

TIAGO SARTORELLI PRATO

**INFLUÊNCIA DA SECAGEM SOBRE COMPOSTOS
MEDICINAIS E DE PUNGÊNCIA DO GENGIBRE**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, na área de Engenharia de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto.

Orientador: Prof. Dr. Roger Darros Barbosa
Co-orientadora: Prof^ª Dr^ª. Mieke Kimura

São José do Rio Preto – SP

2010

Prato, Tiago Sartorelli.

Influência da secagem sobre compostos medicinais e de pungência do gengibre / Tiago Sartorelli Prato. - São José do Rio Preto : [s.n.], 2010.
84 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Roger Darros -Barbosa

Co-orientadora: Mieko Kimura

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas

1. Secagem. 2. Gengibre - Secagem. 3. Cinética de secagem. 4. Gingeróis. I. Darros-Barbosa, Roger. II. Kimura, Mieko. III. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. IV. Título.

CDU - 66.047

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

TIAGO SARTORELLI PRATO

**INFLUÊNCIA DA SECAGEM SOBRE COMPOSTOS
MEDICINAIS E DE PUNGÊNCIA DO GENGIBRE**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, na área de Engenharia de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Roger Darros Barbosa
Professor Assistente Doutor
UNESP – São José do Rio Preto
Orientador

Prof. Dr. Joel Fernando Nicoleti
Professor Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. José Antônio Gomes Vieira
Professor Assistente Doutor
UNESP – São José do Rio Preto

São José do Rio Preto, 26 de fevereiro de 2010

DADOS CURRICULARES

Tiago Sartorelli Prato

Nascimento:	14/05/1983 – São José do Rio Preto / SP.
Filiação:	João Carlos Prato Regina Sartorelli Prato
2002 a 2006:	Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da UNESP, Campus São José do Rio Preto / SP.
2007 a 2010:	Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, nível Mestrado, no Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da UNESP, Campus São José do Rio Preto / SP.
2007 a atual:	Engenheiro de Alimentos para Verdmax (MC Fernandes Indústria e Comércio de Alimentos Ltda), responsável pela produção agrícola e desidratação de hortaliças, destinadas à produção de temperos e condimentos.

Aos meus pais, meu avô Lélío Prato e à minha esposa Carina.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao meu querido e eterno Deus e Pai por conduzir minha vida, dar-me o privilégio de conhecer a verdade contida na Bíblia, conceder-me a paz nos momentos de tribulação, manter minha saúde e permitir meu êxito nesta etapa de minha vida acadêmica.

Aos meus pais que não pouparam esforços, investimentos e orações para minha formação moral, espiritual e acadêmica. E meus irmãos pela amizade e carinho dispensados.

À minha eterna namorada, amiga e esposa Carina, pelo seu apoio, incentivo e compreensão, mesmo quando eu passava horas na faculdade ou mesmo em casa na frente do computador, sem lhe dar a atenção merecida.

Aos meus queridos professores, orientadores e, posso dizer, amigos, Roger e Mieko, pela dedicação, paciência e inestimável contribuição para minha formação como pesquisador.

Ao Alexandre e Márcia pela oportunidade concedida de exercer minha profissão e ainda cursar o mestrado, pela paciência e compreensão.

Aos professores Joel e José Antônio por aceitarem o convite de participar da minha banca examinadora da dissertação de mestrado.

Aos colegas Lucas, Viviani e Priscila, por seu imprescindível auxílio durante a coleta de dados e experimentos.

Aos meus amigos, familiares e irmãos da Igreja Adventista do Jardim Soraia, pelo apoio incondicional e perseverante oração.

RESUMO

O gengibre, rizoma da *Zingiber Officinale* Roscoe, é muito utilizado na alimentação por sua pungência e sabor característico, na fabricação de diversos produtos e bebidas e como ingrediente em preparados alimentícios *in natura* ou processado. Alguns dos principais compostos que contribuem para o aroma e a pungência do gengibre, gingeróis e shogaóis, são também responsáveis por algumas propriedades medicinais e terapêuticas. Este trabalho propôs-se investigar o processo de desidratação do gengibre fatiado quanto à influência da temperatura e vácuo sobre os compostos pungentes, principalmente o 6-gingerol e 6-shogaol e quanto à cinética de secagem em secador de bandejas sob convecção forçada. Para tanto, foram realizados ensaios em secador convencional de bandejas à pressão atmosférica e em secador sob vácuo com ar de secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C. Os dados obtidos permitiram a construção e a modelagem das curvas de secagem e o cálculo da taxa de secagem ao longo do processo. Amostras coletadas durante o processo foram analisadas por espectrofotometria direta e por cromatografia líquida de alta eficiência para obter os perfis de concentração dos gingeróis totais, 6-gingerol e 6-shogaol. Os resultados mostraram a influência da temperatura do ar de secagem, com as mais altas atingindo umidades mais baixas do gengibre em períodos de tempo mais curtos e apresentando taxas de secagem iniciais constantes mais elevadas. Boa parte da secagem ocorreu sob taxa decrescente e com grandes contrações e encolhimentos. Os dados experimentais de umidade versus tempo foram melhor ajustados pelo modelo de Midilli *et al.* O teor de gingeróis totais no gengibre *in natura* variou de 4,88 a 6,83 mg (g-gengibre fresco)⁻¹, com perfis crescentes ao longo da secagem, enquanto o teor de 6-gingerol (pico de absorção à 278 nm e retenção 9,2 minutos) variou de 0,99 a 1,17 mg (g-gengibre)⁻¹ na secagem sob vácuo, com perfis semelhantes aos gingeróis totais. Maior percentual de retenção foi observado nas temperaturas de 50 e 60°C, principalmente na secagem sob vácuo, enquanto a temperatura de 70°C proporcionou maior degradação dos gingeróis em qualquer pressão. O 6-shogaol (pico de absorção à 278 nm e retenção 25,8 minutos) não foi detectado nas amostras de gengibre *in natura*, e detectado após 6 horas de secagem na temperatura de 70°C sob vácuo (umidade 5,72% bu) em concentração de 0,05 mg (g-matéria seca)⁻¹, atingindo 0,10 mg (g-matéria seca)⁻¹ após 12 horas de secagem (umidade 3,78% bu), indicativo de degradação térmica do 6-gingerol, transformando-se no 6-shogaol. Secagem à 50 e 60°C apresentaram traços de 6-shogaol após 12 horas.

PALAVRAS CHAVES: secagem, gengibre, cinética de secagem, gingeróis, 6-gingerol, 6-shogaol.

ABSTRACT

Ginger, rhizome from *Zingiber Officinale* Roscoe, is greatly appreciated by its pungency and characteristic flavor, as ingredient in food and beverage processing and in home cooking fresh or processed. Some of the main compounds which contributed to the aroma and pungency to ginger, gingerols and shogaols, are also responsible for some health and therapeutic properties. This research proposed to investigate the dehydration process of sliced ginger, the influence of temperature and vacuum on pungent compounds, mainly 6-gingerol and 6-shogaol, and to determine the drying kinetics in cabinet drier under forced air convection. Experiments were conducted in a conventional cabinet drier at atmospheric pressure and in a vacuum drier using air at temperatures of 50, 60 and 70°C. Data obtained allowed the drying curves to be drawn and modeled, as well as to calculate the drying rate over the entire process. Samples collected during the process were analyzed by direct spectrophotometry and by high efficiency liquid chromatography, in order to get the concentration profile, respectively, of total gingerols, 6-gingerol and 6-shogaol. The results showed strong temperature effects on the drying process, with highest temperatures giving lowest moisture contents in shortest process times and presenting initial higher and constant drying rates. Most part of the drying time has occurred under falling drying rates and with noticeable contractions and shrinkage of the ginger slices. The experimental data of moisture as a function of drying time were best fitted to the four parameter model of Midilli *et al.* The total gingerols content in the fresh ginger varied from 4.88 to 6.83 mg (g-fresh ginger)⁻¹, with increasing profiles during drying, while the content of 6-gingerol (absorption peak at 278 nm and retention time 9.2 min) varied from 0.99 to 1.17 mg (g-ginger)⁻¹ on drying under vacuum, with similar profiles. Higher percentage of retention was observed at temperatures of 50 and 60°C, mainly in the drying under vacuum, while drying at the temperature of 70°C showed to be very detrimental to gingerol degradation at any drying pressure investigated. The 6-shogaol (absorption peak at 278 nm and retention time 25.8 min) was not detected in any sample of fresh ginger, and only after 6 hours drying time it was determined at temperature of 70°C under vacuum (moisture 5.72%, wet basis) in the amount of 0.05 mg (g-dry matter)⁻¹, reaching 0.10 mg (g-dry matter)⁻¹ after 12 hours of drying time (moisture 3.78%, wet basis), indicating thermal degradation of 6-gingerol, transforming into 6-shogaol. Drying at temperatures of 50 and 60°C only presented traces of 6-shogaol after 12 hours drying time.

KEY WORDS: drying, ginger, drying kinetics, gingerols, 6-gingerol, 6-shogaol.

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1: “Ilustração da <i>Zingiber officinale</i> Roscoe”	16
Figura 2: “Estrutura molecular do 6-gingerol”	23
Figura 3: “Estrutura molecular do 6-shogaol”	23
Figura 4: “Estrutura molecular do 10-gingerol”	23
Figura 5: “Comparação dos valores de 6-gingerol quantificados após diferentes métodos de secagem”	27
Figura 6: “Curvas típicas de secagem”	28
Figura 7: “Fatia de gengibre com casca”	34
Figura 8: “Cortador mecânico escolhido para fatiamento do gengibre”	34
Figura 9: “Secador de bandejas à pressão atmosférica - Meloni”	36
Figura 10: “Vista lateral esquemática do secador de bandejas à pressão atmosférica”	36
Figura 11: “Temperatura do ar na saída das bandejas com ar de entrada ajustado para $70 \pm 2^\circ\text{C}$ ”	37
Figura 12: “Esquema representativo da movimentação do ar de secagem no secador de bandejas à pressão atmosférica”	38
Figura 13: “Esquema representativo da bandeja 3 dividida em quatro regiões para ensaio de secagem”	41
Figura 14: “Umidade, base úmida, das bandejas secundárias A, B, C e D ao longo da secagem”	42
Figura 15: “Secador de bandejas a vácuo”	44
Figura 16: “Disposição das bandejas no secador a vácuo: (a) parte inferior; (b) parte superior”	44
Figura 17: “Disposição das esferas de vidro no interior do secador sob vácuo”	45
Figura 18: “Curva padrão para determinação do teor de gingeróis totais”	48
Figura 19: “Espectros de absorção em metanol de padrões de (a) 6-gingerol e (b) 6-shogaol”	48
Figura 20: “Curva padrão para determinação do teor de 6-gingerol”	49
Figura 21: “Razão de umidade em função do tempo de secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C à pressão atmosférica”	54
Figura 22: “Taxa de secagem em função do tempo nas temperaturas de 50, 60 e 70°C à pressão atmosférica”	55

Figura 23: “Taxa de secagem em função do teor de umidade nas temperaturas de 50, 60 e 70°C à pressão atmosférica”	56
Figura 24: “Encolhimento das fatias de gengibre durante secagem à pressão atmosférica na temperatura de 60°C: (a) <i>in natura</i> e (b) após 4 horas”	58
Figura 25: “Curvas de secagem de gengibre à temperatura de 50°C e modelos ajustados”. 59	
Figura 26: “Curvas de secagem de gengibre à temperatura de 60°C e modelos ajustados”. 59	
Figura 27: “Curvas de secagem de gengibre à temperatura de 70°C e modelos ajustados”. 60	
Figura 28: “Curvas de secagem: razão de umidade em função do tempo de secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C sob vácuo”	63
Figura 29: “Curvas de secagem a 70°C: vácuo e pressão atmosférica”	64
Figura 30: “Exemplo de espectro de absorção dos extratos de amostras cruas e secas de gengibre”	65
Figura 31: “Teor de gingeróis totais (▲), mg (g-gengibre) ⁻¹ , e umidade (●), g-água (100 g-gengibre) ⁻¹ , de amostras submetidas às diferentes condições de secagem”	67
Figura 32: “Retenção (% do teor inicial) em base seca de gingeróis totais das fatias de gengibre submetidas a diferentes condições de secagem”	68
Figura 33: “Cromatograma típico da mistura de padrões de 6-gingerol e 6-shogaol (a) e do extrato de amostra desidratada de gengibre (b). Identificação dos picos: 1) 6-gingerol e 2) 6-shogaol”	70
Figura 34: “Espectros de absorção do 6-gingerol (1) e do 6-shogaol (2) na fase móvel (metanol:água na proporção de 60:40) obtidos pelo detector de arranjo de diodos”	70
Figura 35: “Teor de 6-gingerol e gingeróis totais, mg (g-gengibre) ⁻¹ , das fatias de gengibre submetidas à secagem sob vácuo nas temperaturas de 50, 60 e 70°C”	71
Figura 36: “Retenção de 6-gingerol, mg (g-gengibre) ⁻¹ durante a secagem a vácuo de gengibre nas temperaturas de 50, 60 e 70°C”	72

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
Tabela 1: “Composição centesimal do rizoma de gengibre fresco”	20
Tabela 2: “Porcentagem de alguns compostos do grupo do gingerol e do shogaol no extrato de gengibre fresco e desidratado”	24
Tabela 3: “Comparação entre as temperaturas do ar de secagem nas bandejas 3 e 1”	39
Tabela 4: “Comparação entre as temperaturas do ar de secagem nas bandejas 3 e 2”	39
Tabela 5: “Comparação entre as temperaturas do ar de secagem nas bandejas 3 e 4”	40
Tabela 6: “Comparação entre as temperaturas do ar de secagem nas bandejas 3 e 5”	40
Tabela 7: “Controle de peso das bandejas na secagem a vácuo para temperatura de 60°C por 6 horas”	45
Tabela 8: “Controle de peso das bandejas na repetição da secagem a vácuo para temperatura de 60°C por 6 horas”	46
Tabela 9: “Modelos matemáticos aplicados às curvas de secagem”	52
Tabela 10: “Parâmetros de secagem no ponto da umidade crítica”	57
Tabela 11: “Parâmetros de ajuste dos modelos da cinética de secagem de gengibre, coeficientes de determinação (R^2) e chi-quadrado (χ^2)”	61
Tabela 12: “Simulação (valores aproximados) do teor de compostos pungentes totais e de 6-gingerol em mg (g-gengibre) ⁻¹ calculados a 10% de umidade (expressa em base úmida)” ..	72
Tabela 13: “Resultados experimentais de razão de umidade (adimensional) para secagem à pressão atmosférica para temperaturas de 50, 60 e 70°C”	87
Tabela 14: “Resultados experimentais de razão de umidade (adimensional) para secagem sob vácuo para temperaturas de 50, 60 e 70°C”	87

LISTA DE SÍMBOLOS

3A	Bandeja secundária posicionada na região A da bandeja 3
3B	Bandeja secundária posicionada na região B da bandeja 3
3C	Bandeja secundária posicionada na região C da bandeja 3
3D	Bandeja secundária posicionada na região D da bandeja 3
a, b, c	Constantes dos modelos – Equações 9 a 11, [adimensional]
Abs	Absorbância, [adimensional ou unidades de absorbância, AU]
CLAE	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência
$(dX/dt)m_s$	Taxa de secagem, [g-água removida (min) ⁻¹]
e	Exponencial
k	Constante de secagem, [min ⁻¹]
k_L	Constante de secagem de Lewis, [min ⁻¹]
k_h	Constante de secagem de Henderson e Pabis, [min ⁻¹]
k_m	Constante de secagem de Midilli <i>et al.</i> , [min ⁻¹]
k_p	Constante de secagem de Page, [min ⁻¹]
k_{pm}	Constante de secagem de Page modificado, [min ⁻¹]
$M_{amostra}$	Massa da amostra, [g]
m_s	Massa seca, [g]
n	Coefficiente dos modelos, [adimensional]
nd	Não determinado
P_{atm}	Pressão atmosférica
$P_{inicial}$	Peso inicial da(s) bandeja(s), [g]
P_{final}	Peso final da(s) bandeja(s), [g]
R_0	Teor inicial de gingeróis ou 6-gingerol antes da secagem, [g-gingerol (g-gengibre) ⁻¹]
R_i	Teor de gingeróis ou 6-gingerol no tempo “i” de secagem, [g-gingerol(g-gengibre) ⁻¹]
R^2	Coefficiente de determinação, [adimensional]
RU	Razão de umidade, [adimensional]
t	Tempo, [min ou h]
T	Temperatura, [°C]
X_0	Umidade do gengibre <i>in natura</i> (em base úmida), [g-água (g-matéria úmida) ⁻¹]
X_{bs}	Umidade em base seca, [g-água (g-matéria seca) ⁻¹]
X_{bu}	Umidade em base úmida, [g-água (g-matéria úmida) ⁻¹]
X_c'	Umidade crítica de secagem em base seca, [g-água (g-matéria seca) ⁻¹]
X_c''	Umidade crítica de secagem em base úmida, [g-água (g-matéria úmida) ⁻¹]
χ^2	Chi-quadrado, [adimensional]

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	OBJETIVOS	15
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1.	GENGIBRE	16
3.1.1.	Histórico e Caracterização	16
3.1.2.	Formas de Uso e Comercialização	17
3.1.3.	Propriedades Medicinais e Terapêuticas	18
3.1.4.	Composição e Constituintes	20
3.1.5.	Gingerol e Shogaol	22
3.2.	SECAGEM	25
3.3.	CINÉTICA DE SECAGEM	28
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1.	GENGIBRE	32
4.2.	PREPARO DA MATERIA-PRIMA	33
4.3.	ENSAIOS DE SECAGEM	35
4.3.1.	Secagem à Pressão Atmosférica	35
4.3.2.	Secagem a Vácuo	44
4.4.	DETERMINAÇÃO DO TEOR DE GINGERÓIS TOTAIS, 6-GINGEROL E 6-SHOGAOL	46
4.4.1.	Extração	46
4.4.2.	Determinação dos gingeróis totais por espectrofotometria	47
4.4.3.	Determinação de 6-gingerol e 6-shogaol por CLAE	48
4.5.	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE	50
4.6.	DETERMINAÇÃO DA CINÉTICA DE SECAGEM	50
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
5.1.	SECAGEM À PRESSÃO ATMOSFÉRICA	53
5.2.	MODELOS PREDITIVOS PARA SECAGEM DE GENGIBRE À PRESSÃO ATMOSFÉRICA	58
5.3.	SECAGEM SOB VÁCUO	63
5.4.	GINGERÓIS TOTAIS NA SECAGEM À PRESSÃO ATMOSFÉRICA E SOB VÁCUO	65

5.5.	TEOR DE 6-GINGEROL E 6-SHOGAOL NA SECAGEM SOB VÁCUO	69
6.	CONCLUSÃO	73
7.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	75
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
	ANEXO I	87

1. INTRODUÇÃO

O gengibre é o rizoma da *Zingiber Officinale* Roscoe, um cultivar da família das Zingiberáceas, que inclui cerca de 1300 espécies, dentre as quais se destaca a cúrcuma ou açafrão da terra. O gengibre tem sido cultivado e processado na China, onde é extremamente difundido na medicina popular, há mais de três mil anos. O rizoma do gengibre contém óleos essenciais, ricos em monoterpenos, sesquiterpenos e derivados, responsáveis pelo aroma e sabor característicos do gengibre, e oleoresinas contendo os compostos pungentes tais como os gingeróis e shogaóis. Outros constituintes presentes no gengibre são a água, carboidratos, lipídios, ácidos carboxílicos, vitaminas e minerais.

As pesquisas e estudos referentes ao gengibre têm aumentado muito nos últimos anos devido à intensificação de seu uso comercial, que abrange os setores alimentícios, de cosméticos, de perfumaria e farmacêutico, e concernente às comprovações de seus vários efeitos e propriedades medicinais e terapêuticas difundidas popularmente há milhares de anos. Na alimentação, o gengibre tem sido usado como condimento, melhorando o aroma e sabor devido à presença de constituintes aromáticos e voláteis e dos compostos pungentes característicos, na fabricação de bebidas, conservas, molhos e em produtos de padaria e confeitaria. Com relação às propriedades medicinais do gengibre podem ser relacionadas às atividades antiinflamatória, antiemética, antinauseante, antimutagênica, hipoglicêmica, antioxidante e antibacteriana.

A secagem constitui-se em uma das alternativas de conservação do gengibre, cujo alto teor de água *in natura* (umidade variando entre 80 e 95%) o torna suscetível à degradação por ação microbiana. No entanto, sabe-se que o processo de secagem envolve o uso de ar a temperaturas relativamente elevadas, que pode introduzir mudanças nas propriedades do produto desidratado, tais como perda de compostos voláteis, degradação de compostos responsáveis pela pungência e formação de novos compostos.

Os grupos de compostos gingerol e shogaol, principais responsáveis pela pungência do gengibre, respondem pela maioria das notáveis e comprovadas características organolépticas e terapêuticas do gengibre. Os compostos 6-gingerol, 8-gingerol e 10-gingerol, principais constituintes do grupo dos gingeróis, são termolábeis e sofrem degradação térmica e perda de uma molécula de água quando submetidos a temperaturas superiores a da ambiente, transformando-se principalmente nos compostos do grupo dos shogaóis: 6-shogaol, 8-shogaol e 10-shogaol, respectivamente. Dentre esses compostos, o 6-gingerol e o 6-shogaol são os que

se apresentam em maiores teores, além de serem os principais responsáveis pelas características organolépticas e terapêuticas do gengibre.

Estudos como o apresentado neste trabalho justificam a sua importância na medida em que se propõe a verificar os efeitos nos compostos do grupo dos gingeróis ocasionados pela secagem do gengibre em diferentes condições operacionais de temperatura e pressão. Neste sentido, o conhecimento da cinética de secagem pode contribuir para elucidação do comportamento destes compostos no processo. A partir desses estudos espera-se contribuir para a adequação das condições operacionais que permitam a obtenção de produtos derivados do gengibre com melhores características organolépticas e medicinais.

2. OBJETIVOS

Esta pesquisa teve por objetivos investigar o processo de desidratação do gengibre fatiado quanto à cinética de secagem realizada em camada fina sob convecção forçada, analisar a influência da temperatura e vácuo sobre gingeróis totais e em particular sobre os compostos 6-gingerol e 6-shogaol e estabelecer as condições cromatográficas para a análise dos compostos do grupo dos gingeróis.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. GENGIBRE

3.1.1. Histórico e Caracterização

Raiz de gengibre, mangaratá, mangaratáia ou simplesmente gengibre são os nomes pelos quais é conhecido o rizoma da *Zingiber officinale* Roscoe (Figura 1), uma planta herbácea e perene da família das Zingiberáceas, que pode atingir de trinta centímetros até um pouco mais de um metro de altura. Seus ramos e folhas de coloração verde-escura partem de um caule grosso, duro, tuberoso, articulado e vivaz, denominado rizoma. Embora os rizomas cresçam subterrâneos, não são considerados como raízes e sim hastes inchadas. As flores acham-se dispostas em espigas presas a hastes especiais que saem diretamente dos rizomas, sendo tubulares, roxas e amarelo-claras. Nem sempre presentes, os frutos têm coloração vermelha e diversas sementes pretas e pequenas (EPAGRI, 1998; RAVINDRAN & BABU, 2005).



Figura 1 – “Ilustração da *Zingiber officinale* Roscoe”.

Historiadores e pesquisadores identificaram a origem do gengibre no Sudeste Asiático e Arquipélago Malaio, onde têm sido cultivado e utilizado medicinalmente há mais de três mil anos. Sua difusão e adaptação ocorreram perfeitamente em quase todas as regiões tropicais do planeta, notadamente na Jamaica, que produz as melhores variedades, na Nigéria, cujo destaque se encontra na grande extensão da área cultivada, e na China e Índia, que são os maiores produtores mundiais (MacLAUGHLIN, 2005; EPAGRI, 1998; ELPO & NEGRELLE, 2004; NEGRELLE, ELPO & RUCKER, 2005).

No Brasil, o gengibre foi introduzido pelos holandeses no século XVI, sendo atualmente cultivado principalmente na faixa litorânea do Espírito Santo, maior produtor nacional (SEAG-ES, 2007). As regiões litorâneas dos estados de Santa Catarina e Paraná, e o sul do estado de São Paulo também apresentam boa produtividade em razão das condições de clima (quente e úmido) e de solo (arenoso, fértil, rico em matéria orgânica e de boa drenagem) serem adequados para o cultivo (MENDES, 2007). Em comparação com outros países, o Brasil se inclui entre os pequenos produtores de gengibre, cuja produção é orientada para exportação (MAGALHÃES *et al.*, 1997).

A fácil difusão e adaptação do gengibre em várias regiões do planeta, inclusive no Brasil, permitiram sua maior utilização comercial, ampliar as possibilidades de uso na alimentação, bem como se valer e verificar através de pesquisas.

3.1.2. Formas de Uso e Comercialização

O rizoma do gengibre é amplamente comercializado em função de seu extenso emprego industrial, principalmente nos setores de cosméticos (shampoo, sabonetes e cremes para massagear), perfumaria, farmacêutico e alimentício. Destaca-se o setor alimentício, no qual o gengibre é utilizado como matéria-prima para fabricação de bebidas alcoólicas, refrigerantes, refrescos e produtos de panificação e confeitaria (pães, bolos, biscoitos e geléias), na produção de condimentos, conservas e pickles, e como ingrediente em preparados alimentícios *in natura*, sopas e molhos (RAVINDRAN & BABU, 2005). Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (2001), as principais formas de uso do gengibre são: decocção, infusão, desidratado, em pó, extrato e xarope.

Alguns exemplos de produtos alimentícios a base de gengibre ou que contém o gengibre em sua formulação são: o “Quentão” brasileiro; o refrigerante “Ginger-ale”, (Estados Unidos, Canadá e Inglaterra); a bebida alcoólica “Ginger-beer” (Inglaterra); a bebida

alcoólica “Ingwerbier” (Alemanha); o licor “Khaung” (China); e o condimento “Curry” (Índia).

