura do ar de secagem, bem como, dos efeitos da forma geométrica das amostras na redução de umidade do produto.

- Influência da velocidade

A velocidade é uma variável que, geralmente, influencia nos valores de taxa de secagem no período de taxa constante, aumentando de valor à medida que a velocidade do ar também aumenta (ÜRETİR; ÖZILGEM; KATNAŞ, 1996). Para o período de taxa de secagem decrescente, no qual há predominância do mecanismo difusivo, o efeito da velocidade do ar de secagem praticamente não é notado sobre a constante da taxa de secagem.

No caso da pimenta e de outros alimentos como frutas e hortaliças, a velocidade é um fator que, na maioria das vezes, não causa influência perceptível na taxa de secagem. Para pimentões, Scala e Crapiste (2008), relataram que a taxa de secagem desse material em secador convectivo não sofreu influência da velocidade

Revisão Bibliográfica

do ar. A mesma observação foi feita para o quiabo, kiwi e figo (DOYMAZ, 2004; SIMAL *et al.*, 2005; BABALIS; BELESSIOTIS, 2004) em que os autores afirmaram que a evaporação da água na superfície do material se torna menos significativa à medida que o mecanismo difusivo passa a governar o processo. Assim, a influência da temperatura é de fundamental importância no período de taxa decrescente.

- Influência da temperatura

A temperatura é a variável que apresenta um efeito mais pronunciado no processo de secagem da maioria das frutas, legumes e vegetais. Ela está relacionada com a quantidade de calor fornecido externamente e determina a pressão parcial de vapor do sólido e a pressão de vapor de saturação do ar ambiente nas condições usuais de operação de secadores convectivos.

As constantes de secagem das equações apresentadas no Quadro 2.2 sofrem grande influência da variável temperatura. Como comentado no sub-item 2.2.2, a dependência das constantes de secagem em relação a temperatura é geralmente expressa pela equação de Arrhenius:

$$k = k_0 \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{R \cdot T_f}\right) \quad (2.6)$$

onde k é a constante da taxa de secagem à temperatura do experimento, k_0 é a constante da taxa de secagem à temperatura do experimento padrão a 25°C, E_a é a energia de ativação, R é a constante dos gases ideais, e T_f é a temperatura do ar na secagem.

Maroulis, Kiranoudis e Marinos-Kouris (1995), comentaram que esta relação possibilita avaliar a força motriz necessária para a transferência de massa durante a secagem de alimentos.

O valor da energia de ativação pode ser relacionado com a forma do material a ser seco ou com a presença de barreiras físicas como a pele ou casca. Senadeera *et al.*, (2003) estudaram a secagem de feijões, ervilhas e batatas e verificaram que os menores valores de E_a foram para as batatas sem casca e com o formato de um paralelepípedo de 1:1. O resultado obtido foi atribuído à falta da barreira física natural do produto (casca) e a forma geométrica utilizada que forneceu maior superfície de contato.

Revisão Bibliográfica

No caso das pimentas e pimentões os trabalhos encontrados utilizaram pré-tratamentos com soluções químicas a fim de diminuir a impermeabilidade natural do produto. Pimentões vermelhos (*Capsicum annum* L.) que sofreram pré-tratamento com soluções de cloreto de cálcio (CaCl_2) e metabissulfito de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) apresentaram maiores valores de E_a comparados aos que não tiveram pré-tratamento (VEGA-GÁLVEZ *et al.*, 2008).

Liofilização

A técnica de secagem chamada de liofilização retira a água contida no produto através de congelamento da parte líquida e posterior sublimação (MUJUMDAR, 1987; PITOMBO, 1989).

Devido às baixas temperaturas e à inexistência de ar, esse tipo de secagem é indicado para substâncias termolábeis, materiais biológicos e farmacêuticos (LOMBRAÑA; IZKARA, 1996). Quando é usada na secagem de alimentos, resulta em produtos com grande valor agregado. Conforme Krokida, Karathanos e Maroulis, (1998), os alimentos liofilizados são caracterizados por apresentarem propriedades de alta qualidade, tais como pequena densidade aparente, alta porosidade, sabor apreciável, retenção de aromas e excelente reidratação, comparados com produtos obtidos por outros processos de secagem.

As vantagens da liofilização em comparação com outros métodos são:

- redução de reações oxidativas, desnaturação e outros processos degradantes que geralmente ocorrem na secagem de alimentos (MUJUMDAR, 1995);

- o produto seco pode ser reconstituído com grande facilidade, pois apresenta estrutura porosa com integridade suficiente para tornar o produto permeável;

- as propriedades físicas e químicas do material são preservadas e

- o encolhimento é mínimo, não ocorrem camadas duras e impermeáveis e não há migração de sólidos solúveis para a superfície durante a secagem.

O processo de liofilização se divide em três etapas principais: congelamento, sublimação e dessorção.

Primeiramente, o produto é refrigerado para, a seguir, sofrer um congelamento rápido até uma temperatura bem reduzida que, normalmente, está na

Revisão Bibliográfica

faixa de -30°C a -50°C . Esta etapa é muito importante, uma vez que vai definir a forma, o tamanho e a distribuição dos poros na camada seca formada durante a sublimação influenciando, conseqüentemente, os parâmetros que caracterizam a transferência de massa e de calor no produto seco durante a secagem primária e secundária. Por outro lado, se os cristais de gelo formados forem pequenos e descontínuos então a taxa de transferência de massa de vapor de água pode ser limitada. Por outro lado, se o tamanho dos cristais de gelo estiver formado de maneira apropriada e homogênea, a taxa de transferência de massa de vapor de água na camada seca pode ser elevada e o produto pode secar mais rapidamente (LIAPIS; PIKAL; BRUTINI, 1996).

A liofilização, propriamente dita, se dá pela sublimação da umidade em câmara especial. Também chamada de secagem primária, é um fenômeno essencialmente endotérmico e, por esse motivo, deve ser fornecido calor ao sistema durante todo o processo que pode ser feito de diversas maneiras: mecanismos de condução, radiação ou combinados (convecção/radiação, condução/radiação). Se esta umidade for formada por água pura congelada, então a sublimação ocorrerá à pressão absoluta de 4,58 mmHg ou 6,1 mbar. A secagem nessas condições, além de ser feita numa temperatura na qual os processos biológicos cessam, evita a transferência de substâncias solúveis para a periferia da amostra. O final da secagem primária e o início da secagem secundária acontecem quando não mais existir camada congelada, ou seja, quando não existir a interface de sublimação.

A dessorção, ou secagem secundária, consiste na retirada da água não “congelável” (ligada a estrutura do material). Esta etapa ocorre também sob vácuo, em velocidade menor do que na sublimação e com temperatura superior a 0°C . O tipo de fornecimento de calor é o mesmo que na sublimação e a temperatura não deve exceder 30 ou 50°C , dependendo do material (LUCCAS, 1998). Essa etapa acontece até que a umidade residual seja tão pequena quanto a que o material necessite para manter sua estabilidade e qualidade por longo tempo.

A aplicação desse procedimento visa melhorar a estabilidade de frutas e produtos farmacêuticos através da diminuição da atividade de água, minimizando reações químicas e físicas durante a armazenagem e agregando valor ao produto. Nesse sentido, Chaves (2009) verificou elevada porosidade (0,93) e boa reidratação da pimenta dedo-de-moça liofilizada.

Revisão Bibliográfica

2.3 Propriedades estruturais

Os processos de secagem envolvem a transferência simultânea de calor e massa, bem como alguns fenômenos termodinâmicos e modificações significativas para as propriedades físicas dos produtos alimentícios como a densidade, a porosidade e o encolhimento.

2.3.1 Densidade Aparente (ρ_{ap})

Em um material úmido, como uma amostra vegetal, pode-se assumir que sua massa total é formada por sólidos secos, água e ar como mostra a equação a seguir:

$$m_t = m_s + m_{\text{água}} \quad (2.6)$$

onde m_t , m_s e $m_{\text{água}}$ são a massa total, do sólido seco e da água respectivamente. Nesse caso a massa do ar é desprezada. Já o volume total da amostra é descrito da seguinte maneira:

$$V_t = V_s + V_{\text{água}} + V_{\text{ar}} \quad (2.7)$$

onde V_t , V_s , $V_{\text{água}}$ e V_{ar} são o volume total, do sólido, da água e do ar respectivamente. O volume do ar refere-se apenas ao que está nos poros.

Assim, a densidade aparente (ρ_{ap}) é definida como a razão entre a massa e o volume total ocupado pela amostra incluindo os poros e calculada através da seguinte equação:

$$\rho_{ap} = \frac{m_t}{V_t} \quad (2.8)$$

A densidade aparente varia entre a densidade da água e a densidade do material totalmente seco. Em altos teores de umidade, seu valor se aproxima da densidade da água enquanto que, em baixos teores de umidade ela tende para o

Revisão Bibliográfica

valor da densidade do material seco e quando se trata de material granulado costuma-se denominá-la de densidade bulk (KROKIDA; MAROULIS, 2000).

Na determinação dessa propriedade adota-se comumente como padrão a água pura que, a 4°C, possui densidade de 1,0 g/cm³. No entanto, dependendo do material a ser analisado o líquido deverá ser mudado. No caso de amostras orgânicas como vegetais, a água presente em seu interior pode interagir com a água usada como padrão causando erro na medida. Nesse caso, procura-se utilizar solventes hidrofóbicos ou apolares como hexano, heptano ou tolueno.

Guiné (2006) encontrou diferença de 2% entre o uso de tolueno e água na determinação da densidade aparente de pês. Chaves (2009) utilizou hexano na determinação dessa propriedade na pimenta dedo-de-moça *in natura* e liofilizada cujos valores encontrados foram 0,623g/cm³ e 0,180g/cm³ respectivamente.

2.3.2 Densidade Real (ρ_r)

A densidade real é obtida pela relação entre a massa total do material, m_t , e o volume real, V_r , a partir da seguinte equação:

$$\rho_r = \frac{m_t}{V_r} \quad (2.9)$$

onde $V_r = V_{\text{água}} + V_s$

Nesse caso, o volume dos poros, sejam eles abertos ou fechados, não é levado em conta.

A medida desse volume (V_s) pode ser determinada através de um aparelho que usa o princípio de Arquimedes do deslocamento de fluidos e pela lei de Boyle para determinar o volume. O deslocamento do fluido é realizado com um gás que pode penetrar até os poros mais finos e, com isso, adquirir maior precisão na medida. Por esta razão, o gás hélio é o mais usado devido seu raio atômico medir aproximadamente 3Å. Valor este que é menor do que muitos poros em amostras orgânicas ou inorgânicas (MOURA; FIGUEIREDO, 2002).

2.3.3 Porosidade (ε)

A porosidade (ε) do material expressa a razão de espaços vazios do material em relação ao volume total do mesmo. É um termo quantitativo de identificação da estrutura porosa que pode ser determinada a partir dos valores obtidos para densidade aparente e real pela seguinte equação:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_r} \quad (2.10)$$

A previsão de formação de poros em alimentos durante o processamento é necessária para o desenvolvimento de projetos, para a estimativa de outras propriedades físicas, e a caracterização da qualidade do produto (RAHMAN, 2001).

A variação na porosidade, o tamanho e a distribuição dos poros tem efeito na textura característica dos materiais secos (HUANG; CLAYTON, 1990) e é especialmente importante na sua reconstituição, controlando efetivamente a velocidade de reidratação.

A estrutura porosa dos materiais afeta propriedades de transporte como a difusividade de gases e líquidos nos alimentos. A difusividade na fase gasosa em um sólido poroso é proporcional à porosidade do material e inversamente proporcional à tortuosidade (MCMINN; MAGEE, 1997). Já em materiais higroscópicos como frutas e vegetais aumenta durante o processo de secagem dependendo do teor de umidade inicial, composição e tamanho, assim como do método de secagem (MAROUSIS; SARAVACOS, 1990).

Krokida e Maroulis (2001) verificaram que o tipo de secagem não modificou a relação da porosidade em função da umidade. Ou seja, os quatro vegetais analisados (maçã, banana, cenoura e batata) aumentaram suas porosidades à medida que o conteúdo de água era retirado nos cinco processos usados (secagem convectiva, estufa a vácuo, microondas, liofilização e desidratação osmótica).

Essa relação entre a porosidade e o conteúdo de umidade foi verificada também para a pimenta dedo-de-moça (CHAVES, 2009), abacaxi, acerola, goiaba, manga e papaya liofilizados (MARQUES, 2008).

2.3.4 Encolhimento

Uma das mudanças físicas mais importantes e visíveis que ocorrem com os alimentos durante a secagem é a redução do seu volume externo. A perda de água e o aquecimento causam estresse na estrutura celular levando a alterações na forma e causando a diminuição das dimensões desses materiais.

Os consumidores usam como primeiro parâmetro de escolha o aspecto visual dos alimentos. Conforme Mayor e Sereno (2004), o encolhimento tem uma conseqüência negativa sobre a qualidade de alguns produtos desidratados, pois mudanças na forma, perda de volume e aumento da rigidez podem provocar a rejeição do consumidor. Há, por outro lado alguns produtos secos que têm, tradicionalmente, um aspecto encolhido como as passas e ameixas secas, por exemplo. Para esses produtos, o encolhimento é um atrativo comercial.

Na literatura são encontradas diferentes abordagens para esse fenômeno que vão desde as teóricas envolvendo leis mecânicas, onde são consideradas as tensões e as deformações do material durante a secagem, até as experimentais, onde os estudos visam quantificar a dependência do volume dos materiais em função do seu teor de umidade.

Lozano, Rotstein e Urbicain (1983), desenvolveram um modelo geral para correlacionar a propriedade do encolhimento de frutas e vegetais com a diminuição do conteúdo de umidade. O encolhimento foi correlacionado com o grau de umidade de forma linear (AL-MUHTASEB; MCMINN; MAGEE, 2004; HERNANDEZ; LOBO; GONZÁLEZ, 2006; MCMINN; MAGEE, 1997). Hatamipour e Mowla (2002) relataram uma correlação linear de mudança de volume e relação empírica para a contração axial de cenouras durante a secagem em leite fluidizado.

Marques (2008) verificou que em frutas tropicais como abacaxi e mamão, a liofilização produziu um encolhimento de 6% a 17% enquanto que na secagem convectiva foi, em média, de 87,5%.

Dos poucos trabalhos com relação à secagem da pimenta da espécie *Capsicum baccatum* (CHAVES, 2009; PETER *et al.*, 2005), nenhum analisou o fenômeno do encolhimento. Assim, surge a necessidade de se fazer essa análise juntamente com a verificação do teor de vitamina C e da reidratação para avaliar a qualidade do produto seco.

2.4 Avaliação da qualidade do produto

2.4.1 Ácido Ascórbico (Vitamina C)

A vitamina C é uma das vitaminas mais importantes que podem ser encontradas em frutas e vegetais em geral. Seu principal composto, biologicamente ativo, é o ácido L-ascórbico (AA), além do seu produto de oxidação inicial ácido L-dehidroascórbico (DHA) que também possui atividade biológica (FORNARO; COICHEV, 1998).

Esse composto é fundamental para o bom funcionamento do corpo humano, pois é parte fundamental para a produção e manutenção do colágeno; responsável pela cicatrização de feridas, fraturas, contusões e sangramentos gengivais; reduz a suscetibilidade à infecção, desempenha papel importante na formação dos dentes e ossos, aumenta a absorção de ferro e previne o escorbuto (MAIA *et al.*, 2007).

Como a vitamina C não pode ser sintetizada pelo corpo humano (HERNÁNDEZ; LOBO; GONZÁLEZ, 2006), é imprescindível sua inclusão na dieta diária. As principais fontes são frutas cítricas e a maioria das frutas tropicais como laranja, acerola e abacaxi. O teor de vitamina C em frutas e vegetais pode ser influenciado por vários fatores, entre os quais, grau de maturação, tratamentos culturais, condições de plantio, manuseio, pré e pós-colheita e estocagem (RIGHETTO, 2003).

A administração da temperatura na pós-colheita é o fator mais importante para manter o teor de vitamina C nas frutas e vegetais. As perdas desse nutriente aumentam devido aos longos períodos de estocagem, elevadas temperaturas, baixa umidade relativa, danos físicos e resfriamento. Isto acontece porque o ácido ascórbico é facilmente oxidado, especialmente em soluções aquosas, e grandemente favorecido na presença de O₂, de íons metálicos pesados como Cu²⁺, Ag⁺ e Fe³⁺ e em pH alcalino (LEE; KADER, 2000).

Existem numerosos procedimentos analíticos para detectar o ácido ascórbico, mas nenhum é totalmente satisfatório, seja por falta de estabilidade ou devido à maioria dos alimentos possuírem numerosas substâncias interferentes (MARQUES, 2008).

Para a quantificação do ácido ascórbico, é necessário, primeiramente, extraí-lo dos tecidos com soluções ácidas para prevenir a oxidação do AA. Entre as

Revisão Bibliográfica

soluções extratoras utilizadas, estão as de ácido metafosfórico, oxálico, acético, tricloroacético e suas combinações, ou ainda, estas mesmas soluções mais o ácido etilenodiaminotetracético (EDTA). A maioria dos métodos de determinação química do ácido ascórbico é baseada na sua eficiência como agente redutor, embora esta não seja a única propriedade do ácido ascórbico em sistemas alimentares (RIGHETTO, 2003).

Vega-Gálvez *et al.*, (2008) estudaram a cinética de degradação da vitamina C do pimentão vermelho em secador convectivo verificando que o aumento da temperatura e da atividade de água acelera a degradação dessa vitamina. Resultados semelhantes foram obtidos por Pitombo (1990) para o suco de laranja liofilizado e por Pitombo e Cantelmo (2000) para suco de acerola liofilizada. Karel e Nickerson (1964) apud Rückold, Grobecker e Isengard (2001) sugeriram que o teor de umidade do produto desejado deve ser o menor possível para prevenir a perda de ácido ascórbico.

2.4.2 Reidratação

Na medida em que os processos de secagem se desenvolvem, aumenta cada vez mais a preocupação quanto à qualidade do produto que resulta dessa operação. Muitos alimentos são comercializados na forma seca, mas consumidos após a reidratação como sopas instantâneas, por exemplo. E nesse, como em outros casos, o consumidor espera que o alimento recomposto possua não só o sabor, mas os mesmos nutrientes do material de origem.

A reidratação é um processo complexo onde ocorre a absorção de água pelo produto seco quando posto em contato com a água e, ao mesmo tempo, a saída de compostos solúveis como vitaminas e sais minerais. Tratamentos pré-secagem, a própria secagem e posterior reidratação induzem muitas mudanças na estrutura e composição do tecido vegetal (LEWICKI, 1998), que podem prejudicar as propriedades de reconstituição. Assim, a reidratação pode ser considerada como uma medida dos danos causados ao material pela secagem ou por tratamentos anteriores a este.

Teoricamente, a reidratação é o processo inverso da secagem. Porém, o produto obtido como resultado dessa operação é incapaz de absorver tal quantidade de água que foi perdida (STEPIEN, 2008). Isso se deve ao fato de que durante o

Revisão Bibliográfica

processo de secagem há a ruptura celular irreversível que resulta na perda de integridade celular com formação de uma estrutura densa e colapsada, além do encolhimento dos capilares com redução das propriedades hidrofílicas (KAYMAK-ERTEKIN, 2002).

