

Marla Mateus de Lima

**PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E DE TEXTURA DE
ABACAXI (VAR. PÉROLA) DESIDRATADO
ENRIQUECIDO COM CÁLCIO POR IMPREGNAÇÃO A
VÁCUO**

Dissertação submetida ao
Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Alimentos
da Universidade Federal de
Santa Catarina para a
obtenção do Grau de Mestre
em Engenharia de Alimentos.
Orientador: Prof. Dr. José
Antônio Ribeiro de Souza
Coorientador: Prof. Dr. Bruno
A. M. Carciofi

Florianópolis – SC

2014

RESUMO

O processo de impregnação a vácuo (IV) em alimentos porosos consiste na troca do gás e/ou líquido ocluído dentro dos poros por um líquido externo, promovida pela aplicação de vácuo seguido do restabelecimento da pressão atmosférica. Este processo possibilita a elaboração de novos produtos incorporados de compostos que possam causar benefício para a saúde humana, como o cálcio. O objetivo deste trabalho foi desenvolver abacaxi desidratado enriquecido com cálcio por meio de diferentes processos de impregnação e analisar a influência do sal nas características estruturais e nas propriedades mecânicas. Assim, as fatias de abacaxi foram submetidas a diferentes tratamentos de impregnação em solução a 1 % de cálcio: IV a 100 mmHg, IV seguido de pulso de vácuo de 50 mmHg com tempo de descida t_1 e t_2 e impregnação sem aplicação de vácuo; utilizando como fonte o cloreto de cálcio, seguindo para secagem em estufa com circulação e renovação de ar a 60 °C. As amostras tratadas foram comparadas com as encontradas no comércio local desidratadas por convecção e por liofilização. A influência dos diferentes tratamentos aplicados nas amostras foi determinada por medidas de umidade, pH, concentração de sólidos solúveis, atividade de água, variação de massa, porosidade, temperatura de transição vítrea e textura. Os ensaios mecânicos indicaram diferenças nos dados de força-deformação entre as amostras *in natura* e tratadas, mostrando que a aplicação do vácuo e a adição de cálcio alteram as propriedades mecânicas do produto final conferindo maior crocância. A aplicação de vácuo e secagem convectiva proporcionaram o aumento da porosidade das amostras, contudo, as amostras que apresentaram maior porosidade foram as desidratadas por liofilização. O processo de impregnação a vácuo aumentou 11 vezes a concentração de cálcio nas amostras quando comparada com a *in natura* e não houve diferença significativa entre os demais processos com aplicação de vácuo. Já quando comparado ao processo de impregnação sem aplicação de vácuo a IV teve um aumento de 91 % da concentração de cálcio incorporado nas amostras. Com os resultados obtidos de determinação da concentração de cálcio, observa-se que todos os processos produziram alimentos considerados enriquecidos. A temperatura de transição vítrea foi maior para as amostras submetidas ao processo de impregnação de cálcio a vácuo e impregnação sem aplicação de vácuo, em que a adição de cálcio propiciou uma diminuição na mobilidade das moléculas. Sendo assim, os resultados deste estudo representam uma alternativa para a produção de frutas fortificadas

com cálcio, com aspecto crocante e um produto com elevado valor agregado.

Palavras-chave: Abacaxi, impregnação a vácuo, cálcio e secagem.

ABSTRACT

The process of vacuum impregnation (IV) on porous food consist in the exchange of gas and/or occluded liquid within the pores by an external liquid, promoted by the application of vacuum followed by the atmospheric pressure restoration. This process allows the production of new products with incorporated compounds, which may cause benefits to human health, such as calcium. The objective of this study was develop a dehydrated pineapple enriched with calcium by different impregnation process and analyze the influence of salt in its structural characteristics and in its mechanical properties. So the pineapple slices were submitted to different impregnation treatments in solution at 1% Calcium: IV at 100 mmHg IV, using as source the calcium chloride, followed by a vacuum pulse of 50 mmHg with decay time t_1 and t_2 , and impregnation without the application of vacuum, following to the drying oven with an air renewal and an air circulation at 60 ° C. The treated samples were compared with those found in the local shops dehydrated by convection or lyophilisation. The influence of different treatments applied to the samples were determined by measurements of humidity, pH, concentration of soluble solids, water activity, weight change, porosity, glass transition temperature and texture. The mechanical tests indicated differences in the force-deflection data between the treated samples and the fresh samples, showing that both the application of vacuum as the addition of calcium modify the mechanical properties of the final product, giving greater crunchiness. The application of vacuum and convective drying provided increasing porosity of the sample, however, the samples with greater porosity and crunchiness were dehydrated by lyophilisation. The process of vacuum impregnation increased by 11 times the calcium concentration in the samples when compared with fresh samples and there was no significant difference between the other processes with vacuum application. However, when compared to the impregnation method under atmospheric pressure, the vacuum impregnation had a 91% increase of the calcium concentration incorporated in the samples. With the obtained results from the determination of the calcium concentration, it is observed that all processes have produced foods that are considered enriched. The glass transition temperature was higher for samples submitted to the process of calcium impregnation at vacuum and impregnation under atmospheric pressure, in which the addition of calcium led to a decrease in the mobility of the molecules. Thereby, the results of this study represent an alternative for the

production of fortified fruits with calcium, with crunchiness aspect and high added value.

Keywords: Pineapple, vacuum impregnation, calcium and drying.

Este trabalho é dedicado a Deus e aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter guiado meus passos durante e dado forças para persistir perante cada obstáculo.

Aos meus amados pais por acreditarem em mim, apoiarem, por fazerem questão de participar de todas as minhas lutas e vitórias e por serem meus maiores educadores. O meu amor por vocês é incondicional.

Ao meu orientador Prof. Dr. José Antônio e coorientador Prof. Dr. Bruno Augusto pelos ensinamentos e dedicação durante esses dois anos.

Ao Prof. Ivan pelo empenho e auxílio durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Às minhas amigas e companheiras Jéssica, Paula e Maísa que me ajudaram a desenvolver essa pesquisa. Meninas, sem vocês eu não teria conseguido!

Aos meus irmãos: Karla, Mateus, Ricardo, Samara e Beatriz. Agradeço por todo incentivo, carinho e por nunca me deixarem sozinha.

Às minhas amigas Flávia, Jacqueline e Laura que me acompanham desde a graduação e juntas conseguimos vencer mais essa etapa. Amo muito vocês!

A todos meus colegas e amigos: Maria José, Ricardo, Denise, Guilherme, Eto, Thiago, Luciana, Isadora, Douglas, Luís Carlos, Frederico, Ana Augusta, Angelise e Manuela. Vou sentir muita falta da nossa união, de todos os momentos que vivemos durante esses dois anos. Guardarei cada um de vocês no meu coração.

Aos meus queridos: Frederico, Walma, Maria José, Luiza e Augusto pela acolhida, proteção e companheirismo, mas principalmente por me permitirem fazer parte dessa família tão abençoada.