O gengibre é comercializado internacionalmente sob quatro formas básicas: *in natura*, em conserva, cristalizado e seco ou desidratado. A partir do rizoma imaturo, tenro e menos pungente, colhido em torno de seis meses, é preparada a conserva (em salmoura ou xarope de açúcar) ou gengibre cristalizado. Além disso, as brotações novas podem ser utilizadas na forma de pickles. Por outro lado, do rizoma colhido após atingir seu estágio de maturação completo é preparado o gengibre seco ou desidratado. O gengibre desidratado, obtido pela desidratação do rizoma, com ou sem remoção prévia das cascas, a uma umidade de 12%, é comercializado em peças íntegras de cor variável, laminado ou ainda em pó (LORENZETTI, 2008).

Registra-se ainda a comercialização de produtos derivados do gengibre, tais como o óleo essencial e oleoresina, principalmente nos setores de cosméticos, farmacêutico e perfumaria, podendo também ser utilizado em alimentos, como no caso das indústrias de bebidas alcoólicas e não-alcoólicas, que se utilizam do óleo essencial em suas formulações. O óleo essencial é obtido pelo processo de destilação com arraste de vapor d’água do gengibre e contém os componentes voláteis responsável pelo aroma e sabor característicos, enquanto a oleoresina, preparada por extração com diferentes solventes, contém, além dos constituintes aromáticos voláteis, os componentes não voláteis, responsáveis pela pungência característica do gengibre (MAGALHÃES *et al.*, 1997). Segundo Corrêa Júnior *et al.* (1994), o gengibre aparece ainda como uma das plantas mais antigas e populares de uso medicinal.

3.1.3. Propriedades Medicinais e Terapêuticas

As propriedades medicinais e farmacológicas do gengibre são conhecidas e utilizadas principalmente pelos povos orientais há milhares de anos. Boa parte destes benefícios advindos do uso do gengibre na alimentação foi comprovada em experimentos científicos contemporâneos, destacando-se as atividades preventivas e curativas contra inflamações, febre, náuseas, resfriados, reumatismo, vômitos, úlcera, hipoglicemia, crescimento e desenvolvimento bacteriano, entre outras (YOSHIKAWA *et al.*, 1994; ONTENGCO *et al.*, 1995; LONIEWSKI *et al.*, 1998; WHO, 1999; UTPALENDU *et al.*, 1999; ELPO & NEGRELLE, 2005; GRAUDS, 1995; FRANCO, 1996). Kaur & Kapoor (2002) analisaram trinta e seis extratos de diferentes vegetais, dentre os quais o gengibre, e o classificaram no

grupo de vegetais que continham alta atividade antioxidante. Martins Neto (1988) também identificou atividade antioxidante no gengibre.

Mowrey (1978) realizou um estudo investigativo das atividades antieméticas (diminuição de náuseas e vômitos) e antidiarréicas do gengibre. Para tanto, adultos de ambos os sexos que apresentavam sintomas de indisposição intestinal, náuseas e vômitos foram submetidos à pesquisa. O placebo e o gengibre em pó foram administrados em cápsulas de aproximadamente 400 miligramas em intervalos de duas horas, para um total de oito horas e quatro administrações. Os resultados foram significativos quanto à eficácia na diminuição da náusea e sintomas da diarreia nas pessoas submetidas à ingestão do gengibre em pó, quando comparadas àquelas submetidas ao placebo.

Há evidências preliminares de que o gengibre possui efeitos modestos no tratamento da osteoartrite, uma doença degenerativa das articulações. Dois estudos mostraram que a ingestão de 170 miligramas de extrato de gengibre, três vezes por dia ou 225 miligramas, duas vezes por dia, por um período de 3 a 6 semanas resultou em leve melhora da dor após ficar em pé ou caminhar e na rigidez das articulações em alguns pacientes (ALTMAN & MARCUSSEN, 2001; MARCUS & SUAREZ-ALMAZOR, 2001).

A Organização Mundial da Saúde, OMS, em trabalho citado por Ernst & Pittler (2000), reconheceu a ação desta planta sobre o sistema digestivo, tornando-a oficialmente indicada para evitar enjôos e náuseas, confirmando alguns de seus usos populares, em que é indicado na digestão de alimentos gordurosos.

Em contrapartida, Elpo & Negrelle (2005) citam que o consumo em excesso do gengibre pode acarretar em reações alérgicas, tais como dermatite (irritação da pele e coceiras) e irritação gástrica. Usado em doses típicas, o gengibre é bem tolerado, porém, segundo o Natural Medicines Comprehensive Database (2005), doses altas (cinco gramas por dia ou mais) aumentam o risco dos efeitos colaterais. Kemper (1999) sugere algumas limitações no emprego do gengibre em pacientes com problemas cardíacos, cálculo renal, diabéticos e hipoglicêmicos. Contudo, tais limitações não foram comprovadas cientificamente e não se registra nenhum efeito adverso desta planta em pacientes que a consomem na dieta alimentar.

Kanjanapothi (1987) e Brinker (1997) registraram atividade uterotônica (risco de aborto) da espécie *Zingiber cassumunar*, uma variedade também pertencente à família das Zingiberáceas, recomendando evitar o seu uso durante a gravidez. Tsui *et al.* (2001) demonstraram que o principal problema que as mulheres grávidas buscam solucionar quando iniciam um tratamento com produtos de origem vegetal é o enjôo matinal, e o gengibre tem

sido utilizado há séculos pela medicina tradicional chinesa como solução. Existem estudos que comprovam sua eficácia no tratamento de náuseas e vômitos na gravidez quando comparado com placebo, porém seu mecanismo de ação ainda não está esclarecido (MARCUS & SNODGRASS, 2005; VUTYAVANICH *et al.*, 2001).

Wilkinson (2000) verificou que o gengibre causa perda embrionária acima do normal quando administrado em ratas durante a gestação, e, em contrapartida, acarreta aumento do peso nos fetos remanescentes. Esta planta é aprovada para o uso na prevenção de enjôos do movimento (cinetose), na dose de 1g/dia (WHO, 1999). No entanto, existem muitas divergências em relação ao seu potencial teratogênico. Um estudo realizado por Weidner & Sigwart (2000) verificou que um extrato etanólico de gengibre administrado a ratas grávidas não causou danos à mãe ou ao feto em desenvolvimento. Novos estudos precisam ser conduzidos a fim de se chegar a uma conclusão definitiva quanto ao uso seguro do gengibre na alimentação de mulheres grávidas.

Kemper (1999) salienta ainda que o gengibre não apresenta em sua composição nenhum componente ou constituinte potencialmente tóxico e que nenhuma atividade carcinogênica ou mutagênica foi registrada em seus estudos.

3.1.4. Composição e Constituintes

A Tabela 1 apresenta uma composição centesimal típica do rizoma de gengibre fresco determinada pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2008). Estudos feitos por Franco (1987) apontam para a composição do gengibre com 4,40 g de glicídios, 1,87 g de proteínas, 0,72 g de lipídios e 31,5 calorias.

Tabela 1: “Composição centesimal do rizoma de gengibre fresco”.

Constituintes	g (100 g) ⁻¹
Água	78,89
Carboidratos	17,77
Proteínas	1,82
Lipídios	0,75
Cinzas	0,77

Verifica-se que há consideráveis variações na composição do gengibre entre as espécies existentes, bem como dentro de uma mesma variedade, devido a fatores como: características do solo, incidência de chuvas, clima, tempo de colheita, dentre outros. Um exemplo desta variação citada é a ampla faixa de valores para umidade do gengibre encontrados na literatura, em g-água [100 g-gengibre]⁻¹: 87 (BANDEIRA-PEREIRA *et al.*, 2007), 80 (BALLADIN, 1988) e na faixa dos 90 (BALLADIN, HEADLEY, 1999; HEALTH, 1982).

Segundo Schweiggert (2005), o gengibre contém cerca de 1 a 3% de oleoresina, dependendo do cultivar, qualidade e estágio de maturação, sendo obtida pela extração com solventes orgânicos, sendo que os mais comumente utilizados são a acetona e o etanol (MACLEOD & PIERIS, 1984; MOYLER, 1993). No entanto, dificuldades são encontradas na remoção do solvente orgânico aderido a oleoresina, pois seus componentes são termolábeis. Nobrega *et al.* (1997) estudaram a extração com dióxido de carbono em condições supercríticas e obtiveram melhores resultados para obtenção e manutenção de compostos de importância no produto.

Com relação à sua constituição química, Shukla & Singh (2007) dividiram os compostos químicos presentes no gengibre em dois grupos principais: os óleos voláteis ou compostos flavorizantes e os compostos pungentes não voláteis. Os óleos voláteis são responsáveis pelo aroma e sabor característicos do gengibre. Especialistas identificaram aromas de limão, madeira e pimenta (SHUKLA & SINGH, 2007).

Smith & Robinson (1981) identificaram mais de cem compostos voláteis presentes no gengibre, destacando-se os monoterpenos e sesquiterpenos. Por sua vez, através da utilização de técnicas modernas de cromatografia gasosa aliada à espectrometria de massas, Adams (1995) detectou mais de 200 compostos voláteis do gengibre. Os principais constituintes são os hidrocarbonetos sesquiterpenos, predominantemente zinbereno (35%), curcumeno (18%) e farneseno (10%) (SHUKLA & SINGH, 2007). Entre os monoterpenos, Menon *et al.* (2007) destacam o geranial e o zingereno.

O segundo grupo (compostos pungentes não voláteis) é formado pelos compostos biologicamente ativos ou oleoresinas, tais como, gingerol, shogaol, paradol e zingibereno, que produzem a sensação de “quente” na boca ao se ingerir o gengibre e são os principais responsáveis pelos princípios ativos e propriedades terapêuticas e medicinais do gengibre (SHUKLA & SINGH, 2007).

3.1.5. Gingerol e Shogaol

Segundo Connel & Sutherland (1969) e Ravindran & Babu (2005), o gingerol e o shogaol são as principais substâncias responsáveis pelas notáveis e comprovadas características organolépticas e terapêuticas do gengibre. McLaughlin (2005) e Ernst & Pittler (2000) descreveram e comprovaram as atividades antiinflamatória e antinauseante destes compostos. O gingerol e seus derivados apresentam ainda efeito antitumoral (ELPO & NEGRELLE, 2005), anti-séptico (GRÉGIO *et al.*, 2006), atuam na prevenção de câncer (SHUKLA & SINGH, 2007) e tem alto poder antioxidante (STOILOVA *et al.*, 2007). Connel & Sutherland (1969), constataram que o shogaol possui o dobro da pungência do gingerol e Levy *et al.* (2006) apontaram para suas aplicações analgésicas, antipiréticas (contra febre) e inibidoras da atividade da lipoxigenase, enzima que atua sobre o ácido araquidônico, e que está relacionada com a atividade inflamatória.

Análises de variedades havaianas e japonesas de gengibre fresco utilizando cromatografia gasosa em conjunto com espectrofotometria de massa permitiram Jolal *et al.* (2004) identificar sete compostos do grupo dos gingeróis: 4-gingerol, metil-4-gingerol, 6-gingerol, metil-6-gingerol, 7-gingerol, 8-gingerol e 10-gingerol; e sete compostos do grupo dos shogaóis: 4-shogaol, 6-shogaol, metil-6-shogaol, 8-shogaol, metil-6-shogaol, 8-shogaol e 10-shogaol. Em outro estudo, agora com amostras de gengibre em pó processadas comercialmente, Jolad *et al.* (2005) identificaram sete tipos diferentes de gingeróis (4-gingerol, metil-4-gingerol, 5-gingerol, 6-gingerol, metil-6-gingerol, 8-gingerol e 10-gingerol) e doze shogaóis (E-4-shogaol, metil-E-4-shogaol, E-5-shogaol, Z-6-shogaol, E-6-shogaol, metil-E-6-shogaol, Z-8-shogaol, E-8-shogaol, metil-E-8-shogaol, Z-10-shogaol, E-10-shogaol e E-12-shogaol). Em ambos os estudos, o shogaol foi formado principalmente devido à degradação e desidratação, através da perda de uma molécula de água do gingerol, já que o extrato de gengibre foi submetido a altas temperaturas durante o processo cromatográfico (temperatura programada: 80° C por 5 minutos e posterior aumento de temperatura de 10°C/minuto até 280°C). É interessante notar ainda que os experimentos com o gengibre em pó apresentaram uma maior quantidade de compostos do grupo do shogaol que o estudo anterior (com gengibre fresco), o que pode ser explicado pelo fato das amostras de gengibre em análise terem passado pelo processo de secagem ou desidratação, no qual a matéria-prima foi submetida a altas temperaturas por um longo período de tempo, favorecendo a perda da molécula de água do gingerol, e sua conseqüente transformação no shogaol.

Dentre os diversos compostos dos grupos de gingeróis e shogaóis, os compostos 6-gingerol e 6-shogaol se destacam em termos dos teores e suas propriedades, tendo por base os resultados dos estudos realizados (Jolad *et al.*, 2004; Jolad *et al.*, 2005). As estruturas moleculares dos dois compostos, 6-gingerol e 6-shogaol, estão apresentadas nas Figuras 2 e 3, respectivamente.

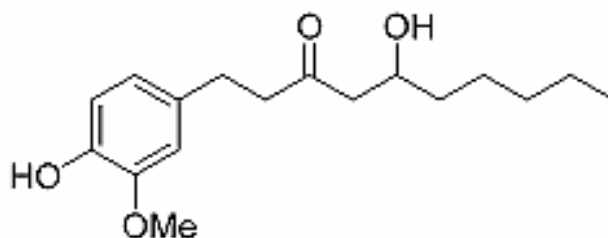


Figura 2 – “Estrutura molecular do 6-gingerol”.

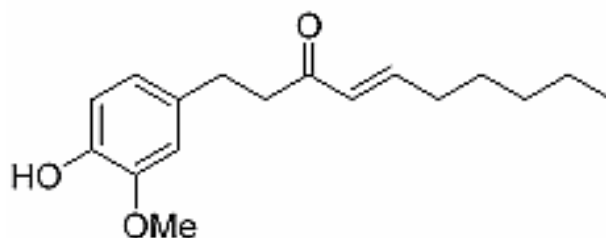


Figura 3 – “Estrutura molecular do 6-shogaol”.

Nota-se claramente que a diferença entre os compostos está no grupo álcool presente no gingerol e ausente no shogaol, que, por sua vez, ostenta uma dupla ligação em substituição ao grupo álcool. Com relação aos seus isômeros (8-gingerol e 8-shogaol, por exemplo), a diferença encontra-se na quantidade de carbonos presentes no composto a serem contados a partir do grupo cetona, conforme pode ser confirmada na Figura 4, que apresenta a estrutura molecular do 10-gingerol. Desta feita, o 6-gingerol possui seis carbonos e o 10-gingerol sustenta dez carbonos contados a partir, e inclusive, do carbono ligado ao grupo cetona.

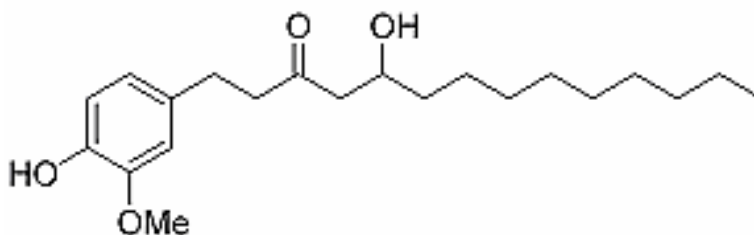


Figura 4 – “Estrutura molecular do 10-gingerol”.

Jolad *et al.* (2004) e Jolad *et al.* (2005), em trabalhos nos quais foram quantificados os principais compostos do grupo dos gingeróis e shogaóis, concluíram que o 6-shogaol e 6-gingerol estão presentes em maior quantidade no gengibre que seus isômeros. A pesquisa incluiu a análise quantitativa de duas variedades de gengibre fresco, amarelo-japonesa e branco-chinesa, e de gengibre seco em pó, com resultados parciais apresentados na Tabela 2. Verifica-se distintamente que o composto 6-gingerol está presente em maior quantidade que os seus isômeros 8-gingerol e 10-gingerol. Além disso, observa-se um evidente aumento da concentração do 6-shogaol no extrato de gengibre seco em pó quando comparado aos extratos obtidos a partir da matéria-prima *in natura* ou fresca de ambas as variedades testadas, já que estas apresentam apenas traços do 6-shogaol, cujos valores se alteram de menos de 0,4% (fresco) para valores acima de 3% (seco). Em compensação, verifica-se que o composto 6-gingerol é perdido durante o processo de secagem, tendo sua concentração reduzida de aproximadamente 27 e 34% (extrato de gengibre fresco) para apenas 11% (extrato de gengibre processado em pó).

Tabela 2: “Porcentagem de alguns compostos do grupo do gingerol e do shogaol no extrato de gengibre fresco e desidratado”; adaptado de Jolad *et al.*, (2005).

Extrato de Gengibre	Composição do Extrato (%)			
	6-gingerol	8-gingerol	10-gingerol	6-shogaol
Branco chinês: <i>in natura</i>	27,56 ± 0,04	3,20 ± 0,04	5,38 ± 0,00	0,36 ± 0,02
Amarelo japonês: <i>in natura</i>	33,96 ± 0,17	4,64 ± 0,10	7,91 ± 0,19	0,35 ± 0,02
Seco em pó	11,38 ± 0,04	2,17 ± 0,01	3,44 ± 0,01	3,29 ± 0,04

Segundo Jolad *et al.* (2005), estas alterações são explicadas basicamente por três tipos de degradações térmicas: desidratação, condensação aldólica reversa e a perda da molécula de ácido acético dos compostos β -acetoxicetonas, como por exemplo, na transformação do composto acetoxi-gingerol em shogaol. Na desidratação ocorre a perda de uma molécula de água do gingerol transformando-o em shogaol, que sai na forma de vapor d’água já que as temperaturas empregadas nos processos de secagem são elevadas e acarretam na evaporação da água liberada na reação. Estas duas reações químicas, perda da molécula de ácido acético e da molécula de água, resultam na formação do shogaol e aumento significativo de sua concentração no produto final desidratado, conforme observado na Tabela 2. A condensação aldólica reversa, por sua vez, é a transformação dos compostos β -hidroxicetonas, que são os

gingeróis e isogingeróis, em aldeídos e metil-cetonas, resultando na diminuição quantitativa do gingerol no gengibre seco ou em pó (JOLAD *et al.*, 2005).

Vale ressaltar ainda que pesquisas nas áreas médica e farmacológica apontam os compostos 6-gingerol e 6-shogaol como responsáveis pelos princípios antieméticos, antipiréticos e antitumorais, e pelas atividades colagoga (aumento da secreção biliar) e antiinflamatória (ELPO & NEGRELLE, 2005; SUEKAWA *et al.*, 1984). Suekawa *et al.* (1984) desenvolveram estudos farmacológicos em seres humanos, através da administração intravenosa de 1,75 a 3,50 miligramas de 6-gingerol ou 6-shogaol por quilograma do paciente, e administração oral de 70 a 140 miligramas dos mesmos compostos por quilograma corporal. Tais procedimentos produziram efeitos antipiréticos e analgésicos nos pacientes, constatados através do abaixamento da temperatura febril e da redução das dores localizadas.

O conhecimento das condições ótimas de secagem para manutenção do gingerol e do shogaol configura-se como de extrema importância tanto para as indústrias de secagem de gengibre quanto para os consumidores. Os resultados da pesquisa permitirão a obtenção e o consumo de um produto final, o gengibre desidratado, de melhor qualidade e padronizado, principalmente em relação à manutenção das substâncias do gengibre fresco responsáveis pelas suas comprovadas características organolépticas e terapêuticas. Ao mesmo tempo, permitirão alcançar um maior rendimento industrial, menores custos de transporte e melhor aproveitamento da matéria-prima por parte da indústria alimentícia.

Um fator que também deve ser considerado é o baixo preço do gengibre brasileiro frente ao mercado internacional, devido a sua qualidade inferior a de outros países concorrentes, como Jamaica, Nigéria, China e Índia. A identificação do tipo de secagem e seus respectivos parâmetros que permitam a obtenção de um produto nacional de melhor qualidade, ou seja, maior concentração dos princípios ativos medicinais no gengibre poderá acarretar no aumento do seu valor no mercado interno e internacional e, conseqüentemente, melhor retorno aos produtores nacionais.

3.2. SECAGEM

A secagem ou desidratação é um dos mais antigos métodos utilizados na preservação dos alimentos. Segundo Aguirre & Gasparino Filho (2002), secagem é a operação de remoção da água, ou de qualquer outro líquido na forma de vapor, para uma fase gasosa insaturada através de um mecanismo de vaporização térmica, numa temperatura inferior à de ebulição.

Esta desidratação é realizada através do calor produzido artificialmente em condições cuidadosamente controladas de temperatura, umidade relativa e fluxo de ar (velocidade). O ar é o meio mais utilizado para secagem dos alimentos. O mesmo conduz calor ao alimento, provocando evaporação da água, sendo também o veículo para o transporte do vapor úmido do alimento (VAN ARSDEL *et al.*, 1973).

Diversos são os tipos de secagem e sua escolha é ditada pela natureza do produto a ser desidratado, pela qualidade e forma que se deseja dar ao produto processado, pelo fator econômico e pelas condições de operações. Os equipamentos de secagem podem ser classificados de acordo com o fluxo de carga e descarga (contínuo ou descontínuo); pressão utilizada (atmosférica ou vácuo); métodos de aquecimento (direto ou indireto); e de acordo com o sistema utilizado para fornecimento de calor (convecção, condução ou radiação) (MUJAMDAR, 1995).

O processo de desidratação reduz o peso e o volume dos alimentos, devido à perda de água, diminuindo os custos industriais com embalagens, transporte e armazenamento. A secagem a vácuo possibilita a evaporação da água dos alimentos a temperaturas inferiores às utilizadas sob condições atmosféricas. A utilização de temperaturas mais baixas geralmente resulta na obtenção de produtos desidratados de melhor qualidade. O uso de altas temperaturas de secagem acarreta na desnaturação de enzimas, reações de escurecimento e perda e destruição de nutrientes e princípios ativos dos alimentos (KEEY, 1972).

Bartley & Jacobs (2000) estudaram os efeitos da secagem sobre os compostos aromáticos do gengibre produzido na Austrália. Para tanto as amostras de gengibre foram submetidas a dois estágios de secagem (80°C e 63°C) num secador rotativo durante 22 a 24 horas, até atingir a umidade final de 10 a 12%. Os principais efeitos examinados foram: a redução da quantidade de gingerol, o aumento de hidrocarbonetos terpenos e a conversão de alguns alcoóis monoterpenos em seus respectivos acetatos. Por sua vez, Menon *et al.* (2007) estudaram os efeitos da secagem sobre os compostos aromáticos do gengibre indiano utilizando-se da secagem solar e secagem em estufa a 50°C. Os resultados apontaram diminuições significativas na concentração dos compostos geranial e zingereno e aumento dos hidrocarbonetos.

Maia *et al.* (1991) verificaram o efeito da secagem do gengibre em estufa sobre o óleo essencial extraído e concluíram que as diferentes temperaturas de secagem empregadas (40 e 65°C) não proporcionaram diferenças estatisticamente significativas quer quanto à sua qualidade, quer quanto ao rendimento em óleo.

Hawlder *et al.* (2006) avaliaram o efeito de diferentes condições de secagem no teor de 6-gingerol. Os métodos testados foram: liofilização (amostras congeladas submetidas à temperatura de 10°C e pressão de 600 Pa durante 24 horas), secagem a vácuo (1500 Pa e 45°C por 24 horas) e três tipos de secagem em atmosfera modificada utilizando-se uma bomba de calor, com ar normal, com nitrogênio e com gás carbônico (45°C e velocidade do ar de 0,7 m.s⁻¹ durante 8 horas). De acordo com os autores, o conteúdo do 6-gingerol foi maior na secagem a vácuo e menor na secagem com bomba de calor e ar normal. A Figura 5 apresenta uma comparação entre os conteúdos de 6-gingerol (os valores estão em base seca) obtidos pelos diferentes métodos testados.

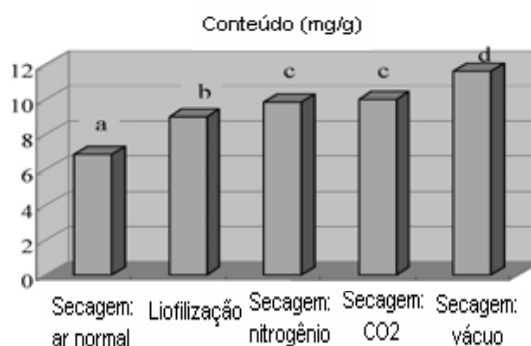


Figura 5 – “Comparação dos teores de 6-gingerol em amostras desidratadas em diferentes métodos de secagem” (adaptado de Hawlder *et al.*, 2006).

A pesquisa realizada por Hawlder *et al.* (2006) difere nos seguintes aspectos: (i) na metodologia adotada no preparo do gengibre para secagem, com o descascamento pelo método químico, mergulhando-se o gengibre em solução contendo 15% de hidróxido de sódio a 90°C sob agitação; (ii) apenas uma única temperatura (45°C) é testada na secagem a vácuo e à pressão atmosférica; (iii) o tempo de secagem no processo a vácuo (24 horas) é extremamente longo; (iv) os autores não apresentam uma comparação entre o teor do 6-gingerol do gengibre *in natura* e desidratado; e (v) ausência de análise quantitativa do 6-shogaol.

Balladin *et al.* (1996) observaram a diminuição da concentração dos compostos pertencentes ao grupo dos gingeróis (6-gingerol, 8-gingerol e 10-gingerol) e o aumento dos pertencentes ao grupo dos shogaóis (6-shogaol, 8-shogaol e 10-shogaol) quando amostras de gengibre foram submetidas à secagem solar durante três dias.