Durante a reidratação, a absorção de água nos primeiros estágios do processo é bastante rápida, depois a taxa diminui gradualmente até atingir um equilíbrio onde, provavelmente todos os poros disponíveis foram preenchidos; e o volume do material se recompõe de uma porcentagem considerável do seu volume original (LEE; KADER, 2000).

Vários fatores podem influenciar no processo de reidratação. A grande maioria dos trabalhos encontrados na literatura sempre faz comparação entre as temperaturas da água usada nesse processo (STEPIEN, 2008; SANJUÁN, *et al.*, 1999; FEMENIA, *et al.*, 2000; GARCÍA-PASCUAL, *et al.*, 2006). Outros mostram a influência da composição química (FEMENIA *et al.*, 1997) ou a influência de diferentes métodos de secagem na cinética de reidratação (GIRI; PRASAD, 2007).

Para tentar descrever a cinética de absorção de água podem ser usados modelos teóricos, semi-empíricos e empíricos. Os modelos baseados na teoria da difusão são os mais encontrados na literatura para representar o processo de reidratação de materiais secos (KAYMAK-ERTEKIN, 2002; FEMENIA, *et al.*, 2000; GARCÍA-PASCUAL, *et al.*, 2006).

No Quadro 2.3 são apresentadas as principais equações utilizadas para representar a cinética de reidratação.

A equação exponencial (2.11), representativa de uma cinética de primeira ordem e desenvolvida com base no truncamento da solução do modelo difusivo no primeiro termo, já foi utilizada com sucesso para representar a cinética de reidratação de frutas como maçã e banana e vegetais como cenoura, batata e brócolis (KROKIDA; MARINOS-KOURIS, 2003; SANJUÁN *et al.*, 1999).

Quadro 2.3: Equações mais utilizadas para cinética de reidratação.

Nome	Equação	Referência
Exponencial	$RR = RR_e - (RR_e - 1)\exp(-k.t)$ (2.11)	Krokida e Marinos-kouris (2003)
Peleg	$RR = (RR_e - 1/k_2) + t/(k_1 + k_2.t)$ (2.12)	Peleg (1988); Sanjuán <i>et al.</i> , (2003)
Weibull	$RR = RR_e + (1 - RR_e)\exp(-t/\beta)^\alpha$ (2.13)	Marabi <i>et al.</i> , (2003); Marques (2008)

RR: razão de reidratação; RR_e : razão de reidratação na saturação

Revisão Bibliográfica

Peleg (1988) propôs um modelo semi-empírico constituído por uma equação não exponencial com dois parâmetros k_1 e k_2 . O primeiro é a constante cinética, enquanto que o segundo é o parâmetro relacionado, por alguns autores (GARCÍA-PASCUAL *et al.*, 2006; MARQUES, 2008), à capacidade máxima de reidratação.

A Equação 2.13 é o modelo probabilístico de Weibull que é de grande interesse devido ao significado físico de seus parâmetros e pode fornecer uma base para comparar suas características de ganho de água, incluindo informações sobre a taxa de reidratação e a razão de reidratação (MARQUES; PRADO; FREIRE, 2009)

O parâmetro α é o parâmetro de forma (adimensional) que mede a velocidade de absorção de água no início do processo de reidratação, quando capilares e cavidades próximas à superfície são preenchidas. Quanto menor o seu valor, maior a taxa de reidratação no período inicial. β é o parâmetro de escala que pode ser comparado com o inverso do coeficiente de difusão efetivo por representar a constante cinética da equação de Weibull.

Análise das propriedades de reidratação

Durante a reidratação ocorrem perdas de sólidos solúveis como vitaminas, açúcares e minerais. Como a razão de reidratação não fornece informação sobre a influência dos fluxos de água absorvida e solutos lixiviados sobre o aumento de massa do material, utiliza-se os índices propostos por Lewick (1998). Estes índices são a capacidade de absorção de água (CAA), capacidade de retenção de matéria seca (CRS) e capacidade de reidratação (CR).

O índice CAA fornece informações sobre a capacidade do material seco absorver água e é calculado pela razão entre a massa de água absorvida na reidratação e a massa de água que foi removida na secagem da forma:

$$CAA = \frac{m_{re}(100 - s_{re}) - m_s(100 - s_s)}{m_0(100 - s_0) - m_s(100 - s_s)} \quad (2.14)$$

onde m é a massa da amostra, s o teor de sólido seco (g/g base seca) e os índices re , s e 0 referem-se a amostra reidratada, seca e inicial, respectivamente. O índice

Revisão Bibliográfica

CAA varia de 0 a 1 e indica o quanto a secagem reduziu a capacidade do produto de absorver água.

O índice *CRS* fornece informações sobre a capacidade do material de reter sólidos solúveis, bem como sobre os danos aos tecidos e a sua permeabilidade ao soluto. Este índice varia de 0 a 1 e é calculado pela seguinte equação:

$$CRS = \frac{m_{re} \cdot S_{re}}{m_s \cdot S_s} \quad (2.15)$$

Os danos causados pelo processo de secagem e reidratação, assim como a capacidade do produto seco de se reidratar é calculado pelo índice *CR* usando os dois índices anteriores da forma:

$$CR = CAA \cdot CRS \quad (2.16)$$

Os valores de *CR* vão de 0 a 1 e quanto menor o índice, maior o dano causado ao tecido vegetal.

2.4.3 Germinação

O teste padrão de germinação (TPG) é o mais conhecido para determinar a qualidade de sementes. Nele é avaliada a capacidade que uma semente tem de germinar e produzir plântulas normais em condições de luminosidade, temperatura e umidade ideais (MARCOS FILHO; CÍCERO; SILVA, 1987).

Esta avaliação visa obter informações sobre o valor das sementes para fins de semeadura e fornecer dados que possam ser usados para comparar o valor de diferentes lotes de sementes de uma mesma espécie e variedade. São utilizados métodos de análises em laboratório que fornecem às sementes as condições favoráveis para que a germinação ocorra (BRASIL, 2009).

A avaliação da germinação em condições de campo, geralmente, não é satisfatória, pois dada a variação das condições ambientais, os resultados nem sempre podem ser fielmente reproduzidos e utilizados para efeito de comparação

Revisão Bibliográfica

entre os produtos fornecidos mediante os diferentes tipos de secadores (Nascimento, 2009).

Métodos de análise em laboratório, efetuados em condições controladas, de alguns ou de todos os fatores externos, têm sido estudados e desenvolvidos de maneira a permitir uma germinação mais regular, rápida e completa das amostras de sementes de uma determinada espécie. Estas condições, consideradas ótimas, são padronizadas para que os resultados dos testes de germinação possam ser reproduzidos e comparados, dentro de limites tolerados pelas Regras de Análises de Sementes – RAS (BRASIL, 2009).

As regras para o TPG, encontradas em Brasil (2009), sugerem que o número de sementes para o teste seja de 400 divididas em repetições de 4x100; de 8x50 ou de 16x25. Estas sementes devem ser colocadas para germinar em substrato próprio, previamente umedecido. Para as sementes do gênero *Capsicum*, os substratos recomendados são: sobre papel (SP), entre papel (EP) ou sobre areia (SA). O papel usado para o teste pode ser papel-toalha, de filtro ou específico como GEMILAB[®] e GEMITEST[®]. No substrato SP, as sementes são colocadas para germinar sobre duas ou mais folhas de papel. Para o substrato EP, as sementes são colocadas entre duas ou mais folhas de papel. Os dois substratos podem ser colocados diretamente nas bandejas do germinador, em placas de Petri ou caixas de plástico, incolor e transparente. Já no substrato AS, as sementes são colocadas sobre uma camada uniforme de areia umedecida e comprimidas contra a superfície da mesma. A temperatura da câmara de germinação deve estar entre 20 e 30°C durante todo o teste. As sementes ficam nessas condições durante o período total de 14 dias, sendo que, no sétimo dia procede-se a primeira contagem das plântulas germinadas e infeccionadas. As sementes que não germinaram (exceto as doentes) são colocadas de volta na câmara até o 14º dia.

Uma das dificuldades que podem ser encontradas durante o TPG é a dormência. As sementes dormentes são aparentemente viáveis, mas que não germinam mesmo quando colocadas nas condições específicas para a espécie em teste. Essas sementes são capazes de absorver água e intumescer, mas não germinam nem apodrecem até o final do teste. No caso das sementes de pimenta dedo-de-moça é sugerido o uso de luz ou solução de nitrato de potássio (KNO₃) (BRASIL, 2009).

Revisão Bibliográfica

Para Floriano (2004), a dormência impede a germinação, mas é uma adaptação para a sobrevivência das espécies a longo prazo, pois geralmente faz com que as sementes mantenham-se viáveis por maior período de tempo.

Para as sementes da espécie *Capsicum baccatum*, não foram encontrados trabalhos tratando da germinação. Outros trabalhos tratam das sementes de pimentão (*Capsicum annum* L.) e de algumas pimentas como a pimenta-de-macaco (*Xylopia aromática* (Lam.) Mart.) e da pimenta malagueta (*Capsicum frutescens* L.) encontrados, respectivamente, em Posse *et al.*, (2001), Matteucci; Guimarães; Tiveron Filho (1997); Dias *et al.*, (2008).

Diante do contexto apresentado nesta revisão da literatura, constata-se que apesar da secagem constituir uma operação de fundamental importância no processo de obtenção de produtos à base da pimenta, as informações sobre a secagem convectiva desse material são escassas. Além disso, a falta de informações sobre as alterações ocorridas durante e após o processamento nas propriedades físicas e do reaproveitamento das sementes mostra a necessidade de conduzir estudos sobre a secagem da pimenta para contribuir com o desenvolvimento científico deste processo e, também fornecer ao mercado, alternativas para se obter um produto de melhor qualidade.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo abordará a matéria-prima descrevendo sua obtenção e formas de preparação para os experimentos, equipamentos e reagentes. Também serão apresentados os procedimentos para a determinação das propriedades físicas e avaliação da qualidade do produto, bem como os métodos de tratamento de dados.

3.1 Material

Pimenta

A matéria-prima constou de frutos de pimenta dedo-de-moça (*Capsicum baccatum* var. *Pendulum*), obtidos no comércio da cidade de São Carlos-SP. Procurou-se selecionar os frutos que tivessem as mesmas características visuais de grau de maturação, cor e forma, além de obtê-los sempre no mesmo local de venda. O produto foi lavado, para a remoção de partículas indesejadas e armazenado em refrigerador a 5,0°C. Uma hora antes da secagem, retirava-se o material para equilibrar sua temperatura com a temperatura ambiente e cortavam-se as placas com dimensões de 1,0 x 4,0 cm. A Figura 3.1 apresenta a amostra na forma de placa que era obtida a partir da pimenta inteira com uso de estilete.

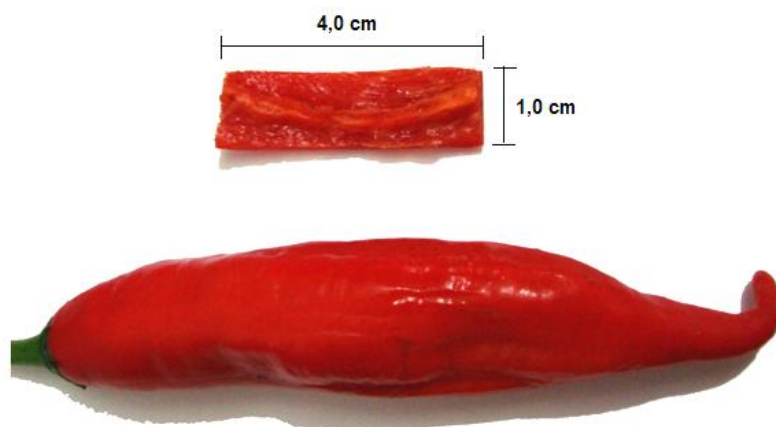


Figura 3.1: Pimenta e amostra em forma de placa 4,0x1,0cm.

3.2 Equipamentos

3.2.1 Secador Convectivo

Para avaliar a secagem convectiva utilizou-se um secador horizontal com convecção forçada de ar. O equipamento foi desenvolvido no Centro de Secagem do DEQ/UFSCar (SINGULANI, 1998), de acordo com o esquema mostrado na Figura 3.2 que detalha o equipamento.

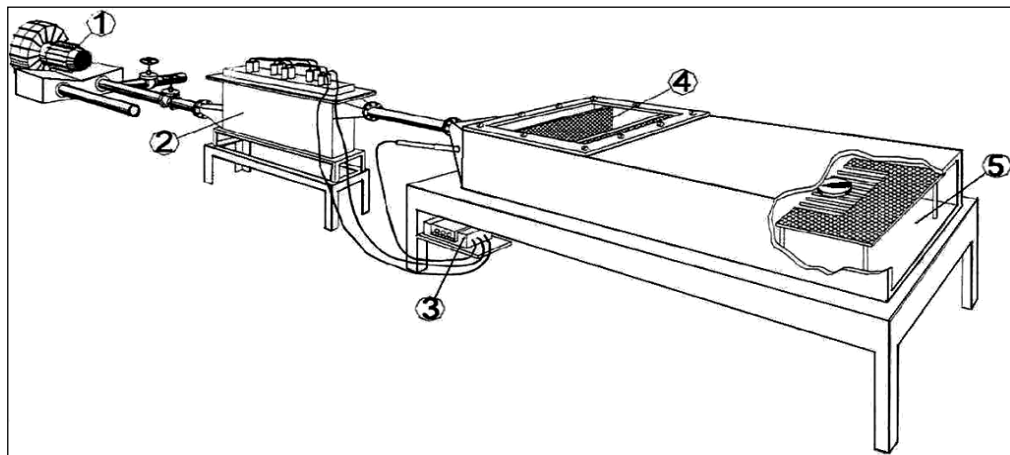


Figura 3.2: Unidade de secagem convectiva: 1) soprador; 2) aquecedor elétrico; 3) controlador de temperatura; 4) sistema de homogeneização do ar e 5) câmara de secagem.

O aparelho é constituído por três partes: sistema de alimentação do ar, sistema de aquecimento do ar e compartimento de secagem.

No sistema de alimentação do ar, o escoamento do mesmo é fornecido por um soprador (1) fabricado pela IBRAM, modelo VC 3560, 3460 rpm e potência 4 CV que é conectado a uma válvula gaveta para ajuste manual da vazão. As tubulações por onde passa o ar são de ferro galvanizado com 4" de diâmetro.

O aquecimento do ar (2) é realizado por um sistema composto de resistências elétricas ligadas a um controlador de temperatura digital (3).

O compartimento de secagem contém duas partes: sistema de homogeneização do ar (4) e a câmara de secagem (5). O sistema de homogeneização do ar é formado por placas perfuradas logo após a tubulação. Os furos das placas não estão alinhados, evitando canais preferenciais, o que melhora a homogeneização da temperatura do fluido e seu escoamento.

Materiais e Métodos

Na câmara de secagem, as amostras foram colocadas em duas bandejas de aço inoxidável feitas de telas perfuradas, de tamanho 17x17cm, espaçadas 5,5 cm uma da outra. As dimensões do compartimento de secagem são 115x40x20 cm e a parte da câmara adaptada para realizar a secagem do material tem 50x20x20 cm.

As medidas de umidade relativa e temperatura do meio ambiente e do ar de secagem foram obtidas com um higrômetro e um anemômetro presentes no Kit Trisense da Cole Parmer Instruments Company (modelo 37000-90). A velocidade do ar foi medida no centro da câmara de secagem através de perfurações presentes na lateral do equipamento. Esse posicionamento para a medida foi escolhido após testes para verificar homogeneidade da velocidade do ar e da temperatura na câmara de secagem.

Para medir a temperatura ambiente e da câmara de secagem foram usados termopares tipo K ligados a um registrador de temperatura da marca Digi-Sense Scannig Thermocouple Thermometer (modelo 92800-15) fabricado pela Cole Parmer Instruments Company.

3.2.2 Liofilizador

O liofilizador utilizado é de escala laboratorial da marca LABCONCO (modelo 77535). Tal equipamento é composto basicamente por: painel de controle, câmaras de secagem, câmara de condensação do vapor, compressor, sistema de vácuo e trocador de calor. A Figura 3.3 mostra uma foto do equipamento.



Figura 3.3: Fotografia do liofilizador utilizado nos experimentos.

3.3 Procedimento Experimental

3.3.1 Secagem

Secagem Convectiva

No secador convectivo as temperaturas usadas foram de 50, 60 e 70°C e as velocidades do ar foram de 1,5; 2,0 e 2,5m/s, sendo estes valores definidos após testes iniciais.

As amostras (Figura 3.1) foram dispostas sobre bandejas com a casca (epicarpo) voltada para baixo. Assim, o ar escoava apenas na parte que originalmente era a parte interna do fruto.

A variação da massa foi verificada, por meio de balança analítica, a cada 5min na primeira hora e depois em intervalos não periódicos até massa constante. Após alguns testes, ficou claro que não havia necessidade de fixar tempo para medir a perda de massa, pois não houve diferenças nas curvas de cinética. A massa seca das amostras foi determinada pelo método da estufa a $105 \pm 3,0^\circ\text{C}$ por 24h. Essa escolha foi realizada após teste em estufa a vácuo a 70°C, verificando-se que não havia diferença significativa no resultado.

Liofilização

Na secagem realizada em liofilizador, as formas das amostras utilizadas foram as mesmas da secagem convectiva (Figura 3.1). Para congelar as amostras antes de colocar no equipamento foi usado o aparato mostrado na Figura 3.4, composto de um recipiente onde foi colocado nitrogênio líquido - $\text{N}_{2(l)}$. As amostras, dentro dos frascos do próprio liofilizador, foram colocadas no mesmo recipiente do nitrogênio de maneira que entrassem em contato apenas com o seu vapor - $\text{N}_{2(v)}$.

Após 15 minutos, as amostras já estavam congeladas o suficiente para serem postas no liofilizador. Para a obtenção das curvas de secagem, as amostras foram retiradas do secador em intervalos de 30 minutos e a massa, verificada em balança analítica.

Materiais e Métodos

Nos dois modos de secagem (convectivo e liofilização), a massa do sólido seco foi determinada via método direto da estufa a $105,0 \pm 3,0^\circ\text{C}$ por 24h ao final de cada experimento.

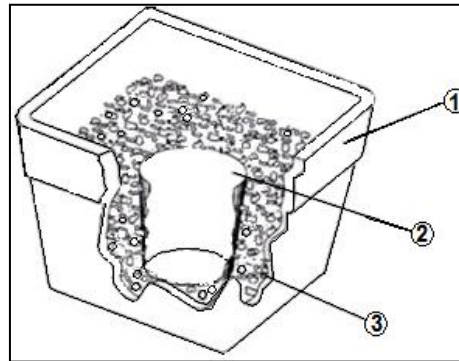


Figura 3.4: Aparato utilizado no congelamento com nitrogênio líquido: 1) recipiente adiabático; 2) recipiente com nitrogênio líquido e 3) material isolante.

3.3.2 Propriedades Estruturais

Densidade aparente (ρ_{ap})

A densidade das amostras *in natura* e das amostras secas foi determinada pelo método da picnometria líquida com hexano. Conhecendo-se a temperatura e a densidade do líquido no experimento, assim como o volume deslocado pela amostra, foi possível determinar a sua densidade.

