



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS



**EFEITO DA ETAPA DE RESFRIAMENTO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DE
CROCÂNCIA E COR NA OBTENÇÃO DE BANANA NANICA CROCANTE POR
SECAGEM COM PULSO A ALTA TEMPERATURA**

Aluna: Carla Ivonne La Fuente Arias

Eng^a. Química

Orientador: Prof. Dr. Celso Costa Lopes

Dissertação de Mestrado apresentada à
Faculdade de Engenharia de Alimentos
da Universidade Estadual de Campinas
para a obtenção do título de Mestre em
Engenharia de Alimentos.

Campinas, Junho de 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR
CLAUDIA AP. ROMANO DE SOUZA – CRB8/5816 - BIBLIOTECA DA FACULDADE DE
ENGENHARIA DE ALIMENTOS – UNICAMP

L11e	<p>La Fuente Arias, Carla Ivonne</p> <p>Efeito da etapa de resfriamento sobre as características de crocância e cor na obtenção de banana nanica crocante por secagem com pulso a alta temperatura / Carla Ivonne La Fuente Arias. -- Campinas, SP: [s.n], 2011.</p> <p>Orientador: Celso Costa Lopes. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos.</p> <p>1. Banana. 2. Secagem. 3. Crocância. 4. Cor. 5. Temperatura de transição vítrea. I. Celso Costa Lopes. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.</p>
------	---

Informações para Biblioteca Digital

Título em inglês: Effect of the cooling stage on crispy banana dried with an initial hot temperature pulse

Palavras-chave em inglês (Keywords):

Banana

Drying

Crispness

Color

Glass transition temperature

Área de concentração: Engenharia de Alimentos

Titulação: Mestre em Engenharia de Alimentos

Banca examinadora:

Celso Costa Lopes [orientador]

Florência Cecília Menegalli

Maria Aparecida Silva

Data da defesa: 28/06/2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia de Alimentos

BANCA EXAMINADORA

Este exemplar corresponde à redação final da dissertação defendida em: 28/06/2011 por
Carla La Fuente Arias, aprovada pela comissão julgadora em: 28/06/2011.

Prof. Dr. Celso Costa Lopes
(Orientador)

Profª Drª. Florencia Cecília Menegalli
(Membro Titular)

Profª Drª. Maria Aparecida Silva
(Membro Titular)

Profª Drª. Kelly Hofsetz
(Membro Suplente)

Profª Drª. Míriam Dupas Hubinger
(Membro Suplente)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais por ter compartilhado este sonho há muitos anos comigo; a Jorge, por seu constante apoio e por ser meu maior incentivo; a minha irmã, por ter sido meu exemplo a seguir.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por ter me dado a oportunidade de realizar meu sonho, pela possibilidade de morar neste maravilhoso país e por todas as lembranças que ficarão para sempre no meu coração.

A Jorge, por ser meu namorado, meu amigo, meu parceiro, meu maior aliado nesses dois anos, por ser tudo o que eu precisei e precisarei nesta vida.

A meus pais e minha irmã, por acreditar sempre em mim até demais, pela força sempre.

Aos meus avôs, madrinha e amigos que mesmo longe, sempre estiveram torcendo por mim.

Ao Prof. Dr. Celso Costa Lopes, por compartilhar seus conhecimentos comigo, pela constante paciência e sobretudo pela amizade ao longo desses dois anos.

Aos membros da banca examinadora, Prof.^a Dr.^a Florencia Cecilia Menegalli, Prof.^a Dr.^a Maria Aparecida Silva e Prof.^a Dr.^a Miriam Dupas Kubinger por enriquecer este trabalho com suas sugestões.

A Prof.^a Dr.^a Kelly Hofsetz, por as sugestões como membro da banca examinadora e por ter compartilhado todas suas experiências comigo no desenvolvimento da pesquisa.

A todos os professores do Departamento de Engenharia de Alimentos, pela dedicação e ajuda constante sempre que precisei.

A todos os funcionários da FEA, pela paciência e por serem sempre atenciosos. Especialmente a Marco, pela ajuda mesmo sem me conhecer.

Ao Departamento de Manutenção da FEA, pela ajuda com o secador sempre que precisei.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de mestrado.

A Vanessa, pelo apoio em tudo momento, por ter me ensinado o uso do DSC e sobretudo pela amizade nos momentos de maior estresse.

A Kathia, por toda a ajuda durante o uso do Texturômetro.

A Diana, pelo apoio do princípio ao fim; conhecer-te foi um dos maiores presentes que o Brasil me deu.

A Selene, pela amizade, pelas muitas conversas, e por ter estado comigo nos momentos mais difíceis.

A Pri, Pingo e Jú, pela maravilhosa amizade construída ao longo desse tempo e por sempre terem me apoiado.

As meninas do laboratório, por todas as “dicas” e todos os momentos compartilhados.

As meninas da minha turma, que fizeram parte desses dois anos inesquecíveis.

A Dn^{ca}. Inelda, Creusa, Deise e Sophie, por ser minha família brasileira.

Muito Obrigada !!!

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1	BANANA	5
2.2	BANANA NANICA.....	7
2.3	SNACK	8
2.4	SECAGEM	9
2.4.1	SECAGEM HTST E <i>PUFFING</i>	11
2.4.2	BANANA CROCANTE	12
2.5	TEXTURA	14
2.5.1	CROCÂNCIA	15
2.6	ENCOLHIMENTO	18
2.7	MICROSCOPIA ÓTICA E ANÁLISE DE IMAGEM	20
2.8	TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO VÍTREA.....	22
2.9	COR.....	26
3	MATERIAIS E METODOS	28
3.1	MATERIAIS.....	28
3.1.1	MATÉRIA-PRIMA.....	28
3.1.2	SECADOR	29
3.2	MÉTODOS.....	32
3.2.1	MATÉRIA-PRIMA.....	32

3.2.2	PRODUTO FINAL	35
3.2.3	PROCESSO DE SECAGEM	39
3.2.4	DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO VÍTREA.....	43
3.2.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA MATÉRIA-PRIMA.....	48
4.2	TESTES PRELIMINARES.....	50
4.3	ENSAIOS DE SECAGEM	52
4.3.1	UMIDADE	59
4.4	CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO FINAL	62
4.4.1	ATIVIDADE DE ÁGUA.....	62
4.4.2	CROCÂNCIA	64
4.4.3	FORÇA MÁXIMA	67
4.4.4	ENCOLHIMENTO	69
4.4.5	COR INSTRUMENTAL	71
4.4.6	DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE POROS	77
4.5	TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO VÍTREA AO LONGO DO PROCESSO DE SECAGEM	80
4.5.1	RELAÇÃO ENTRE UMIDADE E ATIVIDADE DE ÁGUA.....	81
4.5.2	RELAÇÃO ENTRE CROCÂNCIA E ATIVIDADE DE ÁGUA.....	84
4.5.3	RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO VÍTREA E ATIVIDADE DE ÁGUA.....	86
4.5.4	CROCÂNCIA E TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO VÍTREA	89

4.6	TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO VÍTREA EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS	91
4.6.1	UMIDADE DE EQUILÍBRIO	91
4.6.2	CROCÂNCIA EM FUNÇÃO DA ATIVIDADE DA ÁGUA E DOS TRATAMENTOS DE SECAGEM	92
4.6.3	TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO VÍTREA EM FUNÇÃO DA ATIVIDADE DE ÁGUA E DOS TRATAMENTOS DE SECAGEM	94
5	CONCLUSÕES.....	97
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
	APÊNDICE A.....	111
	APÊNDICE B.....	113
	APÊNDICE C	115
	APÊNDICE D	118
	APÊNDICE E.....	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 Estádios de maturação da banana.....	6
Tabela 2-2 Composição química aproximada da banana Nanica madura produzida no Brasil.....	8
Tabela 3-1 Matriz de tratamentos avaliados.....	41
Tabela 3-2 Tempos de amostragem para a determinação da intensidade de número de picos e da temperatura de transição vítrea.....	44
Tabela 4-1 Composição química da banana Nanica.....	48
Tabela 4-2 Tratamentos de secagem avaliados.....	53
Tabela 4-3 Conteúdo de umidade das amostras de cada tratamento de secagem no final da etapa de resfriamento e no final do processo e a UR do ar ao longo do processo.....	61
Tabela 4-4 Atividade de água das amostras em função do tratamento de secagem.....	63
Tabela 4-5 Parâmetros da cor da matéria-prima em função do tratamento de secagem ..	72
Tabela 4-6 Distribuição do tamanho de poros e total de poros das amostras em função do tratamento de secagem.....	79
Tabela 4-7 Umidade e atividade de água das amostras em função do tempo de amostragem.....	82
Tabela 4-8 Número de picos e atividade de água das amostras em função do tempo de amostragem.....	85
Tabela 4-9 Temperatura de transição vítrea e atividade de água das amostras em função do tempo de amostragem.....	88
Tabela 4-10 Umidade de equilíbrio das amostras dos tratamentos de secagem em função da atividade de água.....	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 Classificação da banana Nanica.....	7
Figura 3-1 Preparação da matéria-prima.	29
Figura 3-2 Fotos do secador e do equipamento de aquisição de dados.....	31
Figura 3-3 Desenho esquemático do equipamento de secagem.....	32
Figura 3-4 Desenho esquemático das variáveis estudadas em função do tempo da etapa de resfriamento.....	40
Figura 3-5 Fluxograma do procedimento de secagem.	43
Figura 4-1 Perfis de redução de temperatura teórico do ar de secagem dos tratamentos estudados em função do tempo total da etapa de resfriamento.	54
Figura 4-2 Perfil de temperaturas real do ar antes de entrada, ar dentro do secador e temperatura média de banana correspondente ao tratamento 10-7,5 em função do tempo de secagem.	55
Figura 4-3 Estrutura final da banana de acordo com o tratamento estudado.	57
Figura 4-4 Conteúdo de umidade ao final de etapa de resfriamento em função dos tratamentos de secagem.	62
Figura 4-5 Número de picos no produto final em função dos tratamentos de secagem. ..	65
Figura 4-6 Força máxima média no produto final em função do tratamento de secagem. 67	
Figura 4-7 Encolhimento do produto final em função dos tratamentos de secagem.....	69
Figura 4-8 Mudança do parâmetro L^* da cor do produto final em função do tratamento de secagem.	73
Figura 4-9 Mudança do parâmetro a^* da cor do produto final em função do tratamento de secagem.....	74
Figura 4-10 Mudança do parâmetro b^* da cor do produto final em função do tratamento de secagem.	75

Figura 4-11 Distribuição do tamanho dos poros das amostras em função do tratamento de secagem.....	78
Figura 4-12 Relação entre umidade e atividade de água das amostras em função do tempo de amostragem.....	83
Figura 4-13 Relação entre o número de picos e atividade de água em função do tempo de amostragem.....	86
Figura 4-14 Relação entre o número de picos e temperatura de transição vítrea em função da umidade das amostras.....	89
Figura 4-15 Número de picos em função da atividade de água para diferentes tratamentos de secagem.....	93
Figura 4-16 Temperatura de transição vítrea em função da atividade de água para diferentes tratamentos de secagem.....	95

RESUMO

Neste trabalho estudou-se a secagem de banana Nanica empregando um pulso inicial a alta temperatura e curto tempo (150°C e 15 minutos), seguido de uma etapa de resfriamento e uma etapa de secagem convencional a ar quente a 70°C. Na primeira parte do trabalho, avaliou-se especificamente a etapa de resfriamento pós-pulso HTST quanto aos atributos de crocância, encolhimento e cor no produto terminado. Analisaram-se também as mudanças estruturais através de microscopia ótica. Na segunda parte do trabalho, estudou-se a temperatura de transição vítrea, através de Calorimetria Diferencial de Varredura, em bananas submetidas a este processo de secagem. Os resultados mostraram que, na etapa de resfriamento, a redução gradual de temperatura associada com tempos longos foi importante para que o produto mantivesse a estrutura porosa e crocante, porém também ocasionou produtos com cor escura, com baixos valores de luminosidade. Em contraposição, a redução acelerada de temperatura na etapa de resfriamento ocasionou a perda da estrutura porosa, além de os produtos finais ficarem duros e encolhidos; no entanto, a degradação de cor foi menor. Uma redução gradual da temperatura, com amplitude de 10°C e período de 7,5 minutos, totalizando 75 minutos, mostrou-se adequada para a manutenção da estrutura porosa e crocante, com a menor degradação de cor. A temperatura de transição vítrea decresceu com o aumento do conteúdo de umidade, para todas as amostras, comprovando o efeito plasticizante da água. O início da crocância nas amostras, expressada em número de picos do gráfico força-deformação, foi identificada entre 11% e 6% de umidade (bu).

Palavras-chave: Banana, Secagem, Encolhimento, Crocância, Cor, Temperatura de Transição Vítrea.

ABSTRACT

This work studied the drying of banana Nanica employing an initial pulse at high temperature and short time (150°C and 15 minutes); a cooling stage and a final hot air drying at 70°C. In the first part of this work, it was analyzed the post-pulse stage, as attributes of crispness, shrinkage and color. The structural changes also had been analyzed with optical microscopy. In the second part of this work, glass transition temperature of banana, dried with the same process, was studied by Differential Scanning Calorimetry. The results showed that in the cooling stage, the gradual reduction of temperature with longer times, were important for the product retains the porous structure and crispness, but also caused the formation of dark color products with lowest values of brightness. On the other hand, the sudden reduction of temperature, in the cooling stage, caused the loss of the porous structure, and final products became harder and shrunken but with less color degradation. A gradual decrease of temperature with amplitude of 10°C and period of 7.5 minutes summarizing 75 minutes of the cooling stage, proved to be appropriate for the maintenance of porous and crispness structure, with less color degradation. The glass transition temperature decreased with increasing moisture content for all the samples, confirming the water plasticization effect. Crispness in the samples, expressed in peaks number in stress-strain graphs, was initially observed between 11% and 6% of moisture content (wb).

Keywords: Banana, Drying, Shrinkage, Crispness, Color, Glass Transition Temperature.

NOMENCLATURA

a*	parâmetro de cromaticidade (+a* = vermelho e -a* = verde)
a _w	atividade de água (adimensional)
b*	parâmetro de cromaticidade (+b* = amarelo e -b* = azul)
bs	base seca (kg H ₂ O/kg sólido seco)
bu	base úmida (kg H ₂ O/kg amostra)
dp _{eq}	diâmetro equivalente (µm)
DSC	Calorimetria Diferencial de Varredura
GAB	Guggenheim Anderson Boer
HTST	high temperature and short time – pulso de secagem a alta temperatura e curto tempo
L*	luminosidade (L*=0 preto e L*=100 branco)
p-valor	nível de significância estatística
S _b	encolhimento (adimensional)
t	tempo (min ou h)
T	temperatura (°C)
T _g	temperatura de transição vítrea (°C)
UR	umidade relativa do ar
v	velocidade (m/s)
V _{bo}	volume aparente da amostra fresca (mL)
V _b	volume aparente da amostra seca (mL)
SEM	Microscópio Eletrônico de Varredura

Subscrito

o	banana fresca
s	banana seca
0	amostra coletada aos 90 min

- | | |
|---|------------------------------|
| 1 | amostra coletada aos 180 min |
| 2 | amostra coletada aos 270 min |
| 3 | amostra coletada aos 360 min |
| 4 | amostra coletada aos 450 min |

Letras gregas

- | | |
|--------------|-----------------------------------|
| Δa^* | Mudança do parâmetro a^* da cor |
| Δb^* | Mudança do parâmetro b^* da cor |
| ΔL^* | Mudança do parâmetro L^* da cor |

1 INTRODUÇÃO

A banana assume lugar de destaque na produção mundial de bens agrícolas por parte de diversos países, marcadamente aqueles localizados nos trópicos. A Índia lidera o ranking dos produtores com um volume de 26.217.000 toneladas da fruta em 2007, em quarto lugar encontra-se o Brasil com 6.998.150 toneladas. A banana é a segunda fruta mais produzida no Brasil, atrás apenas da laranja (FAO, 2008).

A falta de cuidados na fase de comercialização é responsável por aproximadamente 40% de perdas do total de banana produzida no Brasil. As perdas são maiores nas Regiões Norte e Nordeste, onde a atividade é menos organizada. Nas Regiões Sul e Sudeste as perdas são menores. As perdas estão assim distribuídas: na lavoura (mais de 5%); no processo de embalagem (mais de 2%); no atacado (6 a 10%); no varejo (10 a 15%); e no consumidor (5 a 8%) (BORGES, 2003).

Praticamente toda a produção de banana é consumida *in natura* e somente uma pequena parcela é submetida a algum processo de industrialização. Nas regiões menos desenvolvidas economicamente o cultivo da banana desempenha um papel econômico e social relevante, atuando na fixação da mão-de-obra rural, gerando postos de trabalho no campo, e nas cidades contribuindo para o desenvolvimento regional. Os produtos derivados da banana produzidos no Brasil são: purê (corresponde a 55%); bananada (20%); banana passa (13%); flocos (10%) e *chips* (2%) (SILVA et al.,2008).

Outros produtos desidratados da banana são a banana liofilizada, já no mercado, e a banana na forma de *snacks*, ainda não devidamente explorada no Brasil, a qual se diferencia da banana *chip* por não incluir a fritura em seu processamento, apresentando menor teor calórico, o que a torna uma alternativa importante na dieta do brasileiro. Particularmente, tendo em vista que o controle da obesidade, segundo a Organização Mundial da Saúde (W.H.O., 2010), sobretudo ao longo das duas últimas décadas tem sido um dos maiores desafios de pesquisadores e profissionais, uma vez que o acúmulo excessivo de gordura corporal está associado ao desenvolvimento ou agravamento de inúmeras disfunções metabólicas.

A banana liofilizada é uma boa escolha em relação aos *snacks* tradicionais elaborados a base de farinhas (milho, batata ou trigo) e à banana *chips*, quanto à escolha de um *snack*, devido ao baixo teor calórico e baixo conteúdo de gorduras. Porém, a liofilização é um processo lento e muito caro comparado com outras técnicas de secagem, sendo aplicado mais comumente em produtos de alto valor agregado (LUCCAS, 1996).

Um pulso de secagem a alta temperatura e curto tempo (*High Temperature and Short Time – HTST*) combinado com uma secagem convencional a ar quente é uma alternativa para a produção de *snacks* de banana, pois permite reduzir o tempo total de secagem, apresenta efeito de inativação enzimática, promove aumento do volume do sólido (*puffing*) e sua porosidade, melhorando as características sensoriais do produto, especialmente aquelas associadas à crocância. Em condições adequadas de secagem o sólido pouco altera sua forma expandida e, ao final do processo, pode apresentar porosidade suficiente para que sua textura seja mais crocante.

Na literatura encontram-se alguns estudos sobre as condições ótimas do pulso HTST para obter banana crocante, estudos sobre os efeitos da composição química e grau de maturação sobre a crocância, dentre as quais destacam-se aquelas realizadas na Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP. Porém, esta técnica de processamento não está plenamente desenvolvida, pois apesar das evidências sobre os efeitos da etapa de resfriamento pós-pulso HTST sobre as características de crocância e cor, há poucos estudos publicados a este respeito.

Assim, em complementação às pesquisas anteriores realizadas. O objetivo principal deste estudo foi avaliar a etapa de resfriamento pós-pulso HTST na produção de *snacks* de banana desidratada quanto aos atributos de qualidade de crocância e cor, em função de duas variáveis: a amplitude de degrau de temperatura, denominada como amplitude e o tempo de permanência nessa temperatura, denominada como período.

Os objetivos específicos foram:

1. Definir as faixas de estudo das variáveis amplitude e período, visando o estudo da etapa de resfriamento no processo de obtenção de banana Nanica crocante.
2. Realizar ensaios experimentais de secagem (pulso HTST + etapa de resfriamento + secagem convencional) com distintos valores de amplitude e período até atingir $a_w < 0,3$ no produto final.
3. Caracterizar, em cada ensaio, o produto final através de textura instrumental, encolhimento e cor instrumental.

4. Caracterizar a estrutura porosa do produto final através de microscopia ótica.
5. Avaliar, mediante métodos estatísticos os efeitos das variáveis, amplitude e período, sobre as características de crocância e cor da banana crocante.
6. Determinar a temperatura de transição vítrea por Calorimetria Diferencial de Varredura de amostras retiradas ao longo do processo, de maneira a compreender a transição de fase da banana desidratada e relacioná-la com a crocância.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BANANA

As bananas são provavelmente oriundas do quente e úmido sudeste asiático, de onde provêm os mais antigos registros de seu cultivo e as mais antigas lendas construídas ao seu redor. Para muitos, a antiguidade e a origem asiática da banana são fatos incontestáveis (SILVA, 2001).

Antes da chegada dos europeus à América, ao que tudo indica, existiam algumas espécies de bananeiras nativas. Seus frutos, porém, não eram consumidos crus, necessitando de preparo ou de cozimento prévio, não constituindo parte principal da dieta das populações autóctones. Presume-se que foi apenas a partir do século XV que a banana, seu cultivo e seus usos foram introduzidos no continente americano. Atualmente, no Brasil, encontram-se bananas em qualquer parte, destacando-se as regiões Nordeste e Sudeste como as maiores produtoras nacionais da fruta (SILVA, 2001).

Quando não maduras as bananas são, em geral, de cor verde. Seu sabor é adstringente e intragável: diz-se que quando a banana está verde ela “pega” na boca. Isto porque, antes de sua maturação, as bananas se compõem basicamente de amido e água. Tanto é assim que, com a maioria das bananas verdes, pode-se produzir uma farinha extremamente nutritiva que tem inúmeras aplicações na alimentação. Em seu processo de maturação a maior parte desse amido contido

nas bananas transforma-se em açúcares. É por isso que, de maneira geral, a banana é uma das frutas mais doces entre todas as frutas (SILVA, 2001).

Lii (1982 *apud* KATEKAWA, 2006) classifica a banana em nove estádios de maturação que se constituem de uma escala baseada no aspecto da fruta e na relação com os teores de amido e açúcar, os quais estão apresentados na Tabela 2-1.

Tabela 2-1 Estádios de maturação da banana.

Estádio de Maturação	Aspecto da fruta	Amido (%)	Açúcares Redutores (%)	Sacarose (%)
1	Fruta verde	61,7	0,2	1,2
2	Fruta verde	58,6	1,3	6,0
3	Fruta verde com traços amarelos	42,4	10,8	18,4
4	Fruta mais verde que amarela	39,8	11,5	21,4
5	Fruta mais amarela que verde	37,6	12,4	27,9
6	Fruta amarela, extremidade verde	9,7	15,0	53,1
7	Fruta inteiramente amarela	6,3	31,2	51,9
8	Fruta amarela com pequenas manchas pardas	3,3	33,8	52,0
9	Fruta amarela com grandes manchas pardas	2,6	33,6	53,2

Fonte: Lii (1982 *apud* KATEKAWA, 2006).

2.2 BANANA NANICA

A banana Nanica é conhecida também como banana-d'água, banana verde, banana-anã ou banana-da-china. Cada cacho pesa em média 25 quilos e o número de bananas varia entre 126 e 214. Tem casca de cor amarela e polpa de cor creme, sendo muito doce e agradável ao paladar (MEDINA, 1978).

A avaliação do grau de maturação e classe da banana Nanica é normalmente feita através da comparação da cor da casca com figuras já padronizadas, como mostra a Figura 2-1.

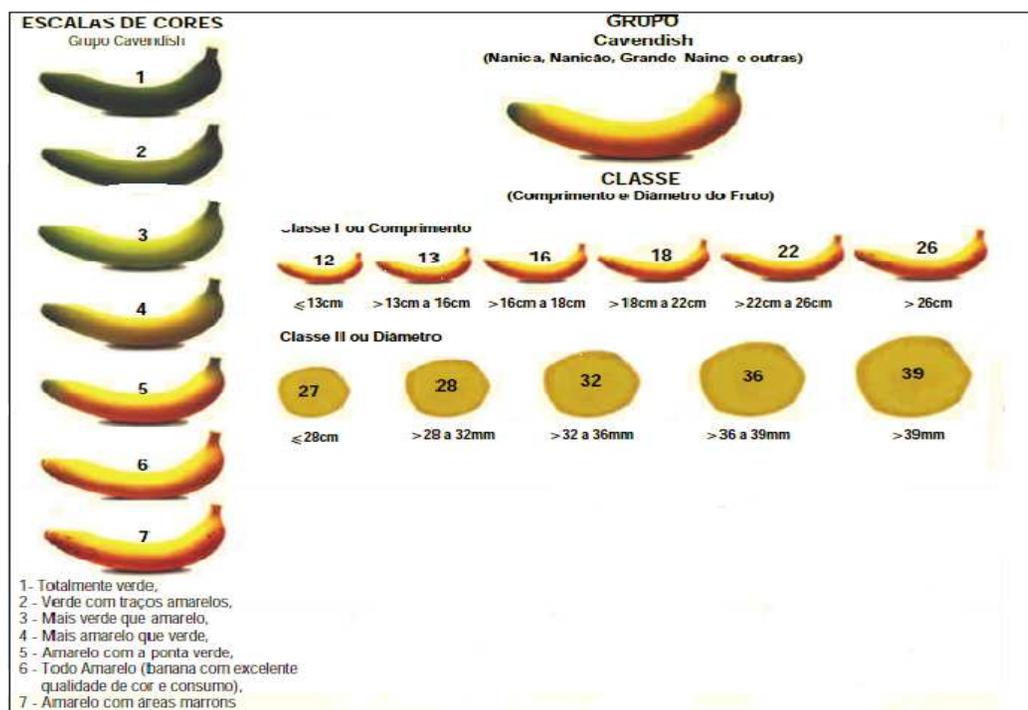


Figura 2-1 Classificação da banana Nanica.

Fonte: Frutiséries 6.

A composição centesimal da porção comestível da banana Nanica está apresentada na Tabela 2-2, segundo alguns trabalhos relatados na literatura.

Tabela 2-2 Composição química aproximada da banana Nanica madura produzida no Brasil.

Nutriente	MEDINA (1985) <i>apud</i>	JESUS	NEPA	OLIVEIRA
	HOFSETZ (2007) ¹	(2005) ²	(2006) ¹	(2007) ¹
Água (%)	75,6	72,6	73,8	70,9
Açúcares Totais (%)	20,4	23,1	23,8	17,3
Açúcares redutores (%)	ND	22,0	ND	3,6
Amido (%)	1,2	2,9	ND	9,1
Fibra (%)	0,6	ND	1,9	ND
Proteína (%)	1,2	ND	1,4	1,1
Gorduras (%)	0,2	ND	0,1	0,9
Cinza (%)	0,8	ND	0,8	1,4

Nota: ¹ Em 100 g de polpa fresca. ² Em 100 g de fruta fresca.ND Não disponível.