Aos colegas do PROFI que me auxiliaram durante esses anos de pesquisa.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Abacaxi (<i>Ananas comosus</i> L. Merrill).	25
Figura 2. Representação da ocorrência do HDM acoplado com o DRP em um poro ideal (Fito et al., 1996).	35
Figura 3. Curvas típicas de secagem.....	41
Figura 4. Fluxograma esquematizado das técnicas de impregnação de cálcio e secagem.....	54
Figura 5. Representação esquemática do equipamento utilizado para IV. .	56
Figura 6. Picnômetro de ar.....	63
Figura 7. Localização das perfurações.....	65
Figura 8. Variação de massa das amostras após os tratamentos em relação a massa inicial.	73
Figura 9. Curva de secagem de abacaxi <i>in natura</i> , IV, IV seguida de pulso de vácuo com tempo de descida t1 e t2 em estufa com circulação de ar a 60 °C, umidade relativa de 25 % e velocidade do ar de 1 m s ⁻¹	75
Figura 10. Amostras <i>in natura</i> (a), IV (b), IVPt1 (c) e IVPt2 (d) submetidas a secagem convectiva a 60 °C.	76
Figura 11. Dados de secagem do abacaxi em estufa com circulação de ar a 60 °C, umidade relativa de 25 % e velocidade do ar de 1 m s ⁻¹ a partir de amostras <i>in natura</i> e submetidas a IV, IV seguido de pulso de vácuo com tempo de descida t1 e t2.....	80
Figura 12. Curva da taxa de secagem das amostras de abacaxi <i>in natura</i> , IV, IV seguida de pulso de vácuo com tempo de descida t1 e t2 submetidas à secagem em estufa com circulação e renovação de ar a 60 °C, umidade relativa de 25 % e velocidade do ar de 1 m s ⁻¹ ajustadas ao modelo de Lewis.	82
Figura 13. Evolução da atividade de água das amostras <i>in natura</i> e tratadas pelo processo IV, IV seguido de pulso de vácuo com tempo de descida t1 e t2 ao longo da secagem convectiva.....	84
Figura 14. Porosidade dos abacaxis <i>in natura</i> fresco, <i>in natura</i> seco convectivamente ou liofilizado; amostras impregnadas sem aplicação de vácuo (ISV), impregnadas a vácuo desidratadas por convecção ou por liofilização; amostras IV seguido de pulso de vácuo com tempo de descida	

t1 e t2 secas convectivamente; e comercial 1 (seco convectivamente) e comercial 2 (liofilizado).	87
Figura 15. Testes mecânicos de penetração em (a) amostras <i>in natura</i> , tratadas e comerciais desidratadas convectivamente ou por liofilização; (b) amostras <i>in natura</i> , tratadas e comerciais desidratadas convectivamente; (c) amostras <i>in natura</i> e tratadas liofilizadas.	90
Figura 16. MEV das amostras (a) <i>In natura</i> +SC, (b) IV+SC (c) IVPt1+SC, (d) IVPt2+SC, (e) ISV+SC, (f) <i>In natura</i> +L, (g) IV+L, (h) ISV+L, (i) Comercial 1 e (SC) (j) Comercial 2 (L).	93
Figura 17. DSC das amostras <i>in natura</i> e tratadas secas convectivamente.	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição do abacaxi por 100 g da parte comestível.	27
Tabela 4. Caracterização físico-química do abacaxi <i>in natura</i> e após os tratamentos.....	71
Tabela 5. Resultados dos ajustes dos modelos de Lewis e do modelo de Page para o abacaxi seco.	78
Tabela 6. Taxa de secagem das amostras de abacaxi <i>in natura</i> , IV, IV seguido de pulso de vácuo com tempo de descida t1 e t2 no período linear durante o processo de secagem.	83
Tabela 7. Temperatura de transição vítrea para as amostras <i>in natura</i> , ISV, IV, IV seguido de pulso de vácuo com tempo de descida t1 e t2 secas convectivamente em estufa de circulação e renovação de ar com temperatura de 60 °C e umidade relativa de 25%.....	86
Tabela 8. Concentração de cálcio no abacaxi submetido a impregnação a vácuo 100 mmHg com diferentes concentrações de cálcio.	95
Tabela 9. Efeito dos diferentes tratamentos de impregnação na concentração de cálcio do abacaxi.....	97
Tabela 10. Porosidade das amostras <i>in natura</i> , tratadas e comerciais desidratadas por convecção ou por liofilização.	123

LISTA DE ABREVIATURAS

a_w – Atividade de água

ISV – Impregnação sem aplicação de vácuo

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

DRP – Fenômeno de deformação-relaxamento

FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura

F_r – Força resultante

g – Aceleração da gravidade

IDR – Ingestão Diária Recomendada

IV – Impregnação a Vácuo

IVPt1 – Impregnação a Vácuo seguido de Pulso de vácuo com Tempo de descida 1

IVPt2 – Impregnação a Vácuo seguido de Pulso de vácuo com Tempo de descida 2

HDM – Mecanismo Hidrodinâmico

ppm – partes por milhão (mg/kg)

UR – Umidade relativa

mg – miligrama

$M_{H_2O}^t$ – Massa de água no tempo t

M_{ss}^t – Massa de sólidos secos o tempo t

M_t – Massa total

M_{ss} – Massa de sólidos secos

P – Pressão do vapor de água no sólido

P_o – Pressão do vapor de água pura a mesma temperatura

R – Velocidade de secagem

TACO – Tabela de Composições de Alimentos

T_g – Temperatura de transição vítrea

t_1 – Tempo 1 de descida do pulso de vácuo

t_2 – Tempo 2 de descida do pulso de vácuo

U_{bs}^t – Umidade em base seca

V – Volume

VM – Variação de massa

V_{ap} – Volume aparente

V_{rea} – Volume real

X_t – Umidade do sólido em base seca

X_{eq} – Umidade de equilíbrio

ϵ – Porosidade

ISV+L – Amostras impregnadas sem aplicação de vácuo liofilizadas

ISV+SC – Amostras impregnadas sem aplicação de vácuo secas convectivamente

In natura+L – Amostras *in natura* liofilizadas

In natura+SC – Amostras *in natura* secas convectivamente

IV+L - Amostras impregnação a vácuo liofilizadas

IV+SC – Amostras impregnação a vácuo secas convectivamente

IVPt1+SC - Amostras impregnação a vácuo seguido de pulso de vácuo com tempo de descida t1 secas convectivamente

IVPt2+SC - Amostras impregnação a vácuo seguido de pulso de vácuo com tempo de descida t2 secas convectivamente

SUMÁRIO

RESUMO	3
ABSTRACT	5
AGRADECIMENTOS	9
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS.....	13
LISTA DE ABREVIATURAS	15
CAPÍTULO 1	21
INTRODUÇÃO.....	21
1. OBJETIVOS.....	23
1.1 Objetivos específicos	23
CAPÍTULO 2	25
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1 ABACAXI.....	25
2.2 CÁLCIO	28
2.3 IMPREGNAÇÃO A VÁCUO.....	31
2.3.1 Mecanismo hidrodinâmico (HDM)	33
2.3.2 Aplicações de IV na incorporação de sais de cálcio.....	35
2.4 MÉTODOS DE DESIDRATAÇÃO DE ALIMENTOS	36
2.4.1 Secagem convectiva	38
2.4.2 Liofilização.....	42
2.5 TEXTURA	44
2.6 POROSIDADE.....	46
2.7 TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO VÍTREA (T _g).....	47
CAPITULO 3	51