3.3. CINÉTICA DE SECAGEM

A secagem de um material ou matéria-prima sólida pode apresentar comportamento que pode variar em função da estrutura do material e das condições de secagem. Ao se traçar um gráfico do conteúdo de umidade de um material (kg água / kg massa seca), durante um processo de secagem, em função do tempo obtém-se para a maioria dos materiais uma curva como a apresentada pela curva (a) de coloração vermelha da Figura 6, onde se distinguem quatro regiões: 0, 1, 2 e 3. A partir destes dados, pode-se construir por diferenciação, a curva da velocidade ou taxa de secagem em função do tempo de secagem, ou seja, a cinética de secagem do material em estudo, que está representada pela curva (b) de coloração azul na Figura 6. Na mesma figura tem-se ainda representada pela coloração verde e letra (c), a curva da evolução da temperatura do produto durante a secagem. As diferentes formas encontradas para estas curvas, de acordo com os diversos tipos de materiais, resultam das diferenças encontradas no mecanismo de secagem (AGUIRRE & GASPARINO FILHO, 2002).

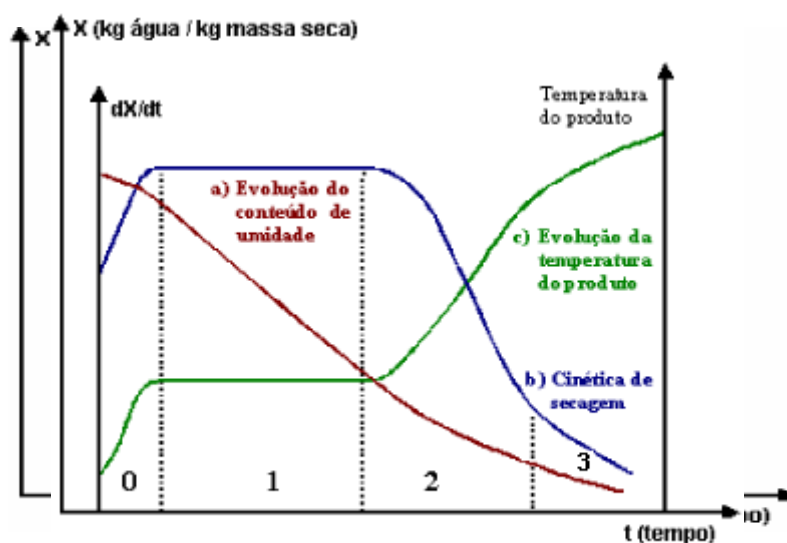


Figura 6 – “Curvas típicas de secagem” (adaptado de Park *et al.*, 2001).

O período de tempo correspondente à região “0” refere-se ao período de estado transitório, durante o qual o material adapta-se às condições de secagem e sua temperatura pode variar para atingir o estado estacionário. A velocidade de secagem, por sua vez, aumenta durante esta fase, todavia, podem-se encontrar processos de secagem com diminuição da velocidade neste período (AGUIRRE & GASPARINO FILHO, 2002).

O trecho “1” corresponde ao período de velocidade constante, que é caracterizado pelo fato da velocidade de secagem ser independente da umidade total do material em cada instante. Durante este período a superfície exposta de material está saturada, existindo um filme contínuo de água sobre o sólido, que age como se não houvesse a presença do sólido. Assim sendo, o mecanismo de secagem é semelhante ao mecanismo de evaporação de água num reservatório. Nessas condições, a temperatura da superfície do material alcança a temperatura de bulbo úmido do ar. No caso de sólidos ou materiais não porosos, a água removida neste período é principalmente a água superficial. Por outro lado, para materiais porosos, o período de velocidade constante tende a continuar durante um tempo maior, com a água que é removida da superfície sendo substituída pela água do interior do sólido. O mecanismo através do qual a água é levada até a superfície e, conseqüentemente, a velocidade deste mecanismo varia fortemente com a estrutura do sólido. Em sólidos que possuem espaços vazios relativamente grandes, o mecanismo é controlado pela tensão superficial, capilaridade e por forças de gravidade no seu interior. Em sólidos fibrosos ou de estrutura amorfa, o movimento da água através do sólido é devido à difusão. Como a velocidade de difusão é muito menor que a velocidade decorrente do mecanismo de capilaridade ou de gravidade, a secagem em sólidos em que o movimento da água é controlado pela difusão têm um período de velocidade constante menor, ou mesmo podem secar sem passar por este período (FOUST, 2008; AGUIRRE & GASPARINO FILHO, 2002).

A linha divisória entre as regiões 1 e 2 delimita o fim do período de velocidade constante de secagem e aponta para a umidade crítica. Neste ponto, o movimento do líquido do interior para a superfície do sólido é insuficiente para compensar o líquido que está sendo evaporado. Assim, observa-se que a umidade crítica depende da facilidade do líquido se movimentar através do material e, conseqüentemente, da estrutura do sólido em relação à velocidade de secagem. Desta forma, pode-se dizer que a umidade crítica de um material é função da estrutura do material, da espessura com que este é desidratado e da velocidade de secagem (PEREDA-ORDOÑEZ, 2005).

A região “2” representa o primeiro período de velocidade decrescente, que começa no instante em que o material atinge a umidade crítica. Nesta fase, na qual a superfície do material torna-se cada vez mais seca, ocorrem dois mecanismos diferentes: (i) continuação do mecanismo que existia no período anterior (de velocidade constante) enquanto houver água saturando as regiões da superfície do sólido; e (ii) o vapor proveniente dos níveis mais baixos se difunde através do sólido para as regiões da superfície que não estão saturadas, tendo em seguida, que se difundir na corrente gasosa. Este mecanismo de difusão é muito lento e por

esta razão, a velocidade de secagem diminui rapidamente à medida que a umidade diminui, já que vão se tornando menores as regiões saturadas (AGUIRRE & GASPARINO FILHO, 2002).

O segundo período de velocidade decrescente, representado na Figura 6 pela região “3”, caracteriza-se pela baixa umidade do material e pelo fato de que toda a evaporação ocorre no interior do material. Todo o vapor retirado do sólido deve difundir-se através do sólido até a superfície e, em seguida, através da corrente gasosa. Isto faz com que a velocidade diminua ainda mais. Em alguns casos, os períodos de velocidade decrescente podem ser maiores que o período de velocidade constante, apesar de a umidade removida ser, na maioria das vezes, menor (FOUST, 2008; KAREL *et al.*, 1975).

Quando se atinge a umidade de equilíbrio, a secagem é interrompida e a velocidade de secagem cai à zero. A umidade de equilíbrio é alcançada quando a pressão parcial do vapor na superfície do sólido for igual à pressão do vapor na fase gasosa (AGUIRRE & GASPARINO FILHO, 2002).

Diversos modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever a cinética de secagem em camada delgada de produtos agrícolas e alimentares. Modelos teóricos, empíricos e semi-empíricos são utilizados para se estimar o tempo de secagem de diferentes produtos e na geração das curvas de secagem. Segundo Brooker *et al.* (1992), os métodos teóricos normalmente consideram as condições externas sob as quais a operação ocorre, como também os mecanismos internos de transferência de energia e massa e seus efeitos. Dependendo do material que se está secando, a umidade pode movimentar-se no seu interior, por mecanismos diferentes. Em produtos capilares porosos, como a maioria dos produtos de origem agrícola, os possíveis mecanismos de transporte de umidade são: difusão líquida, difusão capilar, difusão de superfície, fluxo hidrodinâmico, difusão de vapor e difusão térmica. A teoria da difusão líquida tem sido amplamente empregada na área de secagem, embora existam algumas suposições a serem consideradas para sua aplicação, como: redução do volume desprezada, não existência do efeito de capilaridade, equilíbrio térmico instantâneo com o ar e os efeitos da transferência de energia e massa de um corpo para outro, admitidos como desprezíveis.

Os modelos teóricos que descrevem a taxa decrescente de secagem de um sólido consideram, geralmente, como mecanismo principal, a difusão baseada na segunda Lei de Fick, que expressa que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água e a um coeficiente de difusão de água no sólido (PARK *et al.*, 2002; ROMERO-PEÑA & KIECKBUSCH, 2003).

O método empírico é um método de abordagem com base em dados experimentais e na análise adimensional. Os modelos empíricos de secagem apresentam uma relação direta entre o conteúdo médio de umidade e o tempo de secagem; omitem os fundamentos do processo de secagem e seus parâmetros não têm significado físico; conseqüentemente, não oferecem uma visão apurada dos processos importantes que ocorrem durante o fenômeno, embora descrevam as curvas de secagem para determinadas condições experimentais (KEEY, 1972). Entre esses modelos, tem-se o de Thompson *et al.* (1968) e o de Wang & Singh (1978), tradicionalmente utilizados nos estudos de secagem de produtos agrícolas e de alimentos.

Muita ênfase, no entanto, se tem dado ao desenvolvimento de modelos semiteóricos, que concorrem para que haja harmonia entre a teoria e a facilidade de uso. Tais modelos se baseiam, de modo geral, na Lei de Newton para resfriamento, aplicada à transferência de massa. Quando se aplica esta lei, presume-se que as condições sejam isotérmicas e que a resistência à transferência de umidade se restrinja apenas à superfície do produto (BROOKER *et al.*, 1992). Entre os modelos semiteóricos, o modelo de dois termos, o de Henderson e Pabis, o de Lewis, o de Page e o de Page Modificado, têm sido amplamente utilizados (PANCHARIYA *et al.*, 2002).

Pesquisas relacionadas ao estudo da cinética de secagem em camada delgada são realizadas com diversos produtos agrícolas, como sementes, grãos, frutos e em algumas espécies de plantas, com importância econômica. Observa-se, conforme o produto e as condições do processo de secagem, que diferentes modelos se ajustam a cada situação específica.

Gouveia *et al.* (1999) estudaram a cinética de secagem do gengibre em um secador de leito fixo e verificaram que o modelo probabilístico de segunda ordem prediz com maior segurança a cinética de secagem do gengibre, sem e com casca, que o modelo de primeira ordem. Segundo os autores, a cinética de secagem das amostras de gengibre ocorreu no período de taxa decrescente. Além disso, concluíram que a temperatura do ar de secagem tem maior influência sobre a secagem em relação ao efeito da velocidade de secagem.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A parte experimental da pesquisa foi desenvolvida na planta-piloto e nos laboratórios do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos (DETA) do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas (IBILCE), Campus da UNESP em São José do Rio Preto, estado de São Paulo.

4.1. GENGIBRE

A matéria-prima utilizada nos experimentos, o gengibre, foi obtida junto a Central de Abastecimento de São José do Rio Preto (CEASA), fornecida por produtores rurais do município de Piedade, região sul do estado de São Paulo. A variedade plantada nessa região é a Gigante Havaí, cujo plantio ocorre nos meses de setembro e outubro. A colheita é feita de oito a nove meses após a semeadura, em meados de abril ou maio, podendo se estender por até um ano, de acordo com as dimensões da área plantada, a necessidade do produtor e a variação do preço de venda do gengibre no mercado.

Para esta experimentação, foram adquiridos 30 kg de gengibre em três lotes diferentes: 10 kg em abril, 10 kg em julho e 10 kg em setembro. Em abril foram realizados os ensaios de secagem em secador de bandejas sob vácuo; em julho, os experimentos de secagem no secador de bandejas à pressão atmosférica; e em setembro, os ensaios para determinação da cinética de secagem do gengibre. A compra de um único lote de 30 kg de gengibre não seria aconselhável, pois segundo a CATI (2008), o gengibre pode ser armazenado por no máximo de 60 dias, em condições de alta umidade relativa (aproximadamente 90%) e temperaturas baixas, entre 0 e 10°C. Após este período, o gengibre *in natura* inicia o brotamento, alterando assim, suas propriedades e composição, e influenciando na concentração de gingerol e shogaol do rizoma. Ressalta-se ainda a necessidade de aquisição de outros 15 kg da matéria-prima, em datas anteriores às mencionadas, para ensaios preliminares de ajuste e determinação das condições secagem.

Apesar dos lotes terem sido adquiridos em diferentes meses ao longo da pesquisa, a duração da safra do gengibre (cerca de um ano) garante um produto suficientemente homogêneo em sua composição e características físico-químicas. O gengibre obtido foi armazenado em câmara fria à 5°C por período máximo de 60 dias.

4.2. PREPARO DA MATÉRIA-PRIMA

Com o intuito de aprimorar as etapas de pré-preparo da matéria-prima foram realizados diversos ensaios preliminares em ambos os sistemas de secagem, à pressão atmosférica e a vácuo, para verificação da necessidade e do modo de descascamento do gengibre e do tipo de equipamento mais adequado para a etapa de fatiamento do gengibre.

Com relação à necessidade de descascamento do gengibre a ser desidratado, Gouveia *et al.* (1999) observou que a presença da casca dificultou a difusão da água durante a secagem do gengibre, com valores de difusividade efetiva para secagem a 65°C, com velocidade do ar a 1 m.s⁻¹ e desconsiderando-se o encolhimento, de 4,40x10⁻⁶ e 4,05x10⁻⁶ m².h⁻¹ para gengibre sem casca e com casca, respectivamente. Resultados semelhantes foram observados por Sereno & Medeiros (1990). Baseando-se nestes trabalhos poderia se julgar necessário o descascamento do gengibre como etapa preliminar e preparatória para a secagem. No entanto, Ravindran & Babu (2005), apesar de citarem o descascamento como uma das etapas que precedem a secagem, afirmam que, durante o descascamento, o parênquima cortical do gengibre, rico em óleo essencial, pode ser atingido ou até removido, acarretando na perda de compostos voláteis e pungentes do gengibre, dentre os quais estão os gingeróis e shogaóis.

Avaliando as desvantagens e vantagens mencionadas, optou-se neste trabalho pela não realização do descascamento como etapa preliminar do processo de secagem de gengibre. Duas razões são apontadas como fundamentais para esta decisão: (1) um possível corte do parênquima cortical do gengibre poderia acarretar na perda de parte dos compostos de interesse, gingeróis e shogaóis, que poderia interferir na interpretação dos resultados sobre a influência da secagem sobre a concentração destes compostos; e (2) o fato de dificultar a transferência de massa acarreta uma pequena influência sobre o tempo total de secagem, devido à suposta menor difusividade no gengibre com casca. Além disso, as fatias de gengibre possuem espessuras de apenas 2 a 3 milímetros e sua preparação para desidratação é feita com um corte perpendicular à direção longitudinal (maior dimensão) do gengibre em sua posição de descanso. Ou seja, a casca poderia influenciar a difusão da água apenas na região de menor área exposta à secagem, que pode ser considerada muito pequena em relação à área total exposta (incluindo as duas faces), de modo que a fatia pode ser considerada uma placa plana infinita, conforme ilustra a Figura 7.



Figura 7 – “Fatia de gengibre com casca”.

Para a etapa de corte do gengibre em fatias de 2 a 3 mm de espessura, testou-se o cortador mecânico fabricado pela Semco-Hobart. O fato de o gengibre ser um material altamente fibroso, aliado a alta rotação da hélice do cortador mecânico, dificultaram o corte uniforme do gengibre em fatias com o tamanho previamente determinado. As fibras do gengibre enroscavam no disco de corte, mudando-o da posição de descanso e desfibrando a matéria-prima, tornando-a irregular e imprópria para secagem nos moldes requeridos.

O corte manual com auxílio de uma faca e um paquímetro, para medição da espessura das fatias, também foi experimentado, porém, este método impedia a uniformidade das fatias de gengibre, bem como dificultava o rendimento desta etapa do processo, tornando-a excessivamente demorada, podendo acarretar em mudanças na constituição do gengibre, advindas da exposição por tempo prolongado das fatias e componentes do gengibre à ação do oxigênio, iluminação e enzimas liberadas por ocasião do corte.

O cortador mecânico da marca Eco (Figura 8) foi o equipamento que melhor se adaptou à operação de fatiamento. Nos testes o aparelho apresentou-se com elevado grau de uniformidade na espessura das fatias, praticamente sem perdas, e com facilidade e rapidez na condução da operação.



Figura 8 – “Cortador mecânico escolhido para fatiamento do gengibre”.

Desta forma, para a realização dos experimentos, o gengibre foi lavado em água corrente, drenado para remoção do excesso da água e pesado em balança semi-analítica para cálculo de rendimento de secagem. Os rizomas foram aparados manualmente com auxílio de

uma faca, retirando-se as raízes, os “dedos” com defeitos e as partes com podridão presentes no rizoma. Em seguida, os rizomas foram novamente pesados, obtendo-se o peso após a limpeza e aparação. Seguiu-se o corte em fatias com espessura entre dois e três milímetros utilizando o cortador selecionado.

Uma amostra representativa e aleatória de fatias de gengibre fresco, pesada em balança analítica com casca foi triturada com o auxílio de um mixer. Desta porção triturada foram coletadas três alíquotas para determinação imediata da umidade do gengibre *in natura* e cinco amostras para determinação do teor dos compostos de interesse (6-gingerol e 6-shogaol) por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), que foram acondicionadas em potes de polietileno selados e armazenados em congelador à temperatura de -18°C.

4.3. ENSAIOS DE SECAGEM

Realizadas as etapas de lavagem, aparação e corte da matéria-prima, seguiu-se à etapa da secagem propriamente dita. Dois tipos de secadores foram empregados nos experimentos: (i) de bandejas com convecção forçada de ar aquecido à pressão atmosférica e (ii) de bandejas sob vácuo. A escolha dos secadores se baseou na sua similaridade com secadores de bandeja comerciais bastante utilizados industrialmente.

As fatias de gengibre foram espalhadas de maneira uniforme e formando uma única camada sobre as bandejas, sendo levadas aos seus respectivos secadores. Nos dois processos, à pressão atmosférica e sob vácuo, foram empregadas três diferentes temperaturas: $50 \pm 2^\circ\text{C}$, $60 \pm 2^\circ\text{C}$ e $70 \pm 2^\circ\text{C}$. Alguns padrões internacionais de exportação do produto exigem que a umidade máxima do gengibre desidratado seja de 12%, em base úmida (LORENZETTI, 2008). Desta forma, o gengibre foi desidratado até atingir umidade inferior a 12%, obtida em aproximadamente 6 horas de secagem à pressão atmosférica, e após 12 horas sob vácuo, segundo determinaram ensaios preliminares e dependendo das condições ambientais durante a secagem: temperatura e umidade relativa do ar.

4.3.1. Secagem à Pressão Atmosférica

Na secagem convencional com convecção forçada com ar pré-aquecido (paralelo à superfície do produto) sobre o produto disposto em bandejas à pressão atmosférica foi utilizado um secador com ar aquecido por meio de gás GLP, modelo PD-25, fabricado pela

Meloni (Viçosa, MG), conforme mostra a Figura 9 e desenho esquemático na Figura 10. O secador possui dimensões de 560 x 980 x 1000 mm (largura x altura x profundidade) e é composto por dez bandejas com dimensões de 0,45 x 0,45 m, totalizando uma área de secagem de dois metros quadrados. O sistema permite o controle da temperatura de secagem através da abertura de uma válvula que controla a vazão do gás. A velocidade do ar de secagem, produzido por um ventilador através da sucção do ar ambiente, fixada na faixa de 0,5 a 0,6 m.s⁻¹, foi medida através de anemômetro de ventoinha (modelo LCA-6000-VT, da Airflow Developments Limited) na passagem do fluxo de ar em diversos pontos entre as bandejas.



Figura 9 – “Secador de bandejas à pressão atmosférica (Meloni)”.

Como parâmetros auxiliares de controle e monitoramento do processo, durante a secagem convencional foram monitoradas: as temperaturas do ar de entrada e saída da bandeja-controle (bandeja 3), as temperaturas de saída das bandejas 1 e 5 (Figura 9), e a temperatura e umidade relativa do ar ambiente.

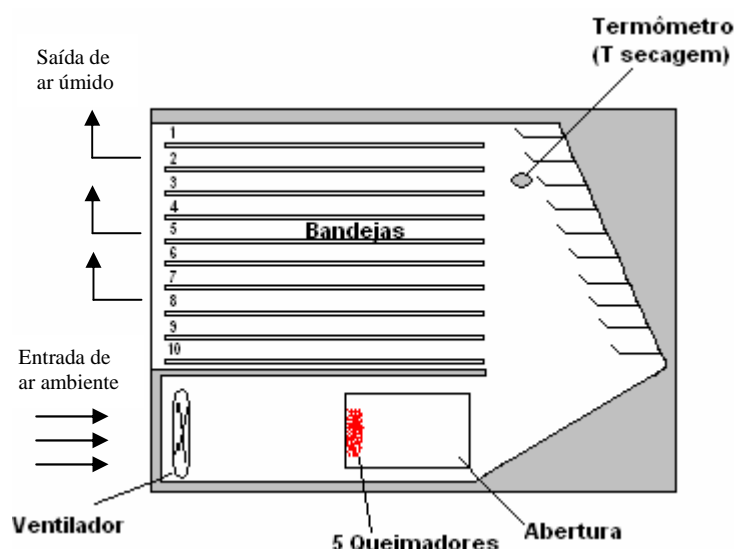


Figura 10 – “Vista lateral esquemática do secador de bandejas à pressão atmosférica”.

Foram realizados diversos ensaios preliminares no secador de bandejas à pressão atmosférica com o intuito de determinar as condições operacionais, capacidade das bandejas, controle de temperatura, uniformidade quanto à distribuição de temperatura, estabilidade do sistema, forma de acompanhamento da umidade do gengibre, método e frequência de amostragem, entre outras observações concernentes ao processo.

Ensaio preliminares de secagem de gengibre a 50 e 70°C permitiram a identificação da existência de diferença nas temperaturas do ar de secagem entre as bandejas no interior do secador PD-25, medidas na saída do secador. Durante a secagem, com auxílio de termopares posicionados em cada uma das 10 bandejas, mediu-se a cada 30 minutos a temperatura do ar de secagem após a passagem pelas bandejas (Figura 11).

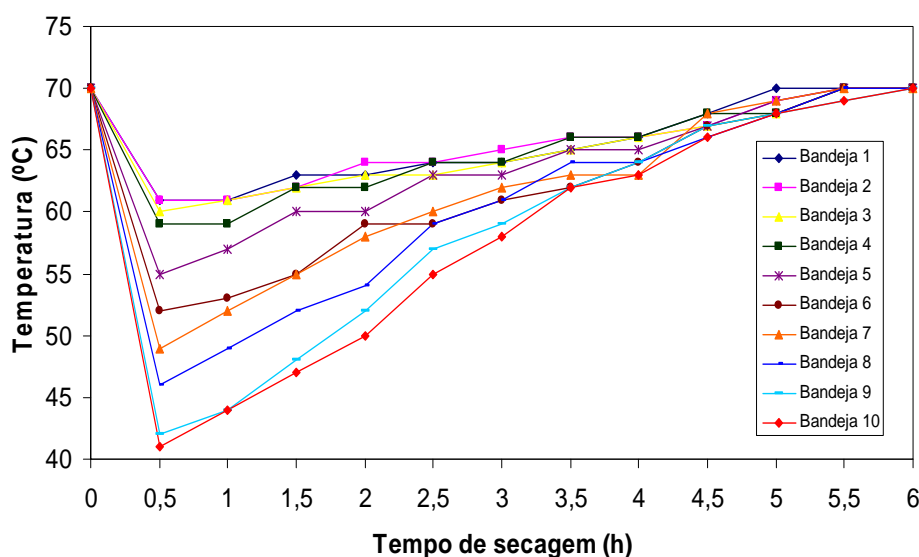


Figura 11 – “Temperatura do ar na saída das bandejas com ar de entrada ajustado para 70 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ”.

Verifica-se que a disparidade nos valores de temperatura foi maior nas primeiras horas de secagem, chegando a picos de 20°C de diferença entre a bandeja 1 e a bandeja 10, o que pode ser explicado por três fatores: (1) baixa velocidade do ar de secagem (0,5 a 0,6 m.s⁻¹) que, aliada a estrutura e arranjo físico do secador, dificulta a circulação uniforme através das bandejas inferiores do equipamento; (2) pela menor densidade do ar quente que rapidamente sobe, atingindo as bandejas superiores com temperaturas acima das temperaturas do ar que circula através das bandejas inferiores; e (3) devido à maior distância verificada entre as bandejas inferiores e as aletas de direcionamento do ar de secagem (bandeja 10 = 30 cm) quando comparadas com distância entre as bandejas superiores com suas respectivas aletas de

direcionamento do ar de secagem (bandeja 1 = 10 cm). O esquema apresentado na Figura 12 facilita a compreensão do fenômeno relatado.

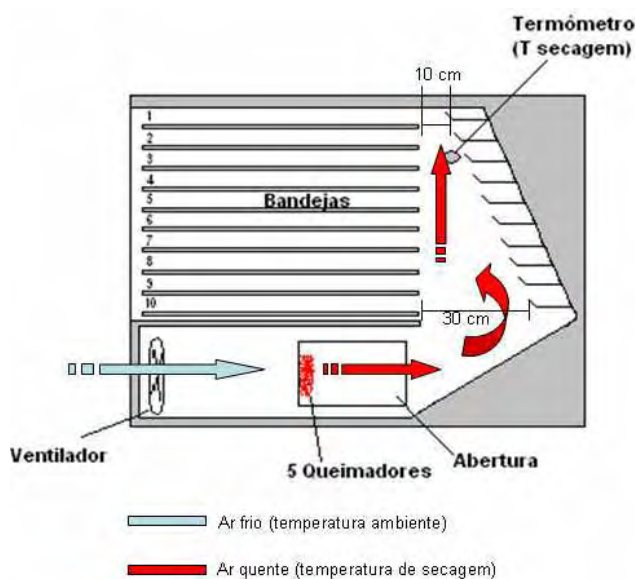


Figura 12 – “Esquema representativo da movimentação do ar de secagem no secador de bandejas à pressão atmosférica”.