2.3 SNACK

Segundo Sajilata (2005), *snack* é definido como uma refeição leve consumida entre as refeições regulares que incluem uma gama de produtos que podem assumir muitas formas. Os *snacks* que chegam ao consumidor podem ser cozidos, fritos e cobertos de cacau, além de apresentar muitos aromas e sabores diferentes (FUNDACION EROSKI, 2007).

Muitos trabalhos sobre o estudo da composição nutricional em amostras de *snacks* tradicionais, cozidos e fritos foram relatados na bibliografia. A primeira conclusão dessas análises foi de que esses *snacks* são alimentos ricos em energia (450-540 calorias cada cem gramas) e seus principais ingredientes são

farinhas de milho e batatas, ambas ricas em carboidratos e gorduras além da que é usada para fritar ou assar. Também contém quantidades importantes de edulcorantes, conservantes, saborizantes artificiais e outros ingredientes em menor proporção (FUNDACION EROSKI, 2007).

A inclusão das frutas e verduras no cardápio é importante devido não só ao conteúdo de vitaminas, minerais e outros componentes essenciais para a saúde humana, mas também ao baixo conteúdo calórico, de gordura e carboidratos. Os *snacks* saudáveis e nutritivos a base de frutas desidratadas encontram-se cada vez mais facilmente em diversos estabelecimentos. Muitos métodos de secagem têm sido projetados para obter esses diferentes tipos de *snacks*, entre eles a combinação de um pulso a alta temperatura, acompanhado de uma secagem convencional.

2.4 SECAGEM

Uma das primeiras regras de processamento de alimentos é converter alimentos perecíveis, tais como frutas, em produtos estáveis que podem ser armazenados por longos períodos de tempo, reduzindo desta forma suas perdas. Vários processos tecnológicos têm sido explorados em escala industrial para preservar alimentos perecíveis, tais como, enlatamento, congelamento e desidratação, sendo esta última, a mais antiga (LIMA; NEBRA; QUEIROZ, 2000).

A técnica mais utilizada na produção de frutas e hortaliças desidratadas é a secagem, dos vários métodos de secagem salientam-se os métodos térmicos, que

permitem a obtenção de baixas porcentagens finais de água, entre esses métodos destaca-se a convecção; a corrente de ar é o meio mais utilizado para a transferência de massa e energia (FIGUEIREDO, 1986).

Alguns trabalhos relatam que a secagem intermitente, variando a temperatura do ar de secagem no decorrer do processo, foi favorável para alguns alimentos, principalmente no período de queda da velocidade de secagem, porque produz melhora da qualidade dos produtos, em comparação com a técnica de secagem convencional utilizando uma única temperatura (CHUA; MUJUMDAR; CHOU, 2003). Aquerreta et al. (2007), estudou o efeito da secagem intermitente na qualidade do arroz, amostras foram secas de 18% ou 21% até 12% de umidade (bu). A secagem em uma etapa foi feita a 60°C; a secagem em duas etapas foi feita a 40°C e 60°C; e a secagem em três etapas foi feita a 40°C, 50°C e 60°C; os autores concluíram que independentemente do tratamento pós-secagem realizado nas amostras, a secagem em uma etapa produziu um número significativamente maior de grãos fissurados que a secagem em duas ou três etapas. Chua et al. (2001) secaram fatias de banana desde 35°C até 15°C, utilizando três diferentes perfis de temperatura para o ar de secagem; os autores observaram que utilizando-se as condições apropriadas de degrau da temperatura (amplitude) e tempo de permanência nessa temperatura (período) foi possível reduzir significativamente o tempo total da operação, melhorando as características da cor no produto final.

2.4.1 SECAGEM HTST E *PUFFING*

Segundo Varnalis (2001), a qualidade dos alimentos desidratados está relacionada com a porosidade e a porcentagem de encolhimento. O encolhimento é resultado do colapso da estrutura interna original. Para poder evitar esse colapso a estrutura deve ser porosa; logo, uma alternativa para produzir um alimento poroso é o processo de *puffing*.

Payne, Taraba e Saputra (1989) define o *puffing* como um processo que envolve o desprendimento ou expansão de um gás no interior do produto para gerar uma estrutura interna, para expandir ou romper uma estrutura já existente. Segundo os autores, o processo de *puffing* foi usado há muito tempo com a finalidade de alterar a estrutura dos alimentos. Durante os anos 1900 as técnicas de *puffing* se tornaram parte da indústria dos alimentos prontos para o consumo.

Segundo Varnalis, Brennan e Macdougall (2001) existem muitos métodos para obter-se o *puffing*, entre eles o processo de secagem a alta temperatura e curto tempo. Esse processo envolve uma primeira etapa a alta temperatura, durante a qual forma-se uma camada inicial na superfície do sólido, esta camada parcialmente seca promove o *puffing*. Segundo o autor, o mecanismo do HTST-*puffing* está descrito pela seguinte seqüência de passos.

1. Secagem inicial necessária para a formação da camada superficial.
2. Transferência de massa reduzida, pela presença da camada superficial.
3. Processo de *puffing*, no qual a umidade do alimento se converte em vapor de água.

4. A camada superficial formada impede a perda desse vapor.
5. A força que o vapor exerce sobre as paredes do produto promove a formação da estrutura porosa e o aumento do volume.
6. Secagem adicional para manter a estrutura do produto.

2.4.2 BANANA CROCANTE

Luccas (1996) obteve *puffing* em banana prata em secador fluidizado operando entre 130°C e 150°C, de 6 min a 15 min, com ar quente a 10 m/s, seguido de uma secagem convencional em secador de bandejas a 70°C por 5,5 horas e 1,5 m/s. O autor utilizou imersão prévia em solução de amido gelatinizado, o qual foi responsável pela formação de uma barreira à migração da água interior, de maneira que esta pudesse sofrer mudança de fase com o aumento da temperatura e, assim, promover a expansão e o aumento da porosidade. As condições ótimas encontradas pelo autor foram pulso HTST a 130°C por 12 min, seguido de uma secagem posterior a 70°C por 5,5 horas.

Visando reproduzir os resultados encontrados por Luccas (1996), Cardoso (1998), estudou o processo de secagem de banana-prata em leito vibro-fluidizado utilizando um pré-tratamento das amostras em solução de Polietilenoglicol (1000 g/mol) a uma concentração de 2% com metabisulfito de sódio 0,5%, de modo a fortalecer a estrutura celular, aliado a um pulso de secagem HTST nas temperaturas de 130°C e 150°C e tempos de 13 e 8 minutos, respectivamente. Após o pulso HTST o produto passou para uma secagem convencional a 70°C com velocidade do ar de 3 m/s. A autora concluiu que a condição de secagem

HTST apresentou uma correlação linear entre a perda de umidade e o tempo, sendo que a temperatura e a velocidade do ar dentro da faixa estudada não afetaram a sua cinética. A vibração contribuiu decisivamente para a expansão do produto, obtendo-se banana desidrata crocante de menor densidade.

Hofsetz (2003) estudou o processo de secagem de banana Nanica para a obtenção de banana crocante utilizando um pulso HTST. Ela relatou que a análise sensorial da crocância apresentou valores de notas que tiveram uma relação direta com os resultados da medida instrumental de textura, medida em termos de número de picos do gráfico força-deformação. Amostras com atividade de água igual a 0,32 foram aceitas como crocantes pelo painel sensorial. Foi verificado também que para as temperaturas de 130°C e 150°C, o aumento de tempo da etapa HTST provocou um aumento no número de picos. Além disso, a diferença da composição química da matéria-prima foi um fator relevante no processo.

Mais recentemente Hofsetz (2007), secou amostras de banana de origem portuguesa através de uma combinação de pulso a alta temperatura (130°C-23 min, 140°C-15 min e 150°C-12 min) seguida de uma secagem convencional à temperatura média (70°C), comparando-as a frutas secas sem o uso da técnica HTST. Os produtos secos por HTST apresentaram maior porosidade e menor encolhimento comparado com o produto seco apenas à temperatura média (secagem convencional). No tratamento 150°C-12 min, as bananas encolherem até 60% de seu volume original, e a sua porosidade em média aumentou 54%, resultando na formação de uma estrutura altamente porosa. Amostras de banana Nanica também foram secas no Brasil e as condições de estudo foram 130°C-30 min e 150°C-15 min. O incremento na porosidade, no caso do tratamento 150°C-15 min, foi em média até 57,5% e tiveram uma diminuição do volume inicial até

68,5%. A autora constatou que um tempo total de 50 minutos da etapa de resfriamento (150°C até 70°C) foi o mais adequado para manter a estrutura das amostras com o mínimo grau de encolhimento.

Oliveira (2007) avaliou a influência da composição química da banana Nanica (*Musa acuminata Colla subgrupo Cavendish*), proveniente de duas origens e três graus de maturação sobre as características de crocância e cor do produto final. A autora concluiu que as variáveis significantes para a crocância, medida em termos de força máxima de deformação e número de picos foram a origem e o grau de maturação da matéria-prima, assim como seu teor de açúcares totais e redutores. Já o conteúdo de proteína, amido e cinzas não afetou a crocância das amostras. O conteúdo de açúcares redutores também mostrou-se significativo para os parâmetros da cor. A operação de secagem que produziu a banana crocante de melhor qualidade foi composta pela seguinte seqüência de etapas: HTST (150°C por 15 min) + redução gradual de temperatura (50 min) + secagem a 70°C. O tempo total desta operação até que o produto final atingisse $a_w < 0,3$ variou de 7 h a 9 h, e os valores obtidos para a_w final foram entre 0,18 e 0,29.

2.5 TEXTURA

Segundo Szczesniak (1990), textura é definida como um dos atributos mais valiosos dos alimentos afetando a aceitação do consumidor e a preferência por certos alimentos.

Embora existam outras definições para a textura, um acordo geral foi alcançado na definição de textura que evoluiu a partir dos esforços de muitos pesquisadores. Eles afirmam que a textura é a manifestação sensorial e funcional da estrutura, das propriedades mecânicas e de superfície dos alimentos, detectada pelos sentidos de visão, audição e tato. Esta definição transmite conceitos importantes tais como: textura é uma propriedade sensorial e portanto, apenas um ser humano (ou um animal, no caso de alimentos para animais) pode perceber e descrever; os instrumentos de testes de textura podem detectar e quantificar apenas alguns parâmetros físicos que, em seguida, devem ser interpretados em termos da percepção sensorial; é um atributo de muitos parâmetros, não só a suavidade ou mastigabilidade, mas uma gama de outras características; deriva da estrutura dos alimentos (molecular, microscópico ou macroscópico); e finalmente é detectado por vários sentidos, o mais importante é o sentido de tato (SZCZESNIAK, 2002).

2.5.1 CROCÂNCIA

Devido à importância da crocância na aceitação dos alimentos, as indústrias de processamento de alimentos consideraram a necessidade de controlar esta característica tanto durante a produção quanto durante o armazenamento. Para alcançar esse objetivo é necessário o conhecimento intrínseco de parâmetros (físicos, químicos) responsáveis pela crocância. Mas crocância, como qualquer outro atributo da textura, não depende apenas de parâmetros reológicos e características mecânicas exibidas pelo produto; mas também do consumidor que

identifica as sensações percebidas ao se comer. Assim, para compreender os mecanismos subjacentes à crocância e à percepção é necessário compreender o significado que os consumidores dão para a palavra crocância. (ROUDAUT et al., 2002).

Segundo Dijksterhuis et al. (2004), os atributos de crocância são resultado das múltiplas sensações: sabor, odor, tato e particularmente de textura e som. Embora uma única definição exata para crocância não exista, vários autores concordam que é uma propriedade sensorial relacionada com a fratura sucessivas do sólido quando mastigado. Para que um produto seja crocante a textura dele deve ser firme, dura, tem que quebrar e desintegrar-se abruptamente e complementarmente durante a mastigação.

Segundo Roundant et al. (2002) originalmente as medidas de crocância eram executadas em instrumentos desenvolvidos para a ciência dos materiais, os quais forneciam parâmetros físicos com significância fundamental em termos de propriedades reológicas. Esses parâmetros não dão a medida direta da crocância, mas podem ser usados como indicadores que podem ser validados pelos dados sensoriais. Como a crocância apresenta um componente detectado pelo sentido da audição, alguns métodos desenvolvidos para estudar essa propriedade têm se focado nos sons gerados durante a fratura, sendo estes gravados durante a mastigação. Esses sons são muito representativos dos estímulos auditivos relacionados à crocância principalmente quando vibrações conduzidas no ar e nos ossos são gravadas e analisadas juntas. Já que a percepção da crocância é um processo oral, testes baseados na gravação da força quando a deformação é aplicada ao produto mostram-se adequados. Os testes mais comumente usados são de compressão, devido a sua semelhança com o processo de mastigação

(nesses ensaios, a amostra é comprimida entre duas placas ou por um êmbolo de compressão). Um gráfico força-deformação é obtido e é caracterizado por uma série de picos de força correspondentes ao rompimento da parede celular individual.

Pamies et al. (2000) relataram que o número total de picos de um gráfico força-deformação estão relacionadas com a crocância, e que eles podem ser empregados no lugar de uma análise sensorial para o estudo de cereais de baixos conteúdos de umidade. Tsukakoshi, Shigehiro e Ishida (2008) avaliaram dois tipos de *snack* um feito a base de farinha de trigo e outro feito a base de arroz e concluíram que o número de fraturas observadas no gráfico força-deformação resultou ser um bom preditor da crocância sensorial.

Sanz, Primo-Martin e Van Vliet (2007) estudaram a influência do tempo da etapa de pré-fritura e fritura na crocância da batata palha. Foram feitos simultaneamente, a contagem de picos e a análise das propriedades acústicas da simulação do comportamento humano no processo de mastigação; os resultados mostraram concordância entre si.

Lazou e Krokida (2010) estudaram as propriedades estruturais e de textura de *snacks* de milho obtidos por extrusão variando o conteúdo inicial de umidade de 13 a 19% em base úmida (bu); eles demonstraram que a força máxima de deformação do gráfico força-deformação foi afetada pelo conteúdo inicial de água, sendo que a maior conteúdo de umidade os *snacks* mostraram-se mais duros.

No entanto, Prachayawarakorn et al. (2008) estudaram a secagem de fatias de banana a altas temperaturas, modificando a temperatura de 110°C a 140°C, com um conteúdo de umidade inicial de 2,5 a 3 até um conteúdo final em torno de

0,04 base seca (bs). Os autores mostraram que a força máxima de deformação não apresentou uma diferença estatística ($p > 0,05$) entre os tratamentos.

De acordo com Katz e Labuza (1981), a perda de crocância para produtos tipo *snack* é devido à absorção de umidade, provocando a rejeição pelos consumidores. A água afeta a textura dos alimentos através do amaciamento e plasticização da matriz protéica, o que altera a resistência mecânica do produto. Os autores estudaram o efeito da atividade de água (a_w) sobre a crocância sensorial e a deformação mecânica de produtos tipo *snack*. Quando a a_w aumentou, a aceitabilidade sensorial reduziu. Produtos com $a_w > 0,35$ mostraram-se inaceitáveis sensorialmente.

Mazumder, Roopa e Bhattacharya (2007) analisaram a crocância para snacks feitos a base de farinha de milho e concluíram que além de o número de picos do gráfico força-deformação ser um bom indicador da crocância, eram diminuídos a zero com o incremento da umidade (10% bu), indicando assim a perda da crocância.

2.6 ENCOLHIMENTO

Segundo Katekawa (2006), o material úmido pode ser considerado como uma mistura de no mínimo duas fases: a matriz sólida e a água líquida em equilíbrio mecânico. Quando a água é removida do interior da matriz sólida, a diferença entre a pressão externa e a pressão interna leva ao aparecimento de tensões que podem causar a redução de volume do material. Por esta razão,

processos de secagem do material sob vácuo minimizam alterações na estrutura sólida ao criar uma diferença menor entre a pressão externa e a pressão interna. Dependendo das características do material e das condições de operação, estas tensões de secagem podem não ser uniformes. Tensões localizadas levam a um encolhimento maior de algumas regiões do material, causando não só a redução do volume global, mas também alterações na sua estrutura. Em casos extremos, a diferença das tensões em regiões do material pode levar ao aparecimento de fissuras na superfície e até mesmo à quebra da estrutura sólida.

O encolhimento é normalmente expresso pela relação entre o volume da amostra antes e após a secagem. Um pequeno número de pesquisadores tem expressado o encolhimento como uma função da mudança de dimensões selecionadas das amostras, medidas com vernier ou pinças digitais (YAN; SOUSA-GALLAGHER; OLIVEIRA, 2007). Outros pesquisadores tentaram modelar o comportamento do encolhimento através de dois tipos de modelos: empíricos e fundamentais. Modelos empíricos são obtidos por meio de análise da regressão dos dados de encolhimento. Modelos fundamentais são baseadas em uma interpretação física da estrutura do alimento e das mudanças dimensionais devido à variação do volume ao longo do processo de secagem (MAYOR; SERENO, 2004).

É evidente que existe uma forte relação entre o conteúdo de umidade e as propriedades físicas. Entretanto, a redução do volume nem sempre apresenta uma relação única e direta com a quantidade de água evaporada. Essa propriedade também depende do tipo de material, das características do tecido celular e de sua estrutura, além das condições de processo (HATAMIPOUR; MOWLA, 2002).

Alguns pesquisadores relatam que processos de secagem a vácuo empregando baixas temperaturas podem diminuir significativamente o encolhimento, resultando em produtos finais de melhor qualidade. Já outras pesquisas mostraram que o emprego de pulso de ar frio ou quente durante a secagem incrementou a porosidade e outros atributos de qualidade, em relação às amostras secas numa secagem convencional (VALLE; CUADROS; AGUILERA, 1999).

Deng e Zhao (2008) estudaram a secagem de fatias de maçã por um pulso a vácuo a baixa temperatura (-45°C e 48 h), combinado com uma secagem convencional e uma secagem a ar quente a uma temperatura só (55°C) até umidade em torno de 10% (bu). O ar quente acelerou a perda de água e acelerou acentuadamente a destruição da estrutura celular, devido à alta temperatura de secagem e ao tempo prolongado de secagem. Os produtos finais da secagem a ar quente tinham uma estrutura compacta, encolhimento significativo e cor amarelada; já os produtos secos por pulso a vácuo a baixa temperatura apresentaram maiores temperaturas de transição vítrea, melhor textura, maior capacidade de hidratação devido ao encolhimento mínimo e o menor colapso da estrutura celular.

2.7 MICROSCOPIA ÓTICA E ANÁLISE DE IMAGEM

Devido à enorme importância do encolhimento na qualidade dos alimentos, este tem sido estudado por medições direitas ou inferidas a partir das alterações na porosidade e densidade. O problema é que as mudanças estruturais nas

dimensões durante a secagem não são isotrópicos. Com a análise de imagem dados mais precisos para o encolhimento estão se tornando disponíveis (AGUILERA, 2005).

A análise de imagem é um método não-intrusivo para medir e comparar características estruturais das imagens captadas. As imagens captadas pelo microscópio são quantificadas através do uso de *softwares* específicos, os quais realizam uma serie de etapas a fim de eliminar os defeitos de geometria, distorção, foco inadequado, ruído repetitivo, iluminação não-uniforme ou movimento da câmera (BROSNAN; SUN, 2004).

Embora a ampliação da microscopia ótica seja modesta em comparação com a microscopia eletrônica de varredura, ela abrange a faixa mais usada para análise de estrutura de muitos alimentos processados. Devido a sua grande distância focal, permite a observação de grandes pedaços de amostras durante a secagem. A análise por microscopia ótica, na qual a amostra inteira ou parte dela é iluminada uniformemente, permite inclusive que componentes químicos específicos do alimento possam ser tingidos e então distinguidos na análise da imagem (AGUILERA, 2003).

Nath e Chattopadhyay (2008) estudaram a microestrutura de *snacks* feito a base de batata obtidos a partir de *puffing* a alta temperatura e curto tempo (HTST). As amostras foram fotografadas num microscópio eletrônico de varredura (SEM) e analisadas com um aumento de 1000x. Quando as amostras de *snack* foram colocadas por mais tempo a altas temperaturas (230°C por 20s) foi observada a formação de bolhas de ar devido à alta pressão no interior do material forçando o

amido se expandir. Já ao contrário, amostras sem HTST *puffing*, mostraram-se extremadamente densas com pequenos e poucos espaços vazios.

Prachyawarakorn et al. (2008) secaram fatias de banana a 110°C, 120°C, 130°C e 140°C até umidade em torno de 4% (bu). Os autores analisaram as imagens num microscópio eletrônico de varredura e constataram que a amostra da fruta *in natura* era densa, visivelmente diferente das amostras secas, que tornaram-se altamente porosas ao final da secagem. Os poros produzidos foram de forma irregular e aleatórios em tamanho. O desenvolvimento dos poros dependeu fortemente da temperatura de secagem utilizada. As fatias altamente porosas foram obtidas com as temperaturas maiores que 120°C, com poros de tamanho maiores a 100 µm. Já as fatias de banana secas a menores temperaturas, particularmente a 110°C, tornaram-se menos porosas.

2.8 TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO VÍTREA

Segundo Champion, Le Meste e Simatos (2000), as primeiras menções da temperatura de transição vítrea em alimentos e sistemas biológicos apareceram na literatura na década de 1960. As possíveis aplicações na ciência e tecnologia de alimentos, no entanto, foi destaque somente na década de 1980. Como a estabilidade dos alimentos tem uma forte dependência com o teor de água e como a temperatura de transição vítrea (T_g) também é altamente sensível a este parâmetro, o conceito de transição vítrea tornou-se uma poderosa ferramenta para a compreensão dos mecanismos do processamento de alimentos para o controle da vida de prateleira.

Ainda de acordo com Champion et al. (2000), a temperatura de transição vítrea foi considerada como a temperatura de referência abaixo da qual o alimento deveria ser estável. Acima desta temperatura, a diferença ($T-T_g$) entre a T_g e a temperatura de armazenamento (T), foi escolhida para controlar a taxa das mudanças físicas, químicas e as mudanças biológicas. Além disso, as variações das propriedades mecânicas e de transporte na faixa de transição vítrea poderiam contribuir para um melhor controle do processamento de alguns alimentos, tais como secagem, extrusão e liofilização.

Segundo Bhandari e Howes (1999) existem problemas no estudo da transição vítrea durante a secagem, a ar quente, de produtos ricos em açúcar, pois estes produtos aparecem gomosos mesmo se o grau de umidade for muito baixo, devido ao efeito plasticizante da água e dos açúcares de baixo peso molecular que abaixam a T_g .

Krokida, Karathanos e Maroulis (1998) observaram um contínuo encolhimento durante a secagem de frutas e hortaliças. Isto foi devido à temperatura do ar de secagem foi bem acima da T_g dos alimentos submetidos à secagem. Segundo os autores, para produtos com conteúdos elevados de açúcar, se a temperatura de secagem for maior do que a T_g , o produto se mantém gomoso durante a secagem; após resfriamento eles endurecem, na medida em que a temperatura do produto cai abaixo de T_g . Valle et al. (1999) estudaram a relação entre o encolhimento e a temperatura de transição vítrea durante a secagem de maçãs a 80°C e 1,30 m/s. As amostras permaneceram no estado gomoso terminado o processo de secagem e ainda encolheram no armazenamento, até atingirem a temperatura de estabilidade.

Boudhrioua et al. (2002) secaram bananas da variedade *Musa acuminata*, subgrupo *Cavendish* (*Grande Naine*) num secador a 80°C; em tempos de amostragem que foram de 0 até 6 horas, os autores detectaram um aumento na T_g das amostras de -35°C para 35°C. Segundo os autores, as amostras de banana permaneceram no estado gomoso e quando foram resfriadas para a temperatura ambiente (20°C), entraram no estado de transição vítrea.

Segundo Karel et al. (1994), a perda da crocância é um fenômeno governado pela temperatura de transição vítrea (T_g) e pode ocorrer durante o armazenamento quando o conteúdo de água crítico ou atividade de água (a_w) crítica é excedido. O valor desta atividade de água crítica é específica para cada produto. Para produtos tipo *snacks* essa mudança geralmente ocorre em valores de atividade de água de 0,35 a 0,50, na qual a crocância é perdida e o alimento passa a não ser aceito sensorialmente (KATZ; LABUZA, 1981).

Katekawa (2006) secou banana Nanica até conteúdo de umidade igual a 0,02 (kg/kg) em base seca (bs). As análises dos termogramas obtidos do DSC mostraram a possível existência de duas temperaturas de transição vítrea. A primeira T_g foi visível em temperaturas abaixo do 0°C que, segundo o autor, corresponderam aos açúcares de baixo peso molecular e à água que atuaram como plasticizantes. A segunda T_g foi visível a temperaturas mais altas, alcançando um valor de 40°C para a amostra mais seca, a mesma que provavelmente corresponderia às macromoléculas da polpa da fruta. Segundo o autor, a presença de duas temperaturas de transição vítrea também foi relatada na bibliografia para outras frutas e indica a presença de duas fases na amostra. No caso da banana, a fase com menor valor de T_g é o tecido do endocarpo (parte interna), enquanto o tecido do mesocarpo (parte externa) é responsável pelo maior

valor. Para a secagem convectiva apenas o valor mais alto de temperatura de transição vítrea é significativo, já que o estado da outra matriz amorfa permanece inalterado durante a secagem. Finalmente, o autor concluiu que a transição vítrea ocorre numa faixa de temperatura e umidade, e não numa única temperatura e umidade.

Hofsteez (2007) estudou a transição de fase por Calorimetria Diferencial de Varredura de *snacks* de banana Nanica obtidos por um pulso HTST (150°C por 15 min) seguido de uma etapa de resfriamento (50 min) e uma secagem convencional a 70°C por 6 h. A autora coletou, ao longo de todo o processo de secagem amostras de banana fazendo a separação de meio e superfície da fruta. Amostras da parte interna da fruta (meio) mostraram-se mais úmidas cuja faixa de a_w variou desde 0,980 até 0,46; apresentaram um evento térmico semelhante a uma T_g entre -30°C e -23°C. Entretanto, devido aos poucos dados de T_g publicados na literatura nas condições de ensaio empregadas, não foi possível afirmar a existência dessa transição de fase. Por outro lado, a faixa de a_w das amostras da superfície, coletadas no mesmo tempo das amostras do meio, foi desde 0,948 até 0,338; estas apresentaram temperaturas de transição vítrea que decresceram com o aumento do conteúdo de umidade, comprovando o efeito plasticizante da água. Uma única amostra (meio e superfície) com a_w igual a 0,299 foi coletada, a mesma que se encontrava já muito seca e impossibilitava sua separação em meio e superfície e a T_g determinada nela foi de 38,7°C. A autora concluiu que nas condições estudadas, foi clara a diferença das propriedades e, sobretudo da umidade, das amostras meio e superfície. Finalmente, a autora pôde facilmente visualizar, de igual forma que Katekawa (2006), a presença de duas temperaturas

de transição vítrea, uma mais visível da outra, tanto para as amostras do meio como da superfície.