3. MATERIAIS E MÉTODOS	51
3.1 PREPARO DAS AMOSTRAS E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA	51
3.1.1 Preparo das amostras	51
3.1.2 Caracterização físico-química	52
3.2 AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE PROCESSOS DE DESENVOLVIMENTO DE ABACAXI DESIDRATADO ENRIQUECIDO COM CÁLCIO	54
3.3 PREPARO DA SOLUÇÃO IMPREGNANTE	54
3.4 DISPOSITIVO EXPERIMENTAL DE IMPREGNAÇÃO A VÁCUO	55
3.5 OBTENÇÃO DAS CURVAS DE VÁCUO	56
3.6 IMPREGNAÇÃO A VÁCUO	57
3.7 IMPREGNAÇÃO A VÁCUO COM PULSO DE 50 mmHg COM TEMPO DE DESCIDA t1	57
3.8 IMPREGNAÇÃO A VÁCUO COM PULSO DE 50 mmHg COM TEMPO DE DESCIDA t2	57
3.9 IMPREGNAÇÃO SEM APLICAÇÃO DE VÁCUO	58
3.10 DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DE MASSA (VM) DO ABACAXI APÓS OS PROCESSOS DE IMPREGNAÇÃO A VÁCUO	58
3.11 MÉTODOS DE SECAGEM	59
3.11.1 Secagem convectiva a 60 °C	59
3.11.1.1 Modelagem matemática das curvas de secagem	59
3.11.2 Liofilização	61
3.12 ANÁLISES PÓS-PROCESSAMENTO	61
3.13 POROSIDADE	62
3.14 PROPRIEDADE TÉRMICA - CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)	64

3.15 PROPRIEDADES MECÂNICAS	65
3.16 CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL (MEV)	65
3.17 ESTUDO DE IMPREGNAÇÃO DE CÁLCIO NO ABACAXI....	66
3.18 DETERMINAÇÃO DE CÁLCIO	66
3.19 TESTES REALIZADOS EM AMOSTRAS DESIDRATADAS COMERCIAIS	69
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71
4.1 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO ABACAXI <i>IN NATURA</i> E APÓS OS TRATAMENTOS.....	71
4.2 VARIAÇÃO DE MASSA	73
4.3 SECAGEM CONVECTIVA	75
4.4 PROPRIEDADE TÉRMICA - CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)	85
4.5 POROSIDADE.....	87
4.6 PROPRIEDADES MECÂNICAS	89
4.7 CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL (MEV)	92
4.8 ESTUDO DE IMPREGNAÇÃO DE CÁLCIO NO ABACAXI.....	95
4.9 QUANTIFICAÇÃO DE CÁLCIO NA AMOSTRA	97
5. CONCLUSÃO.....	101
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
ANEXO A	121
ANEXO B.....	122
ANEXO C.....	123
ANEXO D	124

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

No âmbito mundial o Brasil se destaca como segundo maior produtor de abacaxi, sendo responsável por 12 % de toda a produção mundial (FAOSTAT, 2013).

O abacaxi é considerado um fruto de grande aceitação pelo seu aroma e sabor; é consumido e apreciado em todo o mundo, devido ao seu sabor refrescante e ácido, mas também por suas qualidades nutricionais (MEDINA et al., 1978; GONÇALVES, ANDRADE e SOUZA, 2010).

O interesse do consumidor por alimentos saudáveis propiciou um rápido crescimento do segmento da indústria de alimentos que visa contribuir para o alcance de uma dieta de melhor qualidade. Os indivíduos estão mais preocupados com as consequências que o estilo de vida e os hábitos alimentares têm na sua saúde e bem-estar. Dentro desse contexto surgiu a oportunidade para que a indústria de alimentos elabore novos produtos que alcancem os requerimentos nutricionais de grupos populacionais específicos, tais como: crianças, adolescentes, mulheres, esportistas, idosos, etc. (CASÉ et al., 2005).

A indústria de alimentos vem explorando vários processos tecnológicos para preservar frutas e hortaliças, e os métodos mais antigos incluem secagem, preservação química e refrigeração/congelamento (HOFSKY et al., 2009). A secagem de um material sólido qualquer, envolve simultaneamente a transferência de calor e de massa, e seu

comportamento é caracterizado pela análise das mudanças de umidade em função do tempo (MENEZES et al., 2013).

Em tecidos de frutos e vegetais, os compostos fisiologicamente ativos podem ser incorporados através de processos de impregnação à pressão atmosférica, sob condição de vácuo (IV) ou por uma combinação de impregnação a vácuo seguida por um período de pressão atmosférica (ANINO, SALVATORI e ALZAMORA, 2006). O processo de impregnação a vácuo consiste na imersão de um produto poroso na solução impregnante, aplicando-se vácuo por um dado período de tempo (t_1), ocasionando a saída de parte dos gases oclusos nos poros. Após o período de vácuo, a pressão atmosférica é restabelecida no sistema e a amostra permanece imersa na solução por um período de tempo t_2 , resultando na entrada da solução externa pela ação do mecanismo hidrodinâmico (HDM) (ANINO, SALVATORI e ALZAMORA, 2006; FITO, 1994; FITO e PASTOR, 1994; FITO et al., 1996).

Contudo, no caso das frutas e vegetais inteiros ou minimamente processados, os sais de cálcio atuam como agentes de textura, que após sua impregnação podem ocasionar modificações benéficas na textura do fruto, devido às alterações na estrutura deste alimento. Sais de cálcio, especialmente o lactato de cálcio e o cloreto de cálcio são usados combinados com inibidores de escurecimento como agentes de firmeza (ANINO, SALVATORI, ALZAMORA, 2006; CYBULSKA, ZDUNEK e KONSTANKIEWICZ, 2011).

1. OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo principal estudar as propriedades físico-químicas e mecânicas do abacaxi (var. Pérola) desidratado enriquecido com cálcio por impregnação a vácuo.

1.1 Objetivos específicos

- Estudar a impregnação a vácuo do cálcio no abacaxi utilizando soluções com diferentes concentrações de cloreto de cálcio.
- Estudar o uso de diferentes tempos de descida do pulso de vácuo durante a impregnação.
- Estudar a cinética da secagem convectiva das frutas *in natura* e impregnadas a vácuo com cálcio.
- Analisar a influência das diferentes condições de impregnação a vácuo e secagem nos seguintes parâmetros do produto: textura, temperatura de transição vítrea, atividade de água, pH, umidade e na porosidade do abacaxi.
- Analisar os parâmetros de qualidade do produto seco obtidos pelas diferentes condições de impregnação seguida de secagem convectiva ou liofilização.

CAPÍTULO 2

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ABACAXI

O abacaxi *Ananas comosus* L. Merrill pertence à família Bromeliaceae, que contempla aproximadamente 46 gêneros e 1.700 espécies, presentes principalmente em zonas tropicais (THE, 2001). As cultivares mais plantadas no Brasil são a ‘Perola’ e a ‘Smooth Cayenne’, sendo a ‘Pérola’ considerada insuperável para o consumo ao natural, graças a sua polpa suculenta e saborosa, fazendo com que os frutos tenham grande potencial de comercialização internacional (CUNHA, 2010).

Figura 1. Abacaxi (*Ananas comosus* L. Merrill).



Fonte: STAFC, 2013.

O abacaxi é considerado um fruto de grande aceitação pelo seu aroma e sabor; é consumido e apreciado em todo mundo, devido ao seu sabor refrescante e ácido, mas também por suas qualidades nutricionais, pois a fruta apresenta uma boa fonte de carboidratos, sais minerais e vitaminas (Tabela 1). Também é um adjuvante da digestão pela ação de sua enzima natural, a bromelina. O abacaxi é consumido tanto ao natural quanto na forma de produtos industrializados (MEDINA et al., 1978 GONÇALVES, ANDRADE e SOUZA, 2010).

O fruto apresenta polpa de cor amarela ou laranja-avermelhado, possuindo formato normalmente cilíndrico ou ligeiramente cônico, constituído por 100 a 200 pequenas bagas ou frutinhos fundidos entre si sobre o eixo central ou coração, formado por várias flores que iniciam seu desenvolvimento na base do fruto e progride em espiral até o ápice (THE, 2001).