Essa variação nas temperaturas do ar de secagem entre as bandejas durante a secagem é indesejável, pois acarreta em desuniformidade da secagem do gengibre e conseqüentes problemas na obtenção de amostras representativas para determinação dos compostos 6-gingerol e 6-shogaol. Porém, observou-se que entre as bandejas 1 e 5, a variação máxima, ocorrida na primeira hora de secagem, foi de apenas 6°C. A solução encontrada foi a utilização de no máximo cinco bandejas do secador: as superiores e numeradas de 1 a 5; além da realização de um rodízio entre essas bandejas, devendo ser alternadas de posição a cada hora ao longo da secagem, eliminando as possíveis interferências advindas das diferenças de temperatura entre as bandejas do secador. Vale destacar ainda que inicialmente foi proposto um rodízio entre todas as 10 bandejas do secador, porém descartado, considerando que o tempo total de secagem do gengibre (em média 6 horas) é relativamente pequeno em relação à necessidade de rotação da totalidade das 10 bandejas do secador, o que impediria um rodízio completo das bandejas numa única operação de secagem, permanecendo o problema da desuniformidade das amostras de uma bandeja para outra.

Com base nesses resultados, determinou-se também que a bandeja central dentre as cinco superiores, que corresponde à bandeja 3, seria a bandeja-controle no processo de secagem do gengibre. Desta forma, a bandeja 3 não participou do rodízio de bandejas, tendo papel fundamental no domínio do processo de secagem, para controle de peso e

conseqüentemente da umidade do gengibre para determinação da cinética de secagem. Além disso, as amostras representativas para determinação de umidade e dos compostos de interesse (gingerol e shogaol) foram retiradas das outras quatro bandejas (1, 2, 4 e 5).

Outro ensaio com as bandejas vazias foi realizado para verificação de possíveis variações significativas entre as temperaturas do ar de secagem entre a bandeja-controle (3) e as demais bandejas escolhidas (1, 2, 4 e 5). Termopares foram posicionados na saída de cada umas das bandejas numeradas de 1 a 5. Também foram monitoradas as temperaturas do ar aquecido (após o sistema de aquecimento, antes das bandejas) e a temperatura do ar ambiente (antes do sistema de aquecimento). As Tabelas 3 a 6 apresentam os valores das medições de temperatura obtidas a cada 5 minutos para condição de temperatura do ar de secagem de 65°C.

Tabela 3: “Comparação entre as temperaturas do ar de secagem nas bandejas 3 e 1”.

Tempo (min)	Temperatura do ar (°C)				
	Ambiente	Após Aquecedor	Bandeja 1	Bandeja 3	Diferença Bandejas 3-1
0	24,7	64,8	65,6	66,6	1,0
5	24,9	65,1	65,5	66,8	1,3
10	24,8	65,0	65,6	66,8	1,2
15	25,1	65,4	65,9	67,0	1,1
20	25,2	65,2	66,1	67,2	1,1
25	25,0	65,5	66,2	67,2	1,0
30	25,4	65,5	66,3	67,5	1,2
35	25,2	65,6	66,4	67,5	1,1
40	25,6	65,7	66,6	67,7	1,1
45	25,2	65,8	66,9	67,9	1,0
Média	25,1	65,4	66,1	67,2	1,1
Desvio Médio	0,2	0,3	0,4	0,3	0,1

Tabela 4: “Comparação entre as temperaturas do ar de secagem nas bandejas 3 e 2”.

Tempo (min)	Temperatura do ar (°C)				
	Ambiente	Após Aquecedor	Bandeja 2	Bandeja 3	Diferença Bandejas 3-2
0	25,5	64,8	65,9	66,4	0,5
5	25,6	65,0	66,0	66,7	0,7
10	25,8	65,1	66,3	67,0	0,7
15	25,8	65,1	66,5	67,0	0,5
20	25,6	65,3	66,4	67,0	0,6
25	28,9	65,5	66,5	67,1	0,6
30	26,0	65,5	66,6	67,2	0,6
35	26,0	65,3	66,6	67,2	0,6
40	26,1	65,5	66,8	67,4	0,6
45	26,3	65,3	66,8	67,3	0,5
Média	26,2	65,2	66,4	67,0	0,6
Desvio Médio	0,6	0,2	0,2	0,2	0,1

Tabela 5: “Comparação entre as temperaturas do ar de secagem nas bandejas 3 e 4”.

Temperatura do ar (°C)					
Tempo (min)	Ambiente	Após Aquecedor	Bandeja 4	Bandeja 3	Diferença Bandejas 3-4
0	26,5	65,0	66,3	67,0	0,5
5	26,6	65,1	66,5	67,0	0,7
10	26,5	65,3	66,6	67,0	0,7
15	26,5	65,0	66,8	67,2	0,5
20	26,6	65,0	66,9	67,2	0,6
25	26,6	65,5	67,0	67,2	0,6
30	26,6	65,5	67,0	67,3	0,6
35	26,8	65,7	67,0	67,4	0,6
40	26,8	65,7	67,2	67,6	0,6
45	26,9	65,8	67,3	67,6	0,5
Média	26,6	65,4	66,9	67,3	0,6
Desvio Médio	0,1	0,3	0,2	0,2	0,1

Tabela 6: “Comparação entre as temperaturas do ar de secagem nas bandejas 3 e 5”.

Temperatura do ar (°C)					
Tempo (min)	Ambiente	Após Aquecedor	Bandeja 5	Bandeja 3	Diferença Bandejas 3-5
0	27,1	65,6	67,2	67,1	0,1
5	27,3	65,5	67,5	67,4	0,1
10	27,4	65,5	67,7	67,5	0,2
15	27,1	65,7	67,7	67,7	0,0
20	27,0	65,6	67,8	67,7	0,1
25	27,1	65,4	67,7	67,7	0,0
30	27,1	66,0	67,9	67,7	0,2
35	27,1	66,1	68,0	67,8	0,2
40	27,2	65,8	67,8	67,8	0,0
45	27,3	65,7	67,9	68,0	0,1
Média	27,2	65,7	67,7	67,6	0,1
Desvio Médio	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1

A partir da análise dos dados apresentados nas Tabelas 3 a 6 e considerando que as temperaturas do ar ambiente e do ar de secagem foram praticamente constantes, com os resultados mostrando variações máximas sempre inferiores a 1°C, pode-se verificar que as disparidades entre os valores de temperatura do ar de secagem, medidas nas respectivas bandejas, foram mínimas. Conclui-se também que a bandeja 3, por não apresentar diferenças significativas de temperatura de secagem em relação às demais bandejas, pode ser considerada como ideal para ser empregada como a bandeja-controle do processo de secagem. Colabora para isso o fato de as pequenas variações encontradas serem eliminadas com a realização do rodízio de bandejas ao longo da secagem, minimizando ainda mais possíveis desuniformidades na secagem das amostras de gengibre.

Foi investigada também a existência de diferenças de temperatura e de secagem nas diferentes regiões de uma mesma bandeja. Com o objetivo de verificar este fenômeno, realizou-se um ensaio de secagem onde a bandeja 3 foi dividida em quatro partes ou regiões iguais, através da colocação de quatro pequenas bandejas no seu interior, que foram denominadas pelas letras A, B, C e D, conforme apresenta a Figura 13.

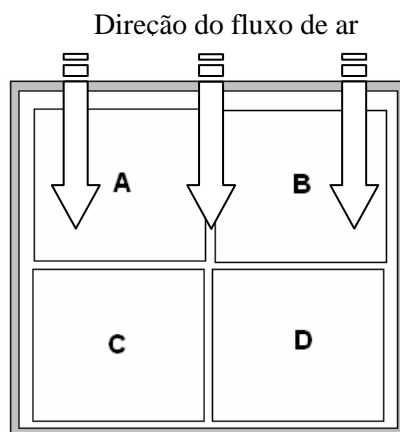


Figura 13 – “Esquema representativo da bandeja 3 dividida em quatro regiões para ensaio de secagem”.

Uma amostra de aproximadamente um quilograma de gengibre *in natura* foi lavada, aparada e cortada em fatias de 2 a 3 mm de espessura. As bandejas A, B, C e D, previamente taradas, foram carregadas com as fatias de gengibre e seus respectivos pesos anotados para controle de umidade ao longo da secagem. A partir do conhecimento da umidade inicial das amostras de gengibre (82,75% em base úmida), determinada pelo método da estufa a vácuo, calculou-se o teor de sólidos totais existentes em cada uma das bandejas secundárias, através da Equação 1.

$$\text{Sólidos Totais} = (1 - X_{bu}) \times (M_{\text{amostra}}) \quad (1)$$

onde,

$$M_{\text{amostra}} = (\text{Massa da bandeja carregada com gengibre}) - (\text{Massa da bandeja})$$

As bandejas secundárias foram pesadas de hora em hora durante o período de secagem. Considerando-se que a quantidade de sólidos totais do gengibre não é alterada na secagem, pois apenas a água é removida, a umidade das amostras foi calculada ao longo da secagem, através da utilização da Equação 1. Esse ensaio de secagem foi realizado durante 6 horas e as temperaturas médias do ar de secagem e do ambiente verificadas foram de 67,8°C e

29,1°C, respectivamente. A Figura 14 apresenta a variação da umidade das amostras presentes em cada uma das bandejas (3A, 3B, 3C e 3D, onde o número 3 indica que as bandejas secundárias A, B, C e D estão dispostas sobre a bandeja 3).

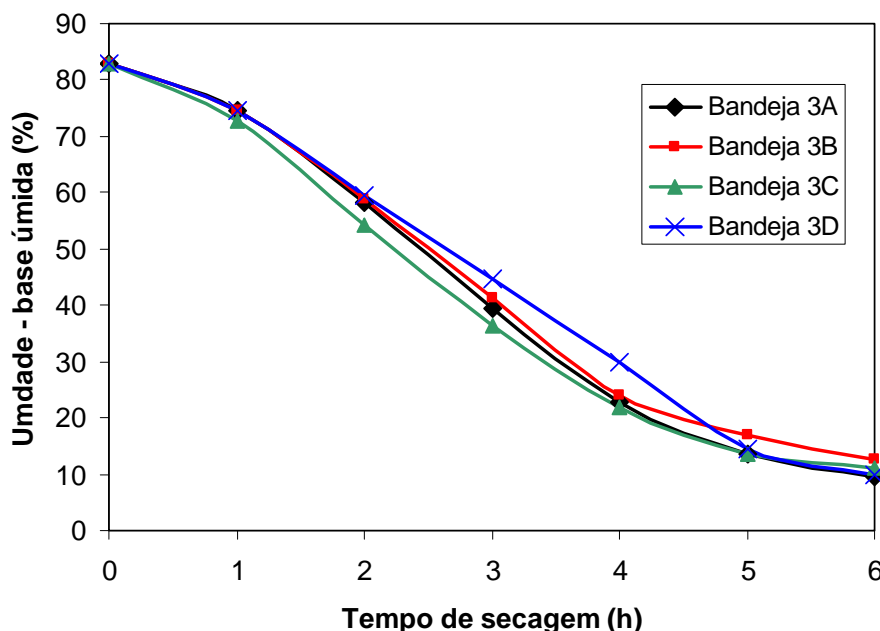


Figura 14 – “Teor de umidade, base úmida, das bandejas secundárias A, B, C e D ao longo da secagem”.

Observa-se que a bandeja 3D foi a que apresentou a maior discrepância em relação às demais bandejas quanto à curva de secagem, principalmente entre a terceira e quarta hora de secagem, onde a diferença da umidade entre a bandeja 3D e a bandeja 3C foi de aproximadamente 9%. Pequenas variações eram esperadas já que o ar de secagem escoa paralelamente às bandejas, chegando, portanto, mais frio nas regiões C e D, opostas ao ar de entrada. Desta forma, optou-se pela realização de um rodízio de posição de cada uma das bandejas no sentido horário, eliminando possíveis interferências na amostragem para determinação dos compostos 6-gingerol e 6-shogaol devido à desuniformidade entre as amostras representativas.

Após a realização dos ensaios preliminares descritos, determinou-se que os seguintes procedimentos seriam executados em intervalos de uma hora, contados a partir do início da secagem: rodízio das bandejas nos secadores, pesagem da bandeja-controle (bandeja 3) e retirada de amostras representativas para determinação de umidade e para determinação dos compostos gingeróis e shogaóis.

O rodízio de bandejas no secador foi realizado de duas formas: (i) entre as bandejas 1, 2, 4 e 5, sendo que a cada hora de secagem, uma bandeja descia uma posição no secador, enquanto a bandeja acima tomava o seu lugar; (ii) mudança da posição de uma mesma bandeja, onde a cada hora de secagem, uma bandeja era girada no sentido horário dentro do secador. Desta forma, evitaram-se possíveis desuniformidades na secagem, comprovado em experimentos preliminares.

A pesagem da bandeja-controle (3), que não participou do rodízio das bandejas, foi importante como mais um parâmetro de controle da variação da umidade do gengibre ao longo do processo de secagem, sendo utilizado na determinação da cinética de secagem do gengibre (item 4.6). Uma dificuldade observada nos ensaios preliminares de secagem de gengibre no secador à pressão atmosférica foi a constatação da perda de parcela das amostras de gengibre durante a secagem. Assim, verificou-se que pequenas quantidades de gengibre desidratado caíam pelas perfurações da bandeja ou eram arrastados com a corrente de ar, provavelmente devido à densidade e dimensões reduzidas do material sendo desidratado, alterando os pesos da bandeja de controle de umidade (3) ao longo do processo de secagem. Tal fato foi confirmado através da observação da deposição de partículas de material desidratado no fundo do secador. Como solução para o problema mencionado, fixou-se uma tela metálica na parte interna da bandeja-controle, evitando assim, a perda de material seco.

Procedimento de retirada de amostras representativas a cada hora e após o processo de secagem: oito a dez fatias de gengibre de diferentes posições na bandeja eram retiradas aleatoriamente de cada uma das bandejas (1 a 5, com exceção da bandeja-controle 3). Essas fatias eram trituradas com auxílio de um triturador mecânico (mixer). Deste material triturado, três alíquotas eram pesadas em balança analítica diretamente em pesa-filtros de massa conhecida para determinação imediata da umidade em triplicata pelo método da estufa (item 4.5), com a finalidade comprobatória da umidade calculada pelas variações de peso da bandeja-controle, além da determinação exata da matéria seca e do teor de umidade presentes. Para determinação dos compostos de interesse através da técnica cromatográfica (item 4.4), outras cinco alíquotas de gengibre triturado eram pesadas em potes de polietileno e armazenadas em alíquotas congeladas à temperatura de -18°C . Este procedimento foi utilizado com o objetivo de evitar problemas de variação na composição das amostras por outros fatores que não fossem resultantes do processo de secagem, tais como degradação dos compostos durante o descongelamento (devido a menor quantidade de amostra e conseqüente menor tempo de descongelamento) e variação de concentração dos compostos por variação nos pesos das amostras.

4.3.2. Secagem a Vácuo

Na secagem sob ação de vácuo foi utilizada uma estufa adaptada fabricada pela Supralab (Figura 15), que possui controle automático de temperatura, regulagem de vácuo através de válvula borboleta e dimensões externas de 57 cm x 53 cm x 63 cm, respectivamente, largura, altura e profundidade, contendo duas bandejas internas em aço inoxidável com dimensões de 40 x 40 cm. O vácuo foi fixado em 660 mmHg, correspondente 6,67 kPa de pressão absoluta. Para acomodação das fatias de gengibre foram adaptadas sete pequenas bandejas de formato quadrangular construídas em tela metálica, sendo quatro com dimensões de 20 cm x 20 cm, duas com dimensões de 12 cm x 12 cm e uma de 25 x 12 cm, dispostas nos dois compartimentos do secador, inferior e superior (Figura 16).



Figura 15 – “Secador de bandejas a vácuo”.

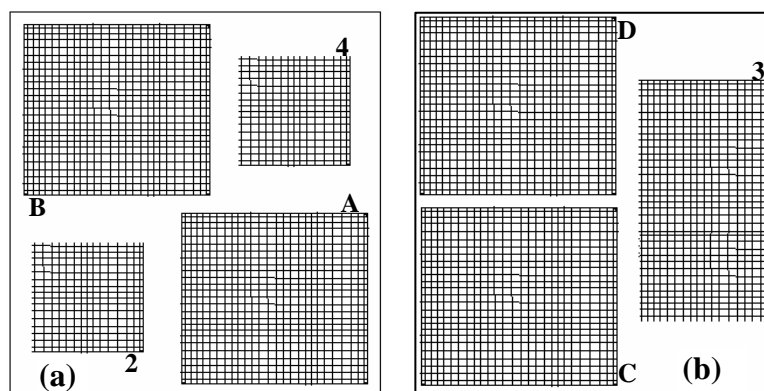


Figura 16 – “Disposição das bandejas no secador a vácuo: (a) parte inferior; (b) parte superior”.

Ensaio preliminares de secagem de gengibre a 60°C durante 6 e 12 horas permitiram a identificação da existência de pequenas discrepâncias nas temperaturas do ar de secagem nas diferentes regiões internas do secador a vácuo. A Tabela 7 apresenta a quantidades de amostras iniciais e finais de cada uma das bandejas para secagem de 6 horas.

Tabela 7: “Controle de peso das bandejas na secagem a vácuo para temperatura de 60°C por 6 horas”.

Identificação das Bandejas	A	B	C	D	02	03	04
Amostra inicial (g)	67,33	69,12	70,87	69,41	25,72	32,06	26,78
Amostra final (g)	26,82	18,63	20,44	24,55	7,02	8,99	7,26
$P_{\text{final}} / P_{\text{inicial}}$	0,39	0,27	0,29	0,35	0,27	0,28	0,27

A análise da Tabela 7 permite a observação de que as bandejas A e D apresentaram valores discrepantes da relação peso final e inicial (0,39 e 0,35 g, respectivamente) quando comparadas com as demais bandejas (média de 0,27 g). Tal fato revela indícios de secagem desuniforme no interior da estufa, já que, para um mesmo período de secagem (6 horas), as bandejas A e D apresentaram maiores quantidades de amostra final, o que pode ser explicado pela maior concentração de água nestas amostras em relação às demais bandejas.

Conforme mostra a Figura 17, para solução do problema, foi disposta uma bandeja, com as dimensões internas do secador, contendo esferas de vidro (diâmetro de 15 mm) foi disposta na parte inferior do secador, local de entrada do ar de secagem. Com esta bandeja o ar de secagem é forçado a passar através do leito de esferas sendo redistribuído de maneira mais uniforme em todo o interior do secador, minimizando assim os erros de amostragem devido a desuniformidade da secagem sob vácuo.



Figura 17 – “Disposição das esferas de vidro no interior do secador sob vácuo”.

Ensaios posteriores revelaram que o problema foi praticamente resolvido, eliminando-se a divergência de valores para a bandeja D e reduzindo-se significativamente para a bandeja A, conforme mostra a Tabela 8. A fim de se evitar erros de amostragem, decidiu-se pelo descarte das amostras contidas na bandeja A, não as utilizando para determinação posterior de umidade e teor dos compostos de interesse, devido sua discrepância, ainda que pequena, em relação às demais bandejas.

Tabela 8: “Controle de peso das bandejas na repetição da secagem a vácuo para temperatura de 60°C por 6 horas”.

Identificação das Bandejas	A	B	C	D	02	03	04
Amostra inicial (g)	66,93	68,45	71,22	69,88	27,02	34,16	26,55
Amostra final (g)	21,42	18,48	19,94	20,30	7,58	9,90	6,96
$P_{\text{final}} / P_{\text{inicial}}$	0,32	0,27	0,28	0,29	0,27	0,29	0,26

Devido à impossibilidade de abertura do secador a vácuo durante o processo de secagem para retirada de amostras e acompanhamento da umidade através de bandeja-controle, optou-se pela realização de experimentos independentes por períodos de tempo determinados em 2, 4, 6, 8, 10 e 12 horas, sendo esse último o tempo necessário para as amostras de gengibre desidratado atingirem teor de umidade inferior a 12%, conforme constatação através de ensaios preliminares.

Para cada experimento independente de secagem foram retiradas amostras para determinação da umidade inicial e final, bem como para a determinação dos compostos 6-gingerol e 6-shogaol do gengibre fresco e do gengibre obtido ao final da secagem. O procedimento para obtenção das amostras representativas a partir das fatias de gengibre seguiu a mesma metodologia descrita anteriormente para a secagem à pressão atmosférica.

4.4. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE GINGERÓIS TOTAIS, 6-GINGEROL E 6-SHOAOL

4.4.1. Extração

Para definir o procedimento de extração, testes preliminares foram realizados utilizando metanol, água e acetato de etila como solvente e homogeneizador Polytron como instrumento de extração. A eficiência foi avaliada através do espectro de absorção na faixa de

200 a 500 nm. A água mostrou-se ineficiente para extração além de propiciar um extrato muito turvo. O extrato obtido com acetato de etila mostrou-se mais límpido que o do metanol, no entanto, o último apresentou melhor eficiência na extração. Escolhido o metanol como solvente de extração, o número de extrações necessárias foi avaliado submetendo o resíduo a uma segunda extração, mostrando que uma única extração era suficiente.

Procedimento: as amostras analíticas previamente coletadas, trituradas, pesadas e armazenadas durante os experimentos da secagem (item 4.3) foram retirados do freezer e deixados à temperatura ambiente por 10 minutos. Após transferência quantitativa para os tubos de extração, as amostras foram homogeneizadas com aproximadamente 50 mL de metanol em homogeneizador Polytron PT 2100 (Kinematica, Suíça) por 1 min e velocidade 19000 rpm. O extrato metanólico foi filtrado em papel de filtro diretamente para um balão volumétrico de 100 mL. O tempo de filtração variou de 1 a 4 horas, sendo menor o tempo quanto menor o conteúdo de umidade da alíquota. O resíduo e o papel de filtro foram lavados com porções de 10 mL de metanol até que o volume do balão fosse completado.

4.4.2. Determinação dos gingeróis totais por espectrofotometria

Após diluições adequadas, os espectros de absorção dos extratos foram obtidos na faixa de 200 a 450 nm utilizando espectrofotômetro UV-Visível DU 640 (Beckman Coulter, EUA). O teor de gingeróis totais foi calculado através da Lei de Beer Lambert utilizando o valor da absorbância medida a 280 nm e expresso como 6-gingerol pelo fato deste ser o composto presente em maior concentração (CHRUBASIK *et al.*, 2005; DALLAVALLI, 1990; JOLAD *et al.*, 2005; CHEN & HO, 1987). A curva padrão de 6-gingerol obtida da Wako Pure Chemical Industries (Osaka, Japão) construída com seis diferentes concentrações mostrou ser linear na faixa de 0,016 a 0,098 mg (mL)⁻¹ e passou pela origem com coeficiente de determinação de 0,9981 (Figura 18). O teor dos gingeróis totais foi estimado por espectrofotometria, visto que, de acordo com He *et al.* (1998), os principais compostos responsáveis pela pungência do gengibre são a série de gingeróis e shogaóis que apresentam espectros de absorção semelhantes com dois picos de absorção, sendo coincidentes a 282 nm em acetonitrila:água. Os espectros de absorção em metanol dos padrões de 6-gingerol e 6-shogaol utilizados neste trabalho apresentaram picos de absorção coincidentes a 280 nm (Figura 19). A melhor definição do pico de absorção a 224 nm do 6-shogaol quando

comparado ao ombro do 6-gingerol se deve a inserção da dupla ligação entre os carbonos 6 e 7 conjugada à dupla entre o carbono 8 e a molécula de oxigênio (Figura 2).

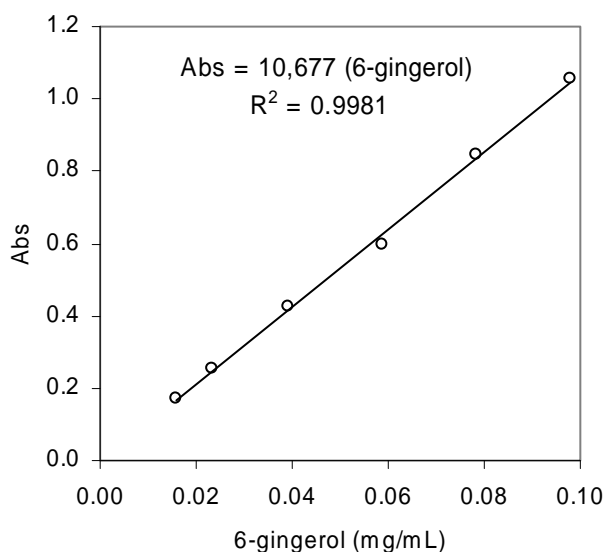


Figura 18 – “Curva padrão para determinação do teor de gingeróis totais”.

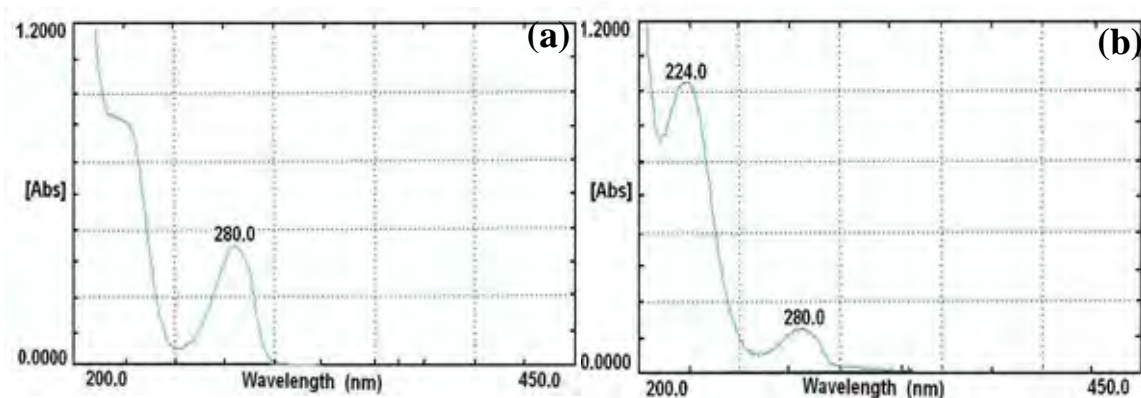


Figura 19 – “Espectros de absorção em metanol dos padrões de (a) 6-gingerol e (b) 6-shogaol”.