2.9 COR

Segundo Baini e Langrish (2009), cor é um dos atributos que influencia os consumidores sobre a percepção de um produto e para as frutas que são produzidas por secagem a cor do produto muda de acordo com o processo utilizado. A cor de produto desidratado e o seu escurecimento estão associados à reação de Maillard, descrita por primeira vez por Luis Maillard em 1912.

Maskan (2000) secou fatias de banana em dois processos, numa secagem convencional a 60°C e 1, 45 m/s e numa secagem em microondas a 350, 490 e 700 W. A secagem convencional resultou em menores valores do parâmetro L* (mais escuro) e menores valores do parâmetro a*; já para o parâmetro b* não foi encontrada uma diferença significativa entre os dois processos. A secagem em microondas causou menor escurecimento, porém as mudanças na cor não foram relacionadas com a potência do microondas. Segundo Barreiro, Milano e Sandoval (1997), a perda da luminosidade L* envolve a destruição dos pigmentos termolábeis que conseqüentemente resulta na formação dos compostos escuros. Um aumento do parâmetro a* pode ser devido à formação de pigmentos marrom.

Chua et al. (2001) secaram bananas desde 35°C até 15°C empregando três diferentes perfis de temperatura para o ar de secagem e concluíram que mantendo por mais tempo as amostras nas temperaturas mais altas é possível incrementar a taxa de secagem, porém a degradação da cor aumenta; já

mantendo as amostras em temperaturas mais baixas a degradação da cor foi diminuída assim como a taxa de secagem.

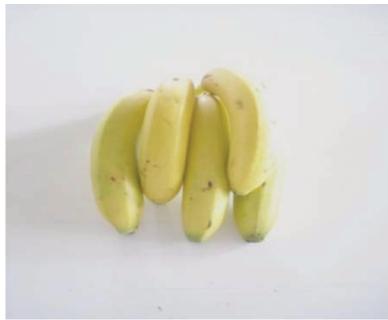
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

3.1.1 MATÉRIA-PRIMA

A matéria-prima utilizada neste estudo foi a banana Nanica (*Musa acuminata Colla subgrupo Cavendish*). As bananas foram compradas semanalmente no mercado local de onde vieram com o processo de maturação já iniciado com o uso do gás etileno. As frutas foram acondicionadas numa câmara fria localizada no Laboratório de Refrigeração do Departamento de Engenharia de Alimentos, onde permaneceram com a temperatura controlada a 18°C e umidade relativa igual a 80% até atingirem o grau de maturação desejado, dentro da faixa de 18,5°Brix a 20,0°Brix, correspondente a um estágio de maturação entre 6 e 7, segundo a Tabela 2-1 (item 2.1).

As bananas foram descascadas e cortadas com ajuda de um cortador de aço inoxidável em rodela de 1 centímetro de espessura, sendo cada rodela cortada em quatro partes iguais. Os pedaços foram dispostos numa bandeja de secagem em simples camada de acordo como a Figura 3-1(d). A Figura 3-1 mostra aspectos da etapa de preparação da matéria-prima.



(a) Matéria- prima.



(b) Cortador de aço inoxidável.



(c) Vista superior de uma rodela de banana de 1 centímetro de espessura cortada em 4 pedaços.



(d) Disposição das amostras de banana na bandeja antes do processo de secagem.

Figura 3-1 Preparação da matéria-prima.

3.1.2 SECADOR

O secador utilizado está montado no Laboratório de Engenharia de Processos (LEP). Este equipamento é caracterizado por apresentar uma coluna vertical de aproximadamente 60 cm de altura e 17 cm de diâmetro, de fluxo

ascendente de ar, com capacidade para duas bandejas redondas vazadas em alumínio de 15 cm de diâmetro, sendo uma colocada na gaveta inferior da coluna de secagem e outra na superior. A bandeja inferior foi completada com um leito de pedras, a fim de uniformizar a distribuição do ar antes deste passar pela bandeja superior com as amostras. O ar ambiente foi sugado por um soprador centrífugo de 2 HP, cuja vazão foi ajustada através de uma válvula. O soprador está conectado a um bloco de resistências que aquece o ar, o qual flui verticalmente através da coluna de secagem e sua velocidade pode variar de 0,4 a 12 m/s dependendo da abertura da válvula. A velocidade foi medida com um anemômetro da marca VelociCheck (modelo 8330-M, TSI Incorporated, EUA) a 70°C, já que essa é a maior temperatura suportada pelo aparelho. Logo, para a etapa HTST (150°C) foi feito um ajuste em função dos volumes específicos do ar a 70°C e 150°C, respectivamente. A temperatura do ar no interior da coluna, logo abaixo da bandeja contendo as amostras, é medida por um termopar conectado a um controlador PID. O ar aquecido é descartado para a atmosfera.

Para a monitoração da temperatura das amostras no decorrer do processo de secagem foram utilizados termopares tipo “T”, de composição cobre–constatan, com faixa de operação de 0°C a 370°C e uma precisão $\pm 1^\circ\text{C}$, isolados termicamente com fibra de vidro. Foram colocados cinco termopares dentro de cinco amostras, localizadas em diferentes pontos de um disco de alumínio, que foi fixado acima da bandeja inferior dentro do secador. Outro termopar tipo “T” foi destinado para monitorar a temperatura do ar dentro do secador logo abaixo da bandeja contendo as amostras. A diferença de temperaturas do ar dentro do secador medida com o termopar tipo “T” e a medida com o termopar conectado ao controlador PID foi de $\pm 1^\circ\text{C}$. A coleta de dados foi feita a cada 10 segundos no

dispositivo Field Logger, e a visualização dos mesmos foi feita através do *software* Field Chart 64C versão 1.78. A temperatura e UR do ar logo após o soprador, antes do bloco de resistências, também foram monitoradas. A Figura 3-2 apresenta fotos do secador e do equipamento de aquisição de dados.



(a) Conjunto de resistências.



(b) Painel de controle.



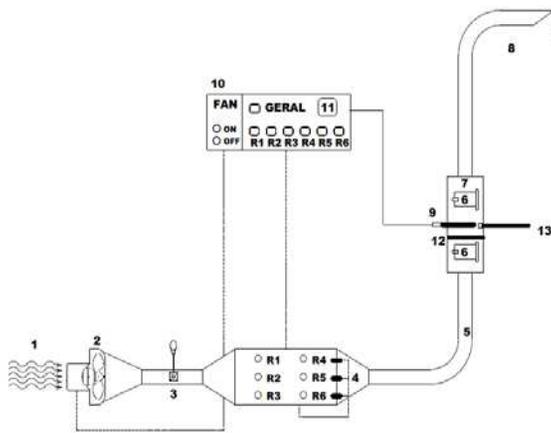
(c) Coluna de secagem.



(d) Equipamento de aquisição de dados

Figura 3-2 Fotos do secador e do equipamento de aquisição de dados.

Para melhor compreensão do funcionamento do secador, a seguir é apresentado um desenho esquemático do mesmo.



1: Entrada do ar de secagem.

2: Soprador.

3: Válvula gaveta para ajuste da vazão de ar.

4: Bloco de resistências de aquecimento.

5: Coluna circular de secagem.

6: Gavetas para as 2 bandejas.

7: Coluna de secagem.

8: Saída do ar de secagem.

9: Termopar conectado ao controlador PID.

10: Controlador PID.

11: Painel de controle.

12: Disco de alumínio.

13: Termopar tipo "T".

Figura 3-3 Desenho esquemático do equipamento de secagem.

Fonte: HOFSETZ (2007).

3.2 MÉTODOS

3.2.1 MATÉRIA-PRIMA

- **Determinação de sólidos solúveis (°Brix)**

Foi realizada por medida direta num refratômetro de bancada (marca Atago, modelo DR-A1, Japan). Todas as leituras foram feitas em triplicata e os dados foram apresentados a 20°C.

- **Determinação de umidade**

Amostras de banana fresca foram colocadas em cadinhos de alumínio previamente tarados e com remoção total da água em estufa durante 2 horas. Os cadinhos contendo as amostras foram colocados em estufa Quimis (modelo Q317M32, Brasil) a 105°C (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985). O mesmo método foi utilizado para a determinação da umidade das amostras secas.

- **Determinação de açúcares redutores e totais**

Segundo o método geral de Munson-Walker: Açúcares Invertidos em Açúcares e Xaropes. Método oficial da AOAC nº906.03 (2005).

- **Determinação de proteínas**

Segundo o método de Kjeldahl: Para Proteína em Produtos de Frutas. Método oficial da AOAC nº 960.52 (2005).

- **Determinação de cinzas**

Segundo o método de cinzas: De Frutas e Produtos de Frutas. Método oficial da AOAC nº 940.26 (2005).

- **Determinação de lipídeos**

Segundo o método de Bligh e Dyer (extração a frio), de acordo com a metodologia descrita em CECCHI (2003).

- **Determinação de amido**

A determinação do teor de amido das amostras foi realizada pelo Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL) através do Método de Ewers modificado por Hardorn e Doewelaar (DIEMAIR, 1963 *apud* HOFSETZ, 2007).

- **Determinação da cor**

A banana *in natura* foi amassada com ajuda de um garfo e logo em seguida foi colocada numa cubeta de quartzo. A cor foi determinada em espectrofotômetro de bancada ScanVis, marca Hunter Lab, com escala CIELab (L^* , a^* , b^*). As medidas de cor foram expressas em termos da luminosidade L^* ($L^*=0$ preto e $L^*=100$ branco); da cromaticidade definida por a^* ($+a^*$ =vermelho e $-a^*$ =verde) e b^* ($+b^*$ =amarelo e $-b^*$ =azul). Foram feitas nove determinações por amostra.

É importante assinalar que as determinações do conteúdo de proteínas, cinzas, lipídeos e amido foram feitas para um único lote de matéria-prima; os conteúdos de sólidos solúveis e umidade foram feitos para a toda a matéria-prima submetida ao processo de secagem. Essa decisão foi tomada a partir dos resultados obtidos por Oliveira (2007), nos quais a autora relata a relação da composição da matéria-prima com a crocância. Como será discutido mais diante, cada tratamento de secagem foi feito em triplicata; já o conteúdo de açúcares totais e redutores foi determinado ao início e final da triplicata (ensaios 1 e 3) de cada tratamento. Embora esses conteúdos de açúcares estejam relacionados com a crocância e a cor, é um procedimento longo que envolve muitos passos e considerou-se desnecessário realizar em todos os ensaios, uma vez que para avaliar a etapa de resfriamento foi importante simplesmente manter uniforme a composição da matéria-prima. Conseqüentemente, decidiu-se fazer as

determinações só no ensaio 1 e 3 de cada tratamento, de tal forma que fosse possível avaliar alguma variação destes conteúdos dentro de cada lote de matéria-prima. A cor instrumental da matéria-prima foi determinada no primeiro ensaio de cada tratamento de secagem, quando foi comprovado que os valores pouco mudaram em dias seqüências.

Para as determinações que foram feitas uma única vez (proteínas, cinzas e lipídeos), forem escolhidos aleatoriamente três frutos de diferentes partes do cacho. Cada fruto foi analisado em triplicata, totalizando nove amostras, de tal forma que se pudesse abranger uma razoável dispersão entre a matéria-prima. Uma única amostra foi levada no ITAL para a determinação do conteúdo de amido. Já para as determinações realizadas continuamente, foi escolhida uma única fruta e esta foi analisada em triplicata.

3.2.2 PRODUTO FINAL

- **Determinação da atividade de água**

A atividade de água das amostras foi determinada por leitura direta à temperatura de 25°C, através do equipamento Decagon (marca Aqualab, modelo Series 3 TE, WA). As leituras foram feitas em triplicata.

- **Determinação da textura instrumental**

Ao final do processo de secagem, os *snacks* de banana crocante foram submetidos à ruptura a velocidade constante em um texturômetro TAXT2i da

Stable Microsystems, com precisão de $\pm 0,005$ N, localizado em sala climatizada do LEP. Após a calibração da força e da altura do teste, e o estabelecimento dos parâmetros no *software* foram tomados pedaços do produto final de forma aleatória. Aplicou-se o teste de força sob compressão uniaxial utilizando-se o probe cilíndrico de 3 mm de diâmetro, a uma velocidade de deformação de 1 mm/s. A amostra foi comprimida até 50% da altura original. Devido à baixa reprodutibilidade do teste para este tipo de produto, optou-se por realizar quinze repetições para cada um dos ensaios de secagem. Com os dados de força (Newton) e tempo de teste (segundos), foram plotados gráficos de força *versus* tempo para cada repetição. Em cada gráfico determinou-se dois parâmetros indicativos da crocância: a força máxima de deformação e o número de picos. A contagem de picos foi feita com ajuda do pacote Excel versão 2007 baseando-se em um limiar de percepção (*Threshold*) de 0,3 N (Sanz et al., 2007). O valor final considerado para cada ensaio foi a média entre as quinze repetições, sendo calculado o desvio-padrão.

- **Determinação do encolhimento**

O volume aparente (V_b) das amostras frescas e secas foi determinado pelo deslocamento de volume das amostras (MOHSENIN, 1968) e segundo a equação 3-1 (YAN et al., 2008). O solvente utilizado foi o n-heptano.

$$V_b = V_{\text{prov}} - \frac{m_{\text{sol}} + m_{\text{prov}} + m_{\text{amos}} - m_{\text{prov}} - m_{\text{amos}}}{\rho_{\text{sol}}} \quad \text{Equação 3-1}$$

Sendo:

V_b = volume aparente (mL)

V_{prov} = volume da proveta (mL)

$m_{sol+prov+amos}$ = massa do solvente+ proveta + amostra (g)

m_{prov} = massa da proveta (g)

m_{amos} = massa da amostra (g)

ρ_{sol} = densidade do n-heptano (g/mL)

O encolhimento foi expresso como uma razão do volume aparente da amostra ao final da secagem em relação ao seu volume aparente inicial, ou seja, da banana fresca (LOZANO; ROSTSTEIN; URBICAIN, 1983) segundo a equação 3-2.

$$S_b = \frac{V_b}{V_{bo}}$$

Equação 3-2

Sendo:

S_b = encolhimento

v_{bo} = volume aparente da amostra fresca ou volume inicial (mL)

v_b = volume aparente da amostra seca (mL).

Devido à baixa reprodutibilidade na determinação do volume de aparente todas as determinações foram feitas em quintuplicata, das quais foi calculado a média e o desvio-padrão.

- **Determinação da Cor**

A banana seca foi moída com ajuda de um conjunto almofariz e pistilo. O pó foi colocado numa cubeta de quartzo para a determinação dos valores L^* , a^* e b^* . Foram feitas três leituras em pontos diferentes de cada lado das três cubetas, totalizando nove leituras. Após isso, foi calculada a diferença de cada um dos parâmetros em relação à matéria-prima, segundo a equação 3-3, 3-4 e 3-5, respectivamente. Calculou-se a média para as nove leituras de cada parâmetro bem como o desvio-padrão.

$$\Delta L^* = L_0^* - L_s^* \quad \text{Equação 3-3}$$

$$\Delta a^* = a_0^* - a_s^* \quad \text{Equação 3-4}$$

$$\Delta b^* = b_0^* - b_s^* \quad \text{Equação 3-5}$$

Sendo:

L_0^* , a_0^* , b_0^* = parâmetros de cor da banana in natura.

L_s^* , a_s^* , b_s^* = parâmetros de cor da banana seca.

- **Análise de imagem e determinação de diâmetro de poro**

Cada quarto de rodela de banana submetida ao processo de secagem foi cortado ao meio, com o auxílio de uma lâmina fina de aço inoxidável (marca Gillette). As imagens das amostras foram obtidas num estereomicroscópio (modelo Citoval 2, Carl Zeiss, Alemanha) localizado no Laboratório de Bioengenharia do Departamento de Engenharia de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP (LEB). Foi utilizada uma régua de 10 mm de comprimento com divisões de 0,1 mm como escala. Uma câmera fotográfica

digital colorida (Kodak Easy Share, modelo DX 4530, EUA) foi conectada ao estereomicroscópio e então conectada a um monitor de televisão. O processamento das imagens foi feito utilizando o *software* livre Imagem J.

Uma vez feito o processamento das imagens, calculou-se a área dos poros através de ferramentas do *software* e determinou-se o diâmetro equivalente, segundo a equação 3-6 (RAMOS et al., 2004; DACANAL, 2009).

$$dp_{eq} = 2 * \sqrt{\frac{\text{área}}{\pi}} \quad \text{Equação 3-6}$$

Finalmente, foi feita a distribuição do tamanho dos poros. Foram utilizadas cinco fotos para cada um dos tratamentos, escolhidas aleatoriamente.

3.2.3 PROCESSO DE SECAGEM

O processo de secagem foi dividido em três etapas:

- **Etapa HTST**

Pesquisas prévias (HOFSETZ, 2007; OLIVEIRA 2007) foram dirigidas de maneira a se determinar as melhores condições da secagem a alta temperatura e curto tempo (HTST), sendo escolhidas as condições de 15 minutos a 150°C.

- **Etapa de Resfriamento**

A etapa de resfriamento foi desde os 150°C do pulso HTST até os 70°C da secagem convencional. Nessa etapa foram avaliadas duas variáveis: a primeira variável foi a amplitude de redução da temperatura no *set point* do controlador do secador, denominada simplesmente como amplitude; a outra variável em estudo foi o tempo de permanência nessa nova temperatura, denominada como período. Dessa forma, foram obtidos diferentes tempos totais da etapa de resfriamento. Para melhor compreensão do estudo realizado, a Figura 3-4 apresenta um desenho esquemático das variáveis estudadas. Cada curva representa um processo com diferentes valores das variáveis.

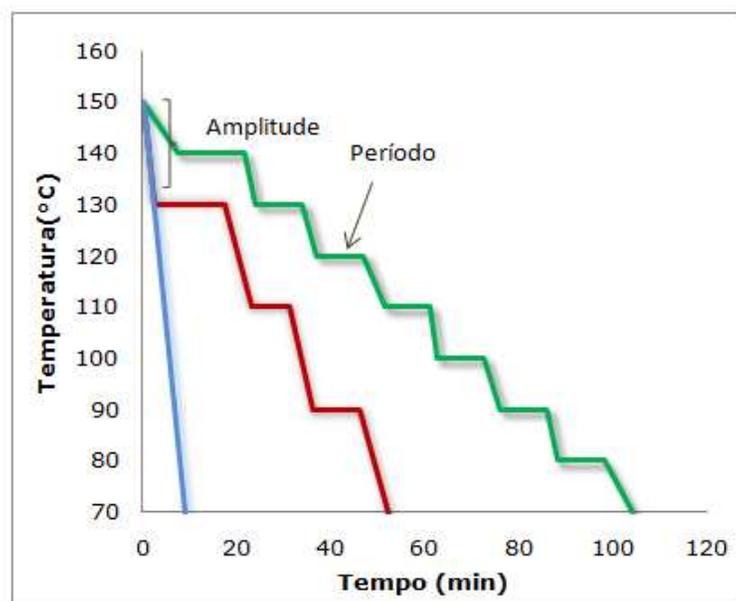


Figura 3-4 Desenho esquemático das variáveis estudadas em função do tempo da etapa de resfriamento.

Testes preliminares foram feitos de maneira a compreender a inércia de resposta do secador às diferentes condições do estudo. Tempos muito curtos

(menores que 5 minutos) da variável denominada como período, não permitiam que o *set point* do controlador se estabilizasse, apresentando oscilações de 5°C. Conseqüentemente, foram escolhidos tempos maiores que 5 minutos, mas também que não aumentassem demais o tempo total da etapa de resfriamento. A variável amplitude foi escolhida respeitando a faixa de 150°C até 70°C.

Hofsetz (2007) e Oliveira (2007) relataram que um tempo total de 50 min da etapa de resfriamento foi o mais adequado para manter a estrutura porosa das amostras com o mínimo grau de encolhimento. Portanto, nesta pesquisa tentou-se avaliar tempos maiores e menores que o citado pelas autoras. A primeira condição, avaliada nos ensaios prévios, foi um resfriamento acelerado, em uma etapa só (150°C até 70°C), A segunda condição avaliada foi tempo longo da etapa de resfriamento, amplitude de 5°C e período de 5 min. Por fim, os tratamentos avaliados encontraram-se entre as duas condições extremas citadas anteriormente e estão apresentados na Tabela 3-1.

Tabela 3-1 Matriz de tratamentos avaliados.

Tratamento amplitude-período	Amplitude (°C)	Período (min)
20-5	20	5
20-7,5	20	7,5
20-10	20	10
10-5	10	5
10-7,5	10	7,5
10-10	10	10
5-5	5	5

- **Secagem Convencional**

A secagem convencional foi realizada a 70°C. O tempo total desta etapa variou dependendo do tratamento estudado na etapa de resfriamento. A umidade das amostras foi determinada ao início desta etapa (final do resfriamento) e foi o fator decisivo para o encerramento do processo, uma vez que as amostras tinham que atingir atividade de água < 0,3 (HOFSETZ, 2003; HOFSETZ, 2007; OLIVEIRA, 2007). Finalmente, o tempo da secagem convencional a 70°C, oscilou desde 6 até 12 horas.

Enfim, considerando as condições do pulso HTST, mais as variáveis em estudo da etapa de resfriamento, amplitude e período e a secagem convencional, foram realizados ensaios completos de secagem da banana (etapa HTST + etapa de resfriamento + secagem convencional a 70°C). Foram realizados três ensaios de secagem para cada tratamento, os quais foram feitos em dias consecutivos.

A Figura 3.5 representa o fluxograma do procedimento desenvolvido.

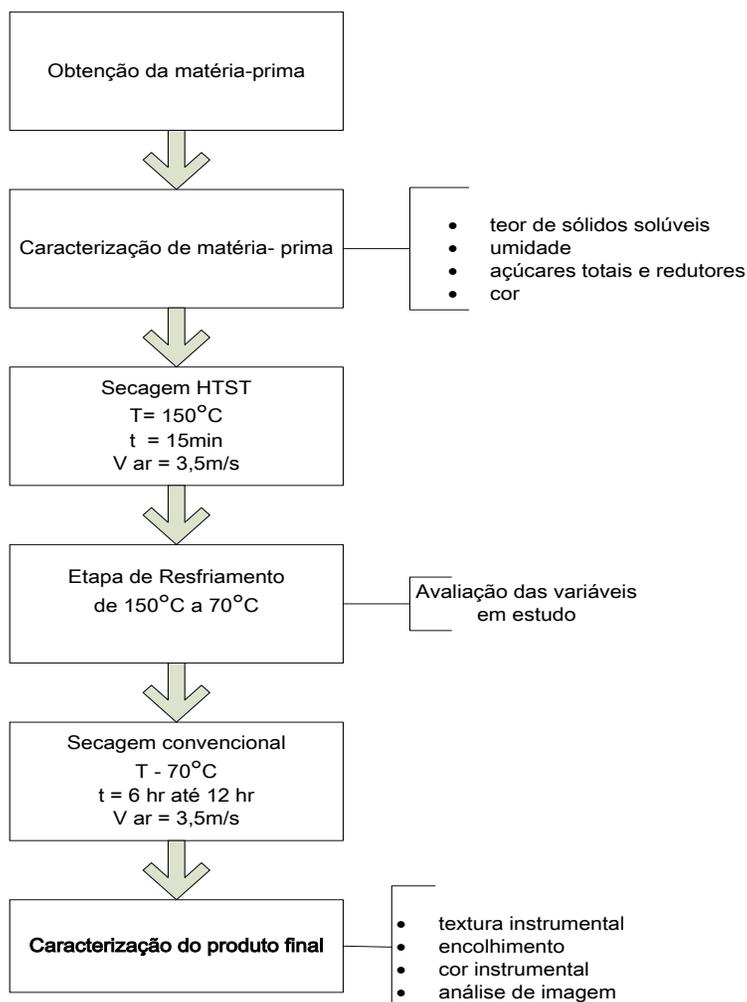


Figura 3-5 Fluxograma do procedimento de secagem.

3.2.4 DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO VÍTREA

Foram realizados três ensaios do processo de secagem com as seguintes seqüências de passos: secagem HTST (150°C-15min) + etapa de resfriamento (amplitude 10°C e período 7,5 min) + secagem convencional a 70°C (6 h). Amostras foram retiradas em diferentes tempos de amostragem, de acordo com a

Tabela 3-2, de maneira a se relacionar as propriedades de crocância, expressa em intensidade de picos do gráfico força-deformação, e a temperatura de transição vítrea em função do conteúdo de umidade. Foram escolhidos tempos de amostragem correspondentes a umidades no produto em torno a 10% (bu), valor no qual é percebida a transição de crocante a não-crocante (LE MESTE; ROUDAUT; DAVIDOU, 1996; ROUDAUT et al., 2004, entre outros).

Tabela 3-2 Tempos de amostragem para a determinação da intensidade de número de picos e da temperatura de transição vítrea.

Amostra	Etapa de secagem	Tempo de amostragem (min)
t_0	Final do resfriamento	90
t_1	1,5 h da secagem convencional	180
t_2	3 h da secagem convencional	270
t_3	4,5 h da secagem convencional	360
t_4	6,0 h da secagem convencional (final)	450

As amostras do final do resfriamento (t_0) forem separadas em interior (parte mais úmida) e superfície (parte mais seca) com a ajuda de uma lâmina fina de aço inoxidável (marca Gillette). A separação foi feita depois da realização de ensaios prévios, nos quais observou-se visualmente a diferença de umidade do interior e superfície da amostra, além de uma ampla faixa de valores encontrados na determinação da T_g . Já as demais amostras (t_1 , t_2 , t_3 , t_4) mostraram-se mais uniformes quanto a sua aparência (interior e superfície), além de sua separação ser muito dificultosa uma vez que se encontravam quase secas. Aproximadamente 8 μ g de cada amostra (t_0 , t_1 , t_2 , t_3 e t_4) foram colocadas num cadinho de alumínio, que foi hermeticamente fechado e depois pesado numa balança da Cahn

Instruments (modelo CAHN C-35 microbalance, EUA). Também foram analisadas amostras de banana *in natura*, de maneira a usar esse termograma como padrão. Todas as análises foram feitas em triplicata.

O calorímetro empregado foi da marca TA Instruments (modelo TAMDSC-2920), equipado com uma unidade de resfriamento mecânico controlado RCS (*Refrigerated Cooling Accessory*), operando com gás hélio. A mínima temperatura, na qual o equipamento trabalha, é de -65°C . Porém, os componentes principais da fruta são água e açúcar, os quais atuam como plasticizantes abaixando a T_g para valores muito baixos. Logo, com a finalidade de assegurar toda a faixa dos resultados escolheu-se a trabalhar de -100°C até 100°C , sendo preciso adicionar manualmente mais refrigerante (nitrogênio líquido). O refrigerante era adicionado repetidamente até atingir a temperatura desejada.