O primeiro procedimento foi obter as massas da vidraria (m_{pic}), da vidraria com a amostra ($m_{pic + pim}$) e destes com o hexano ($m_{pic + pim + hex}$).

O próximo passo foi verificar o volume ocupado pelo líquido no picnômetro. No entanto, não há dados de densidade do hexano na faixa de temperatura na qual os experimentos foram realizados. Por isso, utilizou-se água destilada.

Sabendo-se a temperatura da água durante o experimento, encontrou-se a sua densidade em tabelas na literatura (PERRY; GREEN, 1992). Com isso, foi possível encontrar o volume do picnômetro pela equação a seguir:

$$V_{pic} = \frac{m_{pic + \acute{a}gua} - m_{pic}}{\rho_{\acute{a}gua}} \quad (3.1)$$

Materiais e Métodos

onde m_{pic} é a massa do picnômetro, $m_{pic+água}$ é a massa do picnômetro mais a água e $\rho_{água}$ é a densidade da água.

Após esse procedimento obteve-se a massa da vidraria com o hexano ($m_{pic+hex}$). Esse valor mais o que foi encontrado para V_{pic} e m_{pic} foram usados no cálculo da densidade do hexano pela equação a seguir:

$$\rho_{hex} = \frac{m_{pic+hex} - m_{pic}}{V_{pic}} \quad (3.2)$$

Esse dado junto a massa da amostra que foi utilizada forneceu o volume de hexano deslocado. Com isso, foi possível encontrar a densidade da amostra (ρ_{pim}) pela equação a seguir:

$$\rho_{pim} = \frac{m_{pic+pim} - m_{pic}}{V_{pim}} \quad (3.3)$$

onde ρ_{pim} é a densidade aparente da pimenta em g/cm^3 .

Densidade real (ρ_r)

As amostras utilizadas neste teste foram as secas tanto em secador convectivo como em liofilizador. A medida do volume do sólido seco, V_s , foi determinada através de um picnômetro a gás, modelo Ultracycrometer 1000 da Quantachrome Instruments. Este instrumento usa o método do deslocamento de gás que é capaz de penetrar todos os poros abertos, desde que estes tenham no mínimo o mesmo tamanho da molécula do gás. O restante da amostra, no qual o gás não penetra, é considerado como volume de sólido.

Colocou-se a amostra em uma câmara e depois que todo o sistema foi levado à pressão atmosférica, isolou-se a câmara de expansão, fechando a válvula de expansão e pressurizando-se a câmara que continha a amostra até uma pressão P_1 . Seguidamente, a válvula de expansão foi aberta e, em conseqüência, ocorreu um abaixamento de pressão para P_2 . Admitindo comportamento ideal do gás, o volume do sólido pôde ser calculado a partir da seguinte equação:

$$P_1(V_a - V_s) = P_2(V_a - V_s + V_e) \quad (3.4)$$

onde,

$$V_s = V_a - \frac{V_e}{\frac{P_1}{P_2} - 1} \quad (3.5)$$

em que:

V_a – volume da câmara da amostra;

V_e – volume da câmara de expansão;

V_s - volume do sólido seco.

A densidade foi calculada pelo equipamento, através da relação entre a massa do sólido (introduzida como dado de entrada) e o volume (V_s) derivado da Equação 3.5.

Porosidade

A porosidade das amostras liofilizadas e secas por convecção foi calculada a partir da determinação das densidades real e aparente usando a Equação 2.10.

Encolhimento

O encolhimento foi medido diretamente na amostra com uso de um paquímetro digital. Optou-se por esse método devido à mudança pela qual as amostras apresentavam ao longo da secagem, impossibilitando o uso da técnica de análise de imagens. Apenas a espessura foi mensurada, pois testes preliminares mostraram que o encolhimento nas outras dimensões era pequeno a ponto de não poder ser mensurado com os equipamentos existentes no laboratório.

Foram realizadas três medidas de espessura ao longo da amostra a fim de encontrar uma média representativa da placa de pimenta. As medições aconteceram do início ao fim do processo de secagem a cada intervalo de pesagem das amostras.

Materiais e Métodos

3.3.3 Avaliação da Qualidade do Produto

Acido ascórbico

A quantificação de ácido ascórbico foi realizada com as amostras ainda *in natura*, após a secagem e depois da reidratação para que pudessem ser quantificadas as perdas relacionadas ao processo.

O método consistiu na titulação com o reagente 2,6-dicloro-indofenol e o teor de vitamina C expresso em mg de ácido ascórbico / 100g de amostra seca.

Para a preparação do indicador, foram dissolvidos 50,0 mg de 2,6 diclorofenol-indofenol (I) em aproximadamente 150ml de água destilada a 70°C, contendo 42,0mg de bicarbonato de sódio. Resfriou-se e diluiu-se com água destilada até completar 200ml. Guardou-se em refrigerador e padronizou-se antes de cada experimento.

Para a padronização, o reagente (I) foi titulado com uma solução contendo 5,0ml de ácido ascórbico (100 mg/l) mais 5ml de ácido oxálico($H_2C_2O_4$) a 2%, até aparecer a cor rosa persistente.

Um grama de pimenta triturada foi adicionada a 50 ml de uma solução de ácido oxálico($H_2C_2O_4$) a 2% e filtrado. Retirou-se uma alíquota de 10 ml para titular com a solução indicadora (reagente I) até aparecer a coloração rosa persistente.

Devido à cor avermelhada da amostra, a solução extraída com ácido oxálico teve que ser diluída para 100 ml. Foi preparada uma solução na mesma concentração com a pimenta *in natura* que serviu como um branco. Só assim, foi possível determinar o final da titulação pela cor rósea. A Figura 3.5 mostra a foto da solução antes (a) e depois (b) da titulação onde é possível visualizar a diferença na coloração.



Figura 3.5: Foto da solução de pimenta antes (a) e depois (b) da titulação.

Materiais e Métodos

Dessa maneira, a quantidade de ácido ascórbico pode ser calculada como mostra a equação a seguir:

$$Aa = \frac{V_T \cdot (0,5 / V_t) \cdot V_{AF} \cdot 100}{V_A \cdot m} \quad (3.6)$$

onde:

A_a = ácido ascórbico (mg/100g)

V_T = volume de titulação (ml)

V_{tit} = volume titulado na padronização da solução indicadora (ml)

V_{AF} = volume aferido (ml)

V_A = volume da alíquota (ml)

m = massa da pimenta (g)

Reidratação

Após a secagem, as amostras foram hidratadas por imersão em água destilada à temperatura ambiente (25°C). Em diferentes tempos, a amostra era retirada e seca em papel toalha antes de ser colocada na balança analítica. O final da reidratação foi determinado quando a variação da massa passou a ser menor que 0,0002 g. O experimento foi realizado em triplicata e a massa seca, determinada pelo método da estufa.

Os dados obtidos a partir desse procedimento possibilitaram a construção de gráficos da razão de reidratação (RR) em função do tempo. O valor de RR foi definido com base na relação entre a massa total da amostra após determinado tempo de reidratação e a massa inicial da amostra seca.

Germinação

A qualidade das sementes de *C. baccatum* foi determinada em termos de índice de germinação após o processo de secagem. A germinação foi avaliada mediante o Teste Padrão de Germinação (TPG) seguindo o que é sugerido nas Regras para Análise de Sementes – RAS em Brasil (2009).

Materiais e Métodos

As sementes usadas neste teste foram obtidas da secagem de pimentas inteiras em secador convectivo nas temperaturas de 50 e 70°C e velocidade do ar de 1,5m/s. Experimentos a 40°C foram realizados em estufa comum devido a instabilidade do secador convectivo nesta temperatura. A escolha desses valores de temperatura teve como objetivo principal englobar as prováveis condições de secagem da pimenta que possam estar sendo usadas pelos agricultores.

O experimento foi desenvolvido com 400 sementes separadas em 16 placas de Petri com 25 sementes cada uma. As sementes foram colocadas para germinar entre o substrato formado de papel próprio para germinação da marca GERMITEST®. O conjunto (sementes+substrato) foi periodicamente borrifado com água destilada e ficou acondicionado dentro de placas tampadas de forma a garantir aproximadamente 100% de umidade relativa. Os recipientes foram colocados em uma câmara germinadora da marca FAUVEL CIENTÍFICA LTDA, com temperatura controlada variando entre 21,0 °C e 28,0 °C.

No presente trabalho, testes preliminares mostraram a necessidade do fornecimento de luz, sugerido pela RAS como tratamento especial para a quebra da dormência. A luz era ligada durante 8 horas diariamente.

A primeira contagem foi realizada no 7º dia e a última no 14º. Na primeira verificação foram retiradas as plântulas já desenvolvidas e as sementes contaminadas. Na última contagem (14 dias) foram contabilizadas todas as plântulas que vingaram e classificadas como normais ou anormais. Como sugerido pelas Regras para Análise de Sementes, o experimento prosseguiu por mais 2 dias para que algumas sementes tivessem sua germinação completada.

O índice de germinação foi calculado como a razão entre as sementes que produziram plântulas normais e o total de sementes do experimento.

3.4 Procedimento de Cálculo

Cinética de Secagem

A partir dos resultados de umidade (b.s) e tempo obtidos ao longo de cada experimento, foram traçadas as curvas de cinética de secagem da umidade adimensional (*MR*) em função do tempo de secagem.

Materiais e Métodos

Para encontrar uma equação que pudesse representar esses dados de cinética foram testadas as equações (2.1), (2.2) e (2.3) apresentadas no Quadro 2.2 da revisão bibliográfica.

O ajuste das equações de secagem aos dados experimentais foi feito mediante a regressão não linear por meio do software STATISTICA[®] 7.0, com os parâmetros das equações estimados pelo método dos mínimos quadrados.

O critério de avaliação do melhor ajuste foi realizado com base nos valores do coeficiente de correlação (R^2) apresentado, da soma de quadrados dos resíduos (SQR) e do erro médio quadrático (EMQ). As equações que representam SQR e EMQ são:

$$SQR = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{exp} - MR_{pred})^2 \quad (3.7)$$

$$EMQ = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pred} - MR_{exp})^2 \right]^{0.5} \quad (3.8)$$

onde N é o número de pontos experimentais e MR_{pred} e MR_{exp} é a umidade adimensional predita pelo modelo e a obtida experimentalmente respectivamente.

Cinética de Reidratação

A fim de descrever a cinética de reidratação das amostras secas, utilizou-se as equações 2.11 a 2.13 que foram apresentadas no Quadro 2.3. Para a obtenção dos parâmetros destas equações, utilizou-se o programa STATISTICA[®] 7.0 fazendo-se uso de regressão não-linear através do método dos mínimos quadrados em uma série de passos iterativos. Para avaliar a qualidade do ajuste foram usados três critérios estatísticos: R^2 , SQR e EMQ .

Para expressar as características de reidratação do produto seco. Foram usados índices propostos por Lewick (1998) calculados por meio das Equações 2.14 a 2.16.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir da cinética de secagem por convecção forçada e a discriminação das equações de secagem incluindo dados obtidos em liofilizador. Também é apresentado o estudo feito com relação às propriedades estruturais, análise da qualidade da pimenta seca, assim como da capacidade germinativa das sementes após o processamento.

4.1 Secagem

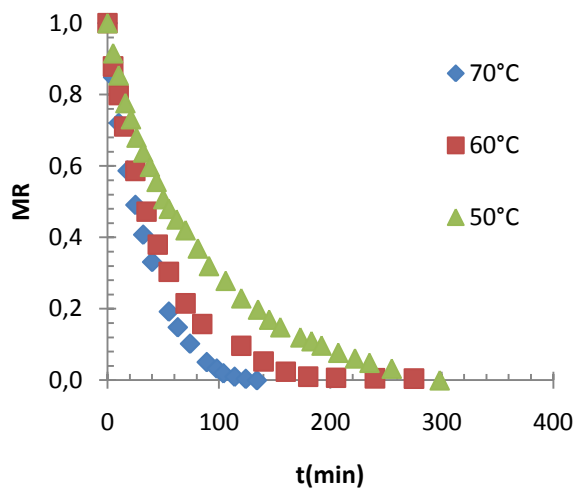
Visando obter informações sobre a cinética de secagem das placas de pimenta em secador convectivo, foram construídas curvas do adimensional de umidade em função do tempo nas diferentes condições operacionais utilizadas.

A Figura 4.1 apresenta os resultados típicos do adimensional de umidade em função do tempo de secagem, parametrizados na temperatura do ar. Observa-se que a temperatura apresentou influência no processo em todas as velocidades utilizadas com exceção de 2,5m/s nas temperaturas de 50 e 60°C. Com o aumento da temperatura do ar de secagem, a umidade da amostra atingiu o seu valor mínimo em menos tempo.

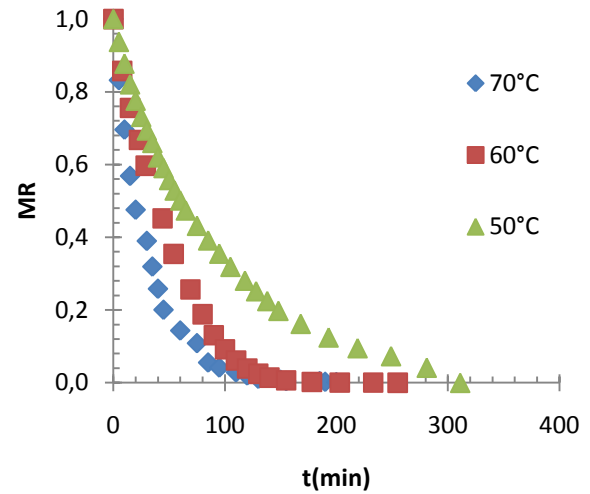
As curvas mostradas na Figura 4.1 (a) e na 4.1(b) indicam claramente o efeito causado pelo aumento da temperatura do ar na cinética. Na Figura 4.1(c) nota-se que a diferença foi pequena entre as temperaturas de 50 e 60°C onde as curvas ficaram quase sobrepostas. Mesmo assim, ainda houve uma redução de 25% no tempo requerido para se atingir o equilíbrio na temperatura de 60°C com relação a 50°C.

A influência do parâmetro $T(^{\circ}\text{C})$ na Figura 4.1(c) também foi verificada por meio do cálculo da área sob as curvas através do software Origin Lab[®] 8.0. Assim, mesmo as curvas estando quase sobrepostas, com o aumento da temperatura de 50 para 60°C, houve uma redução de 9,6% referente a área.

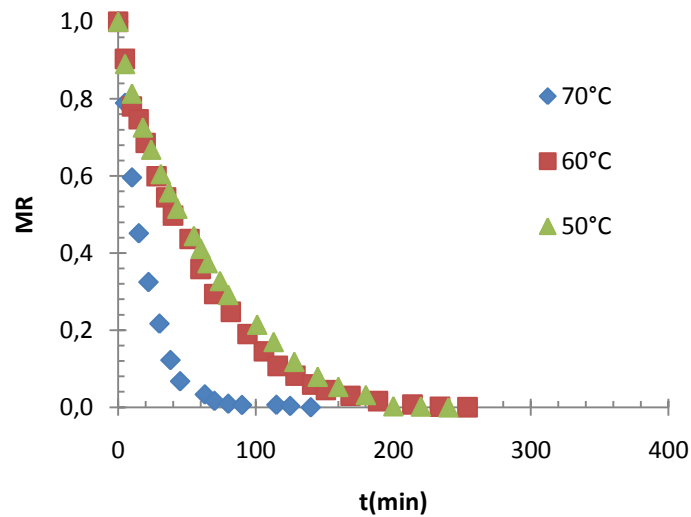
Resultados e Discussão



a) 1,5m/s



b) 2,0m/s



c) 2,5 m/s

Figura 4.1: *MR* em função do tempo para a secagem de pimenta em secador convectivo nas velocidades de a) 1,5m/s; b) 2,0m/s e c) 2,5m/s parametrizados na temperatura do ar.

Na Figura 4.1 (a), a redução na área abaixo das curvas foi de 39,3% quando a temperatura passou de 50 para 60°C e de 30,6% quando aumentou para 70°C. Já na Figura 4.1 (b), houve redução de 46,8% no intervalo de 50 para 60°C e de 35,4% de 60 para 70°C. Por esses resultados observa-se que houve maior

Resultados e Discussão

transferência de energia entre o ar de secagem e as amostras facilitando a evaporação da água do material ou transferência de massa em todas as condições operacionais mostradas na figura.

A influência da velocidade do ar sobre o processo de secagem da pimenta dedo-de-moça foi analisada e os resultados podem ser vistos através da Figura 4.2 onde se tem MR em função do tempo

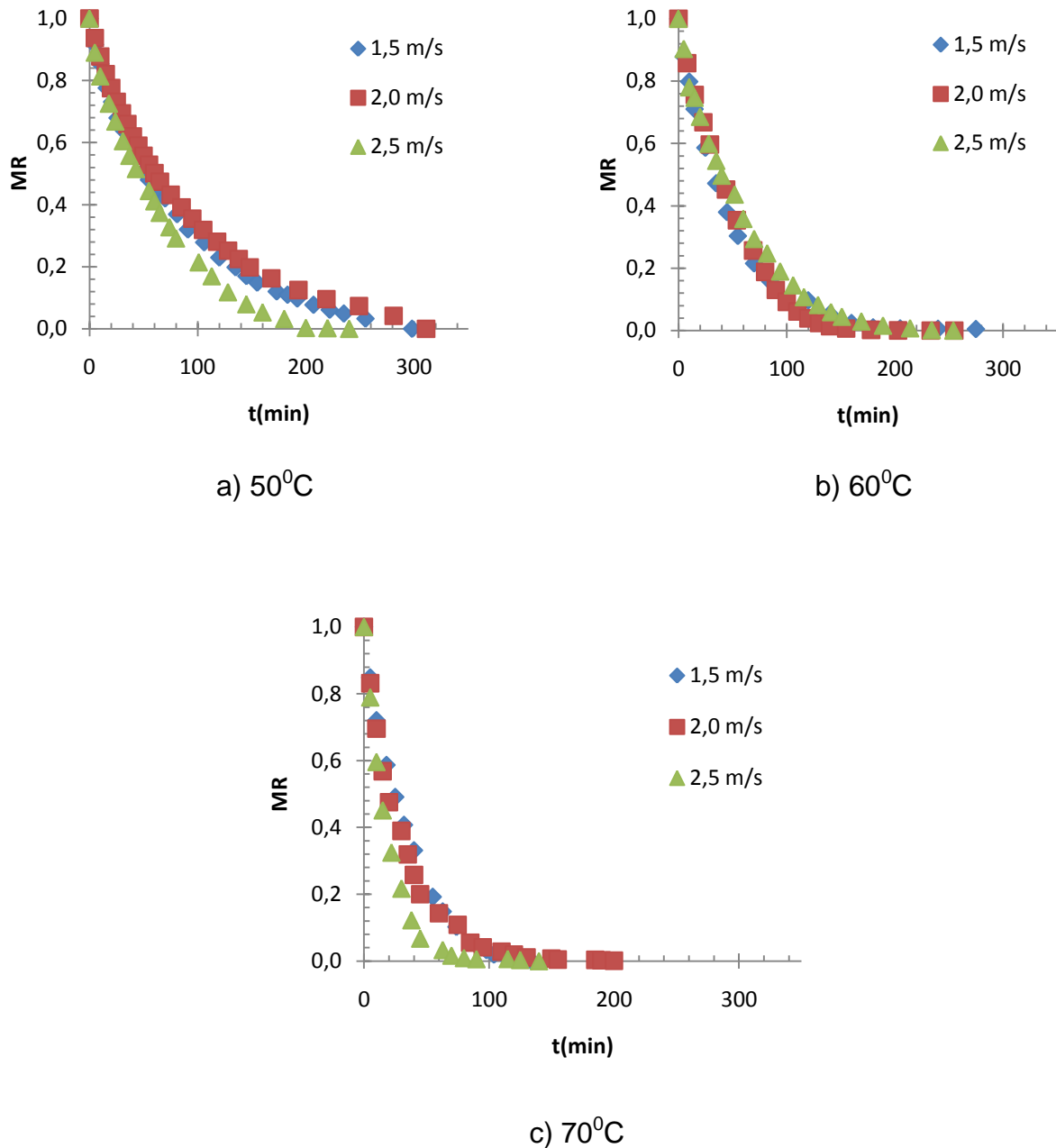


Figura 4.2: MR em função do tempo na secagem de pimenta nas temperaturas de a) 50°C; b) 60°C e c) 70°C parametrizados na velocidade do ar.