4.4.3. Determinação de 6-gingerol e 6-shogaol por CLAE

Os extratos em metanol foram filtrados em filtro 0,22 μm (Millipore, EUA) diretamente para os “vials” de amostras e 10 μL foram injetados no cromatógrafo. A análise foi realizada em um sistema Alliance da Waters (EUA) constituído de bomba quaternária com degaseificador a vácuo e injetor automático (modelo 2695), detector UV-Visível por arranjo de diodos (modelo 2996) e sistema de aquisição e processamento de dados Empower. A condição cromatográfica foi desenvolvida tomando como base a condição reportada por

Schwertner e Rios (2007). A melhor separação e resolução dos dois principais compostos de interesse, 6-gingerol e 6-shogaol, foi obtida utilizando coluna de fase reversa Symmetry C18, 3,5 μm , 4,6 x 75 mm (Waters, EUA) e fase móvel constituída de metanol:água na proporção de 60:40, à vazão constante de 0,5 mL/min. A identificação dos picos foi feita pela análise conjunta dos tempos de retenção, espectros de absorção obtidos na faixa de 180 a 400 nm pelo detector por arranjo de diodos e co-cromatografia com padrões. A pureza dos picos foi avaliada pelos espectros de absorção no início, meio e final do pico. A detecção de picos foi feita no máximo de absorção dos dois compostos (280,4 nm) e a quantificação foi realizada por padronização externa. A curva padrão construída, em triplicata, com cinco diferentes concentrações foi linear de 0,196 a 0,392 $\mu\text{g (ml)}^{-1}$ e passou pela origem com coeficiente de determinação de 0.9999 (Figura 20).

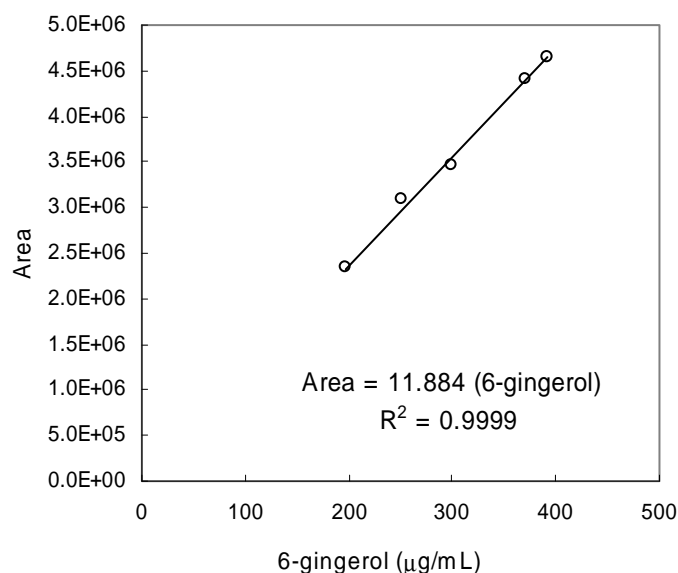


Figura 20 – “Curva padrão para determinação do teor de 6-gingerol”.

Os teores de gingeróis totais e de 6-gingerol determinados nas amostras coletadas nas diferentes etapas dos processos são apresentados em base úmida e foram transformados em base seca para cálculo do seu percentual de retenção, definido pela equação 2.

$$(\% \text{ de retenção}) = \frac{R_i}{R_o} \quad (2)$$

4.5. DETERMINAÇÃO DE UMIDADE

Amostras de gengibre fresco (*in natura*), parcialmente desidratadas (ao longo do processo de secagem) e de gengibre seco (após a desidratação) foram submetidas à análise de determinação da umidade, uma vez que os teores de umidade são fundamentais para análise do rendimento e eficiência da secagem, bem como no cálculo dos conteúdos do gingerol e do shogaol com base na matéria seca.

Foram realizados ensaios preliminares de determinação de umidade através da secagem em estufa à pressão atmosférica a 105°C por 3 horas e por secagem em estufa a vácuo por 24 e 48 horas na temperatura de 60°C. Apesar do maior tempo, identificou-se que a metodologia de secagem em estufa a vácuo por 48 horas era a mais eficiente e confiável para determinação da umidade do gengibre fresco e desidratado.

O teor de umidade das amostras foi determinado através do método gravimétrico por secagem em estufa a vácuo, em triplicata, 48 horas à 60°C (AOAC, 1980). Este é um método direto no qual a água é retirada do produto por evaporação à baixa temperatura, com teor de umidade (X_{bu}) calculado por diferença entre os pesos inicial ($P_{inicial}$) e final (P_{final}), conforme Equação 3, base úmida, e o resultado expresso em g-água (100 g sólido úmido)⁻¹.

$$X_{bu} = \frac{P_{inicial} - P_{final}}{P_{inicial}} \quad (3)$$

Amostras representativas de gengibre fresco e/ou desidratado foram trituradas num multiprocessador de alimentos. Amostras trituradas de 3 a 5 gramas foram pesadas em balança analítica, em triplicata, com auxílio de um pesa-filtro de massa conhecida, previamente seco em estufa a 105°C, resfriado em dessecador e pesado à temperatura ambiente. Os pesa-filtros foram colocados em estufa a vácuo por 48 horas.

4.6. DETERMINAÇÃO DA CINÉTICA DE SECAGEM

Para determinação da cinética de secagem do gengibre foram utilizados dados obtidos no secador convencional de bandejas à pressão atmosférica, descrito anteriormente, mediante o acompanhamento da perda de massa através da pesagem da bandeja-controle (3) em intervalos de 20 minutos até atingir peso constante, que resultou no teor de umidade de

equilíbrio. O procedimento experimental para determinação do lote, limpeza, preparo, fatiamento, disposição nas bandejas e acompanhamento da secagem são os mesmos descritos nos itens 4.2 e 4.3.

Os dados obtidos nos experimentos de secagem permitiram a construção das curvas de secagem: razão de umidade (RU), definida pela equação 4, em função do tempo de secagem. Para tanto, utilizou-se do programa computacional Microsoft® Excel (MICROSOFT CORPORATION, 2002). A umidade foi calculada com base nas pesagens sucessivas ao longo do experimento e na umidade das amostras de gengibre *in natura*, determinada pelo método de estufa a vácuo (item 4.5). Os resultados foram expressos em base seca, conforme equação 5.

$$RU = \frac{X_{bu}}{X_o} \quad (4)$$

onde,

X_o = umidade do gengibre *in natura*, em base úmida.

$$X_{bs} = \frac{X_{bu}}{(1 - X_{bu})} \quad (5)$$

A taxa de secagem foi determinada através da diferenciação numérica dos dados obtidos de umidade em função do tempo, corrigidos pela matéria seca. Os dados experimentais de teor de umidade em função do tempo de secagem do gengibre foram ajustados utilizando-se os modelos matemáticos de Lewis (LEWIS, 1921), Page (PAGE, 1949), Page modificado (citado por YALDIZ, *et al.*, 2001), Henderson and Pabis (HENDERSON, PABIS, 1961), Weibull (citado por CORZO *et al.*, 2008) e Midilli e colaboradores (MIDILLI, *et al.*, 2002), apresentados na Tabela 9, nas equações 6 a 11, respectivamente. Os modelos referidos foram selecionados por se tratarem de modelos semiteóricos utilizados com maior frequência, em virtude de sucessos nos ajustes quando aplicados a dados experimentais obtidos na secagem de produtos agrícolas e alimentos em geral, tendo em vista as capacidades de predição da secagem com precisão, associação com modelos teóricos relacionados com mecanismos de secagem (notadamente a difusão da umidade no interior do sólido úmido) e facilidade de uso.

Para ajuste dos parâmetros dos modelos preditivos, utilizou-se o programa computacional Microcal Origin® (MICROCAL SOFTWARE INC, 1999), empregando o

método (algoritmo) de Levenberg-Marquardt (GILL, *et al.*, 1981). Os critérios utilizados para determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais foram baseados no coeficiente de determinação (R^2) e no coeficiente Chi-quadrado (χ^2).

Tabela 9: “Modelos matemáticos aplicados às curvas de secagem”

Modelo	Equação	Equação	Referência
Lewis	$RU = e^{-k_L \cdot t}$	(6)	(LEWIS, 1921)
Page	$RU = e^{-k_p \cdot t^n}$	(7)	(PAGE, 1949)
Page modificado	$RU = e^{-(k_{pm} \cdot t)^n}$	(8)	(YALDIZ, <i>et al.</i> , 2001)
Henderson and Pabis	$RU = a \cdot e^{-k_h \cdot t}$	(9)	(HENDERSON, PABIS, 1961)
Weibull	$RU = e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}$	(10)	(CORZO <i>et al.</i> , 2008)
Midilli <i>et al.</i>	$RU = a \cdot e^{(-k_m \cdot t)^n} + b \cdot t$	(11)	(MIDILLI, <i>et al.</i> , 2002)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. SECAGEM À PRESSÃO ATMOSFÉRICA

Com rendimentos variando entre 60 e 70% nas etapas de limpeza, corte e aparação do gengibre *in natura*, foram realizados os ensaios de secagem com as condições de umidade relativa do ar ambiente apresentando variações entre 65 a 85% ao longo dos processos de secagem no secador de bandejas à pressão atmosférica.

A umidade inicial das amostras de gengibre *in natura* variou de 85 a 88 gramas de água para cada 100 gramas de gengibre, valores similares aos 87 g-água (100 g-gengibre)⁻¹ obtidos por Bandeira-Pereira *et al.* (2007). O teor de umidade do gengibre após o processo de secagem à pressão atmosférica, variou entre 4 e 9 g-água (100 g-gengibre)⁻¹. Apesar de serem todas de um mesmo lote, as amostras de gengibre apresentaram essa variação em sua umidade inicial, considerando que o gengibre, após sua maturação nas plantas, pode ser colhido ao longo de um ano ou até mesmo, de acordo com as necessidades mercadológicas, deixado para ser colhido no ano seguinte. Um lote de gengibre do Ceasa, portanto, pode conter gengibre de diferentes períodos de maturação que, aliado às mudanças climáticas e de solo durante o período, acarretam na variação da umidade do gengibre *in natura*.

A Figura 21 apresenta o gráfico da razão de umidade (RU) em função do tempo (t) para cada uma das temperaturas investigadas. Os valores obtidos experimentalmente são apresentados no Anexo I. As curvas de secagem apresentaram-se de forma bem definida, ou seja, sem flutuações nos pontos, indicando uma condição de homogeneidade no secador, além de seguirem um comportamento típico de secagem de sólidos com ar aquecido. Tendo em vista a grande área superficial das fatias de gengibre expostas ao ar de secagem, o período de estabilização ou de indução da secagem do gengibre é desprezível, pois a resposta do sólido frente à variação repentina das condições externas ocorre quase que instantaneamente. As curvas de secagem mostram claramente o efeito da temperatura do ar de secagem, com as mais altas permitindo atingir teores de umidade mais baixos do gengibre em períodos de tempo mais curtos. Com 180 minutos (3 horas) de secagem o gengibre já atingiu teor de umidade inferior a 0,35 g-água (g-gengibre)⁻¹ quando utilizado ar de secagem à 70°C; enquanto nas temperaturas de 60 e 50°C, após decorrido mesmo período de tempo, o gengibre atingiu teores de umidade, respectivamente, de 0,41 e 0,64 g-água (g-gengibre)⁻¹. Resultados semelhantes aos obtidos por outros autores como Chaves *et al.* (2003) ao

avaliarem a secagem de fatias de berinjela nas temperaturas de 50, 70 e 90°C, Moura (2001) ao estudar a cinética de secagem do caju, e Krokida *et al.* (2003) ao determinarem a cinética de secagem de alguns vegetais, tais como, batata, cenoura, cebola, tomate, pimentão, cogumelo e milho, sob temperaturas de 65, 75 e 85°C.

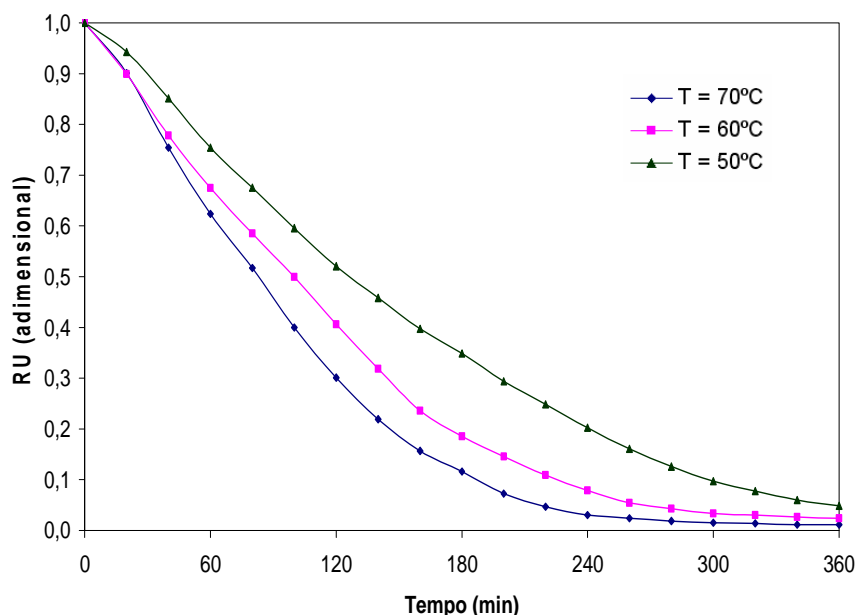


Figura 21 – “Razão de umidade em função do tempo de secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C à pressão atmosférica”. Linhas contínuas traçadas apenas para facilitar a visualização.

As Figuras 22 e 23 apresentam a taxa de secagem ($m_s \cdot dX/dt$) em função do tempo e do teor de umidade em base seca (X_{bs}), respectivamente, para cada uma das temperaturas investigadas. A secagem do gengibre apresentou um período de taxa de secagem constante, durante o qual toda superfície exposta do sólido está saturada de água, e a secagem ocorre como se fosse evaporação de uma massa de água pura, sem haver influência direta do material sólido na secagem, já que o movimento da água do interior do sólido para a superfície ocorre à mesma velocidade que a de evaporação na superfície. A existência desse período pode ser explicada pelo aumento da camada-limite de ar estático situada na superfície do produto. Essa camada condiciona a transmissão de calor e é a principal resistência à transferência de vapor d'água. Resultados diferentes foram obtidos na secagem convectiva de gengibre por Gouveia *et al.* (1999), porém, utilizando velocidades do ar de secagem variando entre 1,0 e 2,0 $m \cdot s^{-1}$, superiores, portanto, às empregadas no presente trabalho: 0,5 a 0,6 $m \cdot s^{-1}$. A aplicação de uma corrente de ar com velocidade elevada diminui a espessura dessa camada que, por sua vez, diminui sua resistência e facilita a evaporação da água superficial, tornando esse período de taxa constante muito rápido ou até mesmo imperceptível, como foi o caso daqueles autores.

No entanto, velocidades mais baixas, como as apresentadas nesta experimentação, exigem menores potências e ventilação e, portanto, menores requerimentos energéticos.

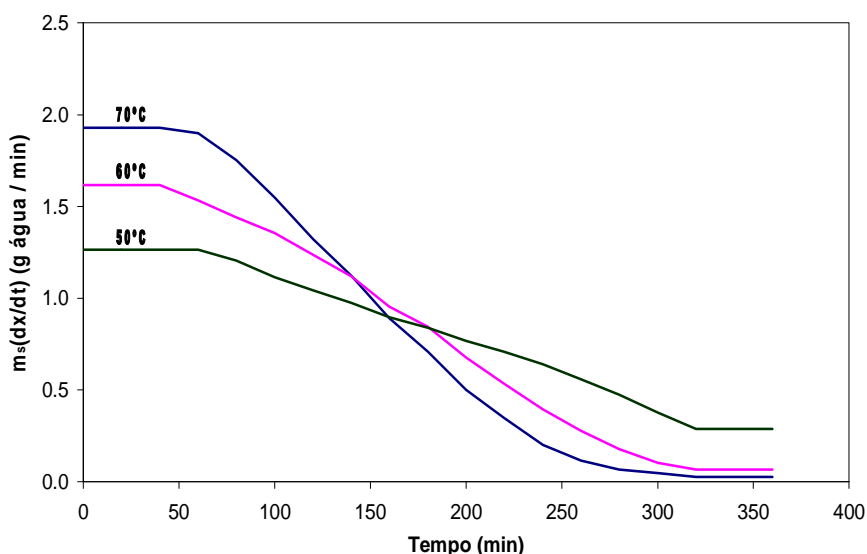


Figura 22 – “Taxa de secagem em função do tempo nas temperaturas de 50, 60 e 70°C à pressão atmosférica”.

Outro fator que pode ter corroborado para a existência do período de taxa constante de secagem no presente experimento é uma possível diferença, em relação aos experimentos de Gouveia e colaboradores, no diâmetro das fatias de gengibre, pois a velocidade de secagem também é função da área superficial onde ocorre a troca térmica e de massa. Tal fato não pode ser comprovado, pois em ambos os estudos não se têm uma padronização do diâmetro das fatias devido a grande desuniformidade dos rizomas.

O relativamente curto e, em alguns casos, ausente período de taxa constante de secagem é característico de sólidos fibrosos, como o gengibre, onde o movimento do líquido ocorre predominantemente por difusão através do sólido. Foust *et al.* (2008) afirma que nestes sólidos, a velocidade de difusão é muito menor do que a migração de água por gravidade e por capilaridade, acarretando em períodos mais curtos de taxa constante, como os verificados no presente estudo, ou mesmo a secagem sem que haja um período de taxa constante perceptível.

Verifica-se que o período de taxa constante de secagem foi menor para a secagem nas temperaturas de 60 e 70°C, perdurando por 40 minutos, enquanto na secagem à 50°C, o mesmo período prolongou-se por 60 minutos. Nessa fase, a força motriz que determina o movimento do vapor d’água ao longo da camada fina de ar estático é o gradiente de pressão do vapor d’água entre a superfície das fatias do gengibre e a corrente principal do ar de

secagem, que é dependente da temperatura. Quanto maior a temperatura de secagem, maior o gradiente de pressão do vapor d'água e mais rapidamente ocorre a evaporação da água da superfície do gengibre, o que explica o maior tempo na secagem à 50°C para atingir a umidade crítica. Ante este fato, a temperatura pode ser considerada uma variável de grande influência na secagem de gengibre em bandejas, fato também reportado na literatura por Gouveia *et al.* (1999) e Farias *et al.* (2002) em secagem de gengibre e cajá, respectivamente, em secador de leito fixo.

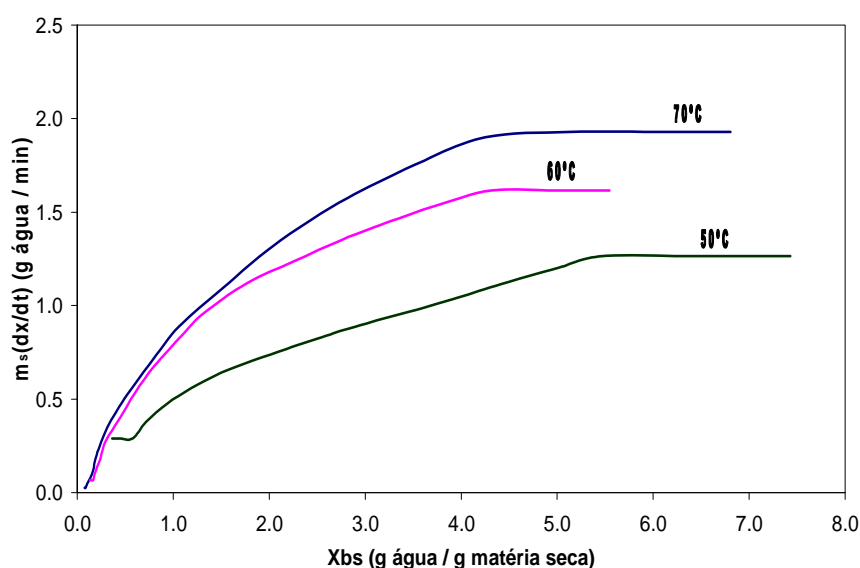


Figura 23 – “Taxa de secagem em função do teor de umidade nas temperaturas de 50, 60 e 70°C à pressão atmosférica”.

Nas condições de secagem utilizadas, o período de taxa decrescente de secagem mostrou-se predominante na secagem convectiva do gengibre fatiado, e inicia-se quando o material atinge o conteúdo crítico de umidade, momento em que o movimento do líquido do interior para a superfície é insuficiente para manter um filme contínuo de água sobre a superfície do sólido, tendo início à desidratação superficial, conforme observado no início do declínio da taxa de secagem na Figura 23. A Tabela 10 apresenta os valores de vários parâmetros relativos ao ponto de umidade crítica para cada um dos experimentos de secagem realizados.

Durante o período de taxa de secagem decrescente, a água está ligada à estrutura do alimento, e seu deslocamento é muito lento, necessitando de um maior gradiente de temperatura para que a secagem ocorra. As diferenças na inclinação das curvas de secagem (umidade versus tempo) nas diferentes temperaturas (Figura 21) evidenciam a importância do aumento dessa força motriz, uma vez que a secagem a 70°C atingiu o equilíbrio com o ar de

secagem mais rapidamente, após cerca de 300 minutos (5 horas) de secagem, apresentando uma taxa de secagem de $2,67 \times 10^{-2}$ g água (min)⁻¹ (Figura 22). Os experimentos de secagem nas temperaturas de 60 e 50°C, atingiram o equilíbrio em tempos próximos dos 340 e 360 minutos, respectivamente, e com taxas de secagem de $6,72 \times 10^{-2}$ e $2,89 \times 10^{-1}$ g água (min)⁻¹, respectivamente.

Tabela 10: “Parâmetros de secagem no ponto da umidade crítica (X_c)”.

Temperatura (°C)	X_0 g água (g gengibre) ⁻¹	Tempo de Secagem (min)	X_c' , base seca g água (g mat.seca) ⁻¹	X_c'' , base úmida g água (g gengibre) ⁻¹	$m_s(dX_{ps}/dt)$ g água (min) ⁻¹
50	0,88	60	5,47	0,84	1,26
60	0,85	40	4,31	0,81	1,62
70	0,87	40	5,13	0,83	1,93

A análise da Tabela 10 e da Figura 23 permite constatar que a taxa de secagem aumenta com o aumento da temperatura do ar de secagem, sendo o maior valor (1,93 g água [minuto]⁻¹) obtido para secagem com ar à 70°C no início do processo. Gouveia *et al.* (1999) já havia demonstrado que a temperatura do ar de secagem tem maior influência que a velocidade do ar. Além disso, observa-se que a taxa de secagem decresce proporcionalmente com a redução do conteúdo de água por grama de matéria seca, após ter atingido a umidade crítica. À medida que o material é desidratado, menor a quantidade de água disponível (por vezes denominada como água livre para ser retirada com determinado ar de secagem) para a desidratação e mais fortemente a água está ligada à estrutura do alimento, dificultando a secagem e reduzindo, portanto, a taxa de secagem.

Observa-se ainda que o conteúdo de umidade crítica, superior a 80 g água (100 g gengibre)⁻¹, foi alto em todos os experimentos. Isso já era esperado, pois segundo Foust e colaboradores (2008), alimentos fibrosos, como o gengibre, mantêm a umidade como parte integrante de sua estrutura sólida, presa entre as fibras, dificultando os processos rápidos de migração da água por gravidade e por capilaridade. Segundo Pereda-Ordoñez e colaboradores (2005), essa característica do gengibre também é responsável pelo seu encolhimento durante a secagem, fato observado no presente experimento, conforme mostra a Figura 24. A superfície do gengibre seca mais rapidamente que seu interior provocando empenamentos.

Segundo Charm (1963), na secagem de alimentos é difícil determinar o conteúdo exato da umidade crítica, sendo uma das razões para o uso da velocidade ou taxa de secagem que não leva em consideração a área superficial do encolhimento dos alimentos durante o processo. Sabe-se, no entanto, por Gouveia *et al.* (1999), que o encolhimento do gengibre

durante a secagem tem influência sobre a difusividade, diminuindo-a, e que o modelo de secagem uniforme, o qual assume que o volume de encolhimento é igual ao volume de água retirada durante a secagem, foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais.

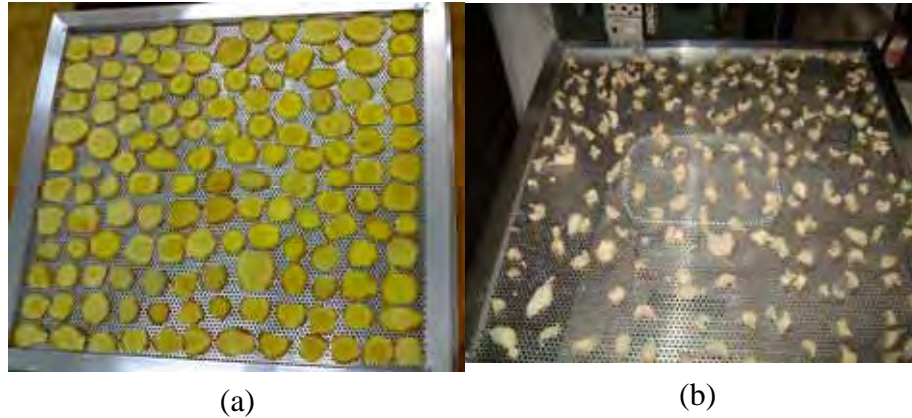


Figura 24 – “Encolhimento das fatias de gengibre durante secagem à pressão atmosférica na temperatura de 60°C: (a) *in natura* e (b) após 4 horas”.