O equipamento foi inicialmente calibrado com Índio ($T_{\text{fusão}} = 156,6^{\circ}\text{C}$; $\Delta H_{\text{fusão}} = 28,71 \text{ J/g}$) e foi feita uma verificação com Azobenzol ($T_{\text{fusão}} = 68^{\circ}\text{C}$), empregando-se hélio como gás de purga, com vazão constante de 25 ml/min. Foram feitos dois termogramas independentes para cada amostra, descartando-se o primeiro, devido à interferência de outros eventos térmicos que não correspondiam à T_g .

Cada amostra, inicialmente foi resfriada desde 30°C até -100°C utilizando nitrogênio líquido, foi mantida nesta temperatura por três minutos, em seguida foi aquecida até 100°C a uma taxa de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$, para finalmente estabilizar-se novamente em 30°C ,

O *software* Universal Analysis da TA Instruments versão 2.6 foi utilizado para determinar as temperaturas do início, central e fim da transição vítrea, escolhendo-se a temperatura central da transição vítrea do segundo termograma de cada amostra. Finalmente, para as análises estatísticas foram calculadas a média e o desvio-padrão das três amostras submetidas ao DSC.

Simultaneamente à determinação da T_g foi determinada a umidade, conforme o item 3.2.1; a atividade de água e a textura instrumental, conforme o item 3.2.2, de acordo aos tempos de amostragem indicados na Tabela 3-2. Analogamente à determinação da T_g , nas amostras t_0 foi feita também a separação do interior e superfície para a determinação do conteúdo de umidade e da a_w .

Adicionalmente, procurou-se relacionar a temperatura de transição vítrea com as variáveis em estudo (amplitude e período) da etapa de resfriamento, no processo de secagem. Para isso, forem conduzidos novos ensaios de secagem, de acordo com os tratamentos avaliados (Tabela 3-1). Amostras do final do processo de secagem foram acondicionadas em duas soluções de sais saturados, acetato de potássio (CH_3COOK) e fluoreto de potássio (KF), com atividades de água de 0,26 e 0,30, respectivamente a 25°C . As duas atividades de água foram escolhidas devido a sua proximidade com a atividade de água das amostras coletadas no final do processo de secagem ($a_w < 0,30$). As atividades de água foram controladas por dois termo-higrômetros. Amostras de cada um dos tratamentos foram colocadas em frascos higróstáticos contendo os respectivos sais saturados, até atingirem o equilíbrio, que foi alcançado depois de aproximadamente um mês. A uniformização do conteúdo de umidade foi feita de maneira que esse valor não influenciasse o valor da T_g e fosse possível observar

algum efeito causado pelos tratamentos de resfriamento no processo de secagem. Cada tratamento, em cada uma dos sais saturados foi avaliado em triplicata.

Uma vez alcançado o equilíbrio, além da determinação da temperatura de transição vítrea foi determinada a umidade, conforme descrito no item 3.2.1 e a textura instrumental, conforme descrito no item 3.2.2. Como as amostras corresponderam ao ponto final da secagem, foi desnecessária a separação em interior e superfície, uma vez que estas estavam completamente secas.

3.2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos durante os experimentos foram avaliados estatisticamente através da Análise da Variância (ANOVA), aplicando o teste de Tukey. Devido à baixa reprodutibilidade da maioria dos testes empregados para avaliar os tratamentos, foi utilizado um nível de 10% de significância na análise das respostas, com o auxílio do *software* STATISTICA® 8.0.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA MATÉRIA-PRIMA

A Tabela 4-1 mostra a composição da polpa fresca de banana Nanica madura de 18,5°Brix a 20,0°Brix. Cabe ressaltar que as determinações do conteúdo de proteínas, cinzas, lipídeos e amido foram feitos para um único lote de matéria-prima e que os conteúdos de sólidos solúveis, umidade e açúcares totais e redutores foram feitos para toda a matéria-prima submetida à secagem, conforme descrito no item 3.2.1.

Tabela 4-1 Composição química da banana Nanica.

Nutriente	Quantidade (%)
Água	74,84 ± 2,93 a 77,69 ± 1,00
Açúcares Totais ¹	22,84 ± 4,68 a 24,30 ± 3,81
Açúcares Redutores ¹	5,16 ± 3,73 a 5,63 ± 3,23
Proteínas	1,90 ± 0,68
Lipídeos	0,24 ± 0,12
Cinzas	0,84 ± 0,08
Amido ²	7,7 ± 0,00

Nota: Os valores representam o valor médio de três determinações e o respectivo desvio -padrão. ¹ Correspondem à caracterização da matéria-prima do primeiro e último ensaio de cada tratamento, conforme foi descrito no item 3.2.1. ² Corresponde a uma única amostra.

A composição química da matéria-prima apresentada na Tabela 4-1 comparada com a composição química apresentada na revisão bibliográfica (Tabela 2-2, item 1.2), mostra resultados similares para a maioria dos

nutrientes. As pequenas diferenças podem ser devido às variações na origem, no grau de maturação e nas metodologias empregadas na determinação dos mesmos. Pode-se observar na Tabela 4-1, que o desvio-padrão para o conteúdo de açúcares redutores e totais foi grande, provavelmente devido à metodologia empregada, que envolve muitos passos e nos quais pode ter ocorrido perda de matéria-prima.

Para a determinação da umidade, neste trabalho foi utilizado o método em estufa a 105°C, em lugar do método em estufa a vácuo a 70°C. Pesquisas relatam que o método empregado neste trabalho já foi utilizado no caso de frutas (VALLILO et al., 2006). Garcia-Amoedo e Almeida-Muradian (2002) mostraram uma diferença de 2% no valor da umidade quando comparam os métodos gravimétricos a vácuo (70°C) e em estufa convencional (105°C) no caso da geléia real. Uma possível explicação para esta diferença deve-se à perda de massa de água pela caramelização da sacarose. Segundo Araújo et al. (2010), a caramelização é efetiva a 160°C, porém entre 106°C e 125°C é observada uma pequena pigmentação amarela, conseqüência da formação do caramelo. Hofsetz (2007) relatou que o conteúdo de umidade para a banana Nanica da mesma variedade e com o mesmo grau de maturação, determinada a estufa a vácuo (70°C) foi aproximadamente entre 71 e 76% (bu). Por outro lado, Oliveira (2007) relatou uma faixa de umidade entre 75 e 76% para banana Nanica da mesma variedade e mesmo grau de maturação. Os valores encontrados neste trabalho encontram-se dentro da faixa dos publicados por Hofsetz (2007) e Oliveira (2007). Já as amostras secas, que tiveram suas umidades determinadas a 105°C, haviam sido submetidas previamente a temperaturas bem superiores (150°C durante o pulso HTST e, posteriormente

na etapa de resfriamento), pode-se esperar que boa parte da caramelização tenha ocorrido durante a secagem, como comprovado pelas imagens obtidas. Assim, por causa desses fatos, pode-se esperar que o valor da umidade determinado neste trabalho não seja significativamente distinto caso tivesse sido utilizado o método de determinação à vácuo a 70°C. No entanto, o procedimento adequado no caso da banana é a determinação com estufa á vácuo a 70°C.

A fruta escolhida para os ensaios de secagem apresentava um conteúdo de sólidos solúveis de 18,5% a 20,0%, correspondente ao estágio de maturação entre 6 e 7 (Tabela 2-1, item 2.1). Segundo a mesma tabela, o conteúdo de amido deveria oscilar entre 6,3% e 9,7%, sendo que o conteúdo determinado nas amostras deste trabalho ficou em 7,7%, dentro da faixa esperada.

4.2 TESTES PRELIMINARES

Testes preliminares foram realizados de maneira a compreender a inércia de resposta do secador aos diferentes valores de amplitude e período, que foram as variáveis estudadas. Nesses primeiros testes preliminares não foram utilizadas amostras de bananas. Valores da variável amplitude que pudessem abranger a faixa dos 150°C (pulso HTST) até os 70°C (secagem convencional) foram escolhidas e o tempo para obter cada amplitude foi contabilizado assim como o conjunto de resistências elétricas envolvidas e o modo de ação do módulo aquecedor do secador.

Novos testes preliminares foram realizados desta vez com amostras de banana. Neles avaliou-se uma condição drástica, denominada como tratamento 80-0, na qual se abaixou em uma etapa só a temperatura desde os 150°C do pulso HTST até os 70°C da secagem convencional, contabilizando um tempo total de resfriamento de aproximadamente nove minutos. Este tratamento drástico foi utilizado somente para fins comparativos, já que o produto final mostrou-se denso e duro, perdendo todas as características associadas à crocância. Possivelmente, o longo tempo da secagem convencional (12 h), tempo necessário para que as amostras alcancem valores de atividade de água inferiores a 0,3, quanto comparado ao tempo de pulso HTST (15 min), faz com que o processo seja considerado unicamente como uma secagem convencional. Ou talvez, a mudança drástica de temperatura ocasionou a perda da estrutura porosa obtida como consequência do pulso a alta temperatura, devido a uma possível contração repentina dos poros causada pela brusca diminuição da densidade da mistura gasosa em seu interior (ar – vapor de água), em consequência da condensação do vapor de água.

Outro teste preliminar foi realizado também com banana, com amplitude de 5°C e período de 5 min. Observou-se que valores pequenos da variável amplitude, prolongavam muito a etapa de resfriamento e, portanto, as amostras que ficaram expostas a altas temperaturas por muito tempo apresentavam aparência, odor e sabor de queimado.

Finalmente, nos testes preliminares observou-se que o tempo total da etapa de resfriamento também é influenciado pelas condições ambientais, pois para distintos testes realizados com mesma amplitude e período, mas com condições ambientais diferentes (temperatura e UR), foram encontrados

distintos tempos de resfriamento, no entanto seu efeito não tenha sido significativo é importante descrevê-lo.

4.3 ENSAIOS DE SECAGEM

Os ensaios de secagem iniciavam-se por volta da mesma hora do dia (pela manhã) e foram realizados durante oito semanas seqüenciais, sendo um tratamento avaliado por semana. Os ensaios foram realizados no período de agosto a dezembro de 2010, época de início da temporada de chuvas. Conseqüentemente, em alguns ensaios houve chuvas, porém, ocasional e não forte. Entretanto, quando o valor da umidade relativa do ambiente aumentava levemente, o tempo da secagem convencional era prolongado até que o produto final atingisse o valor desejado de umidade e atividade de água ($a_w < 0,30$).

A Tabela 4-2 apresenta as condições dos tratamentos avaliados nos ensaios de secagem, assim como o tempo total da etapa de resfriamento e o tempo total da secagem convencional a 70°C. Como conseqüência dos diferentes tempos de resfriamento, as bananas apresentavam diferentes conteúdos de umidade ao final desta etapa, fato que influenciou no tempo total da secagem convencional, uma vez que o processo só podia ser encerrado quando as amostras atingissem $a_w < 0,30$. Os valores do tempo de resfriamento, apresentados na Tabela 4-2 representam a média das três repetições de cada tratamento.

Tabela 4-2 Tratamentos de secagem avaliados.

Tratamento amplitude-período	Etapa de resfriamento		Tempo de resfriamento ¹ (min)	Tempo da secagem convencional (h)
	Amplitude (°C)	Período (min)		
20 – 5	20	5	33,39 ± 2,06	10,5
20 - 7,5	20	7,5	39,06 ± 1,30	9,5
20 – 10	20	10	47,93 ± 2,49	7
10 – 5	10	5	50,66 ± 2,38	6
10 - 7,5	10	7,5	75,39 ± 3,42	6
10 – 10	10	10	94,73 ± 0,50	6
5 – 5	5	5	110,08 ± 0,70	6
80 – 0	80	0	8,93 ± 0,30	12

Nota: ¹ O valor corresponde a média de três repetições e o respectivo desvio-padrão.

Na Figura 4-1 é apresentado graficamente o perfil teórico de redução de temperatura do ar de secagem para cada tratamento. A Figura 4-2 apresenta o perfil real de temperatura do ar na entrada do secador, a temperatura do ar dentro do secador e a média da temperatura das cinco amostras em função do tempo do processo de secagem para o primeiro ensaio do tratamento 10-7,5. Mesmo com a introdução dos termopares no interior das cinco amostras, houve uma expansão do volume e formação da estrutura porosa sendo, no entanto, menor quando comparada aos pedaços de banana dentro da bandeja. Para uma melhor visualização a figura foi dividida em três gráficos: (a) pulso HTST, (b) etapa de resfriamento e (c) secagem convencional.

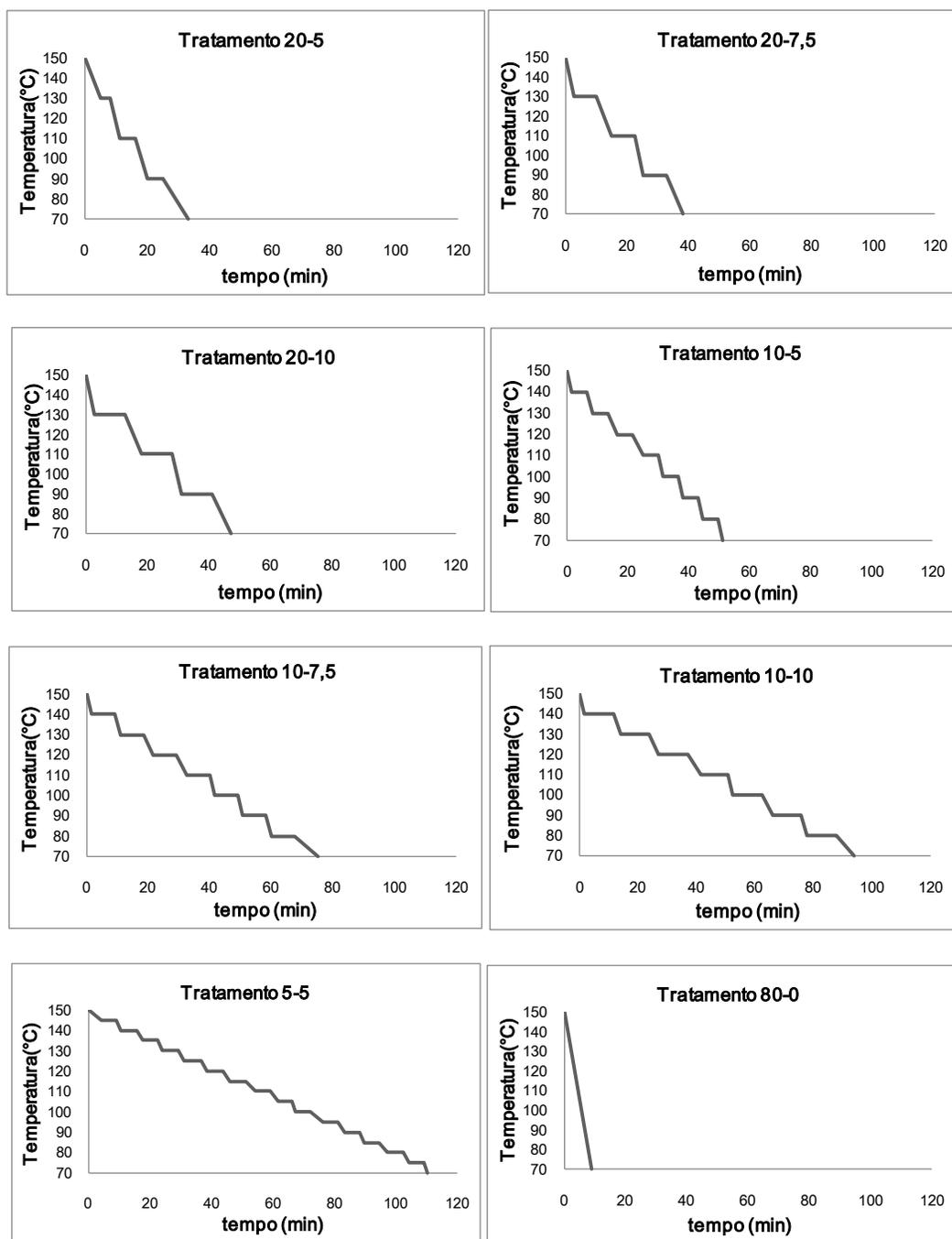
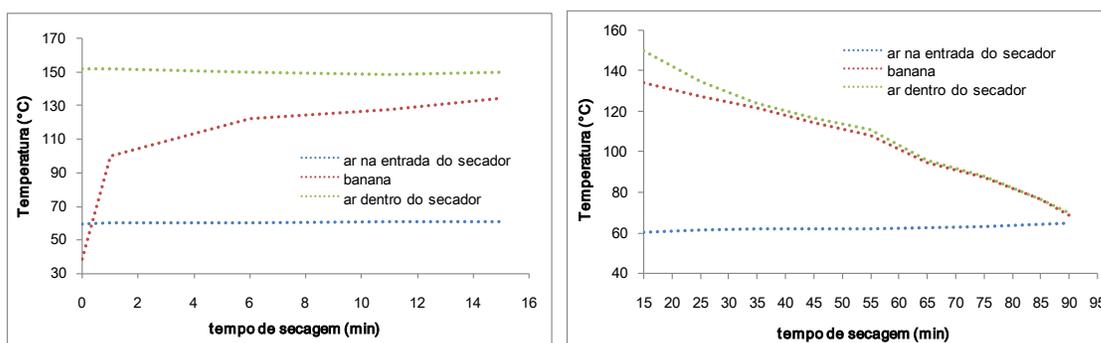
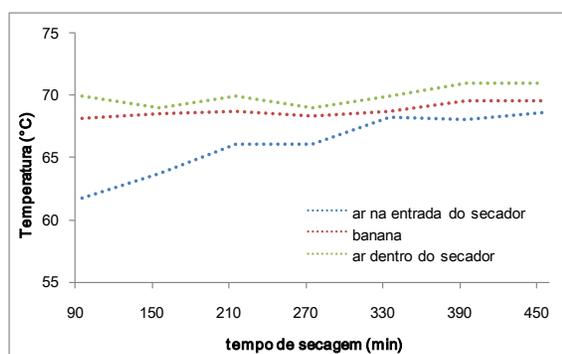


Figura 4-1 Perfis de redução de temperatura teórico do ar de secagem dos tratamentos estudados em função do tempo total da etapa de resfriamento.



(a) Pulso HTST de 150°C por 15 minutos. (b) Amplitude de 10°C e período de 7,5 minutos.



(c) Secagem convencional a 70°C.

Figura 4-2 Perfil de temperaturas real do ar de entrada, ar dentro do secador e temperatura média de banana correspondente ao tratamento 10-7,5 em função do tempo de secagem.

No início do processo, a temperatura dentro do secador foi fixada em 150°C e durante os 15 minutos desta etapa de secagem, a temperatura das amostras foi subindo gradualmente (Figura 4-2(a)). Observou-se o mesmo comportamento tanto para os outros dois ensaios do mesmo tratamento, como para os demais tratamentos.

No Apêndice A apresenta-se o perfil de resfriamento para todos os tratamentos. Cada um dos tratamentos avaliados mostrou seu próprio perfil de

resfriamento e em todos os casos, a temperatura das amostras atingiu a temperatura do ar de secagem nos primeiros minutos do processo, permitindo que o processo seja monitorado do exterior da amostra. No caso do tratamento 10-7,5, Figura 4-2(b), observa-se que em torno dos 40 minutos após iniciado o processo, a temperatura das amostras se iguala à temperatura do ar de secagem. Observa-se também, que o perfil de temperatura do ar dentro do secador real não apresentou a amplitude e o período claramente definidos quando comparado com o perfil teórico (Figura 4-1).

Finalmente na Figura 4-2(c), observa-se a etapa da secagem convencional a 70°C, a temperatura do ar de entrada foi aquecendo na medida em que a temperatura ambiental subia e a temperatura do ar dentro do secador oscilou continuamente em torno dos 70°C, oscilação que também foi acompanhada pela temperatura das amostras.

Visualmente, cada tratamento resultou em produtos com estruturas finais diferentes, as quais foram corroboradas depois na determinação das propriedades macroscópicas (textura e cor instrumental, e encolhimento). A Figura 4-3 apresenta fotos da matéria-prima e dos produtos finais para cada um dos tratamentos avaliados. As imagens correspondem a uma amostra de um ensaio escolhida aleatoriamente.

Observa-se na Figura 4-3(a) que a amostra de banana *in natura* é densa, de cor clara e não apresenta poros na sua estrutura. O pulso HTST foi fundamental para promover a criação da estrutura porosa e da casca externa, porém essa estrutura foi perdida nas etapas seguintes de secagem. A mudança acelerada da temperatura ocasionou o colapso da estrutura porosa,

aumentado o encolhimento. A perda do volume foi observada em todos os tratamentos e foi um processo anisotrópico e acentuado para certas regiões da amostra. Na Figura 4-3(b), pode-se observar o produto final obtido como resultado de uma etapa de resfriamento curta e drástica, no qual a estrutura porosa resultante do pulso HTST foi perdida. O produto final encolheu bastante, manteve-se denso e ficou duro; por outro lado, não teve muito escurecimento quando comparado aos tratamentos com maiores tempos a altas temperaturas.



Figura 4-3 Estrutura final da banana de acordo com o tratamento estudado.

A Figura 4-3(c) apresenta a foto do produto final obtido no tratamento 20-5. Apesar de o produto manter a camada externa resultante do *puffing*, a estrutura interna porosa foi perdida e o produto encolheu bastante. A presença de poros foi mais evidente a partir do tratamento 20-7,5 (Figura 4-3(d)), na qual o produto final apresentou no interior da amostra poros de diferentes tamanhos. Observa-se também pedaços da amostra, em cor mais escura, que ainda ficaram com estrutura compacta.

Os tratamentos 20-10 e 10-5 (Figura 4-3(e) e (f), respectivamente) produziram produtos finais com aparência visual muito similar, os tempos de resfriamento foram muito próximos, 48 e 51 minutos, respectivamente. A umidade dos produtos no final da etapa de resfriamento também foi similar para esses tratamentos, já os tempos totais da secagem convencional se diferenciaram em 1h, devido principalmente às diferenças das condições climatológicas nos períodos em que foram feitos os ensaios. No caso do tratamento 10-5 (Figura 4-3(f)) observa-se, nas extremidades uma cor escura, consequência provável de uma reação de caramelização. Já a formação de poros é evidente para os dois tratamentos.

A Figura 4-3(g) corresponde ao tratamento 10-7,5 na qual observa-se que a estrutura das amostras é altamente porosa, com poros de diversos tamanhos. Também observa-se a presença da formação de uma camada externa. Esse tratamento totalizou um tempo de resfriamento de 75 minutos e mostrou-se adequado para manter a estrutura porosa. A amostra pouco encolheu e, embora observe-se a presença de cor escura, esta só foi evidente na casca.

O tratamento 10-10, Figura 4-3(h) resultou em uma estrutura porosa e encolhimento mínimo, no entanto a presença da cor escura foi marcante não só na superfície, mas também no interior, quando comparada com os demais tratamentos. Além disso, as amostras apresentaram leve odor e sabor de queimado, embora quase imperceptíveis.

Apesar das reações de Maillard e de caramelização não terem sido estudadas neste projeto, é importante comentar que as imagens mostraram a ocorrência dessas reações de degradação térmica, notoriamente no caso do tratamento 5-5 (Figura 4-3(i)). Além da cor escura, foi observado o sabor e odor de queimado mais acentuado que no tratamento 10-10. No entanto, não foi feita análise sensorial com um painel especializado para corroborar esta observação. Como pode-se observar a amostra apresentou textura porosa, porém visualmente foi considerado um produto final desagradável devido à presença de cor, odor e sabor de queimado. No apêndice B apresentam mais imagens para cada tratamento.

4.3.1 UMIDADE

Foi feita a determinação do conteúdo de umidade em quatro momentos ao longo do processo, para cada ensaio de secagem. O primeiro momento foi na matéria-prima; conforme relatado no item 4.1. Depois, foi determinada ao final do pulso HTST e, de modo geral, os valores ficaram em média de 50,50% \pm 1,05 até 55,87% \pm 3,34 (bu) para todos os tratamentos, valores que deveriam se mostrar iguais, uma vez que o pulso HTST foi igual para todos os

tratamentos (150°C por 15 min). O terceiro momento foi no final da etapa de resfriamento, as amostras apresentaram diferentes conteúdos de umidade, como consequência das diferentes condições de resfriamento avaliadas. Finalmente, foi determinada a umidade ao final da secagem convencional e os valores ficaram entre 4 e 6% (bu). O tempo total desta etapa foi a variável ajustado em cada tratamento, de maneira a assegurar que os produtos finais apresentassem conteúdos de umidade similares.

A Tabela 4-3 apresenta os valores de umidade ao final da etapa de resfriamento e ao final da secagem para todos os tratamentos avaliados, assim como os resultados do tratamento 80-0 utilizado simplesmente para fins comparativos. Os valores representam a média de três ensaios por tratamento, tendo sido cada ensaio analisado em triplicata. No Apêndice C encontram-se os dados individualmente para cada ensaio. Também apresenta-se a UR do ar na entrada do secador logo após o soprador, monitorada ao longo do processo de secagem.

O valor mais alto da umidade final em amostras (8,45%), correspondente ao tratamento 20-5, foi devido principalmente ao incremento na umidade relativa do ambiente, consequência das mudanças nas condições climatológicas, como foi discutido anteriormente.

O tratamento 80-0 finalizou o resfriamento aproximadamente com 44% de umidade (Tabela 4-3) e, como consequência disso, o tempo da secagem convencional foi de 12 h para que o produto atingisse a atividade de água desejada ($a_w < 0,30$).

Tabela 4-3 Conteúdo de umidade das amostras de cada tratamento de secagem no final da etapa de resfriamento e no final do processo e a UR do ar ao longo do processo.

Tratamento ampl-perd	Umidade das amostras ¹ (%bu)			UR do ar de entrada ²		
	Final do resfriamento	Final do processo	Início do pulso	Início do resfriamento	Final do resfriamento	Final do processo
20-5	23,48 ± 4,65	8,45 ± 2,30	8,73± 0,69	8,56±0,54	8,23±0,36	7,87± 0,20
20-7,5	23,82 ± 5,23	6,43 ± 0,75	7,7 ± 0,92	7,04± 0,87	6,51± 0,51	5,44 ± 0,77
20-10	14,60 ± 3,96	5,30 ± 0,92	5,64± 0,24	5,08 ± 0,23	4,54± 0,08	3,8± 0,43
10-5	15,52 ± 2,71	6,84 ± 2,14	7,04 ± 1,03	6,28± 2,05	5,25± 1,36	3,67± 1,46
10-7,5	10,75 ± 1,02	4,05 ± 0,75	6,87± 1,10	6,74 ± 0,90	5,21 ± 0,49	3,47 ± 1,30
10-10	6,34 ± 1,62	5,73 ± 2,30	5,99 ± 0,79	5,18 ± 0,26	4,51± 0,47	3,06± 0,15
5-5	4,25 ± 1,15	4,25 ± 1,15	8,01± 0,43	6,60 ± 0,92	4,75± 0,71	3,00± 0,02
80-0	44,20 ± 2,37	5,41 ± 1,43	7,84 ± 1,42	6,64 ± 0,63	6,25 ± 0,67	5,23 ± 0,83

Nota: ¹ Os valores apresentados correspondem às médias de três ensaios com determinações em triplicata. ² A precisão do equipamento foi de 0,1%

A Figura 4-4 mostra o conteúdo de umidade das amostras (bu), ao final da etapa de resfriamento em função do tratamento estudado.