Os responsáveis pela cor amarela da polpa do abacaxi são os carotenoides, já as vitaminas e os minerais estão relacionados com o valor nutritivo, sobressaindo o ácido ascórbico (vitamina C) e o potássio. O principal ácido responsável pela acidez é o cítrico e o málico, os quais contribuem com 80% da acidez total. A acidez titulável total geralmente varia de 0,6% a 1,6% e é expressa como porcentagem de ácido cítrico, enquanto o pH da polpa se enquadra na faixa de 3,7 a 3,9 (CARVALHO e BOTREL, 1996).

A Tabela 1 apresenta os dados da composição do abacaxi a cada 100 g da parte comestível.

Tabela 1. Composição do abacaxi por 100 g da parte comestível.

Características	Quantidade
Umidade (%)	86,3
Energia (kcal)	48,0
Proteína (g)	0,9
Lipídeos (g)	0,1
Carboidrato (g)	12,3
Fibra alimentar (g)	1,0
Cinzas (g)	0,4
Cálcio (mg)	22,0
Magnésio (mg)	18,0
Vitamina C (mg)	34,6
Potássio (mg)	131

Fonte: TACO, 2011.

No âmbito mundial Brasil em 2011 se destacou como o segundo maior produtor de abacaxi, sendo responsável por 12 % de toda a produção mundial (FAOSTAT, 2013). A região Nordeste se destaca com a maior produção nacional de frutos, seguida da região Sudeste, Norte, Centro-oeste e, por fim, a região Sul (IBGE, 2012). O estado da Paraíba é o principal produtor, respondendo por cerca de 18,25% da produção nacional, ao qual juntamente com os estados do Pará (17,83%), Minas Gerais (14,77%), Bahia (9,68%) e Rio de Janeiro (7,22%) totalizam 67% da produção nacional de abacaxi. Em 2012 a exportação de abacaxi na forma de fruta fresca foi cerca de 32.545 toneladas, o que o torna o 9 ° fruto com maior representatividade na exportação brasileira (SEBRAE, 2013).

Segundo Cunha (2010), o abacaxi é muito consumido em todo o mundo, tanto ao natural quanto na forma de produtos industrializados. É uma fruta não climatérica, ou seja, deve estar no estágio ótimo de amadurecimento para consumo por ocasião da colheita, pois ao ser colhido ele perde sua capacidade de amadurecimento e passa a apresentar queda na taxa respiratória.

O abacaxi apresenta grande importância econômica não só pelas suas qualidades nutricionais e sensoriais, mas também por sua rentabilidade e importância social, devido seu cultivo exigir intensiva mão de obra (CUNHA et al.,1994).

2.2 CÁLCIO

O cálcio é o mineral mais abundante do corpo humano. Corresponde de 1 a 2 % do peso corporal e ocorre numa porcentagem de 39 % em relação a outros minerais. Sua distribuição é de 99 % nos ossos e 1 % no sangue, espaço extracelular e células de tecidos moles. O cálcio também é necessário para a formação e manutenção da matriz óssea; estabilizar membranas de células excitáveis como músculos e nervos; participar do processo de coagulação do sangue; na atividade de diversas enzimas e para o crescimento e desenvolvimento dos ossos e dentes (GRUDTNER, WEINGRILL e FERNANDES, 1997; BELITZ e GROSCH, 1992; DAMODARAN, PARKIN e FENNEMA, 2010).

A deficiência deste nutriente ocorre em grandes segmentos da população nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, e tem sido epidemiologicamente associada a várias doenças crônicas, incluindo

osteoporose, osteomalácia, hipertensão e câncer de cólon (ANINO, SALVATORI e ALZAMORA, 2006).

A discrepância entre o consumo e a recomendação de ingestão de cálcio tem conduzido a uma crescente comercialização de alimentos e bebidas enriquecidos com cálcio, classificados como alimentos funcionais. Estes alimentos oferecem fontes alternativas de cálcio para pessoas que não podem satisfazer suas necessidades de ingestão de cálcio pelo consumo de alimentos tradicionais, não alcançando a ingestão diária recomendada, que de acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) é de 1000 mg por dia. O desenvolvimento destes alimentos reflete na crescente preocupação dos consumidores sobre saúde e nutrição e na indústria alimentar gerando oportunidade de criação de novos produtos.

Os alimentos funcionais incluem os que foram desenvolvidos com adição de componentes alimentares fisiologicamente ativos que afetam benéficamente uma ou mais funções no corpo, além da nutrição, de forma relevante para a melhoria da saúde, bem-estar e/ou redução do risco de doenças (ANINO, SALVATORI e ALZAMORA, 2006; SINGH et al., 2006; GERSTNER, 2002; PIRKUL, TEMIA, ERDEM, 1997). Segundo a Portaria nº 31 de 13 de janeiro de 1998, um alimento é considerado fortificado, em vitaminas e minerais, quando o seu valor nutritivo é reforçado em no mínimo 30 % da Ingestão Diária Recomendada (IDR) em cada 100 g de produto sólido.

O cálcio também é utilizado no tratamento de produtos hortícolas, onde quando administrado em baixas concentrações produz efeitos desejáveis, retardando a maturação e a senescência, e controlando desordens fisiológicas. O cálcio tem um papel especial na manutenção da estrutura da parede celular em frutos, pois interage com a pectina da parede

celular formando pectato de cálcio, proporcionando uma textura mais firme aos frutos. A presença de cálcio, além de conferir insolubilidade ao material péctico, limita a ação da enzima poligalacturonase, uma vez que o pectato de cálcio formado é resistente à degradação por esta enzima. O tratamento com cálcio também pode ser benéfico para produtos minimamente processados, pois esse tratamento mantém a firmeza dos frutos fatiados melhor que em frutos inteiros (CYBULSKA, ZDUNEK e KONSTANKIEWICZ, 2011).

A baixa concentração de cálcio nos frutos é o principal fator nutricional associado ao amadurecimento, perda de qualidade e aumento no risco de ocorrência de doenças e distúrbios fisiológicos durante o armazenamento refrigerado. Ele desempenha um papel importante na manutenção da qualidade de frutas e hortaliças. (REIS et al., 2005). Sendo assim, tratamentos pós-colheita com cálcio vêm sendo utilizados para aumentar a durabilidade de frutas frescas (SAURE, 2005; LAMIKANRA e WATSON, 2004; RICO et al., 2006; MANGANARIS et al, 2007).

Vários sais são utilizados como fonte de cálcio e na literatura, pode-se encontrar trabalhos sobre seu uso e implicações quando impregnados em alimentos. Luna-Guzmán e Barrett (2000) avaliaram a influência de dois sais de cálcio, lactato e cloreto de cálcio, ao serem impregnados em fatias de melões a uma concentração de 2,5%. A impregnação foi feita sem aplicação de vácuo, a diferentes temperaturas (25 e 60 °C). Ao final do trabalho os autores observaram que não houve diferença significativa entre os sais, quando se tratava da firmeza do fruto, contudo o cloreto de cálcio conferiu um sabor salino as fatias de melão, enquanto o lactato de cálcio preservou o sabor original do fruto.

Martín et al. (2005) observaram que não houve diferença significativa entre o uso dos lactato de cálcio e o cloreto de cálcio na cor, textura e aceitabilidade de alface e cenouras minimamente processadas submetidos a imersão em solução de lactato e cloreto de cálcio antes do armazenamento.