5.2. MODELOS PREDITIVOS PARA SECAGEM DE GENGIBRE À PRESSÃO ATMOSFÉRICA

Nas Figuras 25, 26 e 27 estão apresentados os ajustes aos modelos preditivos obtidos para as curvas de secagem por meio de regressão não-linear dos dados experimentais da secagem de gengibre em camada única e leito fixo, com ajustes para seis diferentes modelos (cujas equações são re-apresentadas aqui), para as temperaturas de 50, 60 e 70°C, respectivamente.

$$RU = e^{-k_L \cdot t} \quad (6)$$

$$RU = e^{-k_p \cdot t^n} \quad (7)$$

$$RU = e^{-(k_{pm} \cdot t)^n} \quad (8)$$

$$RU = a \cdot e^{-k_h \cdot t} \quad (9)$$

$$RU = e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b} \quad (10)$$

$$RU = a \cdot e^{(-k_m \cdot t)^n} + b \cdot t \quad (11)$$

Observa-se que a curva gerada a partir do modelo de Midilli *et al.* se aproxima mais dos pontos experimentais que os demais modelos, confirmado por meio do maior coeficiente de determinação. Lahsasni e colaboradores (2002) também verificaram que o modelo de

Midilli *et al.* melhor se ajustou às curvas de secagem de figo-da-índia. Ertekin & Yaldiz (2004), observaram que o modelo de Midilli *et al.* apresentou os maiores coeficientes de determinação e os menores desvios quadráticos médios na secagem de berinjela, para as mesmas temperaturas da presente pesquisa.

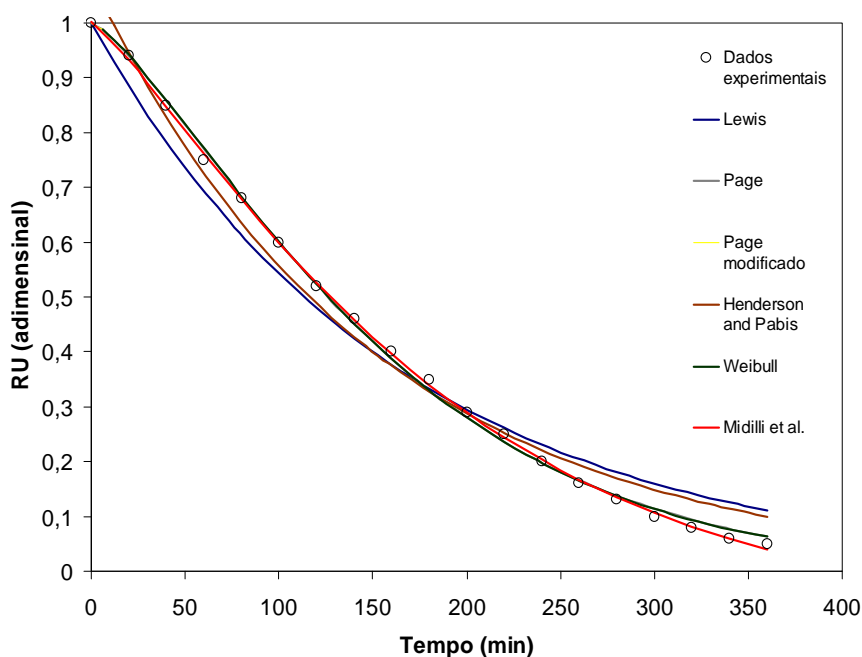


Figura 25 – “Curvas de secagem de gengibre à temperatura de 50°C e modelos ajustados”.

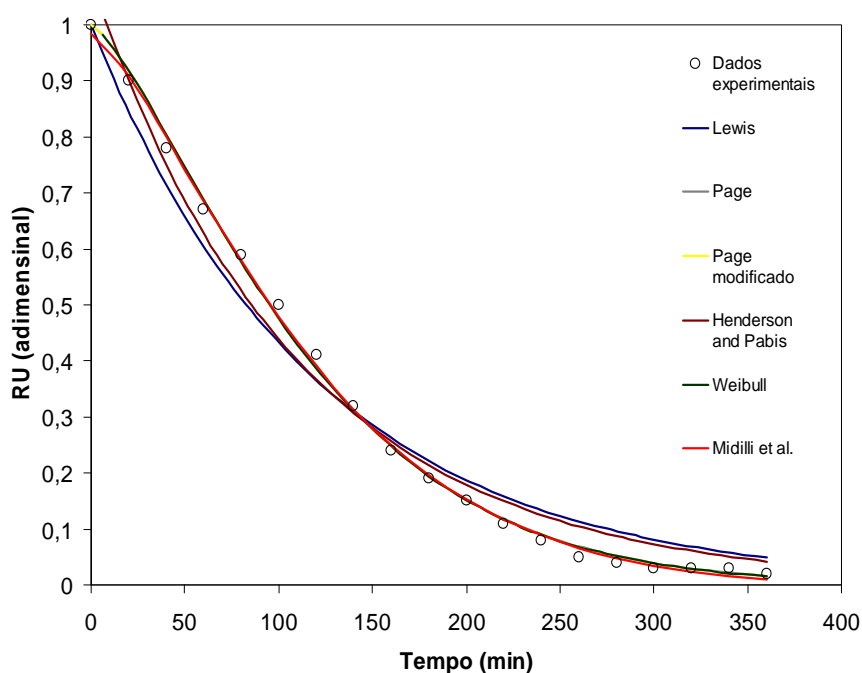


Figura 26 – “Curvas de secagem do gengibre à temperatura de 60°C e modelos ajustados”.

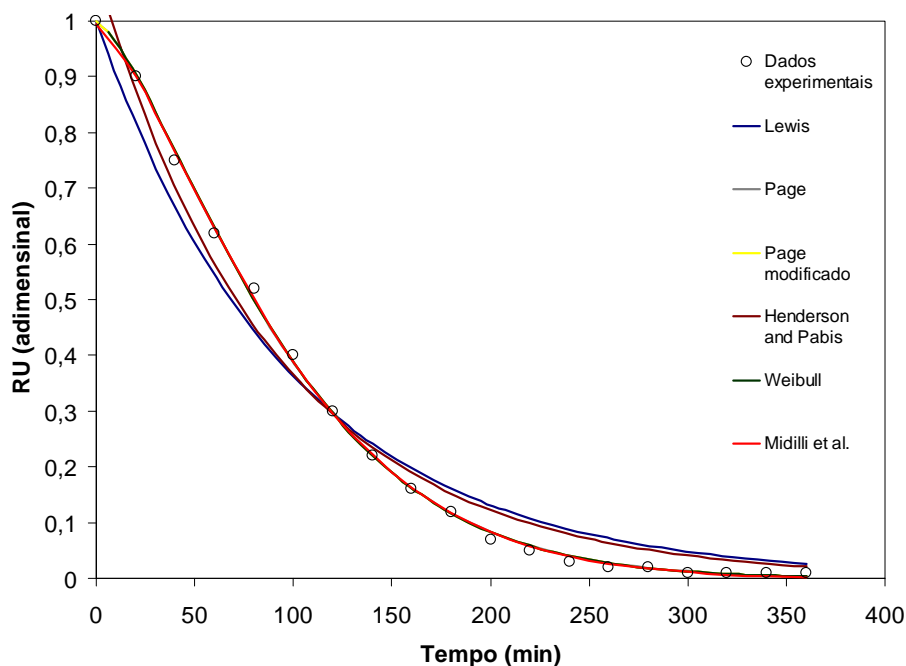


Figura 27 – “Curvas de secagem do gengibre à temperatura de 70°C e modelos ajustados”.

Na Tabela 11 encontram-se os valores dos coeficientes ajustados aos dados experimentais de secagem de gengibre nas temperaturas de 50, 60 e 70°C para cada um dos modelos testados (Lewis, Page, Page modificado, Henderson & Pabis, Weibull e Midilli *et al.*), bem como os coeficientes de determinação (R^2) e Chi-quadrado (χ^2). Verifica-se que, dentre os modelos testados, o de Midilli *et al.* com quatro parâmetros, apresentou os maiores valores para o coeficiente de determinação (R^2) e os menores valores para o chi-quadrado (χ^2) para todas as temperaturas estudadas (50, 60 e 70°C), ajustando-se melhor aos dados experimentais observados. Para os modelos de dois parâmetros, o de Page se ajustou melhor em comparação com os modelos de Henderson & Pabis e de Weibull, apresentando coeficientes praticamente idênticos ao modelo modificado de Page.

Todos os modelos testados que possuem pelo menos dois parâmetros mostraram valores de R^2 superiores a 0,98 e valores de χ^2 inferiores a 2×10^{-3} podendo ser utilizados na estimativa das curvas de secagem de gengibre para as três temperaturas experimentadas. Madamba *et al.* (1996) e Andrade *et al.* (2003) consideram que coeficientes de determinação superiores a 98% indicam um bom ajuste do modelo para representação do fenômeno de secagem. Isso exclui apenas o modelo de Lewis que, com um único parâmetro, exibiu os piores resultados dentre os seis modelos testados para secagem de gengibre nas temperaturas

de 50, 60 e 70°C, com R^2 próximos de 97,5% e χ^2 superiores a 2×10^{-3} . A análise dos resíduos demonstrou distribuição normal para todos os modelos avaliados.

Tabela 11: “Parâmetros de ajuste dos modelos da cinética de secagem de gengibre, coeficientes de determinação (R^2) e chi-quadrado (χ^2)”.

Modelo	Temperatura	Parâmetro do Modelo				R ²	χ^2
		k_L					
Lewis	50°C	0,00610				0,97537	0,00239
	60°C	0,00837				0,97624	0,00250
	70°C	0,01014				0,97530	0,00266
Page	Temperatura	k_p	n			R ²	χ^2
	50°C	0,00118	1,31798			0,99863	0,00014
	60°C	0,00154	1,34160			0,99814	0,00021
	70°C	0,00155	1,39273			0,99923	0,00009
Page modificado	Temperatura	k_{pm}	n			R ²	χ^2
	50°C	0,00600	1,32183			0,99864	0,00014
	60°C	0,00801	1,34539			0,99814	0,00021
	70°C	0,00961	1,39596			0,99923	0,00009
Henderson & Pabis	Temperatura	k_h	a			R ²	χ^2
	50°C	0,00661	1,07893			0,98415	0,00163
	60°C	0,00897	1,07744			0,98279	0,00192
	70°C	0,01092	1,08777			0,98264	0,00198
Weibull	Temperatura	a	b			R ²	χ^2
	50°C	166,634	1,32186			0,99828	0,00015
	60°C	124,797	1,34529			0,99750	0,00022
	70°C	104,106	1,39598			0,99893	0,00009
Midilli <i>et al.</i>	Temperatura	k_m	n	a	b	R ²	χ^2
	50°C	0,00176	1,22121	1,00228	-0,00016	0,99962	0,00004
	60°C	0,00135	1,36262	0,98400	-0,00002	0,99843	0,00020
	70°C	0,00146	1,40306	0,99316	-7,3.10 ⁻⁶	0,99928	0,00009

Analisando-se o comportamento dos modelos semiteóricos de Page e Page modificado, constata-se que os parâmetros “ k_p ” e “ k_{pm} ”, respectivamente, que representam o efeito das condições externas de secagem aumenta com o aumento da temperatura de

secagem. O mesmo pode ser observado quanto ao parâmetro “ n ”. Comportamento semelhante em relação ao parâmetro “ k_p ” em função do acréscimo da temperatura foi reportado por Doymaz & Pala (2003) ao estudarem a secagem de milho nas temperaturas de 55 e 65°C. Segundo Madamba *et al.* (1996) e Babalis & Belessiotis (2004), a constante de secagem (k) pode ser utilizada como aproximação para caracterizar o efeito da temperatura e está relacionada à difusividade efetiva no processo de secagem no período de taxa de secagem decrescente e à difusão líquida que controla o processo. Neste sentido, os resultados obtidos da modelagem na secagem convectiva do gengibre à pressão atmosférica em secador de bandejas indicam que o processo é fortemente influenciado pelo mecanismo interno de migração da umidade no interior da fatia de gengibre.

A equação de Page geralmente apresenta bom ajuste a dados experimentais na secagem de grãos, sementes e cereais, conforme resultados encontrados por diversos autores para diferentes produtos agrícolas: soja (WHITE *et al.*, 1981; SOARES, 1986), trigo (RAMOS *et al.*, 1993/94), feijão (AFONSO JÚNIOR & CORRÊA, 1999) e canola (CHRIST, 1996).

O parâmetro “ k_h ” do modelo semiteórico de Henderson & Pabis aumentou com a elevação da temperatura de secagem, enquanto o parâmetro “ a ” não apresentou um comportamento definido em função da temperatura. Os coeficientes de determinação deste modelo foram inferiores em todas as condições quando comparadas ao modelo de Page, fato este também constatado por Mwithiga & Olwal (2005) ao modelar as curvas de secagem da couve.

Para o modelo de Midilli *et al.*, constata-se que não houve comportamento uniforme dos parâmetros do modelo com a temperatura. Ao desenvolver este modelo, os autores obtiveram valores de R^2 acima de 0,99 para o ajuste de dados experimentais da secagem de cogumelo, pólen e pistache. Mohamed *et al.* (2005) também encontraram valores de “ k_m ” e “ b ” inferiores a 1,0 e dos parâmetros “ a ” e “ n ” em torno de 1,0 ao ajustarem o modelo de Midilli *et al.* aos dados experimentais de secagem de bagaço de laranja amarga (*Citrus aurantium*).

Outros autores obtiveram resultados semelhantes quanto à modelagem de dados experimentais de secagem de alimentos ao modelo de Midilli *et al.* em relação a outros modelos semiteóricos, dentre os quais: Alves *et al.* (2009) ao caracterizar a secagem de alho em camada delgada; Martinazzo *et al.* (2007) ao descrever a cinética de secagem de folhas de capim-limão; Doymaz *et al.* (2006) ao avaliar a secagem de folhas de endro e salsinha;

Menges & Erteki (2006) ao modelarem a secagem de maçãs *golden*; e Togrul (2006) ao determinar as características da secagem de cenoura.

5.3. SECAGEM SOB VÁCUO

Ensaio de secagem no secador de bandejas sob vácuo nas temperaturas de 50, 60 e 70°C permitiram a construção de curvas de secagem da razão de umidade (RU) em função do tempo de secagem (Figura 28). Os valores dos resultados experimentais estão apresentados no Anexo I. Com exceção do ensaio de secagem em estufa a vácuo a 60°C, que apresentou umidade média inicial de 0,93 g-água (g-gengibre)⁻¹, todos os demais experimentos exibiram umidades médias iniciais num intervalo de variação similar à secagem à pressão atmosférica, entre 0,83 e 0,88 g-água (g-gengibre)⁻¹. Observa-se que após 12 horas de secagem no secador de bandejas a vácuo, a umidade final em todos os experimentos atingiu valores inferiores a 0,12 g-água (g-gengibre)⁻¹.

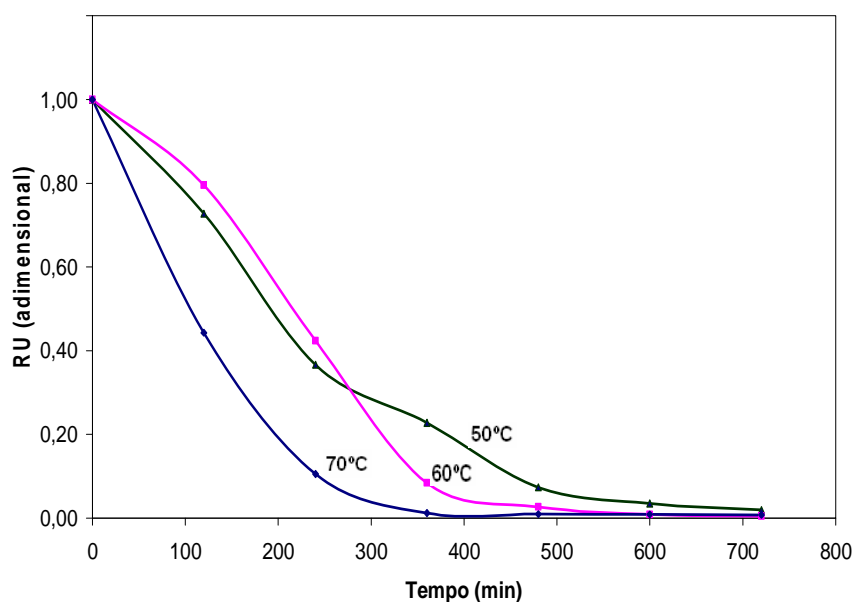


Figura 28 – “Curvas de secagem: razão de umidade em função do tempo de secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C sob vácuo”. Linhas contínuas traçadas apenas para facilitar a visualização.

A análise da Figura 28 corrobora com a constatação sobre a influência da temperatura na secagem do gengibre, apresentando maiores taxas de secagem do gengibre quanto maior a temperatura do ar de secagem, identificada pela maior inclinação da curva de secagem à 70°C, seguida pela de 60 e 50°C, respectivamente. Além disso, sob ação de temperaturas elevadas, o produto perde umidade mais rapidamente, principalmente no início da secagem, atingindo o

equilíbrio com o ar de secagem em um tempo menor, diminuindo pela metade o tempo necessário para que o gengibre desidratado atinja à umidade de equilíbrio: 12 horas na secagem a 50°C e 6 horas na secagem a 70°C.

Observa-se, no entanto, uma menor inclinação inicial na curva de secagem sob vácuo para temperatura de 60°C quando comparada com as temperaturas de 50 e 70°C. Este fato decorre da maior disponibilidade de água livre para desidratação (maior umidade inicial, 93%, em base úmida) possivelmente acarretando num período de taxa constante de secagem mais longo. Nota-se contudo, que após 280 minutos de secagem, ocorre à inversão entre as curvas de secagem a 50 e 60°C, devido a maior velocidade de secagem na temperatura de 60°C.

A Figura 29 mostra um gráfico comparativo entre as curvas de secagem (razão de umidade em relação ao tempo de secagem) para os processos sob vácuo e a pressão atmosférica para temperatura do ar de 70°C. Verifica-se que o tempo de secagem do gengibre foi influenciado pela vácuo, sendo inferior para a secagem à pressão atmosférica quando comparado à mesma temperatura sob ação do vácuo. Essa desvantagem do vácuo é explicada, considerando que na secagem sob vácuo a convecção não é favorecida, contrariamente na secagem à pressão atmosférica sob convecção forçada que reduz significativamente a resistência externa à transferência de calor e massa. Colabora para isso ainda, a baixa velocidade de remoção do ar úmido do interior da câmara de secagem a vácuo.

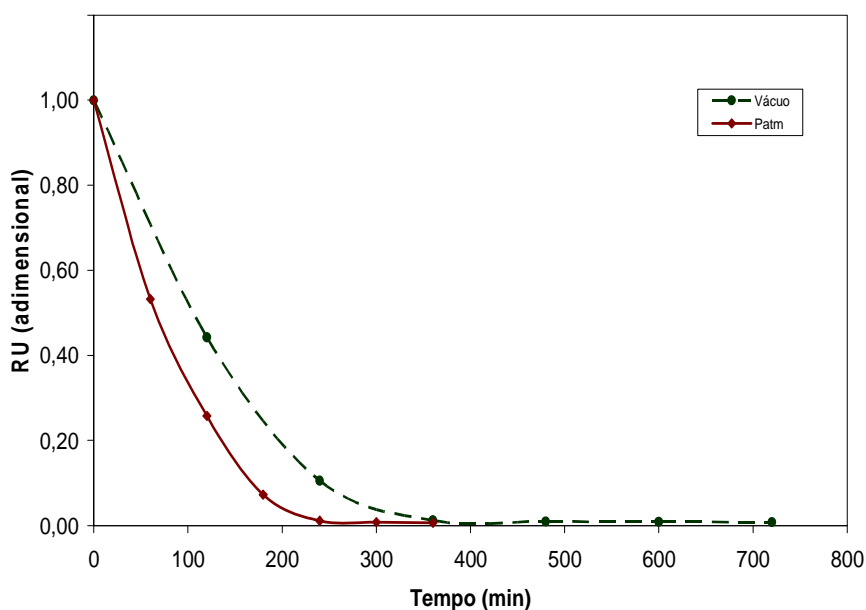


Figura 29 – “Curvas de secagem a 70°C: vácuo e pressão atmosférica”. Linhas contínuas traçadas apenas para facilitar a visualização.

5.4. TEOR DE GINGERÓIS TOTAIS NA SECAGEM À PRESSÃO ATMOSFÉRICA E SOB VÁCUO

Todas as amostras cruas e secas mostraram o mesmo espectro de absorção com um máximo de absorção a 278 nm (Figura 30). O ombro no lugar do pico na faixa de 220 a 226 nm presente em todas amostras analisadas indicou que o 6-gingerol foi o componente majoritário. Por se tratar de uma mistura, as amostras apresentaram um pequeno deslocamento hipsocrômico (2 nm) no pico de absorção máxima a 280 nm quando comparado aos padrões (Figura 19a).

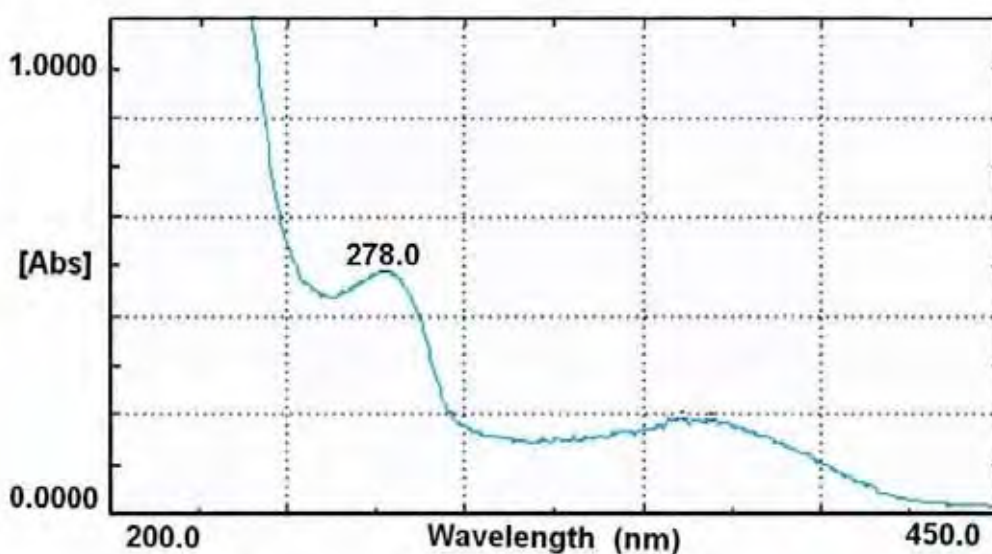


Figura 30 – “Exemplo de espectro de absorção dos extratos de amostras cruas e secas de gengibre”.

A metodologia por espectrofotometria direta utilizada mostrou-se viável para estimar o teor de gingeróis totais, apresentando as vantagens de ser mais rápida, específica e direta quando comparada com o método colorimétrico utilizando o reagente de Folin-Ciocalteu para determinação dos compostos fenólicos totais, que também poderia ser utilizado para a estimativa do conteúdo de gingeróis totais nas amostras de gengibre. Em termos econômicos, embora o custo do padrão de ácido gálico seja menor que do 6-gingerol, a determinação dos fenólicos totais envolveria também o custo do reagente de Folin-Ciocalteu.

O teor de gingeróis totais dos lotes de gengibre *in natura* utilizados nos experimentos de secagem à pressão atmosférica apresentou variação entre 4,88 e 5,64 com média de $5,14 \pm 0,43$ mg (g-gengibre fresco)⁻¹, e nos lotes utilizados nos experimentos sob vácuo variou de 6,03 a 6,83 com média de $6,45 \pm 0,40$ mg (g-gengibre fresco)⁻¹.

Conforme era esperado, o teor de gingeróis totais do gengibre (base úmida) foi aumentando ao longo da secagem, apresentando três períodos distintos (Figura 31). No início, o teor de gingeróis aumenta mais lentamente; e na fase seguinte, o aumento no teor de gingeróis é acelerado. No terceiro período, próximo ao final da secagem, o teor de gingeróis totais tende a se estabilizar. Este comportamento foi observado para ambos sistemas de secagem (vácuo e à pressão atmosférica) e para as três temperaturas do ar estudadas.

Observa-se ainda que, para uma mesma temperatura, ambos os sistemas (vácuo e pressão atmosférica) apresentaram comportamento muito semelhantes para o teor de gingeróis totais ao longo da secagem, com tendência a se estabilizar quando a umidade das fatias de gengibre atingia valores inferiores a 10 g-água (100 g-gengibre fresco)⁻¹ (Figura 31, linha tracejada). No entanto, nas amostras submetidas à secagem a temperatura de 70°C, foi observado no final da secagem um súbito aumento no conteúdo dos gingeróis totais, sem uma concomitante queda repentina na umidade (Figuras 31a e 31b). Este fato pode indicar que, após a remoção da água não-ligada contida nas amostras de gengibre, outros componentes, possivelmente óleos, foram perdidos ao se manter as fatias de gengibre sob aquecimento, já que nesta fase do processo de secagem ocorre aumento da temperatura interna do material em desidratação, tal como reportado na literatura. Colabora para isso o fato das fatias de gengibre na secagem à 70°C terem atingido umidades baixas (próximas a de equilíbrio) mais rapidamente em relação às secagens com ar aquecido a 60 e 50°C, ficando assim, submetidas a temperaturas internas do produto mais elevadas por um maior período de tempo: 2 horas na secagem à pressão atmosférica e 6 horas sob vácuo.

Para melhor analisar o efeito da secagem nos gingeróis totais do gengibre, foi calculada a retenção como percentual do teor inicial (gengibre *in natura*) em base seca e plotadas em função do tempo de secagem, conforme apresenta a Figura 32. Embora não se tenha obtido um perfil muito definido de retenção ao longo da secagem, pode-se observar nas duas condições de pressão, uma maior retenção dos gingeróis na secagem nas temperaturas de 50 e 60°C e maior degradação ou perda na temperatura de 70°C. Os valores dos percentuais de retenção acima de 100% são possivelmente devido a erros analíticos diversos, como por exemplo, método de extração, diluições, pesagens, determinação de umidade.