Os tratamentos 20-5 e 20-7,5 com tempos de resfriamento de aproximadamente 33 e 39 minutos, respectivamente não diferem estatisticamente entre si ao nível de significância de 10%. Analogamente, os tratamentos 10-10 (94 min) e 5-5 (110 min) são estatisticamente iguais. O conteúdo de umidade dos tratamentos 20-10 (47 min), 10-5 (50 min) e 10-7,5 (75 min) resultam numa igualdade estatística.

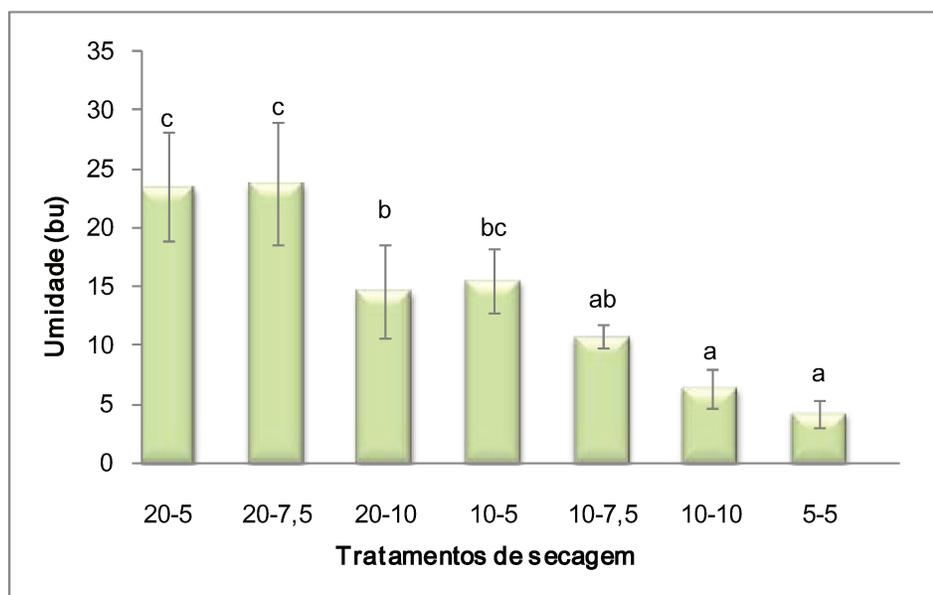


Figura 4-4 Conteúdo de umidade ao final de etapa de resfriamento em função dos tratamentos de secagem. Nota: Os valores apresentados correspondem às médias de três ensaios com determinações em triplicata. Colunas com letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de significância $p < 0,10$.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO FINAL

4.4.1 ATIVIDADE DE ÁGUA

A atividade de água (a_w) da banana no final do processo está disposta na Tabela 4-4.

Tabela 4-4 Atividade de água das amostras em função do tratamento de secagem.

Tratamento	a_w^1
20-5	0,319 ± 0,039
20-7,5	0,317 ± 0,043
20-10	0,292 ± 0,027
10-5	0,260 ± 0,011
10-7,5	0,283 ± 0,015
10-10	0,276 ± 0,004
5-5	0,267 ± 0,014

Nota: ¹ O valor corresponde à média de três ensaios com determinação em triplicata em cada ensaio.

Em quase todos os tratamentos foi alcançada a atividade de água escolhida como determinante do fim do processo ($a_w < 0,30$). Os ensaios preliminares foram importantes para prever o tempo total da secagem convencional que permitisse alcançar esse valor. A atividade de água ficou entre 0,260 e 0,292, para os tratamentos 20-10 até 10-7,5. Já para os tratamentos 20-5 e 20-7,5 os valores ficaram relativamente mais altos, 0,319 e 0,317 respectivamente. Entretanto, mesmo com $a_w > 0,30$ as amostras apresentaram crocância, o que está de acordo com Hofsetz (2003) que constatou que com atividade de água igual a 0,32 o produto ainda foi considerado crocante pelo painel sensorial.

Apesar de os tratamentos 20-5 e 20-7,5 apresentarem maior tempo na secagem convencional, 10,5 e 9,5 horas respectivamente, não foi possível atingir atividade de água abaixo de 0,30. Uma hipótese para que isso tenha acontecido poderia ter sido a influência das condições climatológicas durante esse período elevaram a umidade relativa do ar quando comparada com a umidade em temporada mais seca. O produto final atingiu o equilíbrio com umidade relativa do ar mais alta, fato que poderia ter refletido num pequeno incremento na atividade de água. Outra hipótese é que a estrutura da amostra, consequência dos diferentes tratamentos de secagem, poderia ter influenciado a velocidade de difusão da água, ou seja, amostras com estrutura mais compacta precisariam de tempos muito longos (maiores a 12h) para atingirem o equilíbrio. Nenhuma das duas hipóteses foi corroborada neste trabalho.

4.4.2 CROCÂNCIA

A crocância é um dos atributos mais importantes na qualidade dos *snacks*, que influencia a aceitação do produto por parte do consumidor. A Figura 4-5 apresenta o número de picos do gráfico força-deformação, um dos parâmetros indicativos da crocância, em função dos tratamentos de secagem. No apêndice C apresenta-se os dados de cada tratamento.

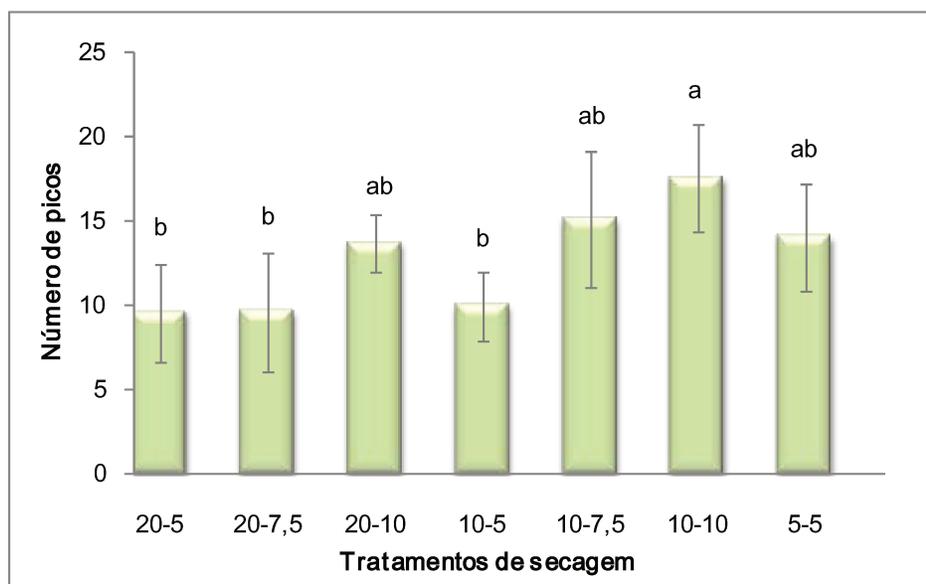


Figura 4-5 Número de picos no produto final em função dos tratamentos de secagem. Nota: os valores apresentados correspondem às médias de três ensaios com 15 determinações cada. Colunas com letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de significância $p < 0,10$.

Devido à baixa reprodutibilidade do ensaio de compressão, ao analisar estatisticamente a frequência de número de picos, observa-se que a diferença entre os tratamentos de secagem foi muito leve. Os tratamentos 20-5; 20-7,5 e 10-5 finalizaram o processo com 9,6; 9,6 e 10 picos (média de três ensaios com 15 repetições cada) respectivamente; já a contagem de picos médio para os tratamentos 20-10; 10-7,5 e 5-5 ficou em 13,7; 15,1 e 14 respectivamente. O tratamento que mais se destacou foi o tratamento 10-10 apresentando um número médio de picos de 17,5. No entanto, apesar do elevado número médio de picos apresentado por este tratamento, foi percebido um leve odor e sabor de queimado, assim como a presença de cor escura. Já para o tratamento 5-5, essas características indesejáveis foram mais marcantes, ocasionadas

possivelmente por reações de caramelização e de Maillard. Para poder confirmar esse fato poderia ter-se analisado o perfil de transformações de amido e açúcares, o que não foi possível neste trabalho. O tratamento 10-7,5 apresentou um número médio de picos consideravelmente alto sem comprometer as outras características.

Nath e Chattipadhyay (2007) obtiveram *snacks* de batata mediante um processo de HTST-*puffing*. A avaliação da crocância foi medida também num texturômetro TA-XT2 em condições relativamente similares às empregadas neste trabalho. Os autores concluíram que o número de picos foi maior quando as amostras foram submetidas a altas temperaturas por tempos maiores durante o processo. Analisando a Figura 4-5 é possível dizer que as amostras deste trabalho apresentam um comportamento similar ao relatado pelos autores. No entanto, o tratamento 10-10 apresentou um número maior de picos quanto comparado com o tratamento 5-5. Provavelmente tempos muito longos a altas temperaturas não melhoram as características de crocância, além de por em risco outras características associadas à qualidade do produto. No trabalho de Oliveira (2007) secando amostras de banana com pulso HTST (150°C por 15 min), uma de etapa de resfriamento de 50 minutos e uma secagem convencional a 70°C, o número total de picos oscilou entre 16 e 25. A contagem de número de picos deste trabalho encontra-se dentro da faixa dos resultados publicados pela autora.

O tratamento 80-0 apresentou um número médio reduzido de picos 8 (Tabela C-1), mostrando novamente que a redução drástica de temperatura foi negativa para a crocância das amostras.

4.4.3 FORÇA MÁXIMA

A Figura 4-6 apresenta a força máxima média de deformação do gráfico força-deformação em função dos tratamentos de secagem. No apêndice C apresenta os valores tabelados.

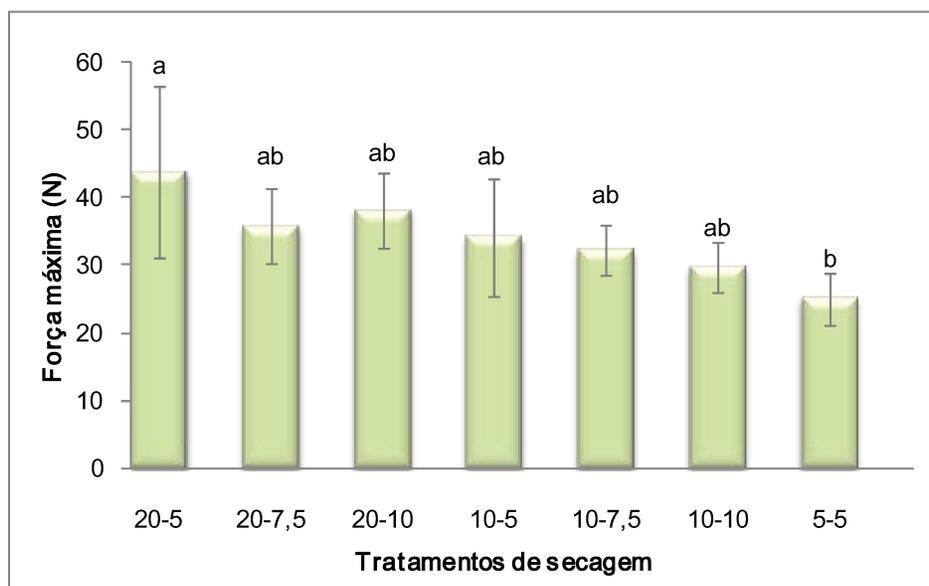


Figura 4-6 Força máxima média no produto final em função do tratamento de secagem. Nota: os valores apresentados correspondem às médias de três ensaios com 15 determinações cada. Colunas com letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de significância $p < 0,10$.

A força máxima média oscilou entre 43,84 N para o tratamento 20-5 e 25,17 N para o tratamento 5-5. Oliveira (2007) encontrou valores similares em amostras de banana Nanica. Observando a Figura 4-6, pode-se dizer que tempos mais longos na etapa de resfriamento, como é o caso do tratamento 5-5, podem produzir produtos mais frágeis, precisando menor força para quebrar

as amostras; já tempos curtos na etapa de resfriamento, como no caso do tratamento 20-5, produzem *snacks* com valores altos de força máxima na deformação, um indicativo da dureza do produto. O tratamento 80-0 (Apêndice C) causou uma dureza similar à do tratamento 20-5. Outro fator que pode ter influenciado na resposta é o tempo total da secagem convencional, que variou de 6 até 9,5 horas para o tratamento 5-5 e 20-5 respectivamente. A força máxima de deformação dos demais tratamentos com tempos de resfriamento intermediários não mostrou diferença estatística significativa entre si nem com os tratamentos citados anteriormente. Pouca informação pode ser obtida da análise da força máxima de deformação, embora o procedimento experimental tenha sido o mesmo que o empregado para a determinação do número de picos, parâmetro este cuja diferença entre tratamentos foi estatisticamente mais significativa.

Baixas relações da força de deformação com a secagem a ar quente foram encontradas na literatura. Jamradloedluk et al. (2007) estudaram a influência da secagem a ar quente a diferentes temperaturas (130°C, 140°C e 150°C) em *snacks* da fruta Durião, os resultados mostraram que a força máxima de deformação do gráfico força-deformação não foi estatisticamente diferente em nenhum dos tratamentos (nível de significância de 5%). Também, Prachayawarakorn et al. (2008) apontaram que na secagem das fatias de banana a altas temperaturas entre 110°C e 140°C, a força máxima de deformação não se mostrou estatisticamente diferente (nível de significância de 5%) pela análise de Duncan.

4.4.4 ENCOLHIMENTO

As modificações volumétricas, conseqüência da remoção da água ao longo do processo de secagem, foram expressas em termo de encolhimento. A Figura 4-7 apresenta a razão do volume da amostra seca em relação à amostra fresca em função dos tratamentos.

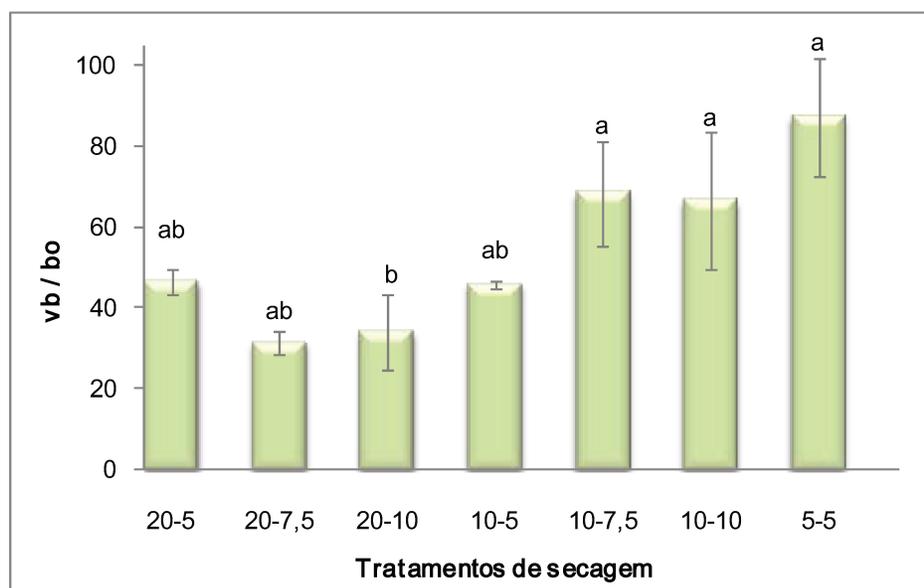


Figura 4-7 Encolhimento do produto final em função dos tratamentos de secagem. Nota: os valores apresentados correspondem às médias de três ensaios com determinações em quintuplicata. Colunas com letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de significância $p < 0,10$.

Longos tempos da etapa de resfriamento mostraram ter influência benéfica no encolhimento das amostras, como no caso dos tratamentos 10-7,5, 10-10 e 5-5. A redução gradual de temperatura levaria ao menor aparecimento de tensões na superfície das amostras e conseqüentemente, menor encolhimento seria ocasionado. As amostras do tratamento 5-5 finalizaram o

processo com 87% do volume inicial, porém reações de degradação térmica produziram características indesejáveis no produto terminado.

O tratamento 10-7,5 além de ser o segundo com menor encolhimento não teve presença tão marcante das reações de degradação térmica. Em contraposição, as maiores amplitudes provocaram volume final da amostra notoriamente menor em relação à amostra fresca, caso dos tratamentos 20-5, 20-7,5 e 10-5. O volume final das amostras do tratamento 80-0 (resfriamento drástico) representou 30% do volume inicial. No Apêndice C apresenta os dados de todos os tratamentos.

Comparando os dados com os da pesquisa de Hofsetz (2007), amostras com tempo de resfriamento de 50 minutos, encolheram em 68,5% no trabalho da autora. No tratamento 10-5, cujo processo é muito similar ao relatado por Hofsetz (2007), o encolhimento das amostras foi em média de 46%, valor relativamente menor que o citado. As diferenças encontradas podem ser devido às diferentes metodologias empregadas na determinação do volume aparente.

No trabalho desenvolvido por Yan et al. (2008), as fatias de banana encolheram durante a secagem até aproximadamente 24% de umidade (bu) e em seguida o volume das amostras manteve-se constante em 20% do volume original. Comparando os dados desta pesquisa com os dos autores, todos os tratamentos mostraram menor perda do volume, inclusive nas condições mais aceleradas de resfriamento. O pulso HTST foi importante para que o produto ganhasse uma estrutura porosa e a etapa de resfriamento foi importante para manter essa estrutura; já produtos secos unicamente a uma temperatura

convencional, como as amostras do trabalho citado anteriormente, apresentaram-se menos porosos e encolheram mais facilmente.

Para a determinação do volume aparente neste trabalho foi utilizado o método de deslocamento de volume utilizando uma proveta. Yan et al. (2008) determinou o volume aparente para amostras de banana e relataram que a utilização da balança hidrostática apresenta menor coeficiente de variação quanto comparado com o método de deslocamento de volume utilizando a proveta, porém não foi possível a utilização de dito sistema neste trabalho. No entanto, como foi dito anteriormente, foi utilizada só a vazão entre os volumes aparentes da amostra seca e fresca, e não o valor do volume aparente como tal. Porém, a utilização da balança hidrostática é o método mais adequado na determinação do volume aparente.

4.4.5 COR INSTRUMENTAL

A mudança de cor em processos que envolvem altas temperaturas é causada por vários mecanismos, incluindo a degradação de pigmentos, reações de oxidação e reações de Maillard. Essas reações podem acontecer simultaneamente, mas em diferentes velocidades, dependendo dos fatores de cada cor que estão envolvidos (BARREIRO; MILANO; SANDOVAL, 1997).

Na Tabela 4-5 apresentam-se os parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*) para a matéria-prima submetida a secagem.

Tabela 4-5 Parâmetros da cor da matéria-prima em função do tratamento de secagem

Tratamento amplitude-período	L_o^*	a_o^*	b_o^*
20-5	50,73 ± 1,36	0,23 ± 0,30	16,21 ± 0,28
20-7,5	56,39 ± 2,56	0,30 ± 0,09	18,98 ± 0,45
20-10	54,89 ± 2,65	0,31 ± 0,1	18,98 ± 0,35
10-5	53,43 ± 3,46	0,51 ± 0,70	19,80 ± 2,54
10-7,5	54,21 ± 3,76	0,89 ± 0,50	20,89 ± 3,01
10-10	58,21 ± 3,26	1,20 ± 0,66	20,89 ± 2,33
5-5	55,81 ± 3,12	1,41 ± 0,87	20,89 ± 2,33

Nota: Os valores correspondem à matéria-prima do ensaio 1 de cada tratamento de secagem, sendo cada um a média de 9 repetições e o desvio-padrão.

Observa-se que a cor instrumental da matéria prima pouco variou na temporada em que foram realizados os ensaios de secagem. A variação dos parâmetros da cor (L^* , a^* e b^*), da banana seca em relação à banana *in natura* foi determinada para cada tratamento e esta apresentada nas Figuras 4-8; 4-9 e 4-10, respectivamente.

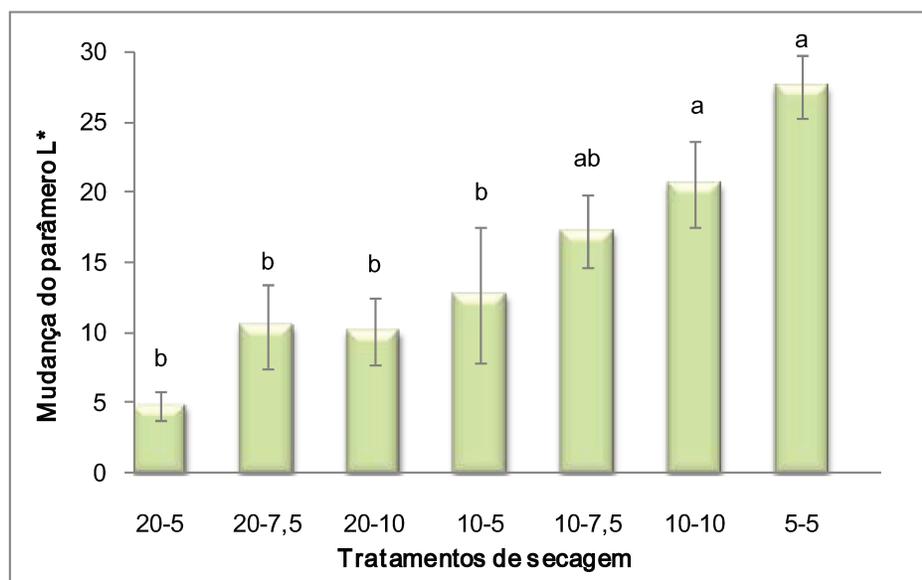


Figura 4-8 Mudança do parâmetro L* da cor do produto final em função do tratamento de secagem. Nota: os valores apresentados correspondem às médias de três ensaios com 9 determinações cada. Colunas com letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de significância $p < 0,10$.

De acordo com a Figura 4-8, para um mesmo período, maiores amplitudes ocasionaram mudanças pequenas no parâmetro L*; já menores amplitudes ocasionaram maiores mudanças neste parâmetro. Para uma mesma amplitude, menores períodos causaram menores variações em L* e maiores períodos causaram maior variação em L*. Segundo Barreiro et al. (1997), as altas temperaturas ocasionam a destruição dos compostos termolábeis resultando na formação de compostos escuros que reduzem a luminosidade.

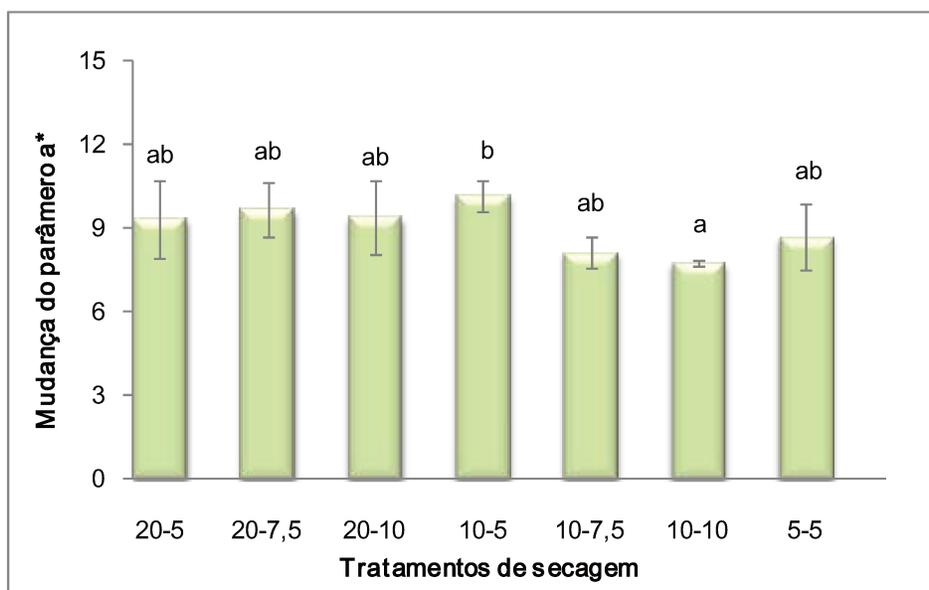


Figura 4-9 Mudança do parâmetro a^* da cor do produto final em função do tratamento de secagem. Nota: os valores apresentados correspondem às médias de três ensaios com 9 determinações cada. Colunas com letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de significância $p < 0,10$.

Na Figura 4-9 observa-se que a mudança do parâmetro a^* (vermelho/verde) em relação à matéria-prima foi menos evidente quando comparada com o parâmetro L^* .

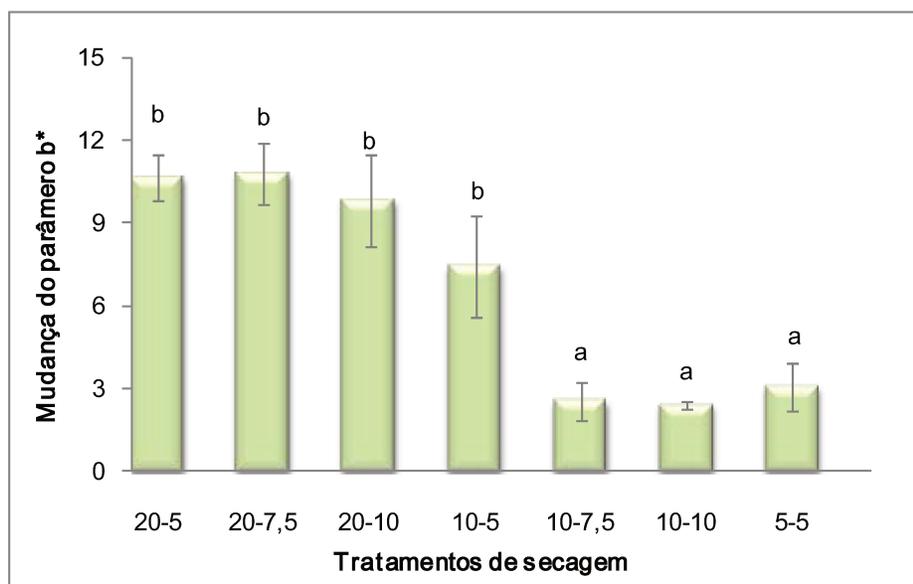


Figura 4-10 Mudança do parâmetro b^* da cor do produto final em função do tratamento de secagem. Nota: Os valores apresentados correspondem às médias de três ensaios com 9 determinações cada. Colunas com letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de significância $p < 0,10$.