Singh et al. (2007) estudaram a biodisponibilidade do cálcio originário dos sais de gluconato, lactato e cloreto e observaram que existe uma diferença na biodisponibilidade quando adicionados ao leite e ministrados a camundongos. Foi observado neste estudo que os sais orgânicos apresentaram uma melhor absorção em relação ao inorgânico. Porém, o sal que apresentou melhor relação custo/benefício para a indústria fortificar ou suplementar o alimento foi o cloreto de cálcio.

2.3 IMPREGNAÇÃO A VÁCUO

O processo de impregnação a vácuo (IV) em alimentos porosos consiste na troca do gás e do líquido nativo aprisionados dentro dos poros por um líquido externo. Isso se faz pela ação de gradientes macroscópicos de pressão promovidos pela aplicação de vácuo e posterior restabelecimento da pressão atmosférica em uma câmara contendo o produto imerso em uma solução (FITO, 1994; FITO e PASTOR, 1994; FITO et al., 1996).

Os primeiros estudos utilizando vácuo na desidratação osmótica datam de 1969 (ZOZULEVICH e D'YACHENKO, 1969), que demonstraram que a utilização do vácuo implicava uma cinética de desidratação mais rápida. As condições do vácuo promovem cinéticas de “transferência de massa” mais rápidas devido à ação do mecanismo

hidrodinâmico (HDM) acoplado com o mecanismo difusivo. O vácuo é especialmente eficaz em promover o HDM em produtos altamente porosos (CHÁFER et al., 2001).

Na IV o primeiro passo do processo trata-se de submeter o sistema a uma pressão subatmosférica (p_1) por um determinado período de tempo (t_1), onde o gás ocluso nos poros se expande, até o equilíbrio com a pressão imposta ao sistema, saindo do produto e levando parte do líquido nativo presente no interior dos poros. Quando o equilíbrio das pressões do sistema é alcançado, uma quantidade de líquido penetra nos poros devido à ação das forças capilares. Após este período, é restabelecido a pressão atmosférica (p_2) e o produto é mantido imerso na solução por um tempo (t_2). Nesta etapa, o gás residual na amostra se comprime, conduzindo à impregnação dos poros do produto pela solução externa (FITO, 1994, FITO et al., 1996; FITO et al., 2001). Durante esse processo ocorre uma mudança composicional rápida no produto, com modificação das condições para a transferência de massa (FITO et al., 1996; BARAT, FITO e CHIRALT, 2001).

O mecanismo responsável pela transferência de massa durante a impregnação a vácuo é denominado Mecanismo Hidrodinâmico (HDM). O modelo matemático que descreve esse mecanismo foi proposto pela primeira vez por Fito (1994), visto que este não pode ser explicado por mecanismos osmóticos e nem difusivos. O modelo do HDM permite o cálculo da fração volumétrica da amostra impregnada, ocasionada por gradientes macroscópicos de pressão e pela ação da capilaridade (FITO, 1994; FITO e PASTOR, 1994).

As mudanças composicionais e estruturais que ocorrem na amostra durante o processo de impregnação a vácuo são resultado tanto do

preenchimento dos poros pela solução externa quanto pela deformação do volume da amostra, provocada pela variação da pressão sobre o sistema. Este preenchimento dos poros implica em: (i) um aumento da área de contato entre as células e a solução osmótica; (ii) uma abrupta mudança na força motriz do processo de transferência de massa, já que a composição total da amostra se modifica com a impregnação da solução; (iii) um aumento da área disponível para transferência de massa por difusão (FITO et al., 2001; STRINGARI, CARCIOFI e LAURINDO, 2006).

A IV tem amplas aplicações em processos que envolvem operações sólido-líquido: salga, desidratação osmótica, acidificação, adição de conservantes, adição de componentes nutricionais, retardação do escurecimento enzimático, entre outros. No processamento de frutas, como na desidratação osmótica e processamento mínimo, a IV permite rápidas mudanças na composição, através da introdução de soluções adequadas na sua estrutura porosa. No entanto, é necessário o conhecimento da porosidade do produto e a viabilidade da penetração do líquido durante o processo de IV para a aplicação dessa técnica de forma adequada (MARTÍNEZ-MONZÓ et al., 1998; CHIRALT et al., 2001b; MÚJICA-PAZ et al., 2003ab; BETORET et al., 2003; CHÁFER et al., 2002; SALVATORI et al., 1998).

2.3.1 Mecanismo hidrodinâmico (HDM)

O primeiro estudo de um modelo matemático teórico para explicar o que acontece em cada etapa da impregnação a vácuo foi apresentado por Fito (1994). Neste modelo a fração volumétrica da amostra impregnada foi modelada como uma função da porosidade efetiva do produto e de uma taxa

de compressão. O modelo do HDM permite o cálculo da fração volumétrica da amostra impregnada, ocasionada por gradientes macroscópicos de pressão e pela ação da capilaridade.

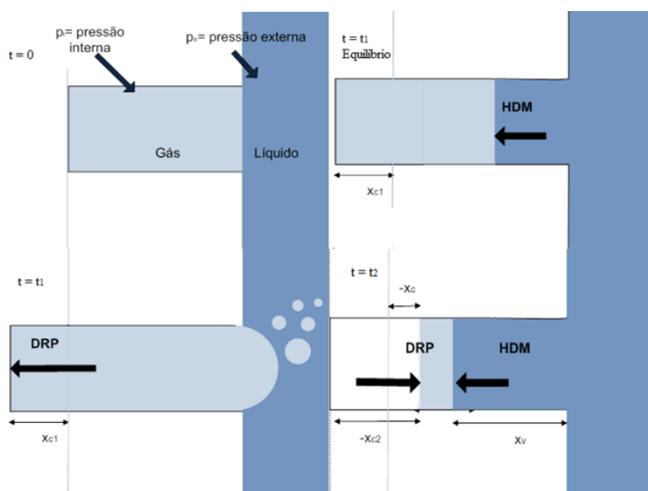
Fito et al. (1996) propuseram também um modelo matemático considerando a possibilidade da deformação da matriz porosa, relacionada às propriedades viscoelásticas dos alimentos sólidos, denominado Fenômeno de Deformação-Relaxação (DRP).

O modelo do HDM foi estendido para produtos porosos que possuam características viscoelásticas, uma vez que neste caso as mudanças de pressão causam, não somente os fluxos de gás e líquido, como também, o fenômeno de deformação-relaxação da matriz sólida (DRP). O acoplamento da deformação e da impregnação na amostra depende dos tempos característicos de cada fenômeno, que são definidos respectivamente pelas propriedades mecânicas da amostra e pela queda de pressão durante a entrada do líquido nos poros (FITO e CHIRALT, 2000).

No processo de impregnação a vácuo (figura 2), inicialmente o volume do produto tende a aumentar. Esse fenômeno associado à expansão do gás dentro dos poros. Isto ocorre até que a pressão interna se iguale à pressão externa. A amostra então relaxa e ocorre uma entrada capilar de líquido e a saída de líquido nativo presente nos poros, carregado pelo gás que deixa a amostra. No segundo passo a compressão pode ocasionar a deformação do volume da amostra e a subsequente relaxação, juntamente com a penetração do líquido nos poros, pela ação do Mecanismo Hidrodinâmico. As propriedades mecânicas da matriz sólida e as propriedades de escoamento do líquido que penetra os poros irão definir os tempos característicos de penetração e de deformação-relaxação,

responsáveis pela impregnação final e deformação das amostras no equilíbrio (FITO et al., 1996; FITO e CHIRALT, 2000).

Figura 2. Representação da ocorrência do HDM acoplado com o DRP em um poro ideal (Fito et al., 1996).