Resultados e Discussão

Diferente do que foi observado para a temperatura, o aumento da velocidade do ar não teve influência direta sobre a secagem da pimenta. Nas Figuras 4.2(a) e 4.2(c), as curvas que mostram o aumento de 1,5 para 2,0 m/s ficaram praticamente sobrepostas. Já nas curvas que representam a maior velocidade utilizada (2,5m/s), houve uma redução no tempo do processo de 32,0% e 35,0% nos experimentos realizadas a 50 e 70°C, respectivamente. No entanto, observando a Figura 4.2(b), verifica-se que o aumento da velocidade do ar não foi vantajoso no processo de secagem, pois as amostras atingiram o equilíbrio dinâmico praticamente ao mesmo tempo.

Tais resultados mostram que, nas condições experimentais em que foram realizados estes testes, o gasto de energia com o aumento da velocidade não foi vantajoso.

Estes resultados podem ser comparados com outros encontrados na literatura, os quais analisaram a cinética de produtos alimentícios como pimentão, acerola e cenoura (DOYMAZ; PALA, 2002; ALMEIDA *et al.*, 2006; ZIELINSKA; MARKOWSKI, 2009). Nesses trabalhos, dentre muitos, foram feitas afirmações de que o mecanismo difusivo controlava o processo de secagem apenas analisando as curvas de secagem. No entanto, no presente trabalho, analisou-se também a taxa de secagem do material a fim de confirmar se as curvas apresentadas na Figura 4.1 representam a predominância do efeito difusivo sobre a secagem da pimenta.

Para tal objetivo, foram construídas curvas da taxa de secagem (g de água/min) em função da umidade do material (b.s) parametrizadas na temperatura do ar e velocidade apresentados, respectivamente, nas Figuras 4.3 e 4.4.

A partir da Figura 4.3, observa-se que a temperatura foi um fator importante na taxa de secagem, pois com o aumento desta variável houve também um aumento na velocidade com que umidade se difundia do interior do produto para a sua superfície. Isso se deve ao fato do aumento da temperatura elevar a quantidade de energia a ser transferida entre o ar de secagem e a amostra, facilitando assim a transferência de massa do material para o ar de secagem. Esta análise engloba toda a faixa de velocidade usada nos experimentos.

Resultados e Discussão

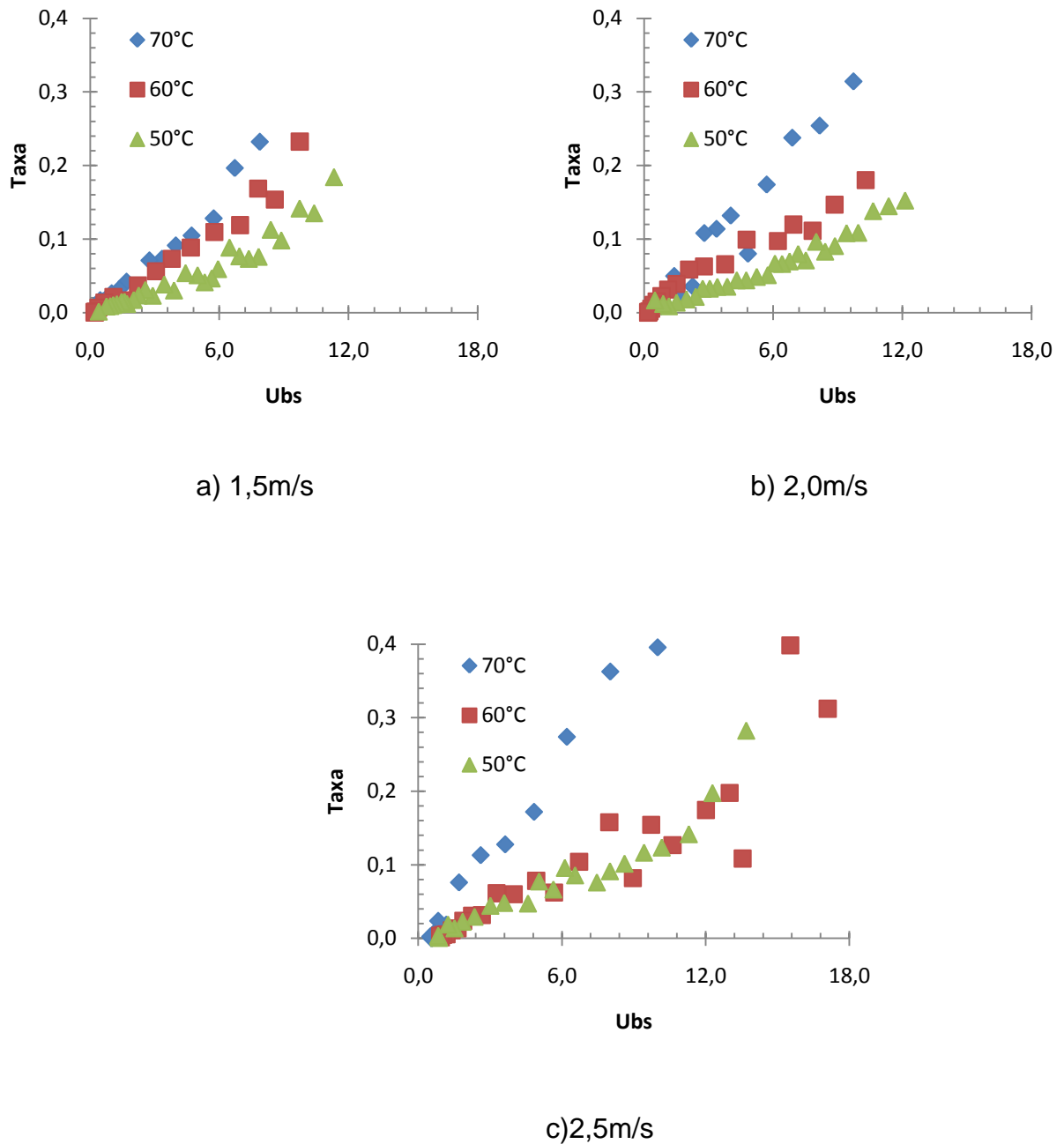


Figura 4.3: Taxa de secagem em função do teor de umidade (b.s) nas velocidades do ar de a) 1,5 m/s; b) 2,0m/s e c) 2,5m/s parametrizados na temperatura.

Já na Figura 4.4 observa-se que a velocidade do ar não influenciou de forma significativa a taxa de secagem. Na Figura 4.4 (c), apesar do aumento desse parâmetro sugerir uma tendência a elevar a taxa de secagem, tal aumento só é notado no início do processo de secagem. Depois, as três velocidades proporcionam taxas praticamente iguais.

Resultados e Discussão

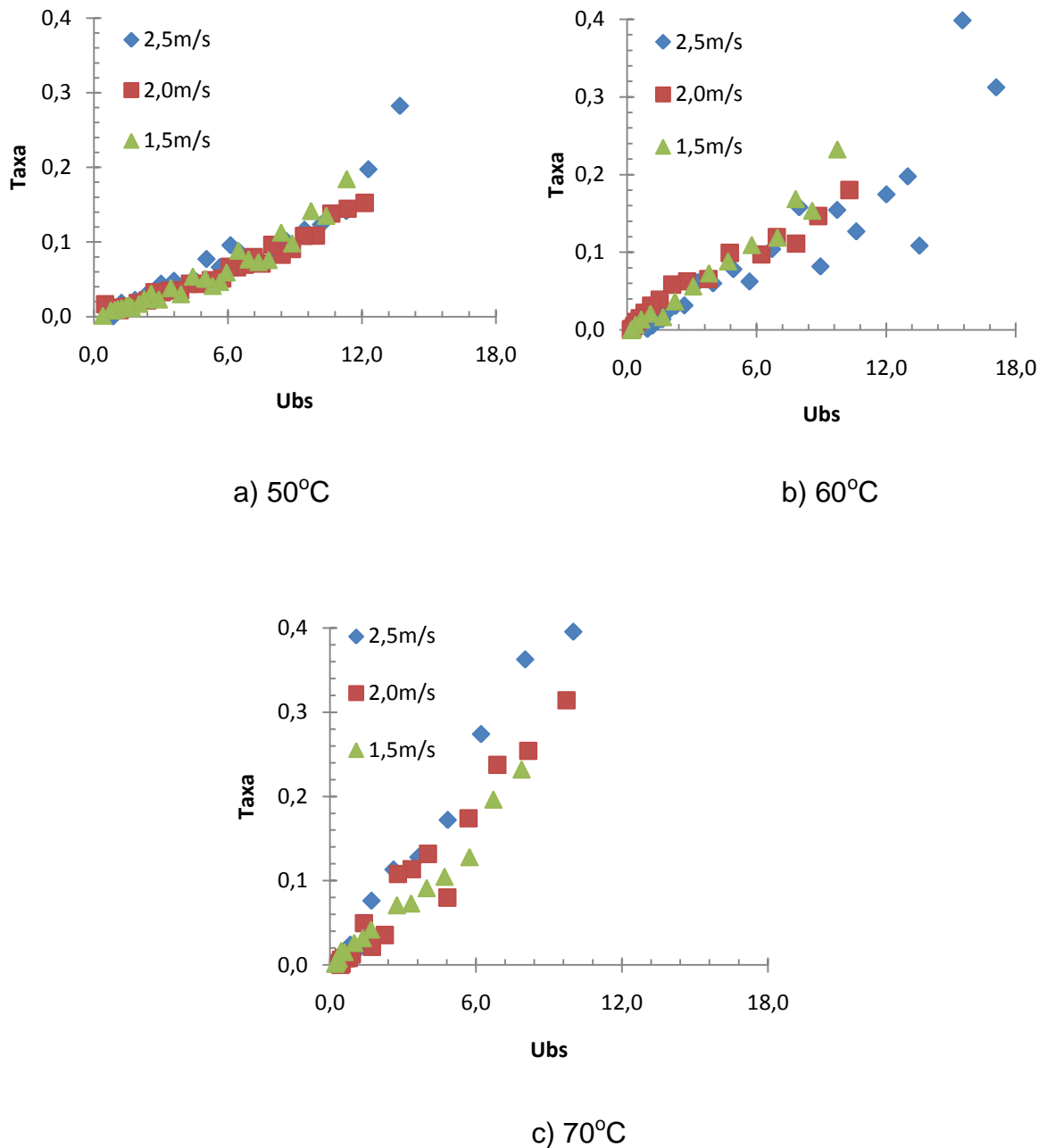


Figura 4.4: Taxa de secagem em função do teor de umidade (b.s) nas temperaturas de a) 50°C; b) 60°C e c) 70°C parametrizados na velocidade do ar.

Estas figuras também mostram que a pimenta, assim como a maioria dos materiais biológicos, não apresentou período de taxa constante havendo somente o período de taxa decrescente.

Dessa maneira, é possível afirmar que as resistências de transferências de massa encontram-se essencialmente no interior do produto, fazendo com que a taxa de evaporação da superfície para o ambiente seja bem superior a taxa de

Resultados e Discussão

reposição de umidade do interior até a superfície do material. Diante disto, pode-se afirmar que o mecanismo que governa o processo de secagem convectiva da pimenta dedo-de-moça é o difusivo. Desta forma, não se justifica gasto energético com o aumento da velocidade do ar para a secagem desse material.

Na literatura encontram-se outros trabalhos que tratam da secagem de alimentos e que obtiveram resultados semelhantes para a secagem de uvas sem sementes, maçãs, cebolas, pimentões vermelhos e cenouras (KAYA; AYDIN; DEMIRTAS, 2007; PANKAJ; SHARMA, 2006; SCHULTZ *et al.*, 2007; VEGA *et al.*, 2007; BENNAMOUN; BELHAMRI, 2006; ZIELINSKA; MARKOWSKI, 2009).

Discriminação das equações de secagem

Com base nos resultados obtidos foram realizados tratamentos de dados através do programa STATISTICA 7[®] visando obter uma equação para representar a cinética do material estudado.

Os ajustes dos dados de cinética de secagem foram realizados com as Equações 2.1, 2.2 e 2.3 já apresentadas na revisão bibliográfica e denominadas, respectivamente, de Lewis, Page e Brooker.

A escolha da equação que melhor representasse a cinética de secagem foi realizada com base nos parâmetros estatísticos R^2 , SQR e EMQ , previamente descritos no capítulo de materiais e métodos. Os valores desses critérios estatísticos estão apresentados nas Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3 para as velocidades de 1,5; 2,0 e 2,5m/s, respectivamente e parametrizadas nas temperaturas de 50; 60 e 70°C. A partir desses dados observa-se que, para as condições de secagem utilizadas neste trabalho, as equações utilizadas mostraram-se adequadas para representar os dados da cinética de secagem da pimenta dedo-de-moça. Tal escolha foi realizada com base nos baixos valores de EMQ e SQR , bem como de R^2 próximos a unidade.

Alguns autores (AKPINAR; BICER; YILDZ, 2003; DOYMAZ, 2004) que testaram as mesmas equações no ajuste dos dados de secagem de alimentos julgaram como melhor equação a de Page. No entanto, a diferença entre os valores encontrados para os critérios estatísticos foi pequena ao ponto de não se poder escolher apenas uma equação como no presente trabalho.

Resultados e Discussão

Tabela 4.1: Critérios estatísticos dos ajustes às equações em 1,5m/s.

T(°C)	LEWIS (2.1)			PAGE (2.2)			BROOKER (2.3)		
	R^2	SQR	EMQ	R^2	SQR	EMQ	R^2	SQR	EMQ
50	0,995	$4,3 \times 10^{-4}$	$2,1 \times 10^{-2}$	0,999	$1,0 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-2}$	0,996	$3,4 \times 10^{-4}$	$1,8 \times 10^{-2}$
60	0,999	$1,3 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-2}$	0,999	$1,3 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-2}$	0,999	$1,2 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-2}$
70	0,998	$2,2 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-2}$	0,998	$1,4 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-2}$	0,998	$1,9 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-2}$

Tabela 4.2: Critérios estatísticos dos ajustes às equações em 2,0m/s.

T(°C)	LEWIS (2.1)			PAGE (2.2)			BROOKER (2.3)		
	R^2	SQR	EMQ	R^2	SQR	EMQ	R^2	SQR	EMQ
50	0,998	$2,1 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-2}$	0,999	$0,8 \times 10^{-4}$	$0,9 \times 10^{-2}$	0,999	$1,2 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-2}$
60	0,990	$9,7 \times 10^{-4}$	$3,1 \times 10^{-2}$	0,997	$3,1 \times 10^{-4}$	$1,8 \times 10^{-2}$	0,991	$8,3 \times 10^{-4}$	$2,9 \times 10^{-2}$
70	0,998	$2,2 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-2}$	0,998	$1,4 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-2}$	0,998	$1,9 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-2}$

Tabela 4.3: Critérios estatísticos dos ajustes às equações em 2,5m/s.

T(°C)	LEWIS (2.1)			PAGE (2.2)			BROOKER (2.3)		
	R^2	SQR	EMQ	R^2	SQR	EMQ	R^2	SQR	EMQ
50	0,995	$4,9 \times 10^{-4}$	$2,2 \times 10^{-2}$	0,995	$4,9 \times 10^{-4}$	$2,2 \times 10^{-2}$	0,995	$4,3 \times 10^{-4}$	$2,1 \times 10^{-2}$
60	0,996	$4,0 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-2}$	0,996	$4,0 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-2}$	0,996	$3,6 \times 10^{-4}$	$1,9 \times 10^{-2}$
70	0,998	$1,1 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-2}$	0,998	$0,6 \times 10^{-4}$	$0,8 \times 10^{-2}$	0,999	$1,0 \times 10^{-4}$	$0,1 \times 10^{-2}$

Cada equação apresenta um ou mais parâmetros e os valores desses para as velocidades 1,5; 2,0 e 2,5m/s, parametrizados na temperatura do ar de secagem estão reunidos nas Tabelas 4.4, 4.5 e 4.6.

Os valores encontrados para o parâmetro k seguem uma tendência de aumento com a temperatura em todas as equações. Esses resultados reforçam o que já foi discutido sobre a predominância do processo difusivo na secagem da pimenta, pois esse parâmetro, pelo menos nas Equações 2.1 e 2.2, é a constante de secagem que depende da temperatura segundo uma função do tipo Arrhenius.

Resultados e Discussão

Tabela 4.4: Parâmetros ajustados com as equações de secagem para 1,5m/s.

T(°C)	LEWIS (2.1)	PAGE (2.2)		BROOKER (2.3)	
	<i>k</i>	<i>k</i>	<i>n</i>	<i>k</i>	<i>a</i>
50	1,3x10 ⁻² (±0,4x10 ⁻³)	1,8x10 ⁻² (± 0,8x10 ⁻³)	0,918 (± 15,0x10 ⁻³)	1,2x10 ⁻² (± 0,5x10 ⁻³)	0,963 (± 0,5x10 ⁻³)
60	2,2x10 ⁻² (± 0,4x10 ⁻³)	2,4x10 ⁻² (± 2,3x10 ⁻³)	0,976 (± 19,0x10 ⁻³)	2,1x10 ⁻² (± 0,5x10 ⁻³)	0,990 (± 8,3x10 ⁻³)
70	3,0x10 ⁻² (± 0,5x10 ⁻³)	2,7x10 ⁻² (± 2,8x10 ⁻³)	1,032 (± 18,0x10 ⁻³)	3,0x10 ⁻² (± 0,7x10 ⁻³)	0,997 (± 11x10 ⁻³)

Tabela 4.5: Parâmetros ajustados com as equações de secagem para 2,0m/s.

T(°C)	LEWIS (2.1)	PAGE (2.2)		BROOKER (2.3)	
	<i>k</i>	<i>k</i>	<i>n</i>	<i>k</i>	<i>a</i>
50	1,1x10 ⁻² (±0,4x10 ⁻³)	1,5x10 ⁻² (± 0,2x10 ⁻³)	0,936 (± 95,0x10 ⁻³)	1,1x10 ⁻² (± 0,7x10 ⁻³)	0,975 (± 0,5x10 ⁻³)
60	2,0x10 ⁻² (± 0,02x10 ⁻³)	1,0x10 ⁻² (± 3,3x10 ⁻³)	1,180 (± 9,0x10 ⁻³)	2,1x10 ⁻² (± 0,3x10 ⁻³)	1,036 (± 1,3x10 ⁻³)
70	3,4x10 ⁻² (± 0,1x10 ⁻³)	4,3x10 ⁻² (± 5,6x10 ⁻³)	0,935 (± 58,0x10 ⁻³)	3,3x10 ⁻² (± 0,4x10 ⁻³)	0,981 (± 91,0x10 ⁻³)

Tabela 4.6: Parâmetro ajustado com as equações de secagem para 2,5m/s.