Na Figura 4-10 mostra-se a mudança do parâmetro b^* (azul/amarelo) da cor em relação à matéria prima. Analisando essa resposta, os tratamentos 20-5; 20-7,5, 20-10 e 10-5 não foram estatisticamente diferentes entre si ao nível de significância de 10%; analogamente os tratamentos 10-7,5; 10-10 e 5-5 foram estatisticamente iguais. De acordo com a figura, para um mesmo período maiores amplitudes ocasionaram mudanças maiores no parâmetro b^* ; já menores amplitudes ocasionaram menores mudanças neste parâmetro, tendo sido constatadas diferenças significativas ao nível de 10% em quase todos os casos, menos entre os tratamentos 20-5 e 10-5. Para a mesma amplitude, menores períodos causaram maiores variações no parâmetro b^* , mas estas

diferenças não se mostraram significativas estatisticamente ao nível de 10%. No Apêndice C apresenta os dados de mudança de cor para todos os tratamentos.

Prachayawarakorn et al. (2008) secaram amostras a 110°C, 120°C, 130°C e 140°C até umidades em torno de 4% (bu). Eles observaram que quando o tempo de secagem foi maior, as cores das rodela de banana mudaram de amarelo ligeiro, na banana *in natura* a escuro, o que correspondeu a diminuição nos valores L* e a*. O parâmetro mais sensível foi L* seguido do a*, sendo o b* o parâmetro da cor menos sensível durante a secagem. Neste trabalho o parâmetro L* também foi o mais sensível, no entanto, o parâmetro b* mostrou-se mais sensível as mudanças das temperaturas do que o parâmetro a*.

Por outro lado, Chua et al. (2001) estudaram a cinética de mudança da cor em amostras de banana empregando dois perfis de temperatura para o ar de secagem. Num primeiro perfil, a temperatura decresceu desde 35°C até 20°C, rapidamente; já no segundo perfil, a amplitude de redução da temperatura foi de 5°C e o período em cada temperatura foi de 60 min. Os autores constataram que decréscimos graduais na temperatura de secagem foram adequados para minimizar a mudança da luminosidade das amostras. Neste trabalho, observou-se que decréscimos graduais da temperatura foram negativos para as amostras, provavelmente devido às altas temperaturas empregadas, quando comparadas às temperaturas do trabalho dos autores. Considerando o parâmetro a* dos autores, a redução gradual de temperatura não foi favorável quando comparada com a redução em uma etapa só. Já neste trabalho não se pôde chegar a nenhuma conclusão, pois o parâmetro a*

pouco mudou e não apresentou alteração significativa tangível entre os tratamentos. Para o parâmetro b^* , o perfil de temperatura com várias etapas mostrou-se adequado para diminuir a perda da cor amarelo; já analisando os resultados obtidos neste trabalho, observou-se o mesmo comportamento, confirmando que decréscimos graduais estão associados a menores perdas da cor amarelo.

Analisando-se separadamente o tratamento 80-0 (Apêndice C), observa-se que não houve significativa perda de luminosidade ($\Delta L^* = 6,9$), porém, esta não foi menor à apresentada pelo tratamento 20-5 ($\Delta L^* = 4,8$), possivelmente devido ao tempo mais longo da secagem convencional (12 h) quanto comparada às 9,5 h do tratamento 20-5. A mudança no parâmetro a^* foi mínima ($\Delta a^* = 7,8$) e, segundo a literatura isso se deveria à baixa formação de compostos de cor escuros. Já no caso do parâmetro b^* , o tratamento 80-0 resultou numa mudança ainda maior ao apresentado pelo tratamento 20-5, $\Delta b^* = 11,2$ em comparação com o valor de 10,6 do tratamento 20-5.

4.4.6 DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE POROS

Os poros formados em consequência dos diferentes tratamentos de secagem foram irregulares em forma e apresentam diversos tamanhos. Na Figura 4-11 pode-se observar a distribuição do tamanho de poros para todos os tratamentos de secagem. Para uma melhor visualização, no apêndice D encontra-se a distribuição do tamanho de poros para cada tratamento separadamente.

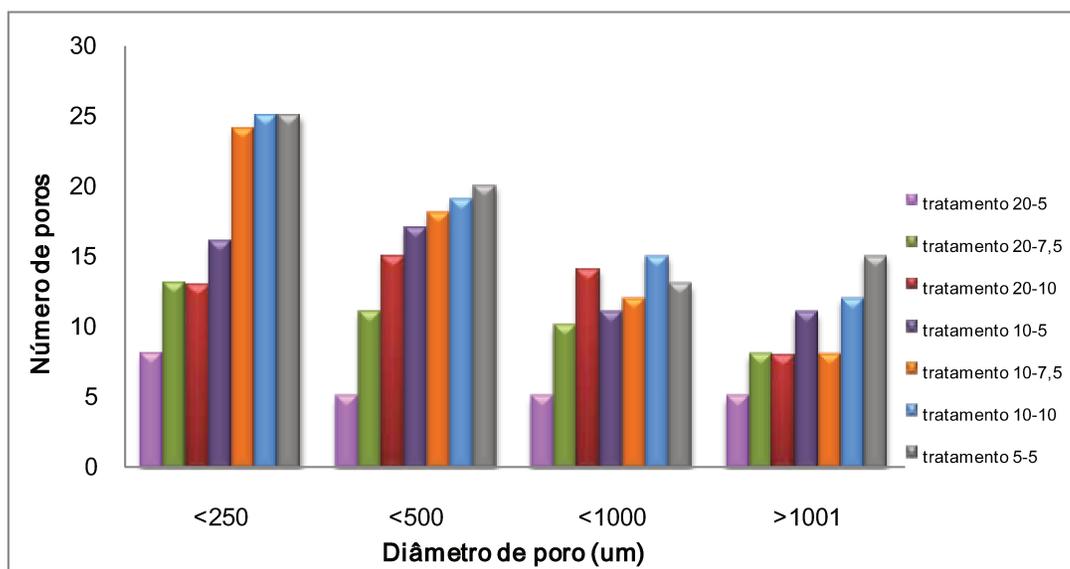


Figura 4-11 Distribuição do tamanho dos poros das amostras em função do tratamento de secagem.

Devido à irregularidade na forma dos poros, foram identificados dois diâmetros, um maior e outro menor. De maneira a ter-se uma visão mais realista das dimensões da amostra, foi calculado o diâmetro equivalente para cada poro, embora não se tenha encontrado na bibliografia procedimento similar na secagem de frutas e hortaliças, sendo a porosimetria em mercúrio o método mais empregado nesses casos.

Na tabela 4-6 apresenta-se a distribuição do tamanho de poros e o total de poros das amostras para cada tratamento de secagem.

Tabela 4-6 Distribuição do tamanho de poros e total de poros das amostras em função do tratamento de secagem.

Tratamento amplitude-período	Número de Poros				Total
	< 250 μm	< 500 μm	< 1000 μm	> 1001 μm	
20-5	8	5	5	5	23
20-7,5	13	11	10	8	42
20-10	13	15	14	8	50
10-5	16	17	11	11	55
10-7,5	24	18	12	8	62
10-10	25	19	15	12	71
5-5	25	20	13	15	73
80-0	0	0	7	10	17

Analisando a Tabela 4-6 observa-se que para um mesmo período, para as menores amplitudes corresponderam os maiores números de poros totais; para uma mesma amplitude, aos maiores períodos corresponderam os maiores números totais de poros. Os tratamentos 5-5 e 10-10 apresentaram maior quantidade de poros, além de estes serem de maior tamanho, quando comparado com as amostras de resfriamento acelerado, caso do tratamento 20-5, que mostrou pouca quantidade de poros com tamanhos quase similares. Léonard et al. (2008) também comprovaram que as temperaturas mais altas de secagem produziram poros de maior tamanho, diminuindo a frequência de poros com tamanhos menores a 50 μm . Dados similares foram relatados no trabalho de Ramos et al. (2004) secando amostras de uva com ar quente.

Em todos os tratamentos, o número de poros com tamanho menor a 250 μm foi maior. À medida que o diâmetro equivalente aumentou, o número de poros diminuiu, mostrando que a distribuição do tamanho de poros foi não-normal para todos os tratamentos. Léonard et al. (2008) secaram fatias de banana por duas técnicas, com vapor a baixa pressão superaquecido e uma secagem a vácuo; a distribuição de poros, obtida a partir de imagens do Microscópio Eletrônico de Varredura (SEM) para ambos processos também foi não-normal, sendo que os poros com tamanhos menores a 100 μm prevaleceram. De igual maneira, Prakotmak, Soponronnarit e Prachayawarakorn (2010), estudaram a distribuição dos tamanhos dos poros em polpa de banana seca, com densidades de 0,21 e 0,26 (g/cm^3); ambas distribuições foram obtidas a partir de imagens do SEM e mostraram-se também não-normais. A amostra com densidade de 0,21 (g/cm^3) tinha maior quantidade de poros pequenos (até 150 μm), totalizando 62% do total de poros; já o número de poros maior a 150 μm representou só 38%. A contagem de poros para a amostra com densidade de 0,26 (g/cm^3) foi de 71% para os poros pequenos.

4.5 TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO VÍTREA AO LONGO DO PROCESSO DE SECAGEM

Conforme descrito no item 3.2.4, banana *in natura* foi submetida à secagem com pulso HTST (150°C-15 min), seguido de uma etapa de resfriamento, amplitude 10°C e período 7,5 min, e de uma secagem

convencional a 70°C. Coletou-se amostras em diferentes tempos do processo, de acordo com a Tabela 3-2 (item 3.2.4). Em cada amostra foi determinada a atividade de água, o conteúdo de umidade, o número de picos num gráfico força-deformação e a temperatura de transição vítrea.

4.5.1 RELAÇÃO ENTRE UMIDADE E ATIVIDADE DE ÁGUA

Cabe lembrar que, na realização de ensaios prévios foi observada a diferença entre a umidade da superfície e a umidade do interior da amostra t_0 . Por isso, decidiu-se fazer a separação destas partes para a caracterização em separado das respectivas propriedades. No entanto, também foi analisado o pedaço inteiro da fruta.

A atividade de água e a umidade das amostras estão dispostas na Tabela 4-7. Os valores apresentados são a média das três repetições e o respectivo desvio-padrão.

A determinação da a_w e da umidade da amostra t_0 separada (interior e superfície) foi muito dificultosa, uma vez que para obter uma quantidade adequada de amostra foi necessário fatiar pelo menos 4 a 5 *snacks*, e o tempo de duração desta operação, além da grande manipulação, podem ter influenciado no conteúdo final de umidade e, conseqüentemente, no valor da atividade de água. No entanto, como se esperava, a atividade de água do interior da amostra ficou maior quando comparada à da superfície. No caso da umidade, $t_{0 \text{ interior}}$ é levemente superior a $t_{0 \text{ superfície}}$; porém as amostras $t_{0 \text{ superfície}}$ e

t_1 apresentaram o mesmo conteúdo de umidade, possivelmente porque ainda o interior da amostra t_1 estava um pouco mais úmido que a superfície, ou mais provavelmente, devido à variação no conteúdo de umidade da amostra t_0 em consequência das dificuldades da amostragem discutidas anteriormente. Considerando a amostra t_0 inteira, apresentou umidade maior do que quando foi separada em partes; já o valor da atividade de água foi menor para os valores da amostra quando fatiada.

Tabela 4-7 Umidade e atividade de água das amostras em função do tempo de amostragem.

Amostra	Tempo de amostragem (min)	a_w^1	Umidade ¹ (bu)
t_0 pedaço inteiro	90	$0,476 \pm 0,032$	$10,951 \pm 0,992$
t_0 interior	90	$0,544 \pm 0,005$	$6,061 \pm 3,809$
t_0 superfície	90	$0,481 \pm 0,011$	$5,895 \pm 3,089$
t_1 pedaço inteiro	180	$0,397 \pm 0,008$	$5,819 \pm 1,389$
t_2 pedaço inteiro	270	$0,334 \pm 0,013$	$3,831 \pm 1,458$
t_3 pedaço inteiro	360	$0,309 \pm 0,035$	$3,353 \pm 1,052$
t_4 pedaço inteiro	450	$0,253 \pm 0,027$	$3,128 \pm 0,073$

Nota: ¹ O valor corresponde a média de 3 repetições e o desvio-padrão.

No caso das demais amostras (t_1 , t_2 , t_3 e t_4) a determinação da a_w e umidade foi muito mais simples, já que as amostras apresentavam aparência homogênea e se encontravam quase completamente secas, sendo desnecessária a separação em partes (interior e superfície). Finalmente, pode-se observar na Tabela 4-7 que, como consequência da constante evaporação

da água no decorrer do processo de secagem, a atividade de água e a umidade foram diminuindo com o tempo conforme esperado.

A Figura 4-12 mostra a relação entre o conteúdo de umidade e a atividade de água das quatro amostras (t_1 , t_2 , t_3 e t_4). Nesse gráfico a amostra t_0 foi desconsiderada, quando foi comprovado que o pedaço inteiro apresentava propriedades heterogêneas.

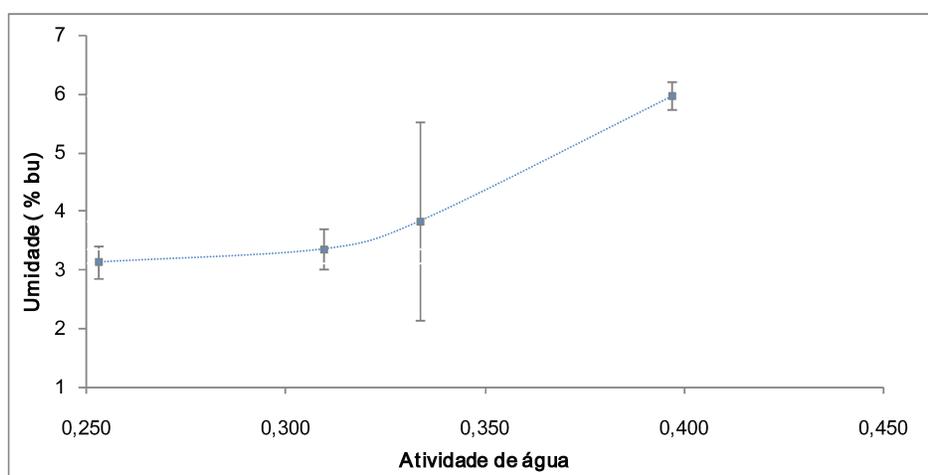


Figura 4-12 Relação entre umidade e atividade de água das amostras em função do tempo de amostragem.

Liu-Ping, Zhang e Mujumdar (2007); Sá, Figueiredo e Sereno et al. (1999), entre muitos outros autores, estudaram a relação entre a umidade e a atividade de água de frutas e hortaliças. Nos trabalhos citados anteriormente foram feitos o ajuste dos dados experimentais ao modelo de Guggenheim Anderson Boer (GAB), modelo que serve para prever as isotermas de sorção dos alimentos. Os dados experimentais dos autores mostraram boa concordância com o modelo de GAB. Por outra parte, o comportamento da relação umidade e a_w obtidos por Liu-Ping et al. (2007) e Sá et al. (1999) foi muito similar ao comportamento mostrado por os pontos deste trabalho (Figura 4-12); embora o

conteúdo de umidade não corresponda ao do equilíbrio, como foi feito nos trabalhos citados. Além disso, não foi feito o ajuste ao modelo de GAB ou qualquer outro modelo que prevê a relação entre atividade de água e umidade devido aos poucos dados disponíveis (quatro).

4.5.2 RELAÇÃO ENTRE CROCÂNCIA E ATIVIDADE DE ÁGUA

A relação entre o número total de picos do gráfico força-deformação, um indicativo da crocância, e a_w das amostras está disposta na Tabela 4-8. Os valores apresentados são a média das cinco repetições e o respectivo desvio-padrão.

No caso do número de picos, não foi feita a separação de interior e superfície para a amostra t_0 , pois o corte da amostra já causa ruptura na mesma, o que prejudica e inviabiliza a determinação do teste. É importante assinalar que a precisão dos resultados, devido à baixa reprodutibilidade do ensaio, está comprometida com a pouca quantidade de amostras analisadas, devido fundamentalmente à pouca capacidade do secador utilizado para os experimentos. No caso da avaliação da etapa de resfriamento (item 4.4.2) para cada um dos tratamentos de secagem estudados utilizaram-se quinze *snacks*; já nesta parte do trabalho se dispunha unicamente de cinco amostras para cada tempo de amostragem.

Tabela 4-8 Número de picos e atividade de água das amostras em função do tempo de amostragem.

Amostra	Tempo de amostragem (min)	a_w ¹	Número de picos ²
t ₀ pedaço inteiro	90	0,476 ± 0,032	0,4 ± 0,7
t ₁ pedaço inteiro	180	0,397 ± 0,008	3,8 ± 0,2
t ₂ pedaço inteiro	270	0,334 ± 0,013	5,2 ± 1,7
t ₃ pedaço inteiro	360	0,309 ± 0,035	8,8 ± 0,4
t ₄ pedaço inteiro	450	0,253 ± 0,027	10,1 ± 1,9

Nota: ¹ O valor corresponde a média de 3 repetições e o desvio-padrão. ² O valor corresponde a média de 5 repetições e o desvio-padrão.

Como se pode observar na Tabela 4-8, a amostra t₀ (11% de umidade bu), não apresenta nenhum pico, mostrando que sua textura é macia. No decorrer do processo de secagem, na medida em que a umidade das amostras diminuía, o número de picos aumentou. A Figura 4-13 mostra a relação entre o número de picos médio e a atividade de água das amostras.

Segundo Takeuchi, Sabadini e Cunha (2005), relações entre a crocância de cereais matinais e atividade de água foram relatadas, sendo que essa relação é de forma sigmoideal e é analisada em termos de três regiões: completamente plasticizado, transição e crocante. Os autores avaliaram o comportamento dos cereais matinais em relação à ação plasticizante da água e conseqüente perda de crocância. O comportamento da curva a_w - crocância obtida neste trabalho apresentou comportamento similar ao trabalho de

Takeuchi et al.(2005), sendo possível a observação das três regiões, relatadas pelos autores, na Figura 4-13.

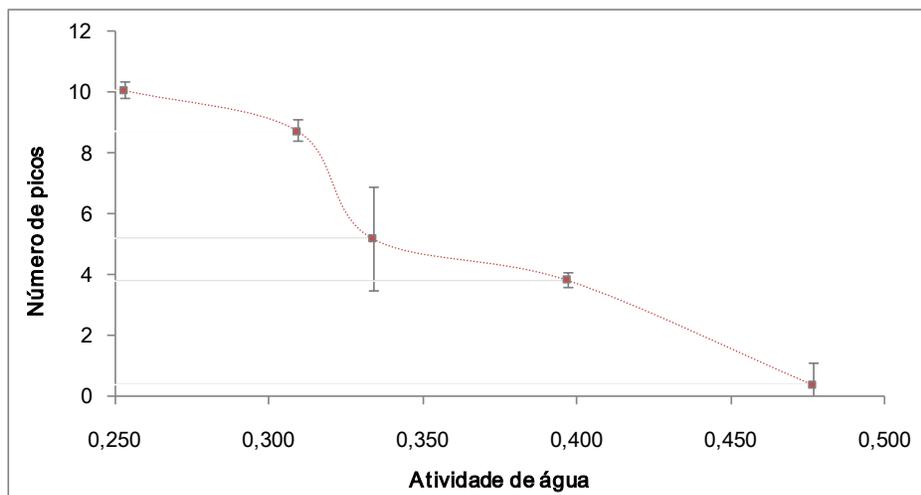


Figura 4-13 Relação entre o número de picos e atividade de água em função do tempo de amostragem.

4.5.3 RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO VÍTREA E ATIVIDADE DE ÁGUA

Foi analisada no DSC a fruta fresca ($a_w = 0,979$) e este resultado serviu como termograma padrão para as demais amostras, ou seja, analisou-se qualquer evento térmico nas demais amostras que fosse diferente daquele apresentado pela fruta *in natura*. No Apêndice E apresenta-se um dos termogramas obtidos para a banana fresca. Foi verificado que a amostra não apresentou a existência de uma T_g , somente o pico de fusão da água. Hofsetz (2007) também observou isso em banana e segundo Baroni (2004) amostras de tomate *in natura* apresentaram o mesmo comportamento. Por outro lado, a

temperatura de gelatinização do amido também não foi observada. Segundo Tribess et al. (2009) a temperatura de gelatinização da farinha de banana (*Musa cavendishii*) com aproximadamente 74% teor de amido fica entre 67°C e 68°C. Já neste trabalho o teor de amido da banana fresca utilizada foi de 7,7%, fato que poderia ter influenciado a visualização desta temperatura.

Outro fato observado foi a ocorrência de duas transições vítreas. Houve um evento térmico entre -15°C e -5°C; essa T_g pouco visível foi observada em todas as amostras. Hofsetz (2007) observou o mesmo fenômeno secando também amostras de banana. Telis e Sobral (2002) também observaram a ocorrência de uma pequena T_g , quase imperceptível, em tomates liofilizados e equilibrados em soluções salinas. Segundo os autores, a mudança de entalpia que envolve a transição vítrea em comparação ao calor latente de fusão da água é praticamente negligenciável; conseqüentemente, a T_g é praticamente imperceptível. Segundo Katekawa (2006) a possibilidade de existir duas temperaturas de transição vítrea ocorre porque as frutas, em geral são compostas por mais de uma fase. No entanto, segundo o autor, na secagem convectiva apenas o maior valor é significativo.

A relação entre a temperatura de transição vítrea (T_g) e a a_w das amostras está disposta na Tabela 4-9. A T_g é característica da fase solúvel da fruta (CONTRERAS et. al., 2005) e como a banana é principalmente composta de açúcares e água, as T_{gs} apresentadas corresponderiam aos açúcares presentes no fruto. Os valores apresentados são a média das três repetições e o respectivo desvio-padrão. Todas as amostras foram submetidas à análise

imediatamente depois de retiradas do secador. No apêndice E apresentam-se um dos termogramas completos obtidos para cada amostra.

Tabela 4-9 Temperatura de transição vítrea e atividade de água das amostras em função do tempo de amostragem.

Amostra	Tempo de amostragem (min)	a_w^1	T_g^1 (°C)
t_0 interior	90	$0,544 \pm 0,005$	$-0,91 \pm 0,65$
t_0 superfície	90	$0,481 \pm 0,011$	$20,07 \pm 1,82$
t_0 pedaço inteiro	90	$0,476 \pm 0,032$	$20,46 \pm 5,11$
t_1 pedaço inteiro	180	$0,397 \pm 0,008$	$28,00 \pm 3,61$
t_2 pedaço inteiro	270	$0,334 \pm 0,013$	$30,51 \pm 2,92$
t_3 pedaço inteiro	360	$0,309 \pm 0,035$	$33,56 \pm 3,28$
t_4 pedaço inteiro	450	$0,253 \pm 0,027$	$34,58 \pm 4,52$

Nota: ¹ O valor corresponde a média de 3 repetições e o desvio-padrão.

Amostras do tempo t_0 considerando o pedaço inteiro da fruta apresentaram valores muito dispersos entre si. Possivelmente, a diferença de umidade do interior e superfície poderia ter influenciado no valor da T_g , a qual é fortemente dependente deste parâmetro. Na Tabela 4-9 pode-se observar que, conforme era esperado a T_g diminuiu com o aumento do conteúdo de água devido ao efeito plasticizante da água (ROOS, 1995).

Katekawa (2006) relatou que o segundo valor da T_g para amostras de banana Nanica secas (0,04 Kg/Kg) foi de 40°C. Hofsetz (2007) constatou que amostras de banana seca ($a_w = 0,299$) apresentaram uma T_g de 38,7°C. Na tabela pode-se observar que as amostras mais secas de banana ($a_w = 0,253$)

mostraram uma T_g de $34,5^\circ\text{C}$; valor próximo aos resultados citados anteriormente.

4.5.4 CROCÂNCIA E TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO VÍTEA

Na Figura 4-14 estão relacionados o número de picos (um parâmetro indicativo da crocância), a temperatura de transição vítrea em função da umidade das amostras (t_0 , t_1 , t_2 , t_3 e t_4). Como a crocância é uma propriedade da amostra inteira, considerou-se o pedaço inteiro da amostra t_0 ; porém sabendo-se que a umidade, atividade de água e temperatura de transição vítrea são diferentes quando a amostra é separada em partes (interior e superfície).

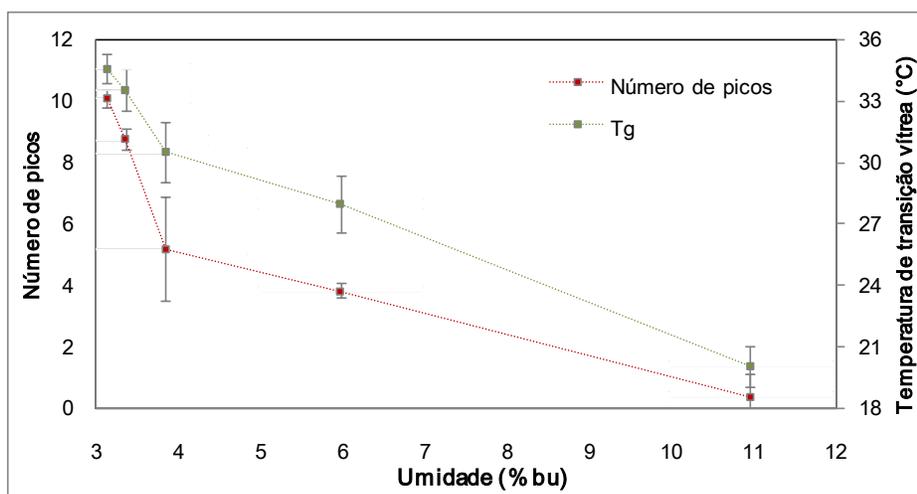


Figura 4-14 Relação entre número de picos e temperatura de transição vítrea em função da umidade das amostras.

Na Figura 4-14 observa-se que em 11% de umidade (bu) não foi observada a presença de picos; já em 6% de umidade (bu), foram observados em média 4 picos. Pode-se dizer então que o início da crocância aconteceu dentro dessa faixa de umidade. Le Meste et al. (1996) relataram que, no caso de cereais, a mudança de crocante a não crocante foi percebida entre 8,5 e 10% de umidade. Roudaut et al. (2004) estudaram a influência do conteúdo de umidade na crocância de pão extrusado e constataram que em torno de 10% de umidade ocorre uma queda significativa na crocância. A temperatura das amostras foi monitorada ao longo do processo de secagem (item 3.1.2), e elas registram um valor de 70°C no momento em que foram coletadas para a análise no DSC e da textura instrumental. Por outro lado, foi observado visualmente que a amostra com 11% de umidade, no instante da coleta, apresentava uma textura macia, já a amostra com 6% de umidade mesmo estando quente apresentava textura quebradiça. Na Figura 4-14 observa-se que a temperatura de transição vítrea para o conteúdo de umidade de 11% foi de 20°C e para a umidade de 6% foi de 28°C. Nicholls et al. (1995) relatou que a perda de crocância para cereais foi observada entre 8% e 11% de umidade (bu) a 20°C e a análise da temperatura de transição vítrea demonstrou que, nessas condições de umidade e temperatura, as amostras ainda se encontravam no estado amorfo. O mesmo fenômeno poderia ter acontecido nas amostras deste trabalho, no entanto, a monitoração da temperatura no momento que foi feita a análise da textura instrumental não foi possível. Segundo Nicholls et al. (1995) a predição das propriedades de textura de um produto a partir dos dados unicamente da temperatura de transição vítrea não é possível.