Aparentemente, a degradação dos gingeróis totais durante a secagem ocorreu de duas formas: enzimática e térmica. Nos processos de secagem de gengibre na temperatura de 60°C praticamente não houve degradação dos compostos do grupo dos gingeróis, apresentando uma variação entre 85 a 95% na retenção à pressão atmosférica, e ausência de degradação sob vácuo (com valores de retenção próximos a 100%). Na secagem à 50°C, os teores de retenção

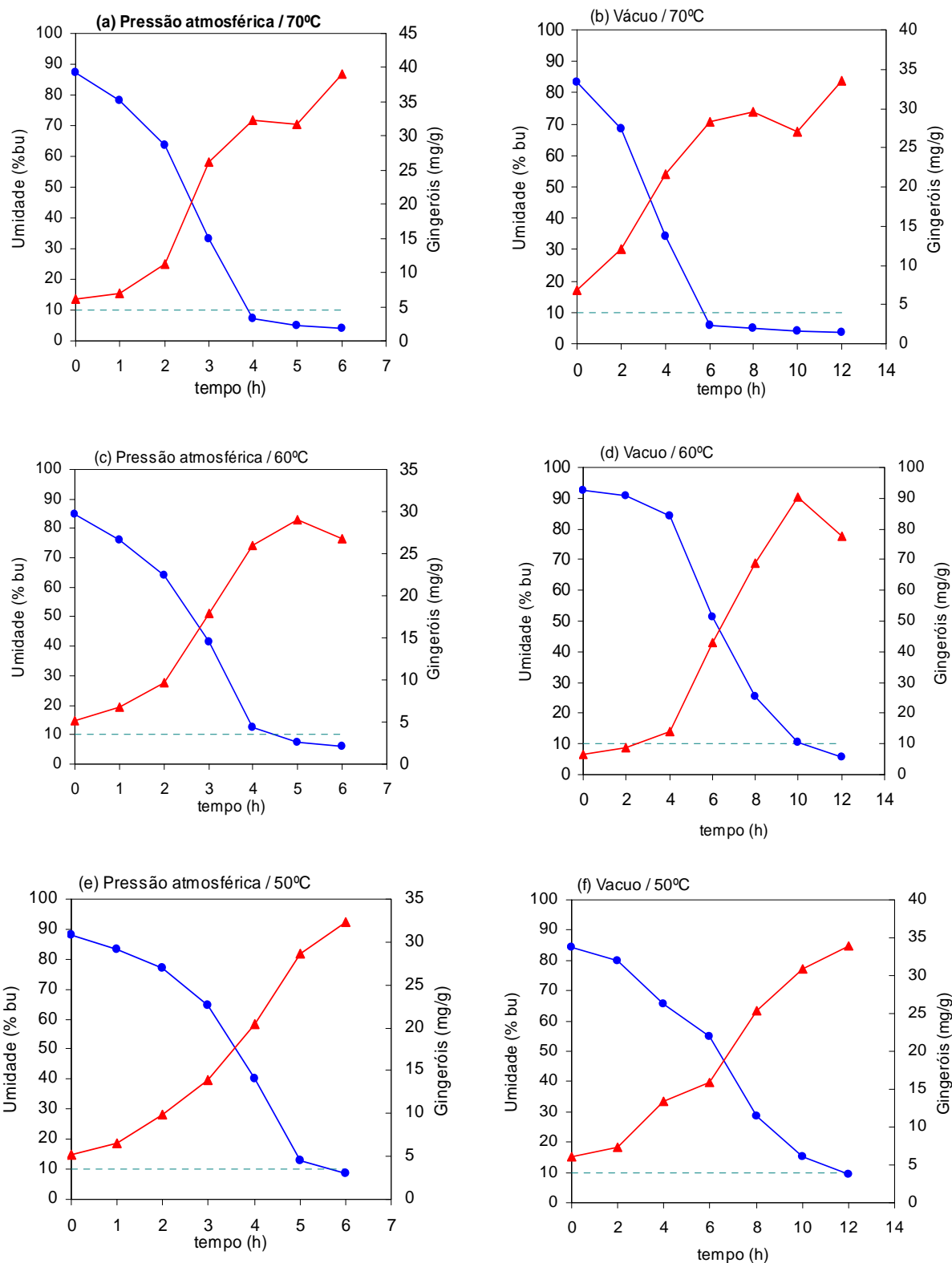


Figura 31 – “Teor de gingeróis totais (\blacktriangle), $\text{mg (g-gengibre)}^{-1}$, e umidade (\bullet), $\text{g-água (100 g-gengibre)}^{-1}$, de amostras submetidas às diferentes condições de secagem.” Linhas contínuas traçadas apenas para facilitar a visualização.

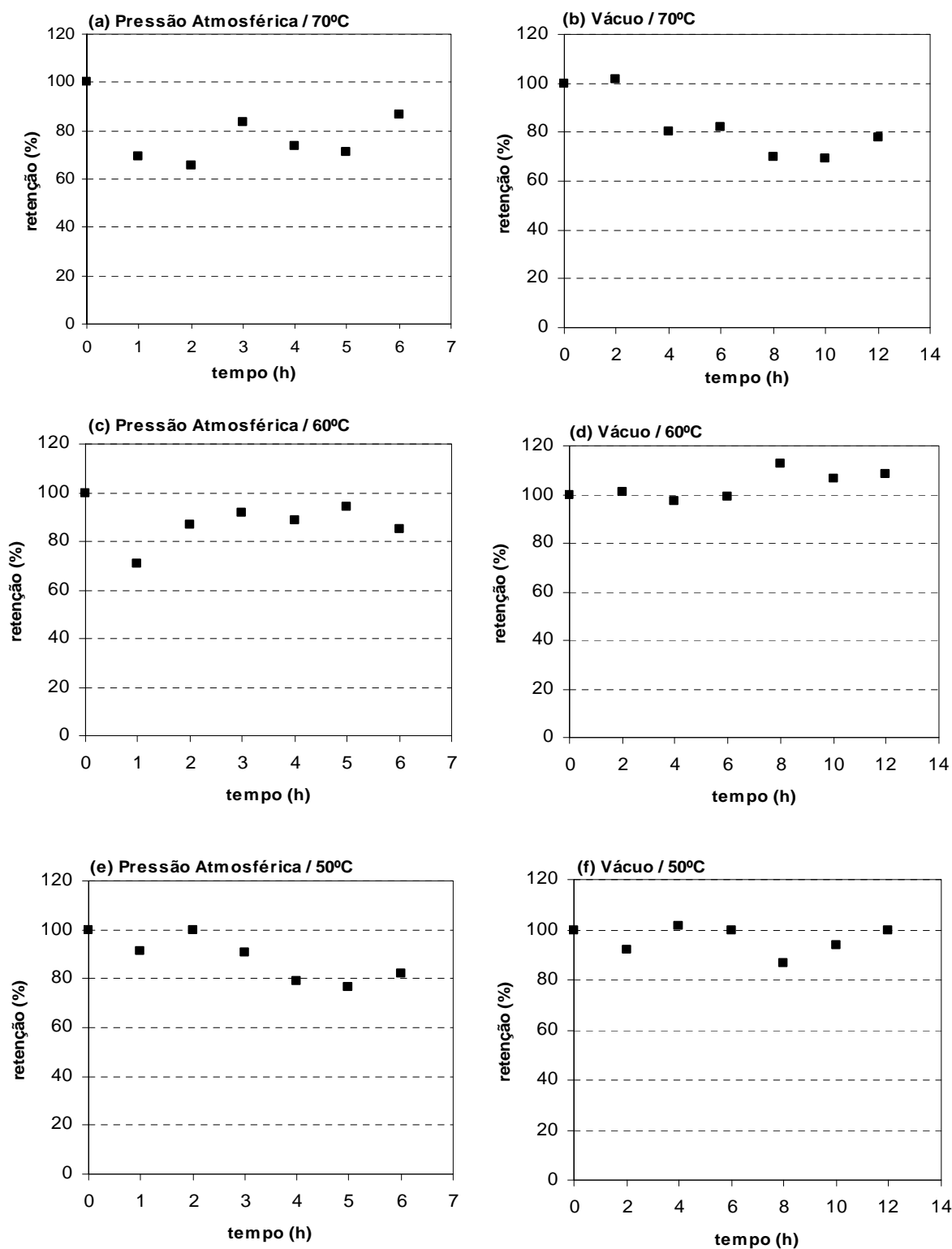


Figura 32 – “Retenção (% do teor inicial) em base seca de gingeróis totais das fatias de gengibre submetidas a diferentes condições de secagem”.

foram inferiores aos mencionados anteriormente, na faixa dos 90 a 100% no sistema sob vácuo e com alguns valores inferiores a 85% à pressão atmosférica, para menor temperatura de secagem. Tal fato possivelmente indica predominância de degradação enzimática dos gingeróis do gengibre na secagem de fatias de gengibre com temperatura do ar de secagem de 50°C para ambos os sistemas de secagem investigados (vácuo e pressão atmosférica). Os menores valores de retenção destes compostos do gengibre foram verificados na secagem à 70°C, revelando para estas condições, a predominância de degradação térmica e a influência da temperatura na degradação destes compostos, uma vez que esta temperatura pode estar inibindo a atuação da enzima, conforme já havia ocorrido na secagem à 60°C, na qual não verificou degradação enzimática.

Quanto às condições de pressão empregadas no processo de secagem (pressão atmosférica ou vácuo), maiores valores de retenção dos gingeróis totais nas mesmas temperaturas foram obtidos para secagem sob vácuo, indicando uma possível ocorrência de uma degradação oxidativa dos compostos ao longo da secagem à pressão atmosférica. Resultados semelhantes foram observados por Hawlader e colaboradores (2006) sobre a influência do vácuo na degradação dos compostos do grupo dos gingeróis do gengibre, embora esses autores não tenham utilizado a mesma temperatura nas duas condições.

5.5. TEOR DE 6-GINGEROL E 6-SHOGAOL NA SECAGEM SOB VÁCUO

A condição cromatográfica utilizada para determinação individual dos gingeróis e shogaóis por CLAE mostrou boa eficiência de separação e resolução dos compostos de interesse: 6-gingerol e 6-shogaol (Figura 33).

A identificação do 6-gingerol e 6-shogaol, indicada pelos tempos de retenção, 9,2 minutos e 25,8 minutos, respectivamente, foram confirmados pelos espectros de absorção obtidos pelo detector de arranjo de diodos (Figura 34) e cocromatografia com padrões.

A presença do 6-gingerol como componente majoritário em todas amostras, indicada pela presença do ombro no lugar de pico nos espectros de absorção característicos dos extratos, foi confirmada pelo perfil obtido por cromatografia líquida de alta eficiência. O teor de 6-gingerol da operação de secagem sob vácuo variou de 0,99 a 1,17 mg (g-gengibre)⁻¹. O perfil de variação de conteúdo de 6-gingerol em base úmida em função do tempo de secagem sob vácuo foi semelhante ao verificado para os compostos pungentes totais, conforme mostra a Figura 35.

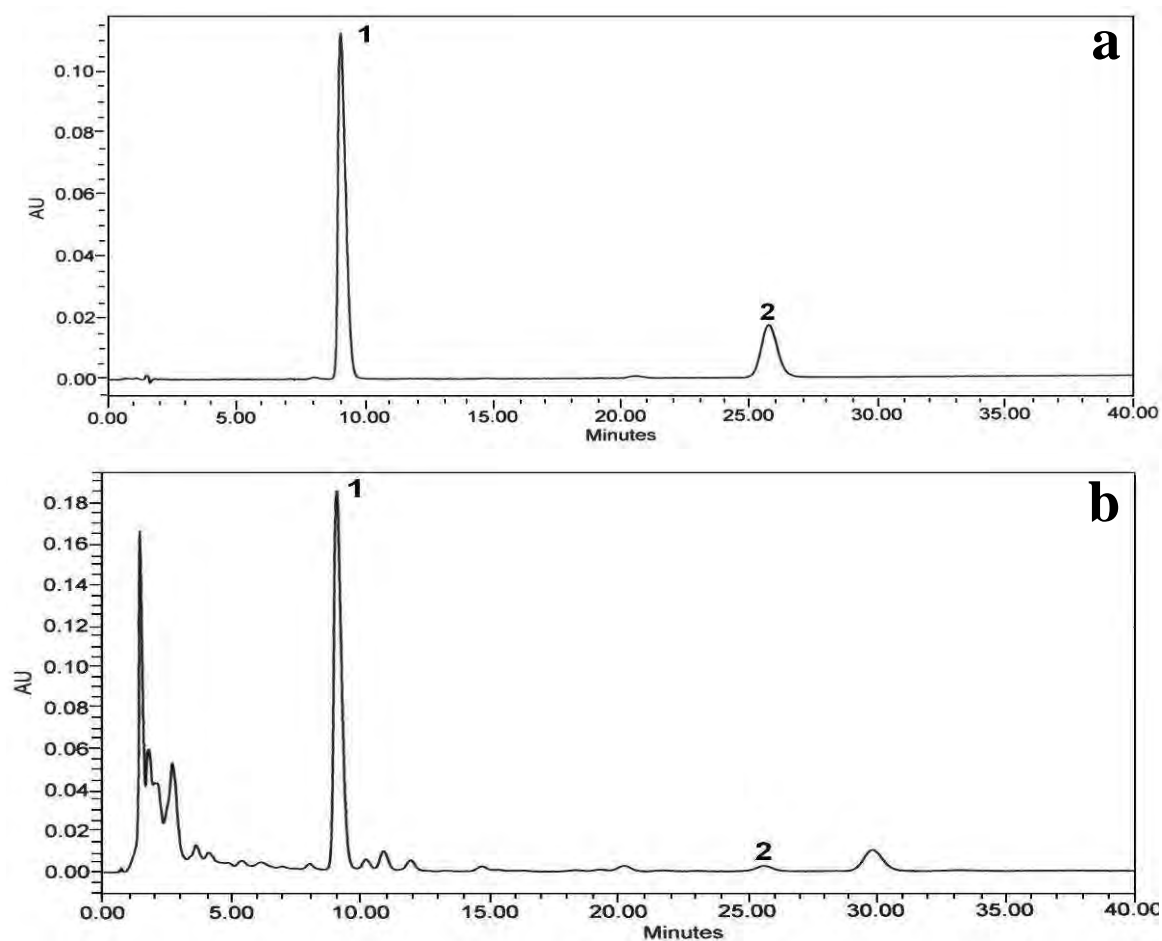


Figura 33 – “Cromatograma típico da mistura de padrões de 6-gingerol e 6-shogaol (a) e do extrato de amostra desidratada de gengibre (b). Identificação dos picos: 1) 6-gingerol e 2) 6-shogaol”.

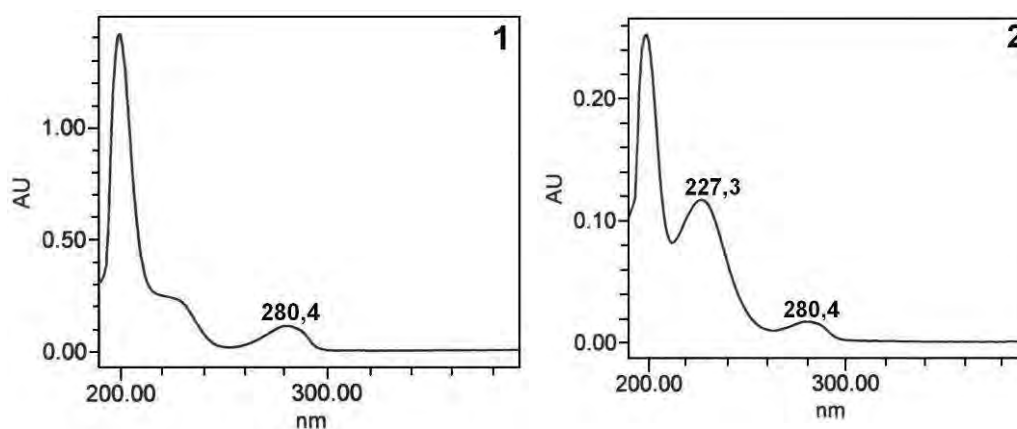


Figura 34 – “Espectros de absorção do 6-gingerol (1) e do 6-shogaol (2) na fase móvel (metanol:água na proporção de 60:40) obtidos pelo detector de arranjo de diodos”.

Observa-se que o teor de 6-gingerol aumenta ao longo da secagem devido a menor diluição dos compostos, como consequência da remoção da água do gengibre. Teores maiores foram determinados para secagem na temperatura de 60°C devido às diferenças de umidade inicial do gengibre (base úmida): 93% à 60°C e 83 a 85% para temperaturas de 50 e 70°C.

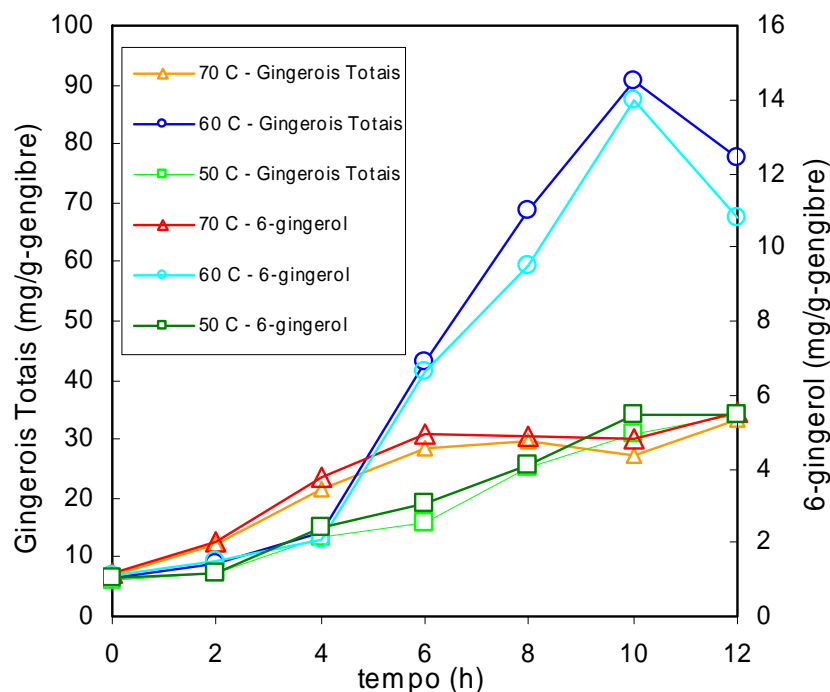


Figura 35 – “Teor de 6-gingerol e de gingeróis totais, $\text{mg (g-gengibre)}^{-1}$, das fatias de gengibre submetidas à secagem sob vácuo nas temperaturas de 50, 60 e 70°C”. Linhas contínuas traçadas apenas para facilitar a visualização.

Com relação à degradação ou retenção do 6-gingerol ao longo da secagem, o comportamento do 6-gingerol quando submetido a diferentes temperaturas de secagem diferiu em relação aos resultados obtidos anteriormente para a retenção dos gingeróis totais do gengibre. Verificou-se um aumento da degradação do 6-gingerol e formação do 6-shogaol ao longo da secagem, apresentando-se mais acentuada na temperatura de 70°C quando comparada à 50°C (Figura 36). Os resultados mostraram-se compatíveis com os apresentados por outros trabalhos com gengibre (JOLAD *et al.*, 2004; JOLAD *et al.*, 2005; BALLADIN *et al.*, 1996; SCHWERTNER & RIOS, 2007; HE *et al.*, 1998).

Em nenhuma das amostras analisadas de gengibre *in natura* foi detectada a presença de 6-shogaol, sendo determinado apenas após 6 horas de secagem na temperatura de 70°C sob vácuo (umidade de 5,72%, em base úmida) em concentração de $0,05 \text{ mg (g-matéria seca)}^{-1}$, chegando a $0,10 \text{ mg (g-matéria seca)}^{-1}$ ao término da secagem, após 12 horas (umidade de 3,78%, em base úmida). Secagens nas temperaturas de 60 e 50°C sob vácuo apresentaram

apenas traços de 6-shogaol após 12 horas de secagem. Observa-se claramente que o 6-gingerol sofreu degradação térmica transformando-se em 6-shogaol quando submetido a temperaturas mais elevadas durante certo período de tempo, fato evidenciado na secagem à 70°C.

Schwertner e Rios (2007) determinaram o conteúdo de 6-shogaol de vários produtos comerciais a base de gengibre, obtendo valores superiores aos determinados no presente trabalho, na faixa de 0,16 a 2,18 mg (g-matéria seca)⁻¹, devido provavelmente a transformação do 6-gingerol em 6-shogaol. Possíveis fatores de influência são a secagem em escala industrial sem muito controle, acarretando em desuniformidade de secagem, maior exposição do produto às temperaturas do processo, utilização de maiores temperaturas com o objetivo de reduzir o tempo de secagem, dentre outras.

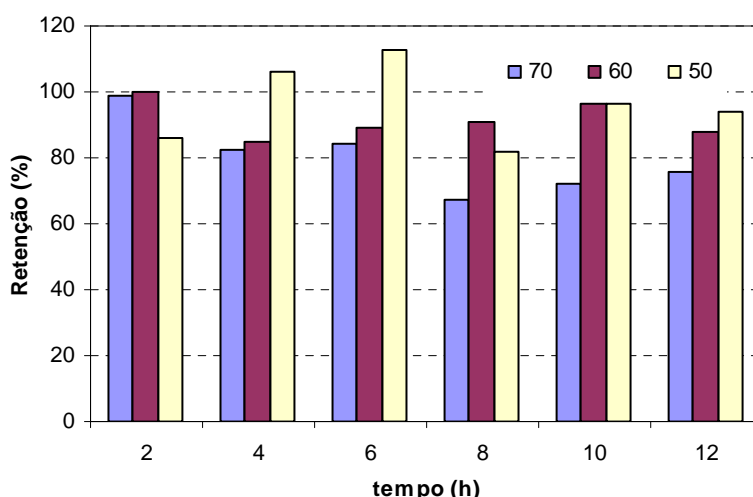


Figura 36 – “Retenção de 6-gingerol, mg (g-gengibre)⁻¹, durante a secagem a vácuo de gengibre nas temperaturas de 50, 60 e 70°C”.

Baseando-se nos resultados determinados, a Tabela 12 apresenta uma simulação do conteúdo de 6-gingerol e dos gingeróis totais para umidade de 10% (base úmida) do gengibre desidratado, bem como o tempo necessário para atingi-la.

Tabela 12: “Simulação (valores aproximados) do teor de compostos pungentes totais e de 6-gingerol em mg (g-gengibre)⁻¹ calculados a 10% de umidade (expressa em base úmida)”.

Condição de secagem	Tempo de secagem (h)	Gingeróis totais	6-gingerol
Vácuo – 70 °C	5,6	28	0,95
Vácuo – 60 °C	10,1	91	0,84
Vácuo – 50 °C	11,9	33	0,92
P _{atm} – 70 °C	3,8	32	nd
P _{atm} – 60 °C	4,4	28	nd
P _{atm} – 50 °C	5,6	31	nd

6. CONCLUSÃO

A umidade do gengibre *in natura* apresentou uma ampla faixa de valores, entre 83 e 93% (base úmida), bem como para o conteúdo de gingeróis totais entre 4,88 e 6,83 mg (g-gengibre fresco)⁻¹, para o 6-gingerol entre 0,99 a 1,17 mg (g-gengibre)⁻¹ e ausência do composto 6-shogaol.

A temperatura de secagem mostrou-se ser um fator de influência. As fatias de gengibre submetidas ao processo de secagem convectiva com ar aquecido em bandejas à pressão atmosférica atingiram umidade de equilíbrio após 360, 340 e 300 minutos, respectivamente, para as temperaturas de 50, 60 e 70°C, enquanto as submetidas ao processo de secagem em bandejas sob vácuo atingiram umidade de equilíbrio após 720, 550 e 360 minutos, respectivamente, para as temperaturas de 50, 60 e 70°C.

A secagem convectiva das fatias de gengibre em leito fixo e camada única à pressão atmosférica apresentou um curto período inicial (40 a 60 minutos) de taxa de secagem constante, até atingir a umidade crítica (83 a 84 %, em base úmida), seguido de um período de taxa decrescente de secagem predominante na maior parte do processo, mostrando a forte influência do mecanismo interno de migração da umidade no interior da fatia de gengibre.

O modelo de Midilli *et al.* de quatro parâmetros foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais de secagem de gengibre fatiado em secador de bandejas à pressão atmosférica nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, apresentando $R^2 > 99,8 \%$ e valores de $\chi^2 < 2.10^{-4}$.

Com relação aos modelos de dois parâmetros, os modelos de Page e Page Modificado apresentaram o melhor ajuste às curvas de secagem do gengibre nas temperaturas estudadas ($R^2 > 99,8 \%$ e $\chi^2 < 2,1.10^{-4}$).

As metodologias de determinação dos gingeróis totais por espectrofotometria e de 6-gingerol e 6-shogaol por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) mostraram-se satisfatórias e rápidas para o estudo realizado.

Foram obtidos perfis de concentração dos gingeróis totais ao longo da secagem com comportamento similar (aumento lento inicial seguido de aumento acelerado) para todas as condições investigadas (pressão e temperatura), para umidades finais superiores à 10 % (base úmida) suficiente para a conservação do gengibre.

A secagem do gengibre sob vácuo proporcionou maiores retenções dos gingeróis totais e do 6-gingerol nas temperaturas de secagem de 50 e 60°C.

A secagem à temperatura de 70°C em ambos os sistemas investigados (pressão atmosférica e vácuo) apresentou maior degradação dos gingeróis totais.

Traços do composto 6-shogaol foram identificados somente após 12 horas de secagem sob vácuo nas temperaturas de 50 e 60°C e aumento gradativo de 6 a 12 horas de secagem na temperatura de 70°C (0,05 a 0,1 mg (g-gengibre)⁻¹, indicando degradação térmica do composto 6-gingerol.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Determinar a cinética de degradação dos gingeróis totais e do composto 6-gingerol, bem como da formação do composto 6-shogaol, durante a secagem de gengibre em diferentes condições, vácuo e pressão atmosférica.