T(°C)	LEWIS (2.1)	PAGE (2.2)		BROOKER (2.3)	
	<i>k</i>	<i>k</i>	<i>n</i>	<i>k</i>	<i>a</i>
50	1,6x10 ⁻² (±0,3x10 ⁻³)	1,6x10 ⁻² (± 0,5x10 ⁻³)	0,997 (± 65,0x10 ⁻³)	1,5x10 ⁻² (± 0,1x10 ⁻³)	0,980 (± 0,2x10 ⁻³)
60	1,8x10 ⁻² (± 0,8x10 ⁻³)	1,8x10 ⁻² (± 3,8x10 ⁻³)	0,997 (± 29,0x10 ⁻³)	1,8x10 ⁻² (± 0,5x10 ⁻³)	0,984 (± 4,9x10 ⁻³)
70	5,3x10 ⁻² (± 0,5x10 ⁻³)	4,5x10 ⁻² (± 1,9x10 ⁻³)	1,053 (± 11,0x10 ⁻³)	5,3x10 ⁻² (± 0,8x10 ⁻³)	1,012 (± 41,0x10 ⁻³)

Além disso, tais resultados concordam com o que já foi reportado na literatura por alguns trabalhos (VEGA *et al.*, 2007; AZZOUZ; JOMAA; BELGHITH, 1998). Vega *et al.*, (2007), analisando a secagem de pimentões vermelhos, obtiveram valores de *k*, ajustados a equação de Page, variando de 0,73x10⁻² a

Resultados e Discussão

$1,36 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$ nas temperaturas de 50 a 70°C, afirmando que esse parâmetro aumentou com a temperatura utilizada.

Analisando o parâmetro n , verificou-se que o mesmo aumentou com a velocidade do ar de secagem, mas de maneira moderada como pode ser visto na Figura 4.5. Na realidade há a necessidade de mais pontos para se fazer uma análise consistente. Esses resultados reforçam a pouca influência da velocidade do ar na secagem convectiva de *Capsicum baccatum*.

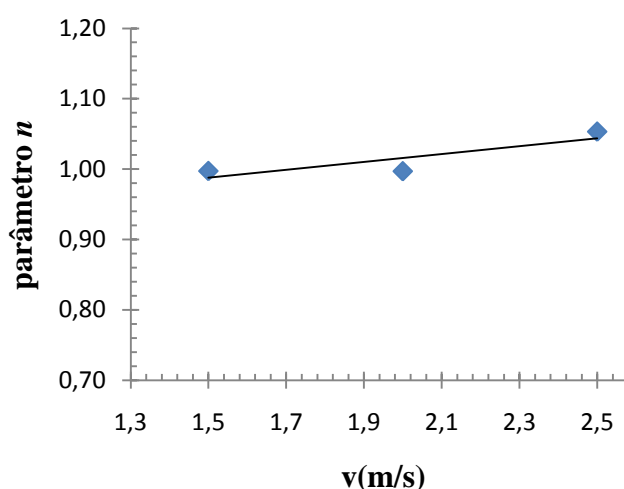


Figura 4.5: Parâmetro n em função da velocidade do ar na secagem.

A variação desse parâmetro na secagem pode estar relacionada à forma do material e à formação de uma camada externa no produto seco. Essa camada pode impermeabilizar o produto causando maior resistência à transferência de massa, que será maior ou menor dependendo de tipo de material e da espessura da camada formada (KARATHANOS; BELESSIOTIS, 1999).

No caso da pimenta dedo-de-moça deste trabalho, formou-se uma camada externa no produto seco, a qual pode ter contribuído para a pequena variação nos valores obtidos para n e, conseqüentemente, a transferência de massa durante o processo. Com relação a influência da forma não se pode fazer uma análise apurada, pois a pimenta foi processada sempre no mesmo formato (placa).

Babalís e Belessiotis (2004) obtiveram resultados semelhantes na secagem de figos, onde o parâmetro n aumentou de forma linear com o aumento da velocidade do ar.

Resultados e Discussão

Os dados obtidos durante a secagem em liofilizador também foram ajustados às equações já citadas e os resultados estão resumidos na Tabela 4.7 onde estão tanto os valores obtidos para cada parâmetro como os valores dos critérios estatísticos.

Tabela 4.7: Parâmetros das equações de ajustes das amostras liofilizadas.

Parâmetros	Liofilização		
	LEWIS (2.1)	PAGE (2.2)	BROOKER (2.3)
<i>k</i>	$1,26 \times 10^{-2} \pm 7,0 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-3} \pm 2,0 \times 10^{-4}$	$1,33 \times 10^{-2} \pm 8,0 \times 10^{-4}$
<i>a</i>			$1,058 \pm 0,0379$
<i>n</i>		$1,408 \pm 1,8 \times 10^{-2}$	
R^2	0,981	0,999	0,985
SQR	$1,9 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-5}$	$1,6 \times 10^{-3}$
EMQ	$4,3 \times 10^{-2}$	$5,3 \times 10^{-3}$	$3,9 \times 10^{-2}$

Neste caso, a Equação 2.2 foi a que melhor representou os dados da cinética de secagem em liofilizador, pois obteve maior valor de coeficiente de correlação e os menores valores de SQR e EMQ em relação às outras duas equações. Marques (2008), trabalhando com liofilização de frutas tropicais, comparou os valores de *n* para diferentes tipos de congelamento encontrando o valor de 1,311 nas amostras congeladas com vapor de nitrogênio. Valor este que ficou próximo ao encontrado para a pimenta dedo-de-moça liofilizada (Tabela 4.7) que também foi congelada no $N_{2(v)}$.

4.2 Propriedades Estruturais

Densidade Aparente

Na Tabela 4.8 observam-se os valores das densidades aparentes para as amostras secas em secador convectivo e liofilizador.

As diferenças entre as densidades mostradas na tabela refletem o tipo de processamento que as amostras sofreram. O ar aquecido usado na secagem por

Resultados e Discussão

convecção forçada provoca mudanças estruturais durante o processo como, por exemplo, o colapso celular gerando um produto com maior densidade aparente.

Tabela 4.8 Densidades aparentes das amostras em estudo.

v	T(°C)	ρ_{ap} (g/cm³)
1,5 m/s	50	1,30
	60	1,93
	70	1,10
2,0 m/s	50	1,56
	60	1,69
	70	1,42
2,5 m/s	50	1,30
	60	1,66
	70	1,80
Liofilizada		0,19

Para a amostra *in natura*, ρ_{ap} foi de 0,969 g/cm³ ficando próximo ao encontrado na literatura para outros vegetais como abacaxi (0,961 g/cm³), acerola (0,971 g/cm³) e manga (0,983 g/cm³) analisados por Marques (2008). Porém, difere do verificado por Chaves (2009) que foi de 0,623 g/cm³. Esta discrepância deve-se ao formato que foi usado em seus experimentos, pois Chaves (2009) utilizou a pimenta inteira ao invés de placas. Essa fruta na forma inteira possui uma cavidade que se mantém preenchida por ar cuja densidade é de 1,2.10⁻³ g/cm³ e que é contabilizado no volume aparente da amostra.

A amostra liofilizada foi a de menor densidade aparente dentre as apresentadas na Tabela 4.8. Segundo Krokida e Maroulis (2000), essa propriedade estrutural (ρ_{ap}) é fortemente modificada pelo processo de secagem que é utilizado (vácuo, secagem convectiva, liofilização, desidratação osmótica e microondas) e as amostras desidratadas por meio de liofilização sempre resultam em produtos com as menores densidades aparentes.

Trabalhando com liofilização de frutas e legumes, Krokida e Maroulis (2001) encontraram valores de 0,12; 0,26; 0,14 e 0,18 g/cm³ referentes a densidade aparente de maçã, banana, cenoura e batata, respectivamente. Chaves (2009) encontrou 0,18 g/cm³ para amostra de pimenta *Capsicum baccatum* liofilizada.

Na Figura 4.6 é mostrada relação da densidade aparente em função da umidade em base seca (X_{bs}) durante a secagem por convecção forçada.

Resultados e Discussão

Nota-se que ρ_{ap} aumentou à medida que o conteúdo de água foi removido. Na liofilização do mesmo material, Chaves (2009) verificou efeito contrário assim como Marques (2008) estudando a mudança nas propriedades estruturais de frutas tropicais liofilizadas.

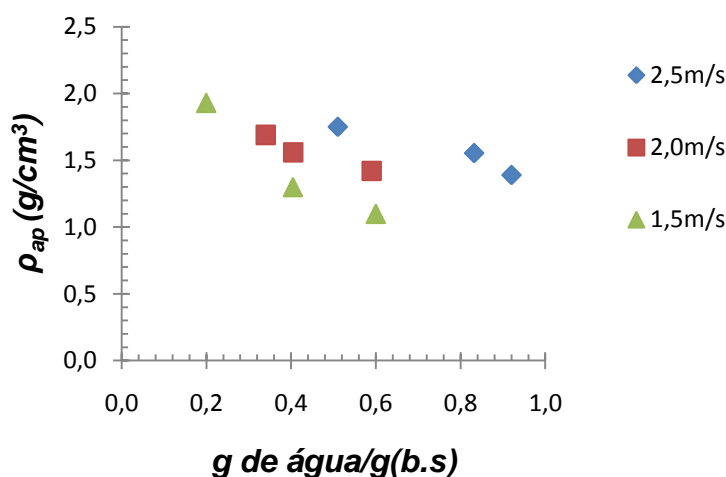


Figura 4.6: Densidade aparente em função do teor de umidade (b.s).

Esta diferença, com relação secagem convectiva e a liofilização, foi demonstrada por Krokida e Maroulis (2001), com a batata, a banana e a cenoura. Esses vegetais, ao serem secos por convecção forçada, tinham suas densidades aparentes aumentadas à medida que perdiam umidade, semelhante a este trabalho. Porém, ao serem secos em liofilizador, ocorria o efeito contrário.

A diferença entre os dois processos é que na liofilização o volume macroscópico do material permanece quase constante durante toda a secagem e o encolhimento é desprezível (ACHANTA; OKOS, 2000) de maneira que a diminuição da densidade aparente se dá devido à remoção de água porque o volume do material pode ser considerado constante durante a secagem. Assim, o local ocupado por água passa a ser ocupado por ar. Já na secagem por convecção o processo se desenvolve tanto com a redução da umidade como do volume do material.

Densidade Real

Na Tabela 4.9 estão reunidos os valores obtidos para a densidade real das amostras para os experimentos realizados em cada condição de secagem.

Resultados e Discussão

Semelhante ao que foi verificado para a densidade aparente, ρ_{real} não sofreu influência direta da temperatura utilizada no procedimento. Em média, esta propriedade foi de 2,26 g/cm³ para as amostras secas por convecção forçada sendo que aquelas processadas a 60°C alcançaram os maiores valores. Já no processo onde se utilizou liofilização, o valor encontrado para ρ_{real} ficou próximo a média das amostras secas por convecção.

Tabela 4.9 Densidades reais das amostras em estudo.

v	T (°C)	ρ_{real} (g/cm³)
1,5 m/s	50	1,77
	60	2,87
	70	1,31
2,0 m/s	50	2,42
	60	2,99
	70	2,00
2,5 m/s	50	2,33
	60	2,89
	70	1,80
Liofilizada		2,11

Na literatura, alguns autores reportaram que o tipo de secagem não influenciou na densidade real das amostras. Por exemplo, Krokida e Maroulis (2001) compararam as mudanças nas propriedades físicas de maçãs, batatas, cenouras e bananas com relação a diferentes métodos de secagem (microondas, secagem convectiva, estufa a vácuo, liofilização e desidratação osmótica) e concluíram que o único método que causou diferenças significativas na densidade real foi a desidratação osmótica. Isso ocorre devido à transferência de massa característica desse procedimento que faz com que a perda de água e o ganho de sólidos aproximem a densidade do material à densidade do agente desidratante utilizado.

A Figura 4.7 apresenta mudança na densidade real da pimenta durante o processo de secagem convectiva com relação a mudança no conteúdo de umidade das amostras.

Verifica-se que em todos os experimentos a densidade real aumentou à medida que a umidade diminuiu. Com a remoção da umidade, a densidade se aproxima cada vez mais da densidade do material.

Resultados e Discussão

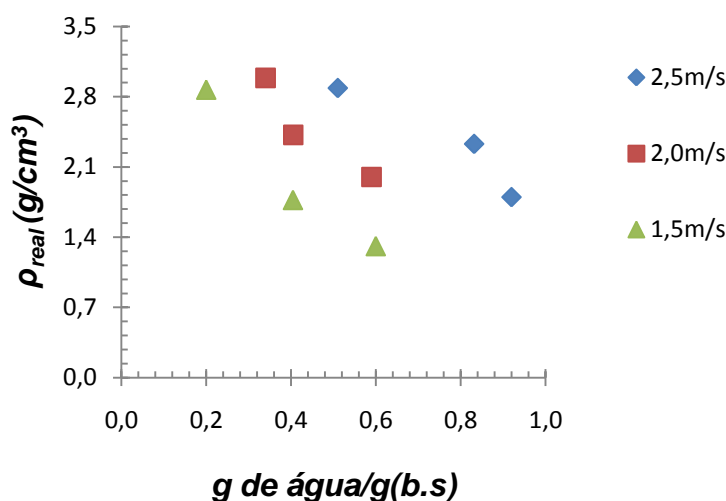


Figura 4.7: Densidade real em função do teor de umidade (b.s).

O mesmo comportamento foi encontrado por Krokida e Maroulis (2001) para cenouras, maçãs, bananas e batatas e por Chaves (2009) na liofilização da pimenta dedo-de-moça.

A semelhança com os resultados obtidos por Chaves (2009) na liofilização sugere que o tipo de secagem não influencia na densidade real da pimenta. No entanto, com os dados obtidos no presente estudo não é possível afirmar se houve ou não influência do tipo de processamento na ρ_{real} da pimenta, pois se trata um material muito heterogêneo quanto a forma e composição (concentração de constituintes). Além disso, cada amostra apresenta comportamento diferente durante a secagem, deformando-se com diferentes intensidades, evidenciando a não uniformidade mesmo em sua estrutura interna que será visto mais a frente. Em trabalhos futuros, faz-se necessário um estudo com uma amostragem maior.

Porosidade

A Figura 4.8 apresenta a relação entre a porosidade da pimenta dedo-de-moça em função da umidade perdida durante a secagem por convecção forçada.

A figura mostra que a porosidade seguiu uma tendência de aumento com a redução da umidade. Comportamento este semelhante ao encontrado por Chaves (2009) para pimenta (*Capsicum baccatum*) liofilizada. Isso sugere que esta propriedade física (ϵ) também não é afetada pelo método de secagem. Krokida e

Resultados e Discussão

Maroulis (2001) demonstraram que alguns legumes e frutas (cenouras, maçãs, bananas e batatas) apresentaram esse mesmo comportamento mostrado na Figura 4.8 tanto na liofilização como na secagem convectiva.

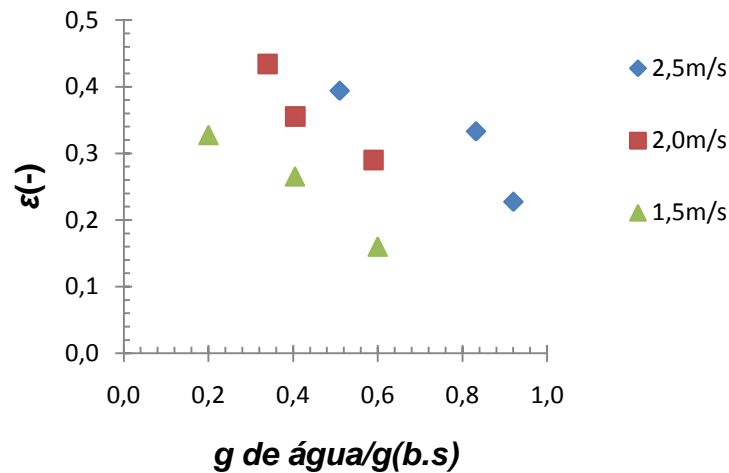


Figura 4.8: Porosidade em função da umidade (b.s) das amostras desidratadas por convecção.

As amostras resultantes da secagem convectiva apresentaram porosidade variando entre 0,16 a 0,43 onde o menor valor foi para as amostras submetidas a temperatura de 70°C e velocidade de 1,5m/s cuja umidade de equilíbrio foi de 0,6 (b.s). Já as amostras secas a 60°C e 2,0m/s foram as que atingiram o maior valor (0,43) e sua umidade de equilíbrio média foi de 0,34 (b.s). Nos experimentos realizados em liofilizador a ϵ , em média, foi de 0,91; semelhante ao relatado por Chaves (2009) para o mesmo material e sob a mesma técnica de secagem.

A alta porosidade encontrada para as amostras liofilizadas é resultado do próprio processo onde se utiliza vácuo e baixa temperatura para secar o material. Em contrapartida, os poros produzidos na secagem convectiva devem-se as tensões celulares provocadas pelo uso de altas temperaturas que acabam por romper as estruturas biológicas dos alimentos como as paredes celulares (ZOGZAS; MAROULIS; MARINOS-KOURIS, 1994) deixando a estrutura mais porosa.

Encolhimento

O fenômeno do encolhimento foi investigado, após a secagem da pimenta, com base na redução da espessura. Neste trabalho, considerou-se que o

Resultados e Discussão

encolhimento foi unidimensional, analisando-se apenas a espessura da placa (Figura 3.1). A Figura 4.9 apresenta a relação entre o encolhimento sofrido pela amostra e sua umidade durante o processo de secagem convectiva, parametrizados na temperatura do ar.