4.6 TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO VÍTREA EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS

Novos ensaios de secagem foram conduzidos de acordo com a Tabela 3-1 (item 3.2.3) de maneira de poder relacionar as variáveis estudadas (amplitude e período) com a temperatura de transição vítrea. Cadinhos de alumínio, contendo amostras correspondentes ao ponto final do processo, foram inseridos dentro de frascos higrostáticos preenchidos com soluções salinas de duas atividades de água a 25°C (0,26 e 0,30). As amostras secas foram pesadas pela primeira vez após quinze dias de estocagem e, após este período, foram pesadas, de dois em dois dias até se observar uma variação mínima no peso. Após atingirem o equilíbrio (1 mês), amostras foram levadas à análise de textura instrumental, umidade e à determinação da temperatura de transição vítrea.

4.6.1 UMIDADE DE EQUILÍBRIO

A Tabela 4-10 apresenta o conteúdo de umidade de equilíbrio das amostras secas, dentro da faixa de atividade de água estudada, sendo que cada valor representa a média de três amostras e o respectivo desvio-padrão.

No caso dos tratamentos 20-5, 10-7,5, 10-10 e 5-5 observa-se que o valor de umidade de equilíbrio na $a_w = 0,26$, ficou levemente inferior quanto comparada com o valor obtido na $a_w = 0,30$. Já no caso dos tratamentos 20-7,5; 20-10 e 10-5 o valor de umidade de equilíbrio na $a_w = 0,26$ ficou levemente

acima quanto comparada com o valor à $a_w = 0,30$. Porém, as diferenças foram mínimas, possivelmente devido à estreita faixa de a_w escolhida para o estudo.

Tabela 4-10 Umidade de equilíbrio das amostras dos tratamentos de secagem em função da atividade de água.

Tratamento amplitude-tempo	Umidade em base seca (g de água / g de sólido seco)	
	$a_w^1 = 0,26$	$a_w^1 = 0,30$
	20-5	0,062 ± 0,006
20-7,5	0,067 ± 0,004	0,065 ± 0,002
20-10	0,078 ± 0,008	0,075 ± 0,005
10-5	0,067 ± 0,004	0,065 ± 0,000
10-7,5	0,067 ± 0,006	0,070 ± 0,002
10-10	0,058 ± 0,001	0,064 ± 0,001
5-5	0,067 ± 0,004	0,067 ± 0,005

Nota: ¹ O valor corresponde a média de 3 repetições e o desvio-padrão.

4.6.2 CROCÂNCIA EM FUNÇÃO DA ATIVIDADE DA ÁGUA E DOS TRATAMENTOS DE SECAGEM

A Figura 4-15 apresenta o número de picos do gráfico força-deformação, um dos indicativos da crocância, em função da atividade de água para cada tratamento de secagem. O valor corresponde a média de 10 repetições. No Apêndice C apresenta os valores para todos os tratamentos.

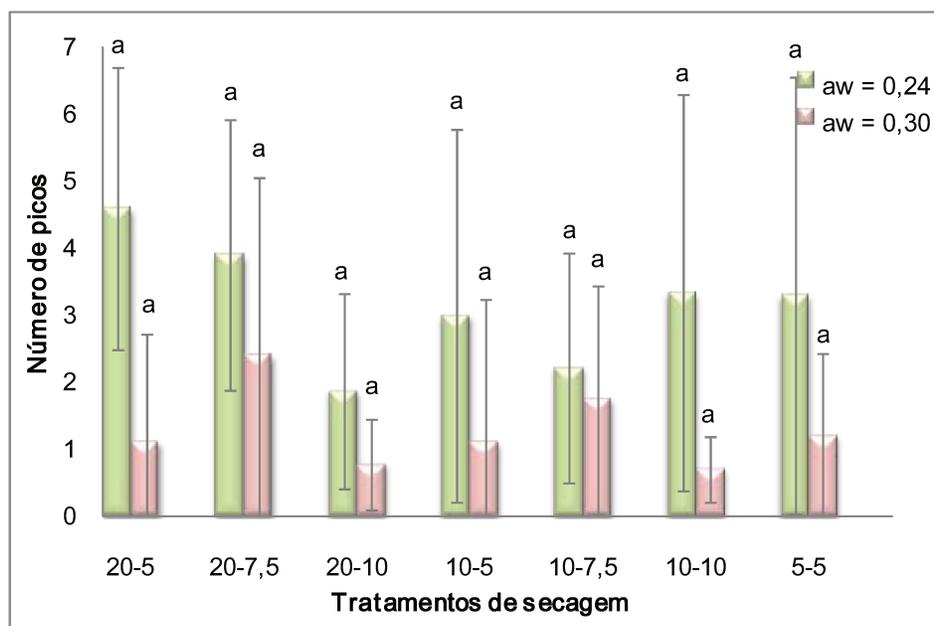


Figura 4-15 Número de picos em função da atividade de água para diferentes tratamentos de secagem. Nota: Colunas com letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de significância $p < 0,10$.

Não foi encontrada nenhuma diferença estatística para o número de picos em função dos tratamentos, para nenhuma das soluções saturadas, no entanto, o desvio-padrão foi muito alto. Uma hipótese para que o desvio-padrão fique alto pode ser que, embora as amostras dentro do cadinho não registraram incremento de peso, a estrutura interior de cada uma delas ainda não tinha alcançado o equilíbrio; por outro lado, a contínua abertura dos frascos higrostáticos para a operação de pesagem, pode ter afetado a homogeneização das mesmas. Na Figura 4-15 observa-se que as amostras acondicionadas na solução de $a_w = 0,26$ apresentaram maior número de picos quando comparadas com as amostras imersas na solução de $a_w = 0,30$. Como foi discutido no item 4.5.2, à medida que a atividade de água diminuiu o

número de picos aumentou. Comparando os dados apresentados nas Figuras 4-15 e 4-5 (item 4.4.2) pode-se observar uma queda no número total de picos após o tempo de estocagem, mesmo considerando que a faixa das atividades de água das soluções saturadas corresponde às obtidas no produto no final (item 4.4.1).

4.6.3 TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO VÍTREA EM FUNÇÃO DA ATIVIDADE DE ÁGUA E DOS TRATAMENTOS DE SECAGEM

A Figura 4-16 apresenta a relação da temperatura de transição vítrea em função da atividade de água para os tratamentos de secagem. O valor representa a média de três repetições. No apêndice C encontram-se os valores tabelados.

No caso dos tratamentos 20-5, 20-10, 10-5, 10-10 e 5-5, a temperatura de transição vítrea à $a_w = 0,26$ foi superior aos valores da solução à $a_w = 0,30$, comprovando novamente o efeito plasticizante da água. Já no caso dos tratamentos 20-7,5 e 10-7,5 o comportamento não se repetiu. Analisando individualmente cada uma das soluções saturadas, não foi possível estabelecer uma relação entre a temperatura de transição vítrea em função dos tratamentos e da a_w .

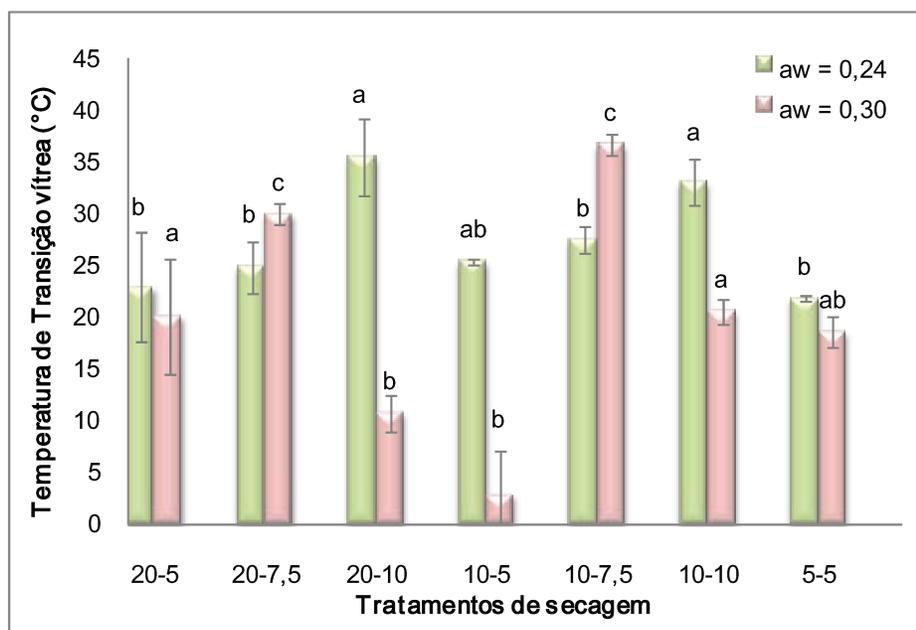


Figura 4-16 Temperatura de transição vítrea em função da atividade de água para diferentes tratamentos de secagem. Nota: Colunas com letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de significância $p < 0,10$.

Deng e Zhao (2008) secaram amostras de maçã, comparando dois processos, secagem a média temperatura (55°C e $3,8\text{ m/s}$) e secagem a baixa temperaturas (-45°C e $< 13,3\text{ Pa}$); no último processo a temperatura de transição vítrea ficou levemente inferior quando comparada com as amostras da secagem a ar quente; já no caso da crocância, não foi observada nenhuma diferença entre os processos. Por outro lado, Contreras et al. (2005) secaram também amostras de maçã a 50°C e 30°C , com e sem a aplicação de microondas. Os autores observaram que a textura das amostras mostrou comportamento similar independente do processo, porém, no caso da T_g , a aplicação de microondas resultou num leve aumento do valor. Neste trabalho

não foi possível encontrar uma relação entre os diferentes processos de secagem (diferentes valores das variáveis amplitude e período na etapa de resfriamento) e a temperatura de transição vítrea, em contraposição aos relatos dos autores. Ou talvez pode-se dizer que as variáveis estudadas na etapa de resfriamento (amplitude e período) não influenciam o valor da T_g .

Segundo Contreras et al. 2005, a temperatura de transição vítrea é característica da fase solúvel da fruta e a outra fase (os componentes não solúveis na fase aquosa como as fibras e proteínas) poderiam influenciar no comportamento final das amostras independente do processo aplicado. Por fim, neste trabalho seria interessante a repetição da determinação da temperatura de transição vítrea com as amostras obtidas logo ao término do processo de secagem, tal como foi feito com a textura instrumental (item 4.4.2), no qual, as amostras apresentaram valores diferentes dependendo do tratamento aplicado na etapa de resfriamento.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, se apresentam as seguintes conclusões:

- Bananas crocantes foram obtidas a partir do processos de secagem constituído por pulso HTST (150°C por 15 min) seguido por uma etapa de resfriamento em degraus com distintos valores de redução da temperatura (amplitude) e tempo de permanência (período) e finalizado por uma etapa de secagem convencional a 70°C.
- Redução gradual da temperatura de 150°C para 70°C, com amplitude de 10°C e período de 7,5 minutos, totalizando 75 minutos da etapa de resfriamento, mostrou-se a melhor condição para a manutenção da estrutura porosa, com a menor degradação de cor e sem a presença de odor e sabor de queimado.
- A redução acelerada de temperatura, em uma etapa só, ocasionou a perda da estrutura porosa, além de que o produto final apresentou alta dureza e grau de encolhimento.
- O conteúdo de umidade das amostras ao final da etapa de resfriamento foi característico para cada tratamento, além de ser o fator decisivo para definir o tempo total da secagem convencional, de maneira que as amostras alcançaram $a_w < 0,30$.

- A temperatura do centro da banana alcançou, nos primeiros estágios de secagem, a temperatura do ar de secagem, permitindo que o processo de secagem possa ser monitorado do exterior da amostra.
- As amostras que permaneceram a altas temperaturas por maiores tempos apresentaram maior número de picos, um dos indicativos de crocância num gráfico força-deformação. Porém, tempos excessivos a altas temperaturas não aumentaram o número total de picos, além de apresentarem cor, odor e sabor desagradáveis.
- Amostras do tratamento de secagem com tempo de resfriamento mais longo mostraram-se mais frágeis, necessitando menor força de ruptura; em contraste, as amostras do tratamento de secagem com tempo de resfriamento mais curto mostraram-se mais duras.
- O pulso HTST foi importante para que o produto ganhasse uma estrutura porosa, e a etapa de resfriamento foi importante para manter essa estrutura. Conseqüentemente menor encolhimento foi ocasionado; possivelmente a redução gradual de temperatura provoca menor aparecimento de tensões na superfície das amostras.
- O parâmetro L^* da cor mostrou-se o mais sensível aos tratamentos de secagem. Altas temperaturas por maiores tempos resultaram na formação de compostos de cor escuros, que diminuíram a luminosidade das amostras. Logo, a redução gradual de temperatura resultou ser positiva para o parâmetro b^* ; já no caso do parâmetro a^* não se encontrou relação com os tratamentos de secagem.

- A microscopia ótica permitiu caracterizar a estrutura do produto final, mostrando que as amostras que ficaram a altas temperaturas por mais tempo apresentaram maior quantidade de poros, prevalecendo os poros com tamanho menor que 250 μm para todos os tratamentos de secagem; a distribuição de tamanhos foi não-normal em todos os casos.
- O início da presença de crocância nas amostras, expressa em número de picos do gráfico força-deformação, foi observada na faixa de 11% e 6% de umidade (bu).
- Não foi encontrada relação clara entre as variáveis, amplitude e período, com a temperatura de transição vítrea, para amostras que foram acondicionadas até o equilíbrio em soluções salinas de $a_w = 0,26$ e $a_w = 0,30$ respectivamente.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Estudar as reações de degradação térmica no decorrer do processo de secagem, de maneira de determinar as temperaturas adequadas de secagem que produzam snacks altamente crocantes sem sabor, odor e cor desagradável.
- Realizar análise sensorial para os snacks obtidos a partir dos tratamentos de secagem avaliados neste trabalho de maneira a correlacionar os dados instrumentais e sensoriais.
- Determinar a temperatura de transição vítrea nas amostras, ao final de cada tratamento de secagem estudado neste trabalho, sem acondicionamento em soluções saturadas, de maneira de avaliar a

influencia das variáveis (amplitude e período) na temperatura de transição de fase do produto final.

- Estudar outros mecanismos de transferência de calor além da convecção, como a condução e a radiação, no decorrer do processo de secagem.
- Realizar ensaios de secagem seguindo o mesmo procedimento com outras frutas e hortaliças de maneira de viabilizar a produção de alimentos saudáveis e nutritivos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILERA, J.M.; CHIRALT, A.; FITO, P. **Food dehydration and product structure**. Trends in Food and Technology, v. 14, pp. 432-437, 2003.

AGUILERA, J.M. **Why food microstructure?** Journal of Food Engineering, v. 67, pp. 3-11, 2005.

AQUERRETA, J.; IGUAZ, A.; ARROQUI, C.; VIRSEDA, P. **Effect of high temperature intermittent drying and tempering on rough rice quality**. Journal of Food Engineering, v. 80, pp. 611-618, 2007.

A.O.A.C. **Official Methods of Analysis of A.O.A.C International**, 16 ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, 1997.

A.O.A.C. **Official Methods of Analysis of A.O.A.C International**, 18 ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, 2005.

ARAÚJO, L.M.; SANTOS, N.F.; ARAÚJO, N.C.; LIMA, J.M.; LEMOS, D.; FERNANDES GARCIA, E.; EGITO, J. **Influência da temperatura e do pH no processo de caramelização da sacarose**. X Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão - JEPEX. Recife (PE). Outubro, 2010.

BAINI, R.; LANGRISH, T.A.G. **Assessment of colour development in dried bananas – measurements and implications for modeling**. Journal of Food Engineering, v. 93, pp.177-182, 2009.

BARONI, A. **Propriedades mecânicas, termodinâmicas e de estado de tomate submetido à desidratação osmótica e secagem**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos).

Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas (SP), 2004.

BARREIRO, J.A.; MILANO M.; SANDOVAL, A.J. **Kinetics of Colour Change of Double Concentrated Tomato Paste During Thermal Treatment.** Journal of Food Engineering, v.33, pp. 359-371,1997.

BHANDARI A, B.R.; HOWES, T. **Implication of glass transition for the drying and stability of dried Foods.** Journal of Food Engineering, v. 40, pp.71-79, 1999.

BORGES, A. L. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. **Cultivo da Banana para o Agropólo Jaguaribe-Apodi, Ceará.** Disponível em:< <http://www.embrapa.br> >. Acessado em: 20 de julho de 2010.

BOUDHRIOUA,N.; MICHON, C.; CUVELIER,G.; BONAZZI C. **Influence of ripeness and air temperature on changes in banana texture during drying.** Journal of Food Engineering, v. 55(2), pp. 115-121, 2002.

BROSNAN, T.; SUN, D. **Improving quality inspection of food products by computer vision-a review.** Journal of Food Engineering, v. 61, pp. 3–16, 2004.

CARDOZO,C. **Secagem de fatias de banana em leite vibrofluidizado a altas temperaturas por curto tempo.** 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas (SP), 1998.

CECCHI, H. M. **Fundamentos Teóricos e Práticos em Análise de Alimentos.** Campinas, Editora da UNICAMP, 1999, 212 p.

CHAMPION, D.; LE MESTE, M.; SIMATOS, D. **Towards an improved understanding of glass transition and relaxations in foods: molecular mobility in the glass transition range.** Trends in Food Science and Technology, v. 11, pp. 41- 55, 2000.

CHUA, K.J.; MUJUMDAR, A.S.; CHOU S.K. **Intermittent drying of bioproducts-an overview**. Bioresource Technology, v. 90, pp. 285–295, 2003.

CHUA, K.; MUJUMDAR, M.N.A.; HAWLADER, S.; CHOU, J. **Batch drying of banana pieces – effect of stepwise change in drying air temperature on drying kinetics and product colour**. Food Research International, v.34, pp. 721-731, 2001.

CONTRERAS, C.; MARTÍN, M.E.; MARTÍNES-NAVARRETE, N.; CHIRALT, A. **Effect of vacuum impregnation and microwave application on structural changes wich occurred during air-drying of apple**. Food science and technology, v.38, pp. 471-477, 2005.

DACANAL, G. **Aglomerção de polpa de acerola e proteína isolada de soja em pó em leite fluidizado cônico e pulsado**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas (SP), 2009.

DEL VALLE, J.M.; CUADROS T. R. M.; AGUILERA J. M. **Glass transitions and shrinkage during drying and storage of osmosed apple pieces**. Food Research International, v. 31(3), pp.191-204, 1998.

DENG, Y.; ZHAO, Y. **Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmopretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apples (Fuji)**. Food science and technology, v.41, pp. 1575-1585, 2008.

DIJKSTERHUIS, G.; LUYTEN, H.; WIJK, R.; MOJET, J. **A new sensory vocabulary for crisp and crunchy dry model foods**. Food Quality and Preference, v.18, pp. 37-50, 2007.

FAOSTAT. **Food and Agricultural commodities production**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acessado em: 30 de janeiro de 2011.

FIGUEIREDO COELHO DE OLIVEIRA, A. C. **Estabelecimento de Modelos Numéricos de Sistemas de Secagem a baixa temperatura em regime não permanente**. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Térmica). Faculdade de Engenharia, Universidade de Porto, 1986.

FRUTISÉRIES 6. **Banana**. Disponível em: <www.integração.gov.br>. Acessado em: 30 de maio de 2010.

FUNDACIÓN EROSKI. **Productos de aperitivo: gusanitos y pajitas: Mejor consumirlos sólo de vez en cuando**. Disponível em: www.consumereroski.com. Acessado em: 30 de maio de 2010.

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

HOFSETZ, K. **Obtenção de banana nanica (*Musa acuminata* Colla subgrupo *Cavendish*) crocante a partir de secagem a alta temperatura**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas (SP), 2003.

HOFSETZ, K. **Propriedades físicas e transições de fase da banana nanica submetida à secagem com pulso HTST (inicial)**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas (SP), 2007.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. 3ed, v.1, pp.20 São Paulo: IMEP, 1985.

GARCÍA -AMOEDO, L.E.; ALMEIDA-MURADIAN, L.B. **Comparação de metodologías para a determinação da umidade em geléia real**. Química Nova, v.25(4), pp. 676-679, 2002.

JAMRADLOEDLUK, J.; NATHAKARANAKULE, A.; SOPONRONNARIT, S.; PRACHAYAWARAKORN S. **Influences of drying medium and temperature on drying**

kinetics and quality attributes of durian chip. Journal of Food Engineering, v.78, pp. 198-205, 2007.

JESUS, S.; MATSUURA F.C.; FOLEGATTI, M.; CARDOSO, R. L. **Avaliação da banana-passa obtida de frutos de diferentes genótipos de bananeira.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.40(6), pp.573-579, 2005.

KAREL, M.; ANGLEA, S.; BUERA, P.; KARMAS, R.; LEVI, G.; ROOS, Y. **Stability-related transitions-of amorphous foods.** Thermochemica, v.246, pp.249-269, 1994.

KATEKAWA, M. **Análise teórico-experimental do encolhimento: estudo da secagem de banana.** Tese (Doutorado em Engenharia Química). Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Campinas (SP), 2006.

KATZ, E.; LABUZA, T. **Effect of water activity on the sensory crispness and mechanical deformation of snack food products.** Journal of Food Science, v.46, pp. 403-409, 1981.

KROKIDA, M.K.; KARATHANOS, V.T.; MAROULIS, Z.B. **Effect of freeze drying conditions on shrinkage and porosity of dehydrated agricultural products.** Journal of Food Science, v.35, pp. 369-380, 1998.

LAZOU, A.; KROKIDA, M. **Structural and textural characterization of corn-lentil extruded snacks.** Journal of Food Engineering, v. 100, pp. 392-408, 2010.

LE MESTE, M.; ROUDAUT, G.; DAVIDOU, S. **Thermomechanical properties of glassy cereal foods.** Journal of thermal analysis, v.47 (5), pp. 1361-1365,1996.

LEONARD, A.; BLACHER, S.; NIMMOL, C.; DEVAHASTIN, S. **Effect of far- infrared radiation assisted drying on microstructure of banana slices: An illustrative use of X-ray microtomography in microstructural evaluation of a food product.** Journal of food engineering, v.85, pp.154-162, 2008.

LEWIS, W.K. **The rate of drying of solid material.** The Journal of Industrial and Engineering Chemistry, v.13 (5), pp. 427-432, 1921.

LIMA, A.A.; NEBRA, S.A.; QUEIROZ, Z.M.R. **Aspectos técnicos: Aspecto científico e tecnológico da banana.** Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais. Campina Grande, v.2 (1), pp. 87 -101, 2000.

LIU-PING, F.; ZHANG, M.; MUJUMDAR, A.S. **Storage Stability of Carrot Chips.** Drying Technology, v.25 (9), pp. 1537-1543, 2007.

LOZANO, J.E.; ROSTSTEIN, E.; URBICAIN M.J. **Shrinkage, porosity and bulk density of foodstuffs at changing contents.** Journal of Food Engineering, v.48, pp. 1497-1553, 1983.

LUCCAS, V. **Obtenção de fatias de banana desidratada crocantes através da pré-secagem a altas temperaturas e curto tempo em leite fluidizado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Campinas (SP), 1996.

MASKAN, M. **Microwave/air and microwave finish drying of banana.** Journal of Food Engineering, v.44, pp.71-78, 2000.

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

MAZUMDER, P.; ROOPA, B.S.; BHATTACHARYA, S. **Textural attributes of a model snack food at different moisture contents.** Journal of Food Engineering, v. 79, pp. 511–516, 2007.

MEDINA J. C. **Banana: Da cultura ao processamento e comercialização.** Série Frutas Tropicais. Campinas (SP), ITAL, pp. 8-149,1978.

MOHSENIN, N.N. Structure, **Physical Characteristics and Rheological Properties.** Physical Properties of Plant and animal Materials, v.1, part I (2 ed.), pp.73-84, 1968.

NATH, A.; CHATTOPADHYAY P.K. **Effect of process parameters and soy flour concentration on quality attributes and microstructural changes in ready-to-eat potato-soy snack using high-temperature short time air puffing.** Food Science and Technology, v.41, pp. 707–715, 2008.

NATH, A.; CHATTOPADHYAY P.K. **Optimization of oven toasting for improving crispness and other quality attributes of ready to eat potato-soy snack using response surface methodology.** Journal of Food Engineering, v. 80, pp.1282–1292, 2007.

NICHOLLS, R.J.; APPELQVIST, I.A.M.; DAVIES, A.P.; INGMAN, S.J.; LIFFORD, P.J. **Glass transitions and the fracture behavior of gluten and starches within the glassy state.** Journal of cereal science, v.21, pp. 25-36, 1995.

OLIVEIRA, M. **Efeito da composição química, origem e grau de maturação sobre a cor e a crocância da banana nanica obtida por secagem *HTST*.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas (SP), 2007.

PAMIES, B.; ROUDAUT, G.; DACREMONT, C.; LE MESTE, M.; MITCHELL, J. **Understanding the texture of low moisture cereal products: mechanical and sensory measurement of crispness.** Journal of Science Food Agriculture, v. 80, pp.1679-1685, 2000.

PAYNE, F.A.; TARABA, J.L.; SAPUTRA, D. **A review of puffing processes for expansion of biological products.** Journal of Food Engineering, v.10, pp.183-197, 1989.

PRACHAYAWARAKORN, S.; TIA W.; PLYTO, N.; SOPONRONNARIT, S. **Drying kinetics and quality attributes of low-fat banana slices dried at high temperature.** Journal of Food Engineering, v.85, pp. 509–517, 2008.

PRAKOTMAK, P.; SOPONRONNARIT, S.; PRACHAYAWARAKORN, S. **Modelling of moisture diffusion in pores of banana foam mat using 2-D stochastic pore network:**

determination of moisture diffusion coefficient during adsorptions process. Journal of food engineering, v.96, pp.119-126, 2010.

RAMOS, I.; SILVA, C.; SERENO, A.; AGUILERA J.M. **Quantification of microstructural changes during first stage air drying of grape tissue.** Journal of Food Engineering, v.62, pp.159-164, 2004.

ROOS, Y. **Characterization of food polymers using state diagrams.** Journal of food engineering, v.24, pp.339-360, 1995.

ROUDAUT, G.; DACREMONT, C.; VALLÉS PÀMIÉS, B.; COLAS, B.; LE MESTE, M. **Crispness: a critical review on sensory and material science approaches.** Trends in Food Science & Technology, v.13, pp. 217-227, 2002.