Fonte: Autor.

2.3.2 Aplicações de IV na incorporação de sais de cálcio

O processo de impregnação a vácuo (IV) tem sido estudado em vários trabalhos encontrados na literatura que relatam a aplicação de vácuo em processos de desidratação osmótica de frutas, como alternativa para melhorar a impregnação de um soluto e diminuir o tempo de contato necessário entre as fases líquida e sólida (MARTÍNEZ-MONZÓ et al., 1998; MÚJICA-PAZ et al., 2003ab; PAES, 2005).

Anino, Salvatori e Alzamora (2006) estudaram a influência da concentração de cálcio nas propriedades mecânicas de maçã quando impregnada a vácuo com sais de cálcio e impregnadas sem aplicação de vácuo. Os autores concluíram que o processo de impregnação a vácuo levou cerca de 50 % do tempo para alcançar os mesmos níveis de cálcio que a impregnação sem aplicação de vácuo. O cálcio impregnado, a diferentes pressões de operação, chegou a 23-62 % da ingestão diária recomendada a adultos. Viram também que o tecido impregnado teve um comportamento diferente quando comparado ao *in natura*, apresentando valores menores na força de ruptura e no módulo de deformidade.

Chen et al. (2011) avaliaram o efeito de diferentes concentrações do cloreto de cálcio (0 %, 1 % e 4 %) nos atributos de qualidade e nas pectinas da parede celular de morangos durante o armazenamento. Observaram que a adição de cálcio não modificou significativamente a firmeza do fruto e que dentre as concentrações estudadas a de 1 % de cálcio obteve uma melhor resposta aos atributos de qualidade.

Silva et al. (2003) estudaram o efeito do cloreto de cálcio em diferentes concentrações no abacaxi ‘Pérola’ minimamente processado e refrigerado. Os resultados revelaram que, independente do tipo de corte, não houve diferença significativa entre os tratamentos com 1 % e 2,5 %, tendo ambos preservado as características de qualidade.

2.4 MÉTODOS DE DESIDRATAÇÃO DE ALIMENTOS

A secagem é uma técnica antiga de conservação de alimentos que consiste na remoção de água ou qualquer outro líquido do alimento na forma de vapor para o ar não saturado. Esta técnica vem sendo

constantemente estudada e aperfeiçoada para obtenção de produtos com maior qualidade e menor tempo de processamento (AKIPINAR et al., 2006).

Produtos perecíveis possuem elevados teores de umidade inicial, como o abacaxi. Assim, a secagem de tais produtos apresenta inúmeras vantagens: manutenção dos constituintes minerais; inibição da ação de microrganismos; redução dos custos de transporte, manuseio e estocagem e alternativa para solução dos problemas de desperdício, descarte e poluição. Além disso, os produtos secos oferecem opção para refeições leves e rápidas (COELHO e PINTO, 2011).

Segundo Sousa et al. (2006), a secagem é uma operação unitária importante, uma vez que visa preparar o produto para a armazenagem; entretanto, se mal conduzida, poderá prejudicar a qualidade comercial do produto ou, por outro lado, acelerar o processo de deterioração durante a armazenagem; assim, o conhecimento do mecanismo de ação da água entre os materiais biológicos e o ambiente é de grande importância no processo da secagem.

O processo de secagem é definido como a aplicação de calor sob condições controladas para remover, por evaporação, a maioria da água normalmente presente em alguns alimentos. O objetivo principal da secagem é prolongar a vida útil dos alimentos por meio da redução da atividade de água. Isso inibe o crescimento microbiano e a atividade enzimática, mas a temperatura de processamento costuma ser insuficiente para provocar sua inativação (FELLOWS, 2006). Contudo, muitos alimentos passam pelo processo de secagem por necessidade de conservação; outros, para adquirirem sabores refinados, como é o caso do tomate seco, vendido por altos preços no mercado (NAYAK, 2007).

Segundo a RDC nº 272 (BRASIL, 2005), fruta seca é o produto obtido pela perda parcial da água da fruta madura, inteira ou em pedaços, por processos tecnológicos adequados que possibilitem a manutenção de, no máximo, 25 % de umidade (g/100g). O produto é designado simplesmente pelo nome da fruta que lhe deu origem, seguida da palavra "seca". Os produtos preparados com mais de uma espécie de frutas, terão a designação de "frutas secas mistas", seguida do nome das frutas componentes. Pode também ser usada a palavra "passa", em lugar de "seca".

2.4.1 Secagem convectiva

A secagem convectiva é um processo de remoção de umidade do alimento através da exposição do mesmo a um fluxo contínuo de ar quente (RATTI, 2001). Durante este processo, o calor fornecido pelo ar quente é transferido para a superfície da do alimento por convecção e, posteriormente, para o centro por condução, promovendo a vaporização do líquido em seu interior até a superfície onde ocorre a remoção pela corrente de ar, através de dois processos simultâneos: transferência de calor para evaporar o líquido; e transferência de massa, na forma de líquido ou vapor no interior, e na forma de vapor na superfície do alimento. Desta forma, um gradiente de pressão de vapor de água é estabelecido a partir do interior úmido do alimento para o ar de secagem, representando a força motriz para a transferência de água (BARBOSA-CÁNOVAS; VEGA-MERCADO, 2000).

A capacidade do ar quente de remover a umidade presente no alimento é dependente de três fatores inter-relacionados: a umidade relativa

(UR), a temperatura do ar e a vazão e velocidade do ar que passa sobre o alimento. O aumento na temperatura do ar ou a redução na UR ocasionam a evaporação mais rápida da água da superfície úmida (FELLOWS, 2006).

Fatores como pressão de vapor do sólido e ar de secagem, velocidade do ar e temperatura, velocidade da difusão da água no sólido, espessura e área superficial exposta para secagem conduzem os mecanismos de transferência e determinam a velocidade de secagem. Sendo que, o ar quente é a técnica mais empregada, por ser facilmente disponível, mais conveniente na instalação e operação de secadores, e o seu controle no aquecimento do alimento não apresenta maiores problemas. O princípio básico de secagem, quando se utiliza o ar como meio de secagem, está no potencial de secagem do ar ambiente aquecido, que é forçado na massa do produto que serve a duas finalidades: conduzir calor para o produto, onde a pressão de vapor de água é aumentado pelo aquecimento do produto, assim, parte do calor aquece a temperatura do alimento (calor sensível) e parte fornece o calor necessário para a vaporização da água contida no produto (calor latente); e absorver a umidade do produto, pois aumentando a temperatura do ar ambiente a soma umidade relativa diminui (LOPES, SILVA e REZENDE 2000; FELLOWS, 2006).