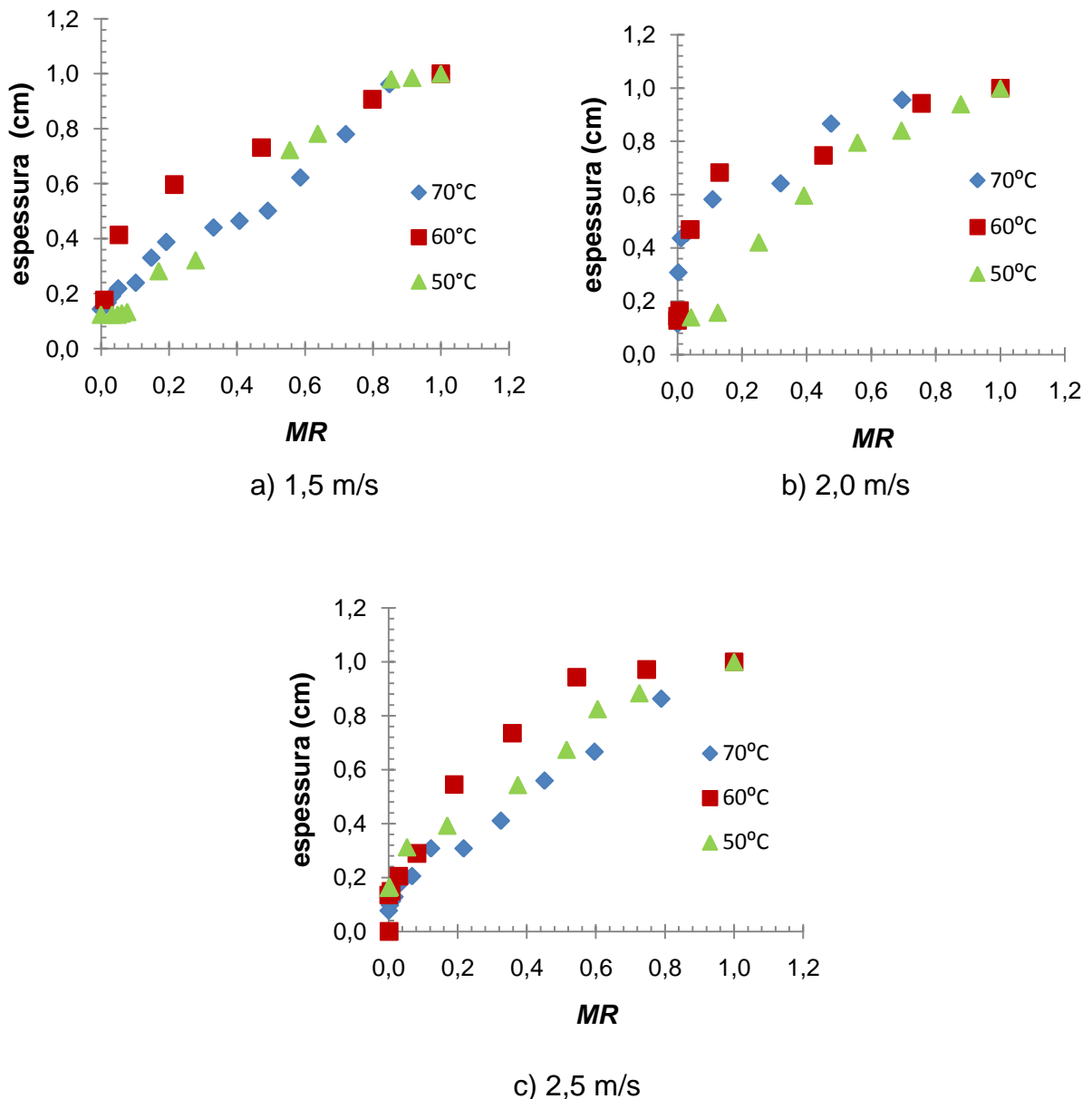


Figura 4.9: Encolhimento da pimenta em função de MR durante a secagem convectiva nas velocidades a) 1,5m/s; b) 2,0m/s e c) 2,5m/s, parametrizados na temperatura do ar.

A figura mostra que a redução da espessura foi praticamente proporcional a perda de umidade. Não houve relação direta entre o encolhimento da amostra e a

Resultados e Discussão

temperatura aplicada o que pode ser visto, principalmente, na Figura 4.9-b, onde as amostras secas a 50 °C encolheram mais rapidamente do que as demais.

Em todas as condições estudadas, as amostras secas a 60°C apresentaram maior dificuldade na redução de sua espessura pelo menos em um momento da secagem. Conforme Madiouli *et al.*, (2007) comentaram, este acontecimento mostra que o produto que secou nessa temperatura apresentou maior porosidade. Isto se confirma, pois as secagens a 60°C produziram amostras com maior valor de ϵ .

Madiouli *et al.*, (2007) comentaram ainda que o método de secagem é um fator muito importante na avaliação do encolhimento. Krokida e Maroulis (1997) já haviam confirmado esse fato ao verificar que os alimentos secos por convecção apresentaram sempre pequena porosidade e grande encolhimento, enquanto que na liofilização ocorria o inverso.

Na secagem da pimenta, neste trabalho, ocorreu o mesmo fenômeno. As amostras liofilizadas tiveram encolhimento em torno de 5,6 % e porosidade de 0,91, enquanto que nas amostras secas por convecção forçada, a redução da espessura variou entre 82,0 a 93,0 % e as porosidades, entre 0,16 a 0,43. Além do encolhimento, o método convectivo provocou outras alterações nas amostras. A Figura 4.10 apresenta o comportamento das placas de pimenta ao longo da secagem convectiva a 1,5m/s e 50 °C.

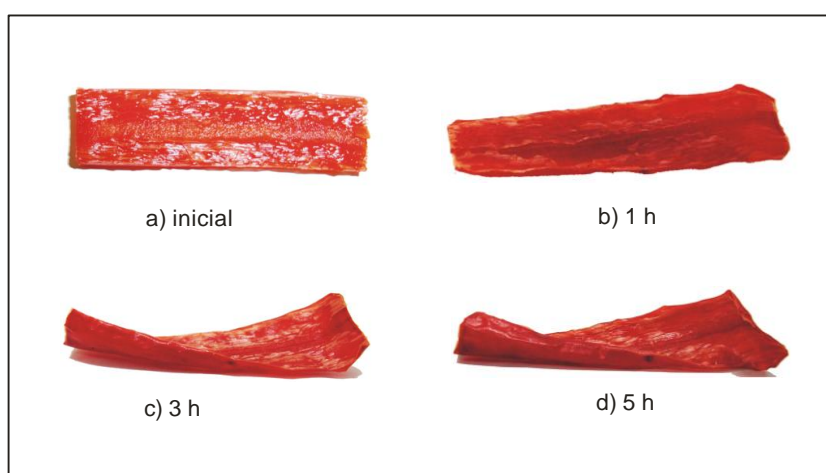


Figura 4.10: Deformações de uma amostra durante a secagem convectiva a 1,5 m/s e 50 °C e o tempo de permanência desta no equipamento.

Resultados e Discussão

A mudança na forma da pimenta, como mostrada na figura, ocorreu em todas as condições estabelecidas para a secagem convectiva. Durante o processo, as amostras adquiriram o formato contorcido conforme ilustrado devido à remoção da umidade e conseqüente diminuição das dimensões internas do material.

Segundo Arrieche e Sartori (2009), durante a secagem de materiais por convecção forçada, os fenômenos de interação entre o fluido e a amostra podem causar alterações nos coeficientes de transferência de calor e de massa por convecção e, conseqüentemente, uma secagem e encolhimento não uniformes, com uma distribuição interna de tensões que leva a uma alteração também na qualidade estrutural do produto. Em alguns experimentos observou-se também que as amostras quebraram. Mayor e Sereno (2004) comentaram que isso se deve as alterações estruturais durante o processo.

Na liofilização, as amostras não sofreram deformações perceptíveis o que pode ser atribuído aos mecanismos de remoção de umidade usados nesse tipo de secagem (baixas temperaturas e vácuo). Outra conseqüência dessas alterações estruturais pode ser observada no próximo item quanto à qualidade do produto.

4.3 Avaliação da Qualidade do Produto

Vitamina C

Na Tabela 4.10 são apresentados os valores encontrados para o teor de vitamina C presente nas amostras *in natura*.

Tabela 4.10: Teor de vitamina C nas amostras *in natura* em cada experimento.

Experimento	Teor de vitamina C (g/100g b.s)
Liofilização	576,2 ± 21,7
1,5 m/s	576,2 ± 21,7
2,0 m/s	195,7 ± 27,4
2,5 m/s	235,0 ± 19,5

Para cada grupo de experimentos foi utilizado o mesmo lote de pimentas. Apesar das amostras terem sido obtidas no mesmo ponto comercial, houve grande diferença na concentração de vitamina C entres os lotes adquiridos. Essa mudança

Resultados e Discussão

no teor de ácido ascórbico de um lote para o outro está relacionada com a época da colheita, o modo como as pimentas foram transportadas e armazenadas e até das condições do plantio (RIGHETTO, 2003).

Na literatura, muitos trabalhos apresentam divergências com relação ao teor de vitamina C de alimentos. Vega-Gálvez *et al.*, (2008), trabalhando com secagem de pimentões (*Capsicum annum* L.), encontraram a concentração de vitamina C de 1,60g/100 g nas amostras *in natura* em 2008. No ano seguinte, o mesmo grupo de pesquisadores trabalhou com amostras *in natura* cuja concentração foi de 188,2 mg/100 g (VEGA-GÁLVEZ *et al.*, 2009). Essa variação no teor de ácido ascórbico pode ser alterada até mesmo pela posição do fruto na árvore (FITTING e MILLER, 1958 *apud* MARQUES, 2008).

No presente trabalho, a quantificação do ácido ascórbico (AA) foi verificada nas amostras após o processo de secagem. A metodologia utilizada está descrita no Capítulo 3 e os resultados para as pimentas secas por convecção são apresentados na Tabela 4.11.

Tabela 4.11: Conteúdo de vitamina C nas amostras secas.

T (°C)	1,5 m/s		2,0 m/s		2,5 m/s	
	mg/100 g	Perda (%)	mg/100 g	Perda (%)	mg/100 g	Perda (%)
70	80,5 (± 34,29)	86,0	45,6 (±4,23)	76,7	63,4 (±8,95)	73,0
60	113,1 (± 10,12)	80,0	69,0 (±9,34)	64,74	72,8 (±5,03)	69,0
50	178,2 (± 6,57)	69,1	73,0 (±12,07)	62,7	82,3 (±9,22)	65,0

Verifica-se nessa tabela que o conteúdo de ácido ascórbico diminuiu com o aumento da temperatura do ar e que a temperatura que causou menor degradação de AA foi a de 50 °C. Esse fenômeno pode estar relacionado com os processos oxidativos irreversíveis durante a secagem ocasionados principalmente pelo uso do ar quente (SIGGE; HANSMANN; JOURBERT, 2001; VEGA-GÁLVEZ *et al.*, 2008).

Na liofilização, o conteúdo de vitamina C retido foi maior (324,5 ± 8,53 g/100 g), o que significou uma perda de 43,7 % com relação à amostra *in natura*. Marques (2008) relatou que a redução dessa vitamina na goiaba após a liofilização

Resultados e Discussão

chegou a 37,3 %. Esses resultados, de melhor qualidade do que os da secagem convectiva podem ser atribuídos ao processo térmico empregado na liofilização, bem como do baixo teor de umidade residual no fruto liofilizado que dificulta a ocorrência de reações degradativas do ácido ascórbico (KAREL; NICKERSON, 1964 *apud* OLIVA, 1995). Segundo Marques, Prado e Freire (2009), apesar da liofilização produzir um produto final de boa qualidade, deve-se tomar cuidado com o armazenamento do produto final devido à elevada porosidade prevenindo-se perdas adicionais de vitamina C.

Propriedade de Reidratação

A razão de reidratação (RR), definida como a relação entre a massa da amostra reidratada e a massa da amostra seca, foi obtida do valor médio de uma triplicata e usada na construção de um gráfico de RR em função do tempo para avaliar a cinética de reidratação. A Figura 4.11 apresenta as curvas de reidratação da pimenta nas condições estudadas sob a forma de razão de reidratação (RR) em função do tempo (t).

Em todas as condições mostradas na Figura 4.11 nota-se que há um rápido aumento de RR no início do processo até atingir um equilíbrio. Essa tendência foi relatada também na reidratação de frutas tropicais como abacaxi, mamão, manga e acerola (MARQUES *et al.*, 2009), assim como em cenouras (AMAMI *et al.*, 2007), tomates e cebola (KROKIDA; MARINOS-KOURIS, 2003).

A reconstituição da massa do produto variou de 78 a 90% com relação à massa que a amostra possuía antes da secagem. Esse resultado sofreu bastante influência da temperatura sendo que as amostras que se aproximaram da massa original (antes da secagem) foram as que secaram a 50 °C.

A dificuldade que as amostras secas tiveram para reabsorver o conteúdo inicial de umidade é explicada pelos possíveis danos estruturais e celulares causados pela secagem. Danos esses que podem diminuir a quantidade de espaços intercelulares ocupáveis pela água como comentam Krokida e Marinos-Kouris (2003) e Vega-Gálvez *et al.*, (2008) já que o processo de secagem pode provocar danos às estruturas celulares e a retração do material diminuindo a capacidade de reidratação.

Resultados e Discussão

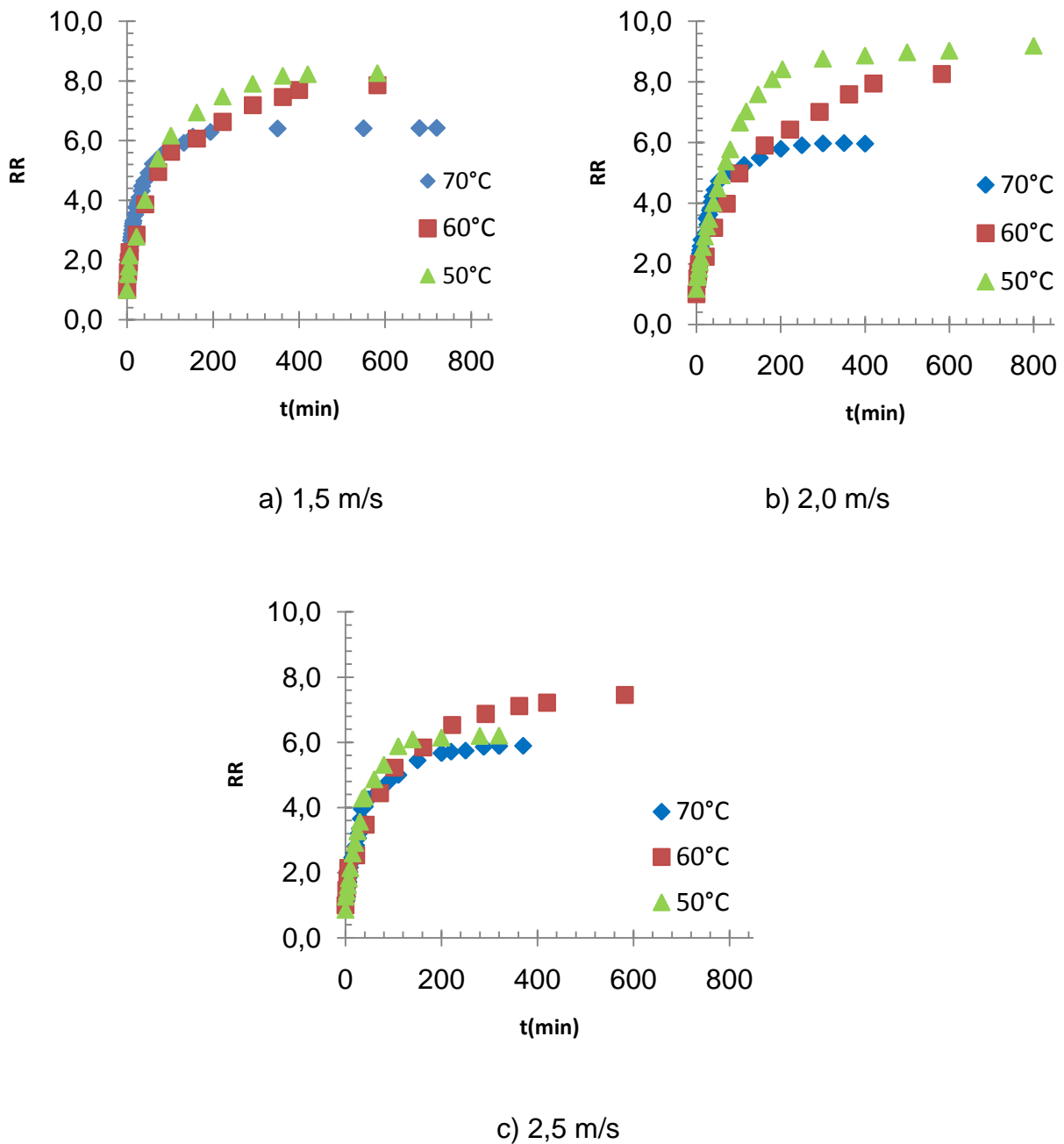


Figura 4.11: Razão de reidratação em função do tempo para as amostras secas nas velocidades de a) 1,5m/s; b) 2,0 m/s e c) 2,5m/s parametrizadas na temperatura do ar.

As Tabelas 4.12, 4.13 e 4.14 apresentam os resultados obtidos a partir dos ajustes dos dados da cinética de reidratação feitos com as equações Exponencial (2.11), Peleg (2.12) e Weibull (2.13), assim como dos critérios estatísticos usados para escolher a melhor equação.

Os dados obtidos da cinética de reidratação das amostras secas a 50°C foram bem representados pelas três equações conforme análise dos critérios

Resultados e Discussão

estatísticos utilizados. Os valores do coeficiente de correlação variaram entre 0,990 e 0,998, os de *SQR* entre 0,012 a 0,065 e os de *EMQ* entre 0,111 a 0,254.

A três equações testadas mostraram-se adequada para representar a reidratação das amostras secas por ter apresentado valores de R^2 próximos a unidade e *SQR* e *EMQ* elevados. Como a equação de Weibull apresenta parâmetros físicos interessantes ao entendimento do processo de reidratação, tem-se a seguir uma análise dos resultados encontrados.

Tabela 4.12: Parâmetros da equação Exponencial e critérios estatísticos.

<i>v</i> (m/s)	<i>T</i> (°C)	Parâmetros da equação		Critérios estatísticos		
		$RR_e(-)$	$k_1(\text{min}^{-1})$	R^2	<i>SQR</i>	<i>EMQ</i>
1,5	50	8,128	0,013	0,991	0,065	0,254
	60	7,451	0,013	0,974	0,149	0,385
	70	6,155	0,035	0,985	0,044	0,209
2,0	50	9,030	0,012	0,996	0,032	0,179
	60	8,074	0,008	0,985	0,095	0,308
	70	5,765	0,029	0,981	0,045	0,212
2,5	50	6,202	0,024	0,996	0,013	0,112
	60	7,189	0,011	0,984	0,087	0,295
	70	5,699	0,024	0,990	0,027	0,165

Tabela 4.13: Parâmetros da equação de Peleg e critérios estatísticos.

<i>v</i> (m/s)	<i>T</i> (°C)	Parâmetros da equação			Critérios estatísticos		
		$RR_e(-)$	$k_1(\text{min})$	$k_2(-)$	R^2	<i>SQR</i>	<i>EMQ</i>
1,5	50	9,459	8,846	0,121	0,996	0,033	0,182
	60	8,782	11,091	0,136	0,994	0,034	0,185
	70	6,726	3,871	0,173	0,998	0,005	0,071
2,0	50	10,415	0,107	8,182	0,992	0,064	0,254
	60	10,278	18,020	0,112	0,996	0,028	0,168
	70	6,413	5,453	0,186	0,992	0,018	0,135
2,5	50	7,104	5,699	0,161	0,990	0,034	0,183
	60	8,541	12,803	0,139	0,995	0,026	0,163
	70	6,444	6,358	0,180	0,995	0,014	0,116

Resultados e Discussão

Tabela 4.14: Parâmetros da equação de Weibull e critérios estatísticos.