ROUDAUT, G.; POIRIER, F.; SIMATOS D.; LE MESTE, M. **Can dynamical mechanical measurements predict brittle fracture behaviour.** Rheology acta, v.44, pp. 104-111, 2004.

SÁ, M. M., FIGUEIREDO, A.M.; SERENO. A.M. **Glass transition and state diagrams for fresh and processed Apple.** Thermochemica Acta, v.329, pp. 31-38, 1999.

SAJILATA, M.G.; SINGHAL, R.S. **Specialty starches for snack foods.** Journal of Carbohydrate Polymers, v. 59, pp.131–151, 2005.

SANZ, T.; PRIMO-MARTIN, C. VAN VLIET, T. **Characterization of crispness of French fries by fracture and acoustic measurements, effect of pre-frying and final frying times.** Food Research International, v, 40, pp.63–70, 2007.

SILVA, C. I.; RODRIGUES, K.; CORDEIRO, I.; SILVA, P. **Processamento de doce de banana.** Curso técnico em agroindústria. Curso técnico em agroindústria. Paraíso do Tocantins. Novembro, 2008.

SILVA, S.P.; TASSARA, H. **Frutas no Brasil: Banana**. Dados internacionais da Catalogação na Publicação (CIP), 4 ed. Câmara Brasileira do livro, São Paulo (Br), pp. 41-43, 2001.

SZCZESNIAK, A. S. **Texture is a sensory property**. Food Quality and Preference, v.13, pp. 215-225, 2002.

SZCZESNIAK, A.S. **Textural perceptions and food quality**. Journal of Food Quality, v.14, pp.75-85, 1991.

TAKEUCHI, K.; SABADINI, E.; CUNHA, R. **Análise das propriedades de cereais matinais com diferentes fontes de amido durante o processo de absorção de leite**. Ciência e tecnologia de alimentos, Campinas, v.25(1), pp. 78-85, 2005.

TACO - **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. Campinas: NEPA – Núcleo de Estudos e Pesquisa em Alimentação (UNICAMP), 2 ed, 2006.

TELIS, V.R.N.; SOBRAL, P.J.A. **Glass transitions for freeze-dried and air-dried tomato**. Food Research International, v.35, pp. 435-443, 2002.

TRIBES, T.B.; HERNÁNDEZ-URIBE, J.P.; MÉNDEZ-MONTEALVO, M.G.C.; MENEZES, E.W.; BELLO-PEREZ, L.A.; TADINI, C.C. **Thermal properties and resistant starch content of green banana flour (*Musa cavendishii*) produced at different drying conditions**. Food Science and Technology, v.42, pp.1022-1025, 2009.

TSUKAKOSHI, Y.; SHIGEHIRO, N.; ISHIDA, N. **Fracture intermittency during a puncture test of cereal snacks and its relation to porous structure**. Food Research International, v. 41, pp. 909–917, 2008.

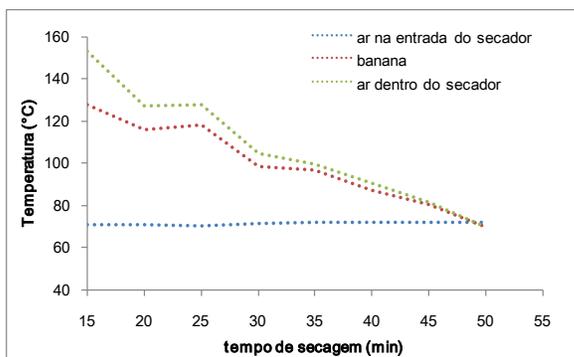
VALLILO, M.I.; LAMARDO, L.C.A.; GABERLOTTI, E.; MORENO, P.R.H. **Composição Química dos frutos de *Campomanesia adamantium* (Cambessédes) O.BERG**. Ciencia e tecnologia de alimentos, Campinas, v.26(4), pp.805-810, 2006.

VARNALIS,A.; BRENNAN, J.; MACDOUGALL,D. **A proposed mechanism of high temperature puffing of potato. Part I. The influence of blanching and drying conditions on the volume of puffed cubes.** Journal of Food Engineering, v.48, pp. 361-367, 2001.

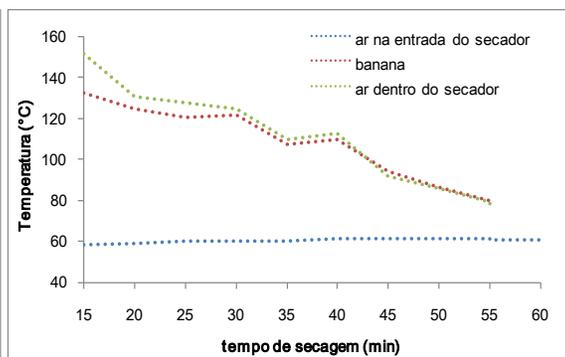
W.H.O. **The Worldwide Obesity Epidemic.** Disponível em: <<http://bases.bireme.br>>. Acessado em: 20 de maio de 2010.

YAN, Z.; SOUSA-GALLAGHER, M.J.; OLIVEIRA, F. **Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying.** Journal of Food Engineering, v.84, pp.430–440, 2008.

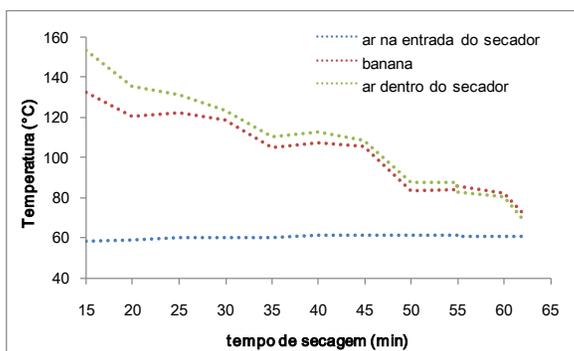
APÊNDICE A - Perfil de temperaturas do ar na entrada, ar dentro do secador e temperatura média da banana para todos os tratamentos em função do tempo total de secagem.



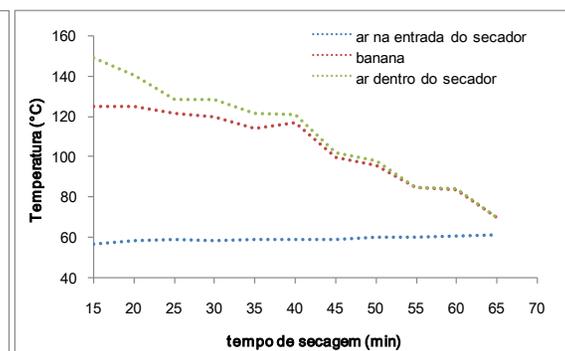
(a) Tratamento 20-5



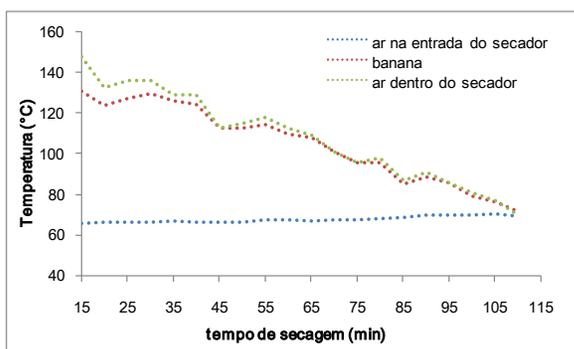
(b) Tratamento 20-7,5



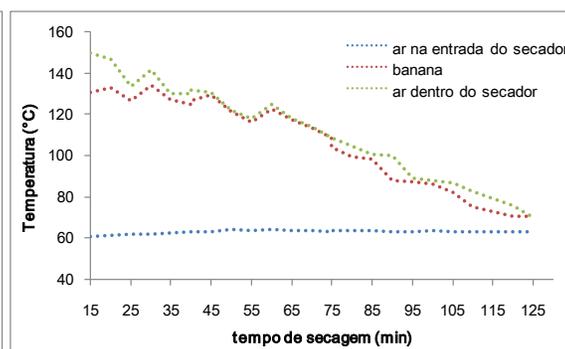
(c) Tratamento 20-10



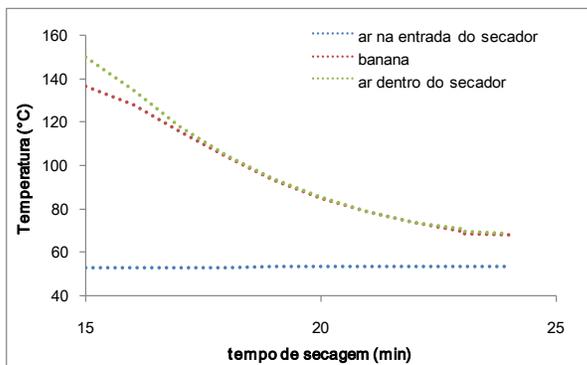
(d) Tratamento 10-5



(e) Tratamento 10-10



(f) Tratamento 5-5



(g) Tratamento 80-0

APÊNDICE B - Estrutura final da banana de acordo com o tratamento estudado.



(a) Tratamento 20-5

(b) Tratamento 20-5

(c) Tratamento 20-7,5



(d) Tratamento 20-7,5

(e) Tratamento 20-10

(f) Tratamento 20-10



(g) Tratamento 10-5

(h) Tratamento 10-5

(i) Tratamento 10-7,5



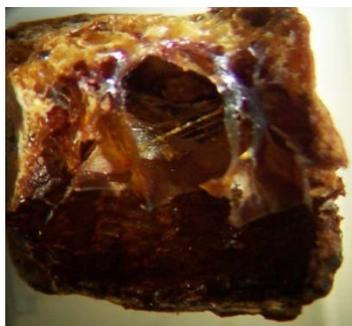
(f) Tratamento 10-7,5



(g) Tratamento 10-10



(h) Tratamento 10-10



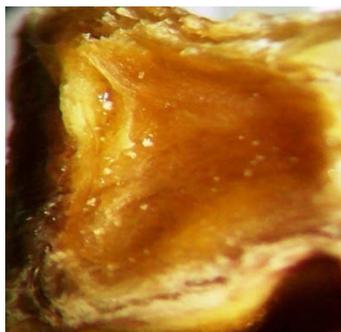
(i) Tratamento 5-5



(j) Tratamento 5-5



(k) Tratamento 80-0



(l) Tratamento 80-0

APÊNDICE C

Umidade das amostras e UR do ar ao longo do processo para cada ensaio.

Tratamento amp- perio	N° de ensaio	Umidade das amostras ¹ (% bu)		UR do ar de entrada ²			
		Final do resfriamento	Final do proceso	Início do pulso	Início do resfriamento	Final do Resfriamen to	Final do processo
20-5	1	28,81 ± 3,29	5,96 ± 2,0	8,67	8,65	7,98	7,98
	2	20,26 ± 3,68	8,90 ± 1,03	8,08	7,99	8,08	7,65
	3	21,36 ± 3,63	10,49 ± 0,97	9,45	9,06	8,65	8,00
20-7,5	1	24,89 ± 0,7	6,65 ± 1,04	8,76	8,00	7,10	4,56
	2	28,44 ± 0,67	7,04 ± 2,08	7,11	6,29	6,29	5,76
	3	18,14 ± 1,02	5,59 ± 2,06	7,23	6,83	6,16	6,00
20-10	1	18,98 ± 3,74	5,38 ± 0,89	5,67	5,34	4,53	3,31
	2	11,24 ± 4,10	6,18 ± 1,65	5,39	4,90	4,48	4,00
	3	13,56 ± 3,99	4,34 ± 2,09	5,87	5,00	4,63	4,09
10-5	1	12,60 ± 3,40	6,39 ± 2,54	6,46	4,15	3,85	2,00
	2	17,95 ± 3,95	4,95 ± 2,34	6,43	6,46	5,35	4,39
	3	16,01 ± 0,79	9,16 ± 2,43	8,23	8,23	6,57	4,64
10-7,5	1	10,59 ± 3,38	3,82 ± 2,35	6,12	6,3	5,37	2,9
	2	9,82 ± 3,43	3,44 ± 1,05	7,11	6,29	6,29	5,76
	3	11,84 ± 0,97	4,90 ± 2,34	6,37	6,15	4,66	4,96
10-10	1	4,88 ± 1,04	6,57 ± 3,02	5,83	5,43	4,71	3,15
	2	8,08 ± 1,01	7,50 ± 2,14	5,29	4,91	3,98	3,15
	3	6,07 ± 0,71	3,12 ± 3,03	6,85	5,20	4,85	2,89
5-5	1	3,36 ± 1,06	3,29 ± 2,54	8,09	7,26	5,51	3,02
	2	3,84 ± 2,07	6,15 ± 2,43	8,41	6,99	4,66	2,99
	3	5,55 ± 2,38	3,50 ± 2,45	7,55	5,55	4,09	3,00
80-0	1	42,83 ± 1,03	5,5 ± 3,54	9,35	7,09	6,92	5,38
	2	42,80 ± 2,35	6,5 ± 2,67	6,52	5,92	5,58	4,34
	3	46,93 ± 2,88	4,2 ± 2,34	7,65	6,92	6,26	5,98

Nota: ¹ O valor apresentado corresponde a média 3 repetições. ² A precisão do equipamento utilizado foi de ± 0,1%.

Número de picos, Força máxima e Encolhimento no produto final em função dos tratamentos de secagem.

Tratamento amplitude-período	Número de picos ¹	Força máxima ¹ (N)	V _b /V _{bo} ²
20-5	9,6 ± 2,9	43,84 ± 12,73	46,40 ± 3,17
20-7,5	9,6 ± 3,5	35,78 ± 5,54	31,42 ± 2,98
20-10	13,7 ± 1,7	38,20 ± 5,6	34,02 ± 9,37
10-5	10,0 ± 2,0	34,26 ± 8,68	45,82 ± 1,03
10-7,5	15,1 ± 4,0	34,26 ± 8,68	68,39 ± 12,87
10-10	17,5 ± 3,2	32,34 ± 3,71	66,50 ± 17,01
5-5	14,0 ± 3,2	29,73 ± 6,23	87,14 ± 14,60
80-0	8,0 ± 3,4	37,43 ± 8,78	39,00 ± 6,15

Nota:¹ Os valores apresentados correspondem às médias de três ensaios com quinze determinações cada.

² Os valores apresentados correspondem às médias de três ensaios com determinações em quintuplicata.

Parâmetros de cor no produto final em função dos tratamentos de secagem.

Tratamento amplitude-período	Cor instrumental		
	ΔL*	Δa*	Δb*
20-5	4,860 ± 1,011	9,347 ± 1,973	10,668 ± 2,601
20-7,5	10,490 ± 3,023	9,690 ± 1,394	10,788 ± 1,124
20-10	10,124 ± 2,437	9,390 ± 1,299	9,830 ± 1,635
10-5	12,698 ± 4,885	10,166 ± 0,542	7,436 ± 1,861
10-7,5	17,258 ± 2,567	8,129 ± 0,562	2,567 ± 0,669
10-10	20,619 ± 3,050	7,743 ± 0,096	2,427 ± 0,162
5-5	27,520 ± 2,267	8,668 ± 1,186	3,087 ± 0,162
80-0	6,959 ± 2,669	7,823 ± 1,973	11,298 ± 2,601

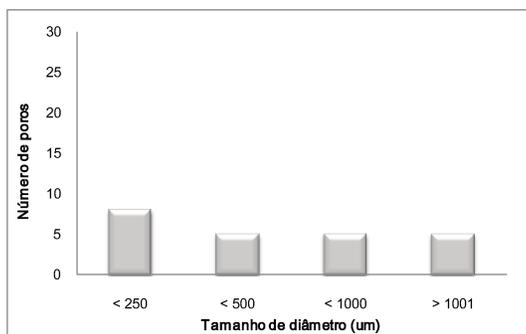
Nota: *Os valores apresentados correspondem às médias de três ensaios com nove determinações cada.

Número de picos e temperatura de transição vítrea dos tratamentos de secagem em função da atividade de água.

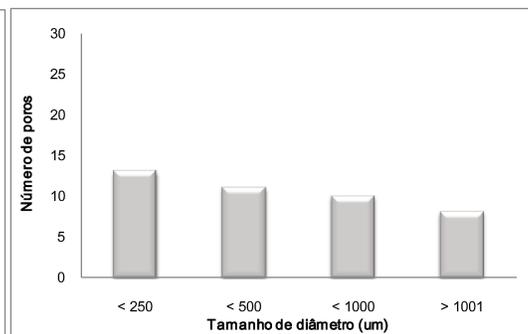
Tratamento amplitude-período	Número de picos ¹		Temperatura de transição vítrea ² (°C)	
	a _w = 0,26	a _w = 0,30	a _w = 0,26	a _w = 0,30
20-5	4,6 ± 2,1	1,1 ± 1,6	22,91 ± 5,57	20,14 ± 5,27
20-7,5	3,9 ± 2,0	2,4 ± 2,6	24,91 ± 1,05	29,98 ± 2,51
20-10	1,8 ± 1,4	0,7 ± 0,6	35,50 ± 1,77	10,77 ± 3,70
10-5	3,0 ± 2,7	1,1 ± 2,1	25,45 ± 4,20	2,86 ± 0,28
10-7,5	2,2 ± 1,7	1,7 ± 1,7	27,48 ± 1,03	36,75 ± 1,27
10-10	3,3 ± 2,9	0,7 ± 0,4	33,12 ± 1,19	20,61 ± 2,27
5-5	3,0 ± 3,2	1,2 ± 1,2	21,84 ± 1,39	18,61 ± 0,28

Nota: ¹ Os valores apresentados correspondem à média de 5 determinações. ² Os valores apresentados correspondem à média de 3 determinações.

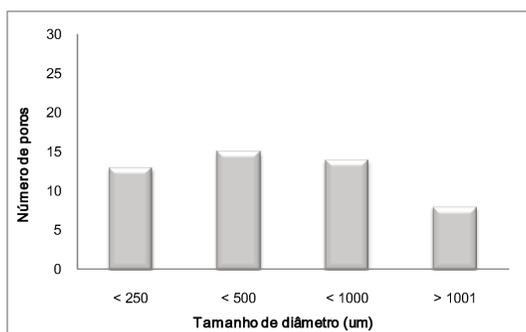
APÊNDICE D - Distribuição de tamanho de poros das amostras em função do tratamento de secagem.



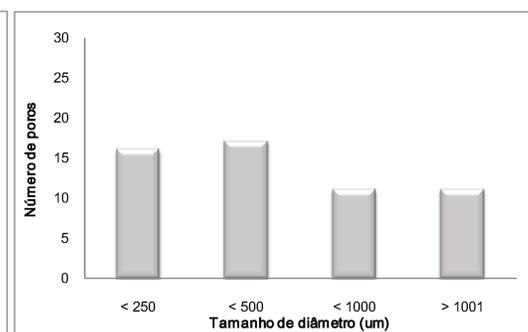
(a) Tratamento 20-5



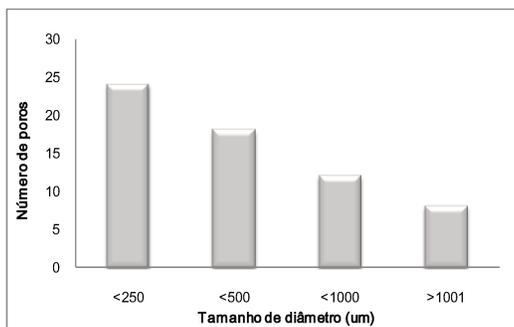
(b) Tratamento 20-7,5



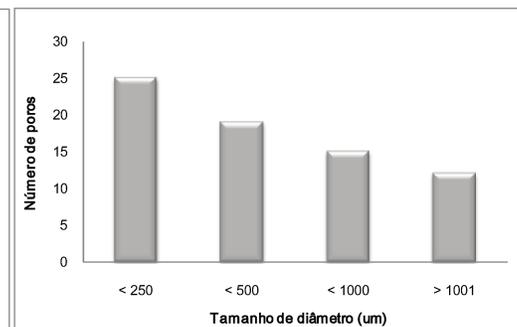
(c) Tratamento 20-10



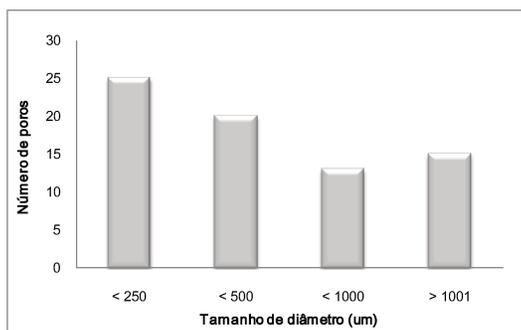
(d) Tratamento 10-5



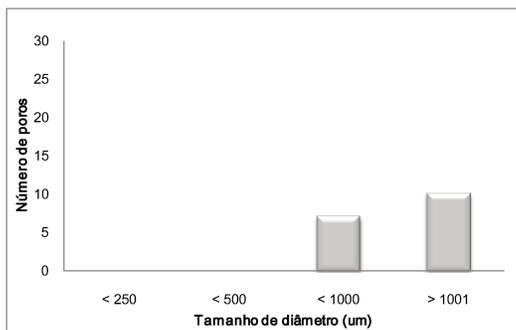
(e) Tratamento 10-7,5



(f) Tratamento 10-10

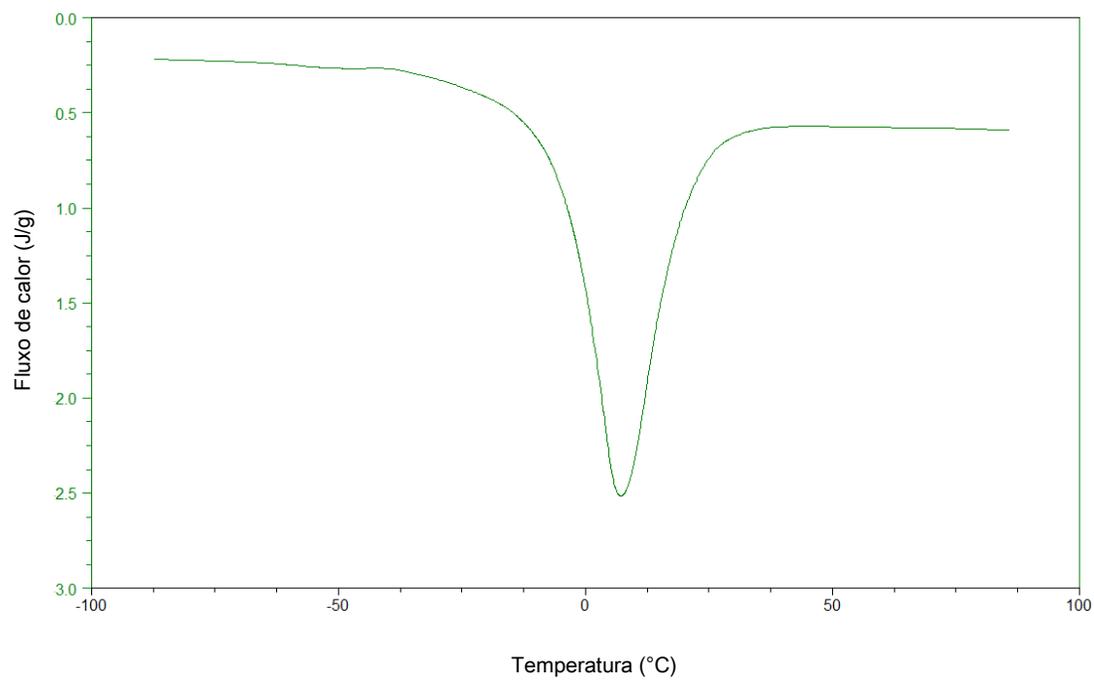


(g) Tratamento 5-5

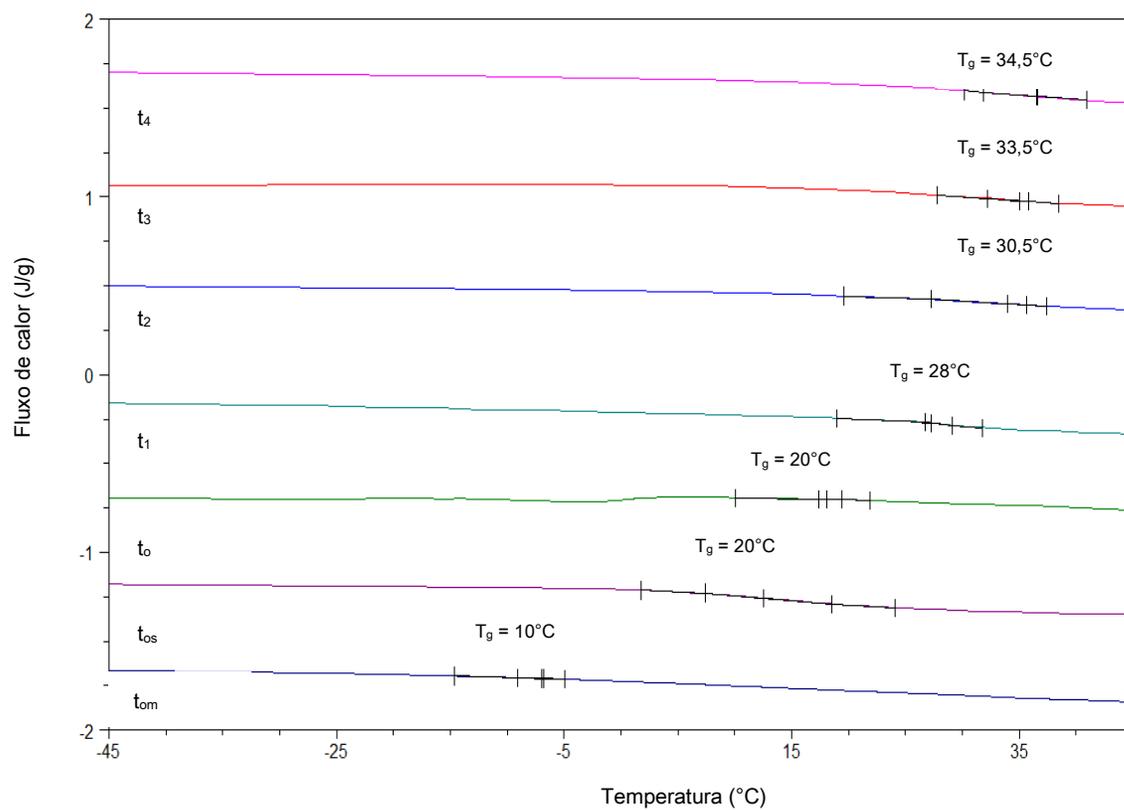


(h) Tratamento 80-0

APÊNDICE E- Termogramas da banana *in natura* e amostras coletas ao longo do processo de secagem.



(a) Termograma da banana *in natura*



(b) Termograma das amostras de banana ao longo do processo de secagem.