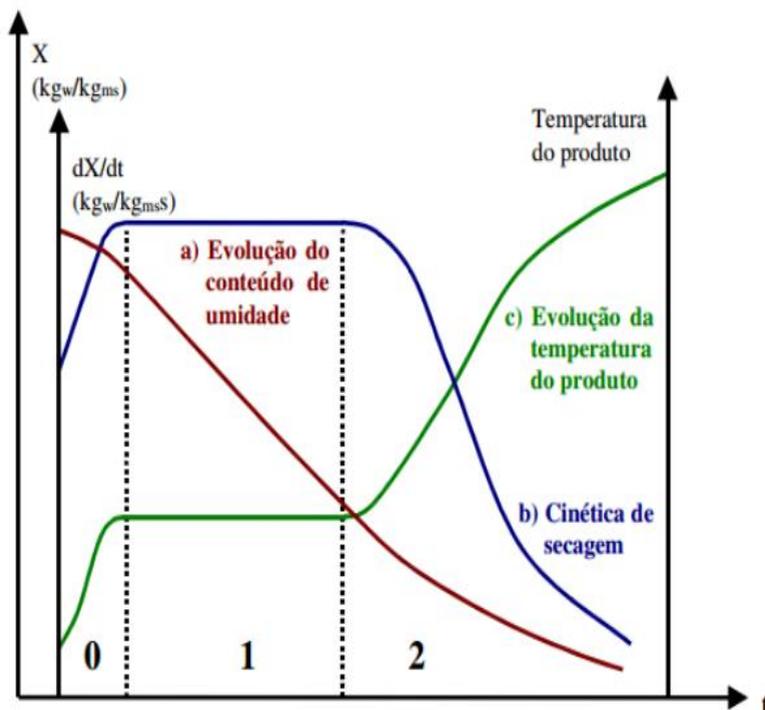
Vários estudos sobre curvas de secagem têm sido realizados devido à sua influência na qualidade do produto desidratado. O conteúdo de umidade de determinado sólido pode ser expresso em termos de massa total, base úmida ou massa seca. Ao entrar em contato com o ar quente, ocorre transferência de calor do ar para o produto, devido ao gradiente de temperatura existente entre ambos. Simultaneamente, a diferença da pressão parcial do vapor de água existente entre o ar de secagem e a superfície do

produto determina a transferência de massa do produto para o ar em forma de vapor de água (NOGUEIRA, 1991).

A operação de secagem ocorre em três etapas. Na primeira, denominada de período zero (fase de acomodação antes do primeiro período de secagem), a taxa de secagem é alta, pois a superfície do produto está mais fria que o ar e, portanto, sua temperatura eleva-se rapidamente. Numa segunda etapa, definida como primeiro período de secagem, a remoção de umidade se dá à taxa constante, porque a umidade interna do produto é transportada para a superfície na mesma velocidade com que ocorre a evaporação na superfície. No último período da secagem, denominado decrescente, o movimento da água no sólido pode ocorrer por diferentes mecanismos, como difusão do líquido devido a gradientes de concentração, difusão do vapor devido a gradientes de pressão parcial de vapor e o movimento do líquido por forças capilares (BARBOSA – CÁNOVAS; VEGA-MERCADO, 2000).

Na Figura 3 estão representadas: uma curva típica de secagem, a curva da taxa de secagem, obtida da primeira temperatura assim como a sua evolução durante o processo no produto.

Figura 3. Curvas típicas de secagem.



Fonte: Park et al. 2001.

A curva (a) representa a diminuição do teor de água do produto durante a secagem, teor de umidade do produto em base seca (X), em relação à evolução do tempo de secagem (t), isto é, é a curva obtida pesando o produto durante a secagem, à dadas condições de secagem. A curva (b) representa a velocidade (taxa) de secagem do produto, variação do teor de umidade do produto por tempo, dX/dt em relação ao tempo (t) de processo, isto é, é a curva obtida diferenciando a curva (a). A curva (c) representa a variação da temperatura do produto durante a secagem

(variação da temperatura do produto (T) em relação à evolução do tempo (t) (PARK et al. 2001).

Este processo proporciona produtos convenientes para os consumidores e ingredientes de fácil manipulação para outros alimentos processados. Contudo, devido às condições de processamento, a secagem convectiva também apresenta algumas desvantagens, como o encolhimento e deformações no formato do produto, oxidação de pigmentos, perda de vitaminas, diminuição no valor nutricional e sensorial, baixa habilidade de reidratação do produto final, dentre outras (FELLOWS, 2000).

2.4.2 Liofilização

O processo de liofilização consiste em um processo de secagem do material por meio da sublimação da parte da água congelada a temperaturas baixas e sob vácuo. O desempenho do processo é fortemente dependente da escolha adequada das condições operacionais e, portanto, há necessidade de uma extensiva análise de seus efeitos no tempo de processamento e na qualidade do produto obtido. Essa tecnologia foi desenvolvida para superar as perdas de compostos responsáveis pelos aromas nos alimentos, os quais são muito suscetíveis às modalidades de processamento que empregam temperaturas elevadas, como a secagem convencional (VIEIRA, NICOLETI e TELIS, 2012).

Segundo Marques (2008), por trabalhar com baixas temperaturas e, geralmente sob vácuo, esse processo é recomendado para materiais termosensíveis, materiais biológicos (fungos, enzimas, tecidos, sangue, cobaias), farmacêuticos (antibióticos, vacinas, soros), alimentos (sucos, carnes, legumes, frutas) e produtos químicos; gerando produtos de

qualidade superior quando comparados às outras técnicas de secagem. Contudo, as vantagens da liofilização perante outros tipos de secagem são decisivas, uma vez que reduz a desnaturação oxidativa das proteínas, perdas de compostos voláteis, vitaminas termosensíveis e as reações degradativas; o produto pode ser reconstituído facilmente devido a sua estrutura porosa; preservação das propriedades químicas e físicas do material; o encolhimento é mínimo e não há migração de sólidos solúveis para a superfície durante a secagem.

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

A primeira etapa da liofilização é o congelamento. O sucesso da liofilização depende significativamente deste estágio, uma vez que ele define a forma, o tamanho, a distribuição e a conectividade dos poros na camada seca formada durante a sublimação, e influenciando, conseqüentemente, os parâmetros que caracterizam a transferência de massa e de calor no produto seco durante a secagem primária e secundária (MARQUES, 2008).

Após o congelamento vem a etapa da sublimação ou secagem primária, sendo este um fenômeno essencialmente endotérmico e por esse motivo o calor deve ser fornecido ao sistema durante todo o processo. Isso pode ser feito de diferentes maneiras: mecanismos condutivos, radiação ou combinados (convecção/radiação, condução/radiação). O solvente congelado é removido por sublimação, isto requer que a pressão do sistema (liofilizador) no qual o produto está sendo seco seja menor, ou próximo, à pressão de vapor de equilíbrio do solvente congelado. Se este solvente for água pura congelada, então a sublimação da água pura será a pressão

absoluta de 4,58 mmHg (6,1 mbar), assim o material deve ser resfriado abaixo de 0°C para manter a água no estado congelado (LUCCAS, 1998).

A terceira e última etapa é a dessorção ou secagem-secundária, e consiste na retirada de água que está ligada à estrutura do material. Ocorre com velocidade menor que a sublimação, já que a concentração de umidade é menor e a água não está livre, 5 % a 10 % do total de água do material (LUCCAS, 1998).

Alimentos liofilizados são produtos com alto valor agregado por reter grande parte de seus nutrientes originais, uma vez que emprega baixas temperaturas em seu processamento. Entretanto, seu custo é expressivamente maior quando comparado aos produtos secos por outras técnicas, necessitando-se, assim, de pesquisas que minimizem os custos operacionais, ofertando, dessa maneira, produtos a um preço competitivo. Além disso, a qualidade final do produto, considerando-se os aspectos nutritivos e sensoriais, também deve ser investigada para garantir alimentos seguros e nutritivos aos consumidores (VIEIRA, NICOLETI e TELIS, 2012).

Contudo, segundo Marques (2008) apesar do elevado custo do processamento e conseqüentemente do produto final, a liofilização é amplamente difundida e utilizada por indústrias farmacêuticas e alimentícias e institutos de pesquisa.