<i>v</i> (m/s)	<i>T</i> (°C)	Parâmetros da equação			Critérios estatísticos		
		<i>RR_e</i> (-)	<i>α</i> (-)	<i>β</i> (min)	<i>R</i> ²	<i>SQR</i>	<i>EMQ</i>
1,5	50	8,461	0,786	87,850	0,997	0,025	0,157
	60	8,502	0,624	123,750	0,996	0,021	0,144
	70	6,383	0,771	34,416	0,998	0,006	0,078
2,0	50	9,151	0,908	88,114	0,997	0,020	0,143
	60	9,516	0,704	213,541	0,995	0,033	0,181
	70	5,951	0,778	40,442	0,992	0,018	0,135
2,5	50	6,217	0,982	41,675	0,996	0,012	0,111
	60	7,864	0,696	118,154	0,996	0,023	0,150
	70	5,825	0,859	46,659	0,993	0,018	0,135

O menor valor de α foi encontrado para as temperaturas de 60°C nas três velocidades usadas. Conforme visto na revisão bibliográfica, quanto menor o valor desse parâmetro maior a taxa de reidratação no período inicial. Isso pode ser visualizado na Figura 4.10-c, pois é a que apresenta a maior diferença com relação a esse parâmetro.

Os maiores valores de β foram obtidos na temperatura de 70°C exceto na velocidade de 2,5m/s. O inverso desse parâmetro pode ser comparado com o coeficiente de difusão. Então, quanto menor seu valor, mais rapidamente a amostra irá absorver a água. Esse fato pode ser visualizado nas Figuras 4.10-a e 4.10-b onde nota-se que as amostras que foram secas nas outras temperaturas apresentaram maior dificuldade em se reidratar ao longo do processo. A amostra seca a 70°C rapidamente atingiu o ponto de estabilização.

Os valores da razão de reidratação (RR_e) da equação de Weibull foram maiores para as amostras secas a 60°C, seguidos de 50°C e 70°C. Conforme verificado no item Propriedades estruturais, as propriedades físicas variaram bastante durante o processo de secagem. A justificativa dos altos valores de RR_e para 60°C pode estar no fato de que suas porosidades foram as maiores. Dessa forma, enquanto as outras amostras já estão com as suas reidratações estabilizadas, a obtida com 60°C ainda possui poros não completamente preenchidos. O aumento de RR_e com o aumento da porosidade foi relatado pelos

Resultados e Discussão

seguints pesquisadores (MARQUES, PRADO; FREIRE, 2009; MCMINN; MAGEE, 1997; KROKIDA; MARINOS-KOURIS, 2003) entre outros.

No entanto, o parâmetro RR_e não fornece nenhuma informação a respeito da capacidade da matriz em absorver água com relação a quantidade de água perdida durante a secagem. Logo não deve ser usado sozinho para explicar as características de reidratação apresentadas pelas amostras em estudo.

Análise das propriedades de reidratação

A Tabela 4.15 apresenta os valores médios dos índices utilizados para avaliar a capacidade de reidratação da pimenta *Capsicum baccatum*. Esses índices foram propostos por Lewick (1998) e levam em conta não só o ganho de água, mas também a perda de sólidos solúveis como vitaminas e sais.

Tabela 4.15: Índices de reidratação das amostras secas de pimenta.

$v(m/s)$	$T(^{\circ}C)$	CAA	CRS	RR
1,5	50	0,920	0,371	0,356
	60	0,859	0,373	0,320
	70	0,877	0,098	0,086
2,0	50	0,822	0,244	0,201
	60	0,846	0,527	0,446
	70	0,852	0,155	0,132
2,5	50	0,877	0,169	0,148
	60	0,804	0,614	0,494
	70	0,918	0,155	0,142
Liofilizada		0,825	0,625	0,516

O índice CAA dessa tabela mostra que todas as amostras restauraram mais do que 80% da quantidade de água perdida. Apesar da liofilização proteger a estrutura do material com o mínimo de colapso durante o processo, não obteve resultado superior às amostras secas por convecção.

As amostras secas a 60°C tiveram os piores resultados dentre as amostras secas por convecção no conjunto de dados de 1,5 e 2,5 m/s. Tais resultados não eram esperados já que foram as amostras que adquiriram maior porosidade após a secagem. No entanto, como já comentado, as amostras obtidas de secagem convencional apresentaram uma camada externa que, segundo

Resultados e Discussão

Karathanos e Belessiotis (1999), dificultam a transferência de massa e, conseqüentemente, a perda de sólidos solúveis. Dessa forma, pode-se afirmar que o bom resultado apresentado de *CRS* para as amostras secas a 60°C está atrelado a dificuldade na transferência de massa ao longo do processo. Ou seja, a resistência à transferência de massa dificultou a absorção de água, no entanto, proporcionou um produto que manteve grande parte de suas características nutricionais mesmo após a reidratação, pois diminuiu o processo de lixiviação.

Ao multiplicar os dois índices (*CAA* e *CRS*), obtendo-se os efeitos combinados dos processos de secagem e de reidratação sobre a qualidade do produto, verifica-se que as amostras secas por convecção a 60°C apresentaram bons resultados para as duas velocidades (2,0m/s e 2,5m/s). Tal resultado mostra que a baixa lixiviação, quantificada pelo índice *CRS*, tem influência significativa sobre a capacidade de reidratação (*CR*) das amostras secas.

As amostras liofilizadas apresentaram os melhores resultados nesse quesito, confirmando que o processo de liofilização gera um material com grande capacidade de reconstituir a água perdida durante a secagem e reter seus nutrientes durante a reidratação (MARQUES; PRADO; FREIRE, 2009; CHAVES, 2009). Ainda quanto aos resultados obtidos da liofilização, estes se apresentaram semelhantes ao encontrado por Chaves (2009) que obteve para os índices *CAA*, *CRS* e *CR*, respectivamente 0,835; 0,493 e 0,412.

Germinação

Dentre as principais características classificadas como atributos de qualidade das sementes, como teor de umidade próprio para o armazenamento e comercialização, o poder germinativo pode ser relacionado com a redução da umidade. Diante disso, foram conduzidos experimentos para a busca de informação sobre o desenvolvimento de uma nova plântula a partir de sementes provenientes do processamento da pimenta em secador convectivo.

Os primeiros testes de germinação, conduzidos com as sementes *in natura* e com as que foram processadas, mostraram a necessidade de tratamentos para quebrar a dormência. O fornecimento de luz por períodos de 8h foi eficiente e, pela praticidade, foi o método escolhido nos demais testes (EMBRAPA, 2009; BRASIL, 2009).

Resultados e Discussão

Na Tabela 4.16 estão reunidos os resultados obtidos pelo método direto de observação da germinação das sementes de pimenta *in natura* e das que foram submetidas à secagem convectiva em três temperaturas.

Tabela 4.16 Resultados do teste de Germinação.

Sementes	Germinação %
<i>in natura</i>	98,0
40°C	66,0
50°C	46,0
70°C	5,0

Observa-se nessa tabela que a germinação foi prejudicada pelo aumento da temperatura tendo como melhor resultado no TPG as sementes provenientes da secagem a 40°C. A temperatura de 70°C praticamente eliminou a capacidade germinativa das amostras. Segundo Embrapa (2009), a secagem das sementes de *Capsicum baccatum*, deve ser feita a 38°C por até 48 horas. Ultrapassar esses parâmetros significa comprometer o sistema de membranas das células embrionárias. No entanto, esta recomendação refere-se às sementes extraídas do fruto. No trabalho atual, elas permaneceram intactas dentro da pimenta. Ou seja, envolvidas pela proteção natural (epicarpo) durante todo o processo.

Dessa forma, os processos envolvidos na transferência de massa das sementes para a superfície foram dificultados. Isso foi verificado visualmente no momento da extração das sementes, pois as mesmas apresentavam-se “molhadas” mesmo após o longo período de secagem (3 a 5 dias). Assim, no interior da pimenta formou-se um ambiente propício para a degradação enzimática e conseqüente apodrecimento do embrião devido ao excesso de umidade aliado a temperatura do processo (HARRINGTON, 1972).

Não foram encontrados dados referentes ao índice de germinação das sementes de *Capsicum baccatum* var. Pendulum. Tampouco existem estudos para avaliar a germinação de sementes oriundas da secagem dos frutos do gênero *Capsicum*. As sementes de pimenta do reino (*Pipiper nigrum* L.) apresentaram germinação de 56% (GARCIA *et al.*, 2000) e as de pimentão (*Capsicum annum* L.), variou de 52 a 90% (VIDIGAL *et al.*, 2009). Com relação a secagem de sementes dentro dos frutos, tem-se trabalhos referentes ao quiabo (*Abelmoschus esculentus* L.

Resultados e Discussão

Moench) em que suas sementes dentro dos frutos apresentaram índice de germinação de 96,5% contra 91,5% para as que foram secas fora dos frutos (SETUBAL; ZANIN; NAKAGAWA, 1996).

Diante disso pode-se afirmar que o índice de germinação das sementes obtidas do processamento a 40°C foram bons. Para a confirmação desse julgamento, fazem-se necessários outros tipos de avaliações presentes nas regras de análises de sementes como índice de fissura, vigor e emergência dentre outros que visam uma análise completa da qualidade das sementes.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 Conclusões

A partir da análise dos resultados obtidos sobre a secagem da pimenta têm-se, para as condições operacionais utilizadas, as conclusões que estão descritas a seguir.

As curvas de secagem apresentaram somente o período de taxa decrescente que foi confirmado pelas curvas de taxa de secagem em função da umidade, verificando-se assim que a temperatura da secagem foi o parâmetro que definiu a taxa de secagem da pimenta. Assim, a difusão interna foi a etapa controladora do processo de secagem da pimenta.

A partir da discriminação das principais equações de secagem, verificou-se que as equações de LEWIS (2.1), PAGE (2.2) e BROOKER (2.3) representaram os dados de cinética de forma satisfatória. Nesse caso a equação indicada é a (2.1) pelo bom ajuste e por possuir apenas um parâmetro.

As propriedades físicas estruturais tiveram concordância com o que se encontra na literatura com relação à secagem de alimentos, sendo que a densidade aparente e a real aproximaram-se da densidade do produto totalmente seco à medida que perdiam umidade. Na obtenção dos dados de porosidade verificou-se também uma relação direta com a perda de umidade.

Com relação ao conteúdo nutricional, verificado pela quantificação do ácido ascórbico, as amostras processadas em secador convectivo tiveram valores inferiores às secas em liofilizador. Já na comparação dentro do mesmo método de secagem, quanto menor a temperatura a ser utilizada menor a degradação dos nutrientes como a vitamina C.

Baseado nos critérios estatísticos verificou-se que as três equações utilizadas no ajuste dos dados de cinética de reidratação foram adequadas para as condições usadas no presente trabalho. As amostras que apresentaram maior taxa de reidratação e RR_e foram as processadas a 60°C devido a porosidade obtida após o processo de secagem que variou entre 0,33 e 0,43.

Conclusões

Os índices, que levam em conta a perda de solutos e o ganho de água absorvida em relação a que foi perdida durante a secagem, contribuíram para um melhor entendimento do processo de reidratação. A partir dos índices de reidratação verificou-se que as amostras secas na temperatura de 60°C apresentaram menor capacidade de absorção de água, mas elevada capacidade de reter seus nutrientes. Apesar de não poder ser quantificado ou mensurado, a formação de uma camada externa impermeabilizante (comum na secagem convencional) pode ter influenciado nos valores encontrados nesses índices.

Em geral, as amostras liofilizadas apresentaram-se com qualidade superior às amostras processadas no secador convectivo. O processo de liofilização forneceu produtos com alta porosidade e ótimas características como retenção dos nutrientes.

Os resultados dos testes de germinação mostraram que o aumento da temperatura do ar de secagem prejudicou o desenvolvimento de plântulas a partir das sementes provenientes das pimentas processadas. O melhor resultado foi obtido com a temperatura de 40° C ficando com índice de germinação próximo ao relatado na literatura para espécies semelhantes.

O estudo realizado possibilitou a caracterização da pimenta dedo-de-moça, quanto ao seu comportamento durante a secagem e reidratação. Permitiu comparar duas técnicas de secagem bastante diferentes em termos tecnológicos para analisar a secagem da pimenta sob os aspectos qualitativos. Também foi possível compreender melhor as características fisiológicas das sementes de *Capsicum baccatum* var. Pendulum frente ao processo de secagem a convecção forçada, bem como verificar se as mesmas poderiam ser usadas como subproduto da secagem da pimenta. Assim, esse estudo contribuiu para o melhoramento da qualidade do processamento da pimenta dedo-de-moça e o uso de suas sementes que, por ventura, seriam descartadas.

Sugestões

5.2 Sugestões

Algumas sugestões para trabalhos futuros sobre a secagem de pimenta dedo-de-moça são descritas a seguir:

- estudar a secagem da pimenta em outros secadores como leito rotativo e leito fluidizado;
- determinar o teor de vitamina C e carotenóides por meio de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE);
- estudar a cinética de degradação do ácido ascórbico;
- estudar a temperatura de transição vítrea (T_g) para verificar a influência desta propriedade no comportamento do material durante a secagem e reidratação;
- determinar o calor específico, condutividade térmica e difusividade térmica em função do teor de umidade na secagem;
- avaliar o uso de pré-tratamentos na qualidade da secagem, como o branqueamento ou o uso de substâncias químicas, tal como o oleato de etila que removam parte da proteção externa da pimenta;
- verificar a influência da desidratação osmótica na secagem da pimenta, utilizando diferentes agentes osmóticos como sacarose, cloreto de sódio ou glicerol;
- utilizar outros fluidos para a reidratação como álcool comercial ou vinagre;
- estudar o efeito da temperatura da água durante o processo de reidratação;
- avaliar a qualidade fisiológica das sementes com relação ao vigor, emergência, fissura e envelhecimento;
- verificar a influência do estágio de maturação (verde ou vermelho) dos frutos de pimenta na qualidade de germinação de suas sementes;
- analisar outros tipos de substratos no teste de germinação e
- utilizar outros critérios estatísticos para avaliar o melhor modelo na determinação da cinética de secagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHANTA, S.; OKOS, M. R. Quality changes during drying of food polymers. In: MUJUMDAR, A. S (Ed.). **Drying technology in agriculture and food sciences**. Enfield (NH): Science Publishers, Inc., 2000, p. 133-147.
- AKPINAR, E. K.; BICER, Y.; YILDIZ, C. Thin layer drying of red pepper. **Journal of Food Engineering**, v.59, n.1, p. 99–104, 2003.
- ALMEIDA, C. A.; GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C.; SILVA, F. L. H. Avaliação da cinética de secagem em frutos de acerola. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n.1, 2006.
- AL-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Water sorption isotherms of starch powders. Part 2: thermodynamic characteristics. **Journal of Food Engineering**, v.62, n.2, p. 135-142, 2004.
- ALVES, S. M. **Secagem de tomates via processo combinando convecção osmótica-convecção e desidratação osmótica-vácuo**. 2002. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, 2002.
- ALVES, S. M.; SILVEIRA, A. M. Estudo da secagem de tomates desidratados e não desidratados osmoticamente. **Revista Universidade Rural**, v. 21, n. 1, p. 21-30, 2002.
- AMAMI, E.; FERSI, A.; KHEZAMI, L.; VOROBIEV, E.; KECHAOU, N. Centrifugal osmotic dehydration and rehydration of carrot tissue pre-treated by pulsed electric field. **Food Science and Technology**, v.40, p.1156-1166, 2007.
- ARRIECHE, L. S.; SARTORI, D. J. M. Secagem de partículas isoladas. In: FREIRE, J. T.; SILVEIRA, A. M. (Ed.). **Fenômenos de transporte em sistemas particulados: fundamentos e aplicações**. São Carlos: Suprema, 2009, p. 3-25.
- AZZOUS, S.; JOMAA, W.; BELGHITH, A. Drying kinetic equation of single layer of grapes. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM (IDS´S98), 11., 1998, Haikidiki. **Proceedings...** Haikidiki, 1998, v. B, p. 988-997.
- BABALIS, S. J.; BELESSIOTIS, V. G. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. **Journal of Food Engineering**, v. 65, n. 3, p. 449-458, 2004.
- BARROZO, M. A. S.; SARTORI, D. J. M.; FREIRE, J. T. A study of the statistical discrimination of the drying kinetics equations. **Food and Bioproducts Processing**, v. 82, n. 3, p. 219-225, 2004.
- BENAMOUN, L., BELHAMRI, A. Numerical simulation of drying under variable external conditions: application to solar drying of seedless grapes. **Journal of Food Engineering**, v. 76, n. 2, p. 179-187, 2006.

Referências Bibliográficas

- BIANCHETTI, L. B. **Aspectos morfológicos, ecológicos e biogeográficos de dez táxons de *Capsicum (Solanaceae)* ocorrentes no Brasil**. 1996. 174 f. Dissertação (Mestrado em Botânica), Pós-graduação em Botânica, Universidade de Brasília, Brasília, 1996.
- BONTEMPO, M. **Pimenta e seus benefícios à saúde**. São Paulo: Alaúde Editorial, 2007. 110 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 399 p.
- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying Cereal Grains**. Westport, CT, USA: The AVI Publishing Co., 1974. 265 p.
- CAMARGO, L. S. **As hortaliças e seu cultivo**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1984. 448 p.
- CHAVES, K. C. B. **Liofilização da pimenta dedo-de-moça (*Capsicum baccatum* var. *pendulum* L.)**. DEQ/UFSCar, 2009. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso.
- DIAS, M. A.; LOPES, J. C.; CORRÊA, N. B.; DIAS, D. C. F. S. Germinação de sementes e desenvolvimento de plantas de pimenta malagueta em função do substrato e da lâmina de água. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 3, p. 115-121, 2008.
- DOYMAZ, I. Drying kinetics of White mulberry. **Journal of Food Engineering**. v. 61, n. 3, p. 341-346, 2004.
- DOYMAZ, I.; PALA, M. Hot-air drying characteristics of red bell pepper. **Journal of Food Engineering**, v. 55, n. 4, p. 331-335, 2002.
- EL-SEBAIL, A. A.; ABOUL-ENEIN, S.; RAMADAN, M. R. I.; EL-GOHARY, H. G. Empirical correlations for drying kinetics of some fruits and vegetables. **Energy**, v. 27, p. 845-859, 2002.
- EMBRAPA. **Pimenta (*Capsicum* spp.)**. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/PimentaPimenta_capsicum_spp/producaosement e.html>. Acesso em: 10 de agosto de 2009.
- ERGÜNEŞ, G.; TARHAN, S. Color retention of red peppers by chemical pretreatments during greenhouse and open sun drying. **Journal of Food Engineering**, v. 76, n.3, p. 446-452, 2006.
- FELLOWS, P. **Food processing technology. Principles and practice**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2000. 575 p.
- FEMENIA, A.; BESTARD, M. J.; SANJUAN, N.; ROSSELÓ, C.; MULET, A. Effect of rehydration temperature on the cell wall components of broccoli (*Brassica oleracea* L. Var. *italica*) plant tissues. **Journal of Food Engineering**, v. 46, n. 3, p. 157-163, 2000.
- FITTING, K. O.; MILLER, C. D. Variation in the ascorbic acid content of individual fruits of the acerola. **Hawaii Farm Science**, v. 7, n. 2, p. 7, 1958.