Determinar a cinética de degradação dos gingeróis totais e do composto 6-gingerol durante armazenamento do gengibre in natura e desidratado com teor de umidade comercial (menor que 12% em base úmida).

Determinar o teor de 6-gingerol e 6-shogaol na secagem de gengibre à pressão atmosférica.

Estudos químicos e bioquímicos visando estabelecer uma melhor relação entre os compostos 6-gingerol e 6-shogaol.

Estudos que incluam testes sensoriais, relacionando-os com os resultados analíticos dos componentes aromáticos.

Estudos das propriedades físico-químicas do gengibre desidratado em pó, tais como capacidade de reidratação, composição centesimal e perfil aromático em diferentes condições e temperaturas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, R.P. **Identification of Essential Oil Components Gas Chromatography and Mass Spectroscopy**. Illinois: Allured Publishing Co. United States of America, 1995. 469p.

AGUIRRE, J. M.; GASPARINO FILHO, J. **Desidratação de Frutas e Hortaliças**. Manual Técnico. Campinas: ITAL, 2002. 205p.

AFONSO JÚNIOR, P.C.; CORRÊA, P.C. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.3, p.349-353, 1999.

ALTMAN, R.D.; MARCUSSEN, K.C. Effects of a ginger extract on knee pain in patients with osteoarthritis. **Arthritis and Rheumatism**, Miami, v.44, n.11, p.2531–2538, 2001.

ALVES, A.P.; SILVA, F.S.; PORTO, A.G. SILVA, B. Caracterização da secagem do alho (*Allium sativum*) em camada delgada. In: JORNADA CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DO ESTADO DO MATO GROSSO, 2, 2009, Barra do Bugres. **V Congresso Interno de Iniciação Científica da Unemat**. Barra do Bugres: Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Unemat, 5p. Disponível em: <<http://www2.unemat.br/prppg/jornada2009>>. Acesso em: dezembro de 2009.

ANDRADE, E.T.; BORÉM, F.M.; HARDOIM, P.R. Cinética de secagem do café cereja, bóia e cereja desmucilado, em quatro diferentes tipos de terreiros. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, n.7, Especial Café, p.37-43, 2003.

AOAC. Association of Analytical Chemists. **Official methods of analysis**. 13rd ed. Washington D.C.: AOAC, 1980. 109p.

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**, London, v.65, n.3, p.449-58, 2004.

BALLADIN, D. A. **Extraction and evaluation of the main pungent principles of ginger (*Zingiber Offinale Roscoe*) rhizome**. 1988. Thesis Dissertation. The University of the West Indies, St Augustine Campus, Trinidad. West Indies, 1988.

BALLADIN, D. A.; YEN, I. C.; MCGAW, D. R.; HEADLEY, O. Solar Drying of West Indian ginger (*Zingiber Officinale* Roscoe) rhizome using a wire basket dryer. **Renewable Energy**, West Indies, v.7, n.4, p.409-418, 1996.

BALLADIN, D. A.; HEADLEY, O. Liquid chromatographic analysis of the main pungent principles of solar dried West Indian ginger *Zingiber Officinale* Roscoe. **Renewable Energy**, West Indies, v.18, n.2, p.257-261, 1999.

BANDEIRA-PEREIRA, R. C.; DA SILVA, A. J. R.; BARBOSA, A. L. S.; SABAA-SRUR, A. U. O. Obtenção de óleo essencial e oleoresina de gengibre (*Zingiber Officinale* Roscoe) por arraste com vapor e extração com solvente. **Revista Universidade Rural**. Série Ciências da Vida, Rio de Janeiro, v.27, n.1, p.10-20. 2007.

BARTLEY, J. P.; JACOBS, A. L. Effects of drying on flavour compounds in Australian-grown ginger (*Zingiber Officinale*). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Brisbane, v.80, n.2, p.209-215, 2000.

BRINKER, F. J. **Herb contraindications and drug interactions: with appendices addressing specific conditions and medicines**. Sandy, OR: Eclectic Institute, 1997, 146p.

BROOKER, D.B.; BAKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: AVI Book, 1992. 450p.

CATI. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Serviços. Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br>>. Acesso em: janeiro de 2008.

CHARM, S. E. **Dehydration of foods**: The fundamentals of food engineering. Westport: The AVI Publishing Company Inc., p.252-277, 1963.

CHAVES, M.G.; SGROPPO, S.C.; AVANZA, J.R. Cinética de secado de berenjenas (*Solanum melongena* L.). **Comunicaciones Científicas y Tecnológicas**, Corrientes, v.60, p.1-4, 2003.

CHEN, C. C.; HO, C. T. Gas Chromatographic analysis of thermal degradation products of gingerol compounds in steam-distilled oil from ginger (*Zingiber Officinale* Roscoe). **Journal of Chromatography**, Amsterdam, v.387, n.9, p.499-504, 1987.

CHRIST, D. **Curvas de equilíbrio higroscópico e de secagem da canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) e efeito da temperatura e da umidade relativa do ar de secagem sobre a qualidade das sementes**. 1996. 50p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Federal de Viçosa, 1996.

CHRUBASIK, S.; PITTLER, M. H.; ROUFOGALIS, B. D. Zingiberis rhizome: a comprehensive review on the ginger effect and efficacy profiles. **Phytomedicine**, Freiburg, v.12, n.9, p.684-701, 2005.

CONNEL, D. W.; SUTHERLAND, M. D. A Re-examination of Gingerol, Shogaol and Zingerone, the Pungent Principles of Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe), **Australian Journal of Chemistry**, Victoria, v.22, p.1033-1043, 1969

CORRÊA JUNIOR, C.; MING, L. C.; SCHEFFER, M. C. **Cultivo de plantas medicinais, condimentares e aromáticas**. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 151p.

CORZO, O.; BRACHO, N.; PEREIRA, A.; VASQUEZ, A. Weibull distribution for modeling air drying of coroba slices. **Journal of Food Science and Technology**, Guatamare, v.41, n.10, p.2023-2028, 2008.

DALLAVALLI, M. J. **Caracterização dos componentes do óleo de gengibre (*Zingiber Officinale* Roscoe) por cromatografia de gás / espectrometria de massa**. 1990. Dissertação (Mestrado em Química). Departamento de Tecnologia de Química, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1990.

DOYMAZ, I.; PALA, M. The thin-layer drying characteristics of corn. **Journal of Food Engineering**, London, v.60, n.2, p.125-130, 2003.

DOYMAZ, I.; TUGRUL, N.; PALA, M. Drying characteristics of dill and parsley leaves. **Journal of Food Engineering**, London, v.77, n.3, p.559-565, 2006.

ELPO, E. R. S.; NEGRELLE, R. R. B. *Zingiber officinale* Roscoe: aspectos botânicos e ecológicos. **Visão Acadêmica**, Curitiba, v.5, n.1, p.27-32, 2004.

ELPO, E. R. S.; NEGRELLE, R. R. B. *Zingiber officinale* Roscoe: pharmacological aspects a review. **Visão Acadêmica**, Curitiba: v.6, n.2, 2005.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Gengibre**. Série Plantas Medicinais. Folder 12. Embrapa Rondônia, 2001. Disponível em: <<http://www.cpafrro.embrapa.br>>. Acesso em: maio de 2007.

EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. **Normas Técnicas da cultura do gengibre**. Litoral Catarinense e Litoral Paranaense. Florianópolis: EPAGRI, 1998. 26p.

ERNST, E.; PITLLER, M. H. Efficacy of ginger for nausea and vomiting: a systematic review of randomized clinical trials. **British Journal Anaesthesia**, Exeter, v.84, n.3, p.367-371, 2000.

ERTEKIN, C.; YALDIZ, O. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. **Journal of Food Engineering**, London, v.63, n.3, p.349-359, 2004

FARIAS, E.S.; GOUVEIA, J.P.G.; ALMEIDA, F.A.C.; BRUNO, L.A.; NASCIMENTO, J. Secagem de cajá em um secador de leito fixo. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 18, 2002, Belém. **Anais...** SBF: Belém, 2002. CD.

FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B. **Princípios de operações unitárias**. 2. ed. Tradução por H. Macedo. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 670p.

FRANCO, G. **Tabela de composição química dos alimentos**. 8. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 1987.

FRANCO, L.L. **As sensacionais 50 plantas medicinais campeãs de poder curativo**. v.1, Curitiba: Sta. Mônica, p.143-145, 1996.

GILL, P.R.; MURRAY, W.; WRIGHT, M.H. **The Levenberg-Marquardt Method**: Practical Optimization. London: Academic Press, p.136-137, 1981.

GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C.; DA SILVA, F. L. H.; MURR, F. E. X. Estudo da cinética de secagem de gengibre em um secador de leito fixo. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.24, n.2, p.20-27, 1999.

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

GRAUDS, C. Ginger (*Zingiber officinale*). **Pharmacy-Times**, New York, n. 61, p.50, 1995.

GRÉGIO, A. M. T.; FORTE, E. S. M.; ROSA, E. A. R.; SIMEONI, R. B.; ROSA, R. T. Ação antimicrobiana do *Zingiber officinale* frente a microbiota bucal. **Estudos Biológicos**, Curitiba, v.28, n.62, p.61-66, 2006.

HAWLADER, M. N. A.; PERERA, C. O.; TIAN, M. Comparison of the retention of 6-gingerol in drying of ginger under modified atmosphere heat pump drying and others drying methods. **Drying Technology**, Singapore, v.24, n.1, p.51-56, 2006.

HE, X.; BERNART, M.W.; LIAN, L.; LIN, L. High-performance liquid chromatography-electrospray mass spectrometric analysis of pungent constituents of ginger. **Journal of Chromatography A**, Eugene, v.796, n.2, p.324-334, 1998.

HEALTH, H. B. **Source book of flavors**. The AVI Publishing Company Inc, p.197-244, 1982

HENDERSON, S.M.; PABIS, S. Grain drying theory. I. Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agriculture Engineering Research**, Silsoe, v.6, n.3 p.169-174, 1961.

JOLAD, S.D.; LANTZ, R.C.; CHEN, G.J.; BATES, R.B.; SOLYOM, A.M; TIMMERMAN, B.N. Fresh organically grown ginger (*Zingiber officinale*): composition and effects on LPS-induced PGE₂ production. **Phytochemistry**, Tucson, v.65, n.13, p.1937-1954, 2004.

JOLAD, S. D.; LANTZ, R. C.; CHEN, G. J.; BATES, R. B. Commercially processed dry ginger (*Zingiber officinale*): composition and effects on LPS-stimulated PGE₂ production. **Phytochemistry**, Tucson, v.66, n.13, p.1614-1635, 2005.

KANJANAPOTHI, D. A uterine relaxant compound from *Zingiber cassumara*. **Planta medica**, Stuttgart, n.53, p. 329-32, 1987.

KAREL, M.; FENNEMA, O.R; LUND, D.B. **Principles of food science**. Part II: Physical principles of food preservation. New York: Marcel Dekker Inc, 1975.

KAUR, C.; KAPOOR, H. C. Anti-oxidant activity and total phenolic content of some Asian vegetables. **International Journal of Food Science and Technology**. New Delhi, v.37, n.2, p.153-161, 2002.

KEEY, R.B. **Drying principle and practices**. Oxford: Pergamon Press, 1972. 358p.

KEMPER, K.J. **Ginger (*Zingiber officinale*)**. The Longwood Herbal Task Force and The Center for Holistic Pediatric Education and Research. Disponível em: <<http://www.longwoodherbal.org/ginger/ginger.pdf>>. Revisado em novembro de 1999.

KROKIDA, M.K.; KARATHANOS, V.T.; MAROULIS, Z.B.; MAROULIS-KOURIS, D. Drying kinetics of some vegetables. **Journal of Food Engineering**, Essex, v.59, n.4, p.391-403, 2003.

LAHSASNI, S.; KOUHILA, M.; MAHROUZ, M.; KECHAOU, N. Experimental study and modelling of adsorption and desorption isotherms of prickly pear peel (*Opuntia ficus indica*). **Journal of Food Engineering**, New York, v. 55, n. 3, p.201-207, 2002.

LEVY, A. S. A.; SIMON, O.; SHELLY, J.; GARDENER, M. 6-Shogaol reduced chronic inflammatory response in the knees of rats treated with complete Freund's adjuvant. **BioMedical Central Pharmacology**, Mona Campus, v.6, n.12, 2006.

LEWIS, W.K. The rate of drying of solids materials. **The Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, Massachusetts, v.13, n.5, p.427-432, 1921.

LONIEWSKI, I.; MUSIAL, H.D.; KORWIN-PIOTROWSKA, K.; KRYSIUKIEWICZ, A. Antiemetic activity of ginger rhizome extract (*Zingiber officinale* Roscoe) and eleuterococ root extract (*Eleuthrococcus senticosus* Maxim). **Herba Polonica**, Polônia, v.44, n.1, p.39-44, 1998.

LORENZETTI, E. R. **Cultivo de Gengibre**. Portal da Horticultura. Disponível em: <<http://br.geocities.com/horticultura1/index.htm>>. Acesso em: junho 2008.

MacLAUGHLIN, S. P. Book Reviews. **Journal of Natural Products**. Flórida, v.68, n.6, p.966, 2005.

MACLEOD, A.J.; PIERIS, N.M. Comparison of the volatile components of some mango cultivars. **Phytochemistry**, London, v.23, n.2, p.361-366, 1984.

MAGALHÃES, M. T.; KOKETSU, M.; GONÇALVES, S. M.; DUARTE, F. R.; GODOY, R. L. O.; LOPES, D. Gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) brasileiro: aspectos gerais, óleo essencial e oleoresina. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.17, n.1, p.64-69, 1997.

MAIA, N. B.; BOVI, O. A.; DUARTE, F. R. Obtenção e análise do óleo essencial do gengibre: efeito de secagem e processamento. **Bragantia**, Campinas, v.50, p.83-92, 1991.

MADAMBA, P.S.; DRISCOLL, R.H.; BUCKLE, K.A. Thin layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, Laguna, v.29, n.1, p.75-97, 1996.

MARCUS, D.M.; SNODGRASS, W.R. Do no Harm: Avoidance of herbal medicine during pregnancy. **American Journal Obstetrics & Gynecology**, Flórida, v.105, n.5, p.1119-1122, 2005.

MARCUS, D.M.; SUAREZ-ALMAZOR, M.E. Is there a role for ginger in the treatment of osteoarthritis? **Arthritis and Rheumatism**, Flórida, v.44, n.11, p.2461–2462, 2001.

MARTINAZZO, A.P.; CORRÊA, P.C.; RESENDE, O.; MELO, E.C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.3, p.301–306, 2007.

MARTINS NETO, M. **Isolamento, caracterização e identificação de antioxidantes em rizomas de gengibre (*Zingiber Officinale* Roscoe)**. 1988. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, MG, 1988.

MENDES, M. O. Técnica responsável do Instituto de Tecnologia do Paraná (TECPAR). Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas. Disponível em: <<http://www.sbrt.ibict.br>>. Acesso em: maio 2007.

MENGES, H.O.; ERTEKI, C. Mathematical modeling of thin layer drying of Golden apples. **Journal of Food Engineering**, Antalya, v.77, n.1, p.119-125, 2006.

MENON, A. N.; PADMAKUMARI, K. P.; KUTTY, B. S.; SUMATHIKUTTY, M. A.; SREEKUMAR, M. M. Effects of processing on the flavor compounds of Indian fresh ginger (*Zingiber Offinale* Roscoe). **Journal Essential Oil Research**. Índia, v.19, p.105-109, 2007.

MICROCAL SOFTWARE INC. Microcal Origin, Versão 6.0. Northampton, USA, 1999.

MICROSOFT CORPORATION. Microsoft Office Excel, Versão 7. USA, 2002.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, Philadelphia, v.20, n.7, p.1503–1513, 2002.

MOHAMED, L.A.; KOUHILA, M.; JAMALI, A.; LAHSANS, S.; KECHAOU, N.; MAHROUZ, M. Single layer solar drying behavior of *Citrus aurantium* leaves under forced convection. **Energy Conversion and Management**, Milton Keynes, v.46, n.9-10, p.1473-1483, 2005.

MOURA, R.S.F. **Estudo da cinética de secagem de caju (*Anacardium occidentale* L.) em secador de leito fixo**. 2001. 80p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2001.

MOWREY, D.B. **Two studies on the properties of powdered ginger root: the antiemetic and antidiarrheic effects of the powdered ginger root (*Zingiber Officinale Roscoe*) and the antimotion sickness effects of powdered ginger root (*Zingiber Officinale Roscoe*).** 1978. Ph.D. Degree. Department of Psychology. Brigham Young University. England, 1978.

MOYLER, D. A. Extraction of essential oils with carbon dioxide. **Flavor and Fragrance Journal**, Milton Keynes, v.8, n., p.235-247, 1993.

MUJAMDAR, A. S. **Handbook of Industrial Drying**, New York: Marcel Dekker Inc., 1995.

MWITHIGA, G.; OLWAL, J.O. The drying kinetics of kale (*Brassica oleracea*) in a convective hot air dryer. **Journal of Food Engineering**, Essex, v.71, n.4, p.373-378, 2005.

Natural Medicines Comprehensive Database. Disponível em: <<http://www.naturaldatabase.com>>. Acesso em: maio 2008.

NEGRELLE, R. R. B.; ELPO, E. R. S.; RUCKER, N. G. A. Análise prospectiva do agronegócio no estado do Paraná. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.3, p.1022-1028, 2005.

NOBREGA. L.P.; MONTEIRO, A.R.; MEIRELES, M.A.A.; MARQUES, M.O.M. Comparison of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) oleoresin obtained with ethanol and isopropanol with that obtained with pressurized CO₂. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.17, n.4, 1997.

ONTENGCO, D. C.; DAYAP, L. A.; CAPAL, T. V. Screening for the antibacterial activity of essential oils from some Philippine plants. **Acta Manilana**, Phillipines, v.43, p.19-23, 1995.

PAGE, G.E. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers.** 1949. Thesis Dissertation. Purdue University, Indiana, USA, 1949.

PANCHARIYA, P.C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A.L. Thin-layer modeling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, Davis, v.52, n.4, p.349-357, 2002.

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

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

PEREDA-ORDOÑEZ, J. A.; RODRIGUES, M. I. C.; ÁLVAREZ, L. F.; SANZ, M. L. G.; MINGIILLÓN, G. D. G. F.; PERALES, L. H.; CORTECERO, M. D. S. **Tecnología de alimentos**. v.1. Componentes dos alimentos e processos. Porto Alegre, RS: Artmed Editora, 2005.

RAMOS, A.M.; PEREIRA, J.A.M.; QUEIROZ, D.M. Equações de secagem de trigo em camada fina e determinação dos coeficientes de difusão de líquido. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.18-19, n.1-2, p.43-47, 1993 e 1994.

RAVINDRAN, P. N.; BABU, K. N. **Ginger, the genus Zingiber**: Medicinal and Aromatic Plants – Industrial Profiles. Flórida, USA: CRC Press, 2005. 576p.

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

SCHWEIGGERT, U.; MIX, K.; SCHIEBER, A.; CARLE, R. An innovative process for the production of spices through immediate thermal treatment of plant material. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, Stuttgart, v.6, n.2, p.143-153, 2005.

SCHWERTNER, H.A.; RIOS, D.C. High-performance liquid chromatographic analysis of 6-gingerol, 8-gingerol, 10-gingerol and 6-shogaol in ginger-containing dietary supplements, spices, teas and beverages. **Journal of Chromatography B**, Lackland, v.856, n.1-2, p.41-47, 2007.

SEAG-ES. Secretaria de Estado da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca. Governo do Estado do Espírito Santo. Notícia do dia 19 de julho de 2006. Disponível em: <http://www.seag.es.gov.br/materia399.htm>>. Acesso em: junho 2007.

SERENO, A. M.; MEDEIROS, G. L. Simplified model for the prediction of drying rates for foods. **Journal of Food Engineering**, Porto, v.12, n.1, p.1-11, 1990.

SHUKLA, Y.; SINGH, M. Cancer preventive properties of ginger: a brief review. **Food and Chemical Toxicology**, Índia, v.45, n.5 , p.683-690, 2007.

SMITH, R. H.; ROBINSON, J. M. The essential oil of ginger from Figi. **Phytochemistry**, Figi, v.20, n.2, p.203-206, 1981.

SOARES, J.B. **Curvas de secagem em camada fina e propriedades físicas de soja.** (*Glicine max L.*). 1986. 94p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Federal de Viçosa, MG, 1986.

STOILLOVA, I.; KRASTANOV, A.; STOYANOVA, A.; DENEV, P.; GARGOVA, S. Antioxidant activity of a ginger extract (*Zingiber officinale*). **Food Chemistry**, Plovdiv, v.102, n.3, p.764-770, 2007.

SUEKAWA, M.; ISHIGE, A.; YUASA, K.; SUDO, K.; ABURADA, M.; HOSOYA, E. Pharmacological studies on ginger (*Zingiber officinale*): I. Pharmacological actions of pungent constituents, (6)-gingerol and (6)-shogaol. **Journal of Pharmacobiodynamics**, Tokyo, v.7, n.11, p.836-848, 1984.

THOMPSON, T.L.; PEART, R.M.; FOSTER, G.H. Mathematical simulation of corn drying: A new model. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v.11, n.4, p.582-586, 1968.

TOGRUL, H. Suitable drying model for infrared drying of carrot. **Journal of Food Engineering**, Elazığ, 77, n.3, p.610-619, 2006.

TSUI, B.; DENNEHY C.E.; TSOUROUNIS, C. A survey of dietary supplement use during pregnancy at an academic medical center. **American Journal Obstetrics & Gynecology**, San Francisco, v.185, n.2, p.433-437, 2001.

USDA. United States Department of Agriculture. National Agriculture Library. National Nutrient Database for Standard Reference. Disponível em: <<http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>>. Acesso em: 2008.

UTPALENDU, J.; CHATTOPADHYAY, R. N.; PRASAD, S. B. Preliminary studies on anti-inflammatory activity of *Zingiber officinale* Roscoe, *Vitex negundo* Linn. and *Tinospora cordifolia* (Willd) Miers in albino rats. **Indian Journal of Pharmacology**, India, v.31, n.3, p.232-233, 1999.

VAN ARSDEL, W. B.; COPLEY, M. J.; MORGAN, A. I. **Food Dehydration**. 2nd ed. Westport: The AVI Publishing Company Inc., 1973. 342p.

VUTYAVANICH, T.; KRAISARIN, T.; RUANGSRI, R. Ginger for nausea and vomiting in pregnancy: randomized, double-masked, placebo-controlled trial. **American Journal Obstetrics & Gynecology**, Thailand, v.97, n.4, p.577-582, 2001.

WANG, C.Y.; SINGH, R.P. Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v.11, n.78, p.3001, 1978.

WEIDNER, M.S.; SIGWART, K. Investigation of the teratogenic potencial of a *Zingiber officinale* extract in the rat. **Reproductive Toxicology**, Copenhagen, v.15, n.1, p.75-80, 2000.

WHITE, G.M.; BRIDGES, T.C.; LOEWER, O.J.; ROSS, I.J. Thin-layer drying model for soybeans. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.24, n.6, p.1643-1646, 1981.

WHO. World Health Organization. **Monographs on selected medicinal plants**. v.1. Geneva: World Health Organization, p.277-287, 1999.

WILKINSON, J.M. Effect of ginger tea on the fetal development of Sprague-Dawley rats. **Reproductive Toxicology**, Wagga Wagga, v.14, n.6, p.507-512, 2000.

YALDIZ, O.; ERTEKIN, C.; UZUN, H.I. Mathematical modelling of thin layer solar drying of Sultana grapes. **Energy**, London, v.26, n.5, p.457-465, 2001.

YOSHIKAWA, M.; YAMAGUCHI, S.; KUNIMI, K.; MATSUDA, H.; OKUNO, Y.; YAMAHARA, J.; MURAKAMI, N. Stomachic principles in ginger. III. An anti-ulcer principle, 6-gingesulfonic acid, and three monoacyldigalactosylglycerols, gingerglycolipids A, B and C, from *Zingiberis Rhizoma* originating in Taiwan. **Chinese Pharmacological Bulletin**, Taiwan, v.42, n.6, p.1226-1230, 1994.

ANEXO I

Tabela 13: “Resultados experimentais de razão de umidade (adimensional) para secagem à pressão atmosférica para temperaturas de 50, 60 e 70°C”.

Tempo (min)	Temperatura		
	50°C	60°C	70°C
	RU	RU	RU
0	1,0000	1,0000	1,0000
20	0,9427	0,8987	0,9009
40	0,8515	0,7778	0,7538
60	0,7540	0,6744	0,6235
80	0,6755	0,5850	0,5170
100	0,5953	0,4990	0,3998
120	0,5200	0,4059	0,3006
140	0,4580	0,3184	0,2190
160	0,3968	0,2357	0,1565
180	0,3488	0,1850	0,1154
200	0,2940	0,1452	0,0719
220	0,2481	0,1088	0,0462
240	0,2022	0,0786	0,0298
260	0,1604	0,0539	0,0240
280	0,1258	0,0428	0,0180
300	0,0965	0,0329	0,0149
320	0,0774	0,0299	0,0131
340	0,0596	0,0260	0,0115
360	0,0486	0,0241	0,0111

Tabela 14: “Resultados experimentais de razão de umidade (adimensional) para secagem sob vácuo para temperaturas de 50, 60 e 70°C”.

Tempo (min)	Temperatura		
	50°C	60°C	70°C
	RU	RU	RU
0	1,0000	1,0000	1,0000
120	0,7330	0,7960	0,4426
240	0,3580	0,4222	0,1056
360	0,2271	0,0842	0,0123
480	0,0745	0,0274	0,0101
600	0,0337	0,0093	0,0090
720	0,0195	0,0047	0,0080