Referências Bibliográficas

- FLORIANO, E. P. **Germinação e dormência de sementes florestais**. Santa Rosa: ANORGS, 2004, 19 p. (Série Caderno didático, nº 2).
- FORNARO, A.; COICHEV, N. Ácido L-ascórbico: reações de complexação e de oxido-redução com alguns íons metálicos de transição. **Química Nova**, v. 21, n. 5, p. 642-650, 1998.
- FORTES, M.; OKOS, M. R. Drying theories their bases and limitations as applied to food and grains. In: MUJUMDAR, A. S. (Ed.). **Advances in Drying**. Washington: Hemisphere, 1980. p. 119-154.
- GARCIA, D. C.; BARROS, A. C. S. A.; PESKE, S. T.; MENEZES, N. L. A secagem de sementes. **Ciência Rural**, v. 34, n. 2, p. 603-608, 2004.
- GARCIA, J. G.; KAMADA, T.; JACOBSON, T. K. B.; CURADO, M. A.; OLIVEIRA, S. M. Superação de dormência em sementes de pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 30, n. 2, p. 51-54, 2000.
- GARCÍA-PASCUAL, P.; SANJUÁN, N.; MELIS, R.; MULET, A. *Morchella esculenta* (morel) rehydration process modeling. **Journal of Food Engineering**, v. 72, n. 4, p. 346-353, 2006.
- GIRI, S. K.; PRASAD, S. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. **Journal of Food Engineering**, v.78, n. 2, p. 512-521, 2007.
- GUINÉ, R. P. F. Influence of drying method on density and porosity of pears. **Food and Bioproducts Processing**, v. 84, n. c3, p. 179-185, 2006.
- GUPTA, P.; AHMED, J.; SHIVHARE, U. S.; RAGHAVAN, G. S. V. Drying characteristics of red chili. **Drying Technology**, v. 20, n. 10, p.1975-1987, 2002.
- HARRINGTON, J. F. Seed storage and longevity. In: KOZLOWSRI, T. T. (Ed.). **Seed biology**. New York: Academic Press, 1972. 582 p.
- HERNÁNDEZ, Y.; LOBO, M. G.; GONZÁLEZ, M. Determination of vitamin C in tropical fruits: a comparative evaluation of methods. **Food Chemistry**, v.96, n. 4, p. 654-664, 2006.
- HUANG, C. T.; CLAYTON, J. T. Relations between mechanical properties and microstructure of porous foods: Part I. A review. In: SPIESS, W. E. L.; SCHUBERT, H. (Ed.). **Engineering and Food**, London: Elsevier Applied Science, 1990. p. 352-360.v. 1 - Physical Properties and Process Control.
- HUNZIKER, A. T. **South American Solanaceae: a sinopic survey**. Universidad Nacional de Cordoba – Trabajos Del Museo Botanico. Tomo III, n. 8. Cordoba. Argentina. 1979.
- IGUAZ, A.; SAN MARTIN, M. B.; MATÉ, J. I.; FERNANDEZ, T.; VÍRSEDA, P. Modeling effective moisture diffusivity of rough rice (Lido cultivar) at low drying temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 59, n. 2, p. 253–258, 2003.

Referências Bibliográficas

- KARATHANOS, V. T; BELESSIOTIS, V. G. Application of a thin-layer equation to drying data of fresh and semi-dried fruits. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 74, n. 4, p. 355-361, 1999.
- KAREL, M.; NICKERSON, J. T. R. Effects of relative humidity, air and vacuum in browning of dehydrated orange juice. **Food Technology**, v. 18, p. 1214-1218, 1964.
- KAYA, A.; AYDIN, O.; DEMIRTAS, C. Drying kinetics of red delicious apple. **Biosystem Engineering**, v. 96, n.4, p. 517–524, 2007.
- KAYMAK-ERTEKIN, F. Drying and rehydrating kinetics of green and red peppers. **Journal of Food Science**, v.67, n. 1, p. 168-175, 2002.
- KEEY, R. B. Moisture: solid relationships. In:____. **Drying principle and practices**. Oxford: Pergamon Press, 1972. p. 19-49.
- KIM, S.; LEE, K. W.; PARK, J.; LEE, H. J.; HWANG, I. K. Effect of drying in antioxidant activity and changes of ascorbic acid and colour by different drying and storage in Korean red pepper (*Capsicum annuum* L.). **International Journal of Food Science and Technology**, v. 41, n. 1, p. 90-95, 2006.
- KOOLI, S.; FADHEL, A.; FARHAT, A.; BELGHITH, A. Drying of red pepper in open sun and greenhouse conditions mathematical modeling and experimental validation. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 3, p. 1094-1103, 2007.
- KROKIDA, M. K.; KARATHANOS, V. T.; MAROULIS, Z. B. Effect of freeze-drying conditions on shrinkage and porosity of dehydrated agricultural products. **Journal of Food Engineering**, v. 35, n. 4, p. 369-380, 1998.
- KROKIDA, M. K.; MARINOS-KOURIS, D. Rehydration kinetics of dehydrated products. **Journal of Food Engineering**, v.57, n. 1, p. 1-7, 2003.
- KROKIDA, M. K.; MAROULIS, Z. B. Effect of drying method on shrinkage and porosity. **Drying Technology**, v. 15, n. 10, p. 2441-2458, 1997.
- KROKIDA, M. K; MAROULIS, Z. B. Structural properties of dehydrated products during rehydration. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 36, n. 5, p. 529-538, 2001.
- KROKIDA, M.; MAROULIS, Z. Quality changes during drying of food materials. In: MUJUMDAR, A. S. (Ed.). **Drying technology in agriculture and food sciences**. Enfield, NH: Science Publishers, 2000. p. 70-82.
- LEE, S. K.; KADER, A. A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biology and Technology**. v. 20, n. 3, p. 207-220, 2000.
- LEWICKI, P. P. Some remarks on rehydration of dried foods. **Journal of Food Engineering**, v. 36, n. 1, p. 81-87, 1998.
- LEWIS, W.K., , The rate of drying of solid materials. **Industrial Engineering Chemistry**, v. 13, n. 5, p. 427-432, 1921.

Referências Bibliográficas

- LIAPIS, A. I.; PIKAL, M. J.; BRUTINI, R. Research and development needs and opportunities in freeze drying. **Drying Technology**, v. 14, n. 6, p. 1265-1300, 1996.
- LINGUANOTTO NETO, N. **Dicionário gastronômico: pimentas com suas receitas**. São Paulo: Boccato Editores, 2004. 164 p.
- LOMBRAÑA, J. I.; IZKARA, J. Experimental estimation of effective transports coefficients in freeze drying for simulation and optimization purposes. **Drying Technology**, v. 14, n.3 e 4, p.743-763, 1996.
- LOZANO, J. E.; ROSTSTEIN, E.; URBICAIN, M. J. Shrinkage, porosity and bulk density of foodstuffs at changing moisture contents. **Journal of Food Science**, v. 48, n. 5, p. 1497-1502, 1983.
- LUCCAS, P. **Influência do congelamento no processo de liofilização do sangue bovino**. 1998. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1998.
- LUNA, F.; MARTÍNEZ, J. Stability of the dynamical system describing gas-phasecontrolled drying of ternary mixtures. In: INTER-AMERICAN DRYING CONFERENCE (IADC), 1997, Itu, Brazil. **Proceedings...Itu: 1997**. v. A, p. 99-106.
- MACHADO, A. V.; OLIVEIRA, EDSON, L.; FREITAS, L. M.; OLIVEIRA, A. B. V.; SOUZA, J. S. O.; FREIRE, L. A. C. Cinética de secagem do caju em secador convectivo. In: JORNADA NACIONAL DA AGROINDÚSTRIA, 3., Bananeiras, 2008. Disponível em: <http://www.seminagro.com.br/trabalhos_publicados/3jornada/02ciencia_tecnologia_de_alimentos/CTA0254.pdf> Acesso em 15 de abr. 2010.
- MADIOULI, J.; LECOMTE, D.; NGANYA, T.; CHAVEZ, S.; SGHAIER, J. A method for determination of porosity change from shrinkage curves of deformable materials. **Drying Technology**, v. 25, n. 4, p. 621-628, 2007.
- MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M.; SANTOS, G. M.; SILVA, D. S.; FERNANDES, A. G.; PRADO, G. M. Effect of the processing on some components of acerola juice. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n. 1, p. 130-134, 2007.
- MARABI, A.; JACOBSON, M.; LIVINGS, S. J.; SAGUY, I. S. Normalized Weibull distribution for modeling rehydration of food particulates. **European Food Research and Technology**, v. 217, n. 4, p. 311-318, 2003.
- MARCOS FILHO, J.; CÍCERO, S. M.; SILVA, W. R. **Avaliação da qualidade de sementes**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrícolas. Luiz de Queiroz, 1987. 320 p.
- MAROULIS, Z. B.; KIRANOUDIS, C. T.; MARINOS-KOURIS, D. Heat and mass transfer modeling in air drying of foods. **Journal of Food Engineering**, v. 26, p. 113-130, 1995.

Referências Bibliográficas

- MAROUSIS, S. N.; SARAVACOS, G. G. Density and porosity in drying starch materials. **Journal of Food Science**, v. 55, n. 5, p. 1367-1372, 1990.
- MARQUES, L. G. **Liofilização de frutas tropicais**. 2008. 255 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) –Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.
- MARQUES, L. G.; PRADO, M. M.; FREIRE, J. T. Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits. **Food Science and Technology**, v. 42, n.7, p. 1232-1237, 2009.
- MASSARANI, G.; TELLES, S. A. Aspectos da secagem de material sólido particulado. In: FREIRE, J. T.; SARTORI, D. J. M. (Ed.). **Tópicos Especiais em Secagem**. São Carlos: UFSCar, 1992., v.1, p. 2-39.
- MATTEUCCI, M. B. A.; GUIMARÃES, N. N. R.; TIVERON FILHO, D. Utilização do teste de tetrazólio visando estimar a viabilidade de germinação da semente de pimenta-de-macaco – *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart., ANNONACEAE. **Anais das Escolas de Agronomia e Veterinária**, v. 27, n. 2, p. 43-47, 1997.
- MAYOR, L.; SERENO, A. M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering**, v.61, n. 3, p. 373-386, 2004.
- MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Physical characteristics of dehydrated potatoes-Part I. **Journal of Food Engineering**, v. 33, n. 1, p. 37-48, 1997.
- MOURA, M. J.; FIGUEIREDO, M. M. Aplicação das técnicas de picnometria de gás e de porosimetria de mercúrio à caracterização da madeira de *E. globulus*. **Silva Lusitana**, v. 10, n. 2, p. 207-216, 2002.
- MUJUMDAR, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, 1995. v.1, 742p.
- MUJUMDAR, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. New York: Marcel Dekker, 1987. 948 p.
- NASCIMENTO FILHO, H. R.; BARBOSA, R. I.; LUZ, F. J. F. Pimentas do gênero *Capsicum* cultivadas em Roraima, Amazônia brasileira. II. Hábitos e formas de uso. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 4, p. 561-568, 2007.
- NASCIMENTO, B. S. **Secagem de sementes de *Arachis hipogae* L. com capa protetora**. 2009. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.
- OLIVA, P. B. **Estudo do armazenamento da acerola in natura e estabilidade do néctar de acerola**. 1995. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1995.
- OLIVEIRA, R. A.; OLIVEIRA, W. P.; PARK, K. J. Determinação da difusividade efetiva de raiz de chicória. **Engenharia Agrícola**, v.26, n. 1, p. 181-189, 2006.

Referências Bibliográficas

- OVERHULTS, D. G.; WHITE, G. M.; HAMILTON, H. E.; ROSS, I. J. Drying soybeans with heated air. **Transactions of the ASAE**, v. 16, n. 1, p. 112–113, 1973.
- PAGE, C. **Factors influencing the maximum rate of drying shelled corn in layers**. Dissertação. Purdue University, Indiana, USA, 1949.
- PANKAJ, B. P.; SHARMA, G. P. Effective moisture diffusivity of onion slices undergoing infrared convective drying. **Biosystems Engineering**, v. 93, n. 3, p. 285-291, 2006.
- PELEG, M. Na empirical model for the description of moisture sorption curves. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 4, p. 1216-1219, 1988.
- PERRY, R. H., GREEN D. W. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. 50. Ed. New York: Mc Graw-Hill, 1992.
- PETER, M. Z.; OLIVEIRA, M.; MENEGHETTI, V. L.; GELAIN, J.; ELIAS, M. C.; ANTUNES, P. L. Desidratação de pimenta (*Capsicum baccatum* L.), com ar aquecido por GLP. In: XIV CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, Pelotas, 2005. **Anais...** Disponível em: <http://www.ufpel.edu.br/cic/2005/arquivos/EN_01373.rtf>. Acesso em: 12 ago. 2008.
- PINTO, L. A. A. **Cinética de secagem de filés de peixes: uso de um modelo difusivo com variações de volume**. 1996. 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1996.
- PITOMBO, R. M. N. A liofilização como técnica de conservação de material de pesquisa. **Ciência e Cultura**, v. 41, n. 5, p. 427-431, 1989.
- PITOMBO, R. N. M. **Comportamento higroscópico do suco de laranja liofilizado**. 1990. 137 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos). Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.
- PITOMBO, R. N. M.; CANTELMO, M. C. P. W. Jugo de acerola (*Malpighia punicifolia* L.) liofilizado: comportamiento higroscópico, efectos del almacenamiento a diferentes humedades relativas y temperaturas, sobre la vitamina C y compuestos volátiles. **Alimentaria**, v. 10, n. 316, p. 119-128, 2000.
- POSSE, S. C. P.; SILVA, R. F.; VIEIRA, H. D.; CATUNDA, P. H. A. Efeitos do condicionamento osmótico e da hidratação na germinação de sementes de pimentão (*Capsicum annuum* L.) submetidas a baixa temperatura. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 23, n. 1, p. 123-127, 2001.
- PRADO, M. E. T.; ALONSO, L. F. T; PARK, K. J. Shrinkage of dates (*Phoenix dactylifera* L.). **Drying Technology**, v.18, n. 1, p.295-310, 2000.
- RAHMAN, M. S. Towards prediction of porosity in foods during drying a brief: a brief review. **Drying Technology**, v. 19, n. 1, p. 3-15, 2001.

Referências Bibliográficas

- RATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 311-319, 2001.
- REIFSCHNEIDER, F. J. B. (Org.). **Capsicum: pimentas e pimentões no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2000. 113 p.
- RIGHETTO, A. M. **Caracterização físico-química e estabilidade de suco de acerola verde microencapsulada por atomização e liofilização**. 2003. 176 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, 2003.
- RODRIGUES, M. E. A.; ALMEIDA, F. A. C.; GOUVEIA, J. P. G.; SILVA, M. M. Avaliação da temperatura e velocidade do ar na secagem de goiaba. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 4, n. 2, p. 141-147, 2002.
- RÜCKOLD, S.; GROBECKER, K. H.; ISENGARD, H. The effects of drying on biological matrices and the consequences for reference materials. **Food Control**, v.12, n. 7, p. 401-407, 2001.
- SANJUÁN, N.; SIMAL, S.; BON, J.; MULET, A. Modeling of broccoli stems rehydration process. **Journal of Food Engineering**, v. 42, n. 1, p. 27-31, 1999.
- SCALA, K.; CRAPISTE, G. Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper. **Food Science and Technology**. v. 41, n. 5, p. 789-795, 2008.
- SCHULTZ, E. L.; MAZZUCO, M. M.; MACHADO, R. A. F.; BOLZAN, A.; QUADRI, M. B.; QUADRI, M. G. N. Effect of pre-treatments on drying, density and shrinkage of apple slices. **Journal of Food Engineering**, v.78, n. 3, p. 1103–1110, 2007.
- SENADEERA, W.; BHANDARI, B. R.; YOUNG, G.; WIJESINGHE, B. Influence of shapes of selected vegetable materials on drying kinetics during fluidized bed drying. **Journal of Food Engineering**, v.58, n. 3, p. 277-283, 2003.
- SETUBAL, J. W.; ZANIN, A. C. W.; NAKAGAWA, J. Efeitos da idade dos frutos, método e condição de secagem sobre a qualidade de sementes de quiabeiro (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) cv. Santa Cruz-47. **Revista Brasileira de Sementes**, v.18, n. 1, p.138-142, 1996.
- SIGGE, G. O.; HANSMANN, C. F.; JOURBERT, E. Effect of storage conditions, packaging material and metabisulfite treatment on the colour of dehydrated green bell peppers (*Capsicum annum* L.). **Journal of Food Quality**, v. 24, n.3, p. 205–218, 2001.
- SINGULANI, R. C. **DESENVOLVIMENTO DE UM SECADOR DE CONVECÇÃO FORCADA**. DEQ/UFSCar, 1998. Trabalho de Conclusão de Curso.
- SILVA, C. K. F. **Aplicação da Análise Inversa ao Modelo Difusional de Transferência de Massa**. 2007. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.

Referências Bibliográficas

- 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, n. 3, p. 323-328, 2005.
- STEPIEN, B. Rehydration of carrot dried using various methods. **Acta Agrophysica**, v. 11, n. 1, p. 239-251, 2008.
- TUNDE-AKINTUNDE, T. Y.; AFOLABI, T. J.; AKINTUNDE, B. O. Influence of drying methods on drying bell-pepper (*Capsicum annuum*). **Journal of Food Engineering**, v. 68, n. 4, p. 439-442, 2005.
- TURHAN, M.; TURHAN, K. N. Drying Kinetics of red bell pepper. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 21, n. 3, p. 209-223, 1997.
- ÜRETİR, G.; ÖZILGEM, M.; KATNAŞ, S. Effects of velocity and temperature of air on the drying rate constants of apple cube. **Journal of Food Engineering**, v. 30, p. 339-350, 1996.
- VEGA, A.; FITO, P.; ANDRÉS, A.; LEMUS, R. Mathematical modeling of hot-air drying kinetics of red bell pepper (var. Lamuyo). **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 4, p. 1460-1466, 2007.
- VEGA-GÁLVEZ, A.; DI SCALA, K.; RODRÍGUEZ, K.; LEMUS-MONDACA, R.; MIRANDA, M.; LÓPEZ, J.; PEREZ-WON, M. Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian) . **Food Chemistry**, v. 117, n. 4, p. 647-653, 2009.
- VEGA-GÁLVEZ, A.; LEMUS-MONDACA, R.; BILBAO-SÁINZ, C.; FITO, P.; ANDRÉS, A. Effect of air drying temperature on the quality of rehydrated dried red Bell pepper (var. Lamuyo). **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 1, p. 42-50, 2008.
- VIDIGAL, D. S.; DIAS, D. C. F. S.; PINHO, E. V. R. V.; DIAS, L. A. S. Alterações fisiológicas e enzimáticas durante a maturação de sementes de pimenta (*Capsicum annuum* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 2, p. 129-136, 2009.
- VILLAR, C.G. **Estudo do desempenho de um secador convectivo de bandejas para a secagem de bananas: análise da influência das variáveis operacionais**. 1999. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1999.
- ZIELINSKA, M.; MARKOWSKI, M. Air drying characteristics and moisture diffusivity of carrots. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 49, n. 2, p.212-216, 2009.
- ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Densities, shrinkage and porosity of some vegetables during air drying. **Drying Technology**, v. 12, n. 7, p.1653-1666, 1994.

Referências Bibliográficas

ZÚÑIGA, O. C.; JIMÉNES, F.G.; GORDILLO, R. M. Comparative study of carotenoid composition in three mexican varieties of *Capsicum annuum* L, **Food Chemistry**, v. 90, n. 1, p.109- 114, 2005.