2.5 TEXTURA

Os três principais atributos de aceitação e qualidade dos alimentos são: aparência, sabor e textura, sendo que este último é tido como o mais importante (BOURNE, 2004). A textura relaciona-se, também, com o

flavor porque a liberação de compostos presentes no produto que são perceptíveis ao paladar são também relacionados com a estrutura do tecido (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

Pode-se encontrar na literatura algumas definições deste atributo. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, a textura é definida como todas as propriedades reológicas e estruturais (geométricas e de superfície) de um alimento, perceptíveis pelos receptores mecânicos, táteis e eventualmente pelos receptores visuais e auditivos (ABNT, 1993). De acordo com Kluge et al. (2002), textura é o reflexo da sensação produzida nos lábios, língua, mucosa da boca, dentes e ouvidos sendo representada pela dureza, maciez, fibrosidade, granulosidade, resistência e elasticidade.

A textura está associada com a plasticidade e efeito de incorporação de água sobre a matriz pectínica e celulósica dos tecidos dos frutos, o qual é dependente do teor de sólidos insolúveis e conteúdo de água, além dos sólidos solúveis e atividade de água (TORREGGIANI, 1993).

Para frutos e legumes a parede celular é um fator determinante para a textura, suas propriedades influenciam a maneira em que os tecidos vegetais sofrem deformação mecânica e falha durante a mastigação. Processos como o cozimento e eventos fisiológicos como a maturação, podem reduzir a força de adesão celular em frutas e vegetais, pela despolimerização da pectina. Há um grande interesse em reduzir esse processo de separação das células, uma vez que assim seria evitado o amolecimento excessivo e a perda de suculência das frutas ou vegetais (WALDRON et al. 1997).

A crocância característica de alimentos no estado vítreo é altamente desejada em biscoitos, batatas fritas, cereais matinais e alimentos desidratados. Já a maciez, associada ao estado gomoso, é desejável em alguns produtos desidratados, como damasco e banana, e, também em produtos industrializados como os biscoitos recheados (BARONI 2004; LABUZA et al., 2004).

As características ou parâmetros de textura são quantificados através das análises de textura, que podem ser sensoriais ou instrumentais (KOWASLKI, CARR e TADINI, 2002). E de acordo com Cano-Chauca et al. (2002), a análise instrumental de textura é muito utilizada em substituição à análise sensorial, a qual possui a vantagem de ser mais prática e mais economicamente viável.

2.6 POROSIDADE

Os alimentos são constituídos de sistemas de tecidos celulares, podendo ser considerados como um sistema poroso peculiar. A estrutura porosa dos materiais afeta propriedades de transporte como a difusividade de gases e líquidos no material. A difusividade na fase gasosa em um sólido poroso é proporcional à porosidade do material e inversamente proporcional à tortuosidade. A porosidade do material expressa a razão de espaços vazios do material em relação ao volume total do material. O fator de tortuosidade considera a complexidade do caminho difusional do gás, sendo sempre maior que um (MARQUES, 2008).

A porosidade é um termo que quantifica a estrutura porosa. Similarmente, o tamanho do poro, a distribuição do tamanho dos poros e a área superficial específica de vários materiais agrícolas podem ter

importância no controle de qualidade e desenvolvimento de novos produtos tais como sopas desidratadas, tortas, etc (KARATHANOS et al. 1996 apud MARQUES, 2008).

Segundo Yan, Sousa-Gallagher e Oliveira (2007), o método de medida de volume aparente mais recomendado para amostras frescas e secas é o de Arquimedes, sendo que o solvente sugerido é o n-heptano, por apresentar um menor coeficiente de variação.

Mayor, Moreira e Sereno (2011) estudaram as mudanças no volume, na densidade e na porosidade da abóbora durante os processos de desidratação osmótica e secagem ao ar. Viram que o volume das amostras diminuía com a redução do seu peso, a densidade variou de 5-13 % e a porosidade aumentou a medida que a amostra ia desidratando.

2.7 TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO VÍTREA (T_g)

Dependendo da presença ou ausência da ordem estrutural, os materiais podem ser classificados como, respectivamente, cristalinos ou amorfos. Alguns polímeros encontrados em alimentos como os carboidratos (açúcares, pectina e amido) e proteínas são termoplásticos e existem, frequentemente, no estado amorfo metaestável que é muito sensível a mudanças na temperatura e na umidade. A matriz amorfa pode existir como um material sólido-vítreo muito viscoso ou como um estado semilíquido gomoso. Essa matriz amorfa pode ser formada em processos em que a temperatura é rapidamente diminuída, abaixo do ponto de fusão, ou a água é rapidamente removida por evaporação ou pela formação de gelo. A formação da matriz amorfa ocorre através de mudanças no material as quais acontecem numa velocidade suficientemente alta, de maneira que não haja

tempo para que o produto se ajuste às mudanças que ocorrem nas vizinhanças e, portanto saia do estado de não-equilíbrio para o estado de equilíbrio (ROOS, 1995).

A temperatura de transição vítrea (T_g) define a mudança de fase de segunda ordem, ou seja, é a temperatura em que ocorre a passagem do estado vítreo para o estado “borrachoso”, sem a ocorrência de uma mudança estrutural (MARQUES, 2008).

Segundo Roos (1995), conforme a temperatura aumenta, acima da T_g , eles existem como semi-líquidos borrachosos. Esta transição ocasiona várias mudanças como aumento do volume livre, diminuição da viscosidade, aumento do calor específico e aumento da expansão térmica. As mudanças mais importantes que afetam o comportamento dos alimentos estão relacionadas com o aumento exponencial da mobilidade molecular e diminuição da viscosidade.

Ainda segundo o autor, o estado físico dos alimentos é, geralmente, conduzido pela transição de fase dos seus principais componentes. A água é o principal componente e diluente das frutas, aproximadamente 87 %. Logo, afeta significativamente o estado físico e as propriedades dos demais compostos, dentre eles os açúcares e os polissacarídeos, já que as frutas também apresentam elevados teores destes nutrientes. A transição vítrea ocorre dentro de uma faixa de temperaturas, embora seja, frequentemente, referida como uma única temperatura, T_g . Geralmente, o valor considerado como a temperatura de transição vítrea é a temperatura inicial (*onset*) ou a temperatura média (*midpoint*) da faixa de variação da transição vítreo-gomoso.

As modificações ocorrem na textura dos alimentos (pegajosidade, aglomeração, amolecimento e endurecimento) estão relacionadas ao

fenômeno de transição vítrea que ocorre durante o tempo de prateleira do produto (BARONI 2004; LABUZA et al., 2004).

Os valores de Tg de componentes amorfos em alimentos podem ser determinados por calorimetria de varredura diferencial (DSC). As taxas de resfriamento utilizadas para a formação de material vítreo, bem como as taxas de aquecimento empregadas em experimentos com DSC afetam a forma e a posição da Tg no termograma, sendo que elevadas taxas de resfriamento fornecem uma Tg maior (MARQUES, 2008).

CAPITULO 3

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 PREPARO DAS AMOSTRAS E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

3.1.1 Preparo das amostras

Os abacaxis da variedade Pérola (*Ananas comosus* L. Merrill) foram adquiridos no comércio local da cidade de Florianópolis – SC e mantidos à temperatura ambiente até o momento de sua utilização. A seleção das frutas foi realizada pelo grau de maturação através da análise visual, sendo selecionados os abacaxis que apresentavam uma coloração levemente amarelada na casca.

As frutas foram higienizadas com detergente neutro e em seguida descascadas manualmente de maneira a retirar a maior parte das olhaduras presentes na casca, mas preservando a fruta.

Os abacaxis foram cortados em fatias de 5 mm de espessura, separando as das extremidades devido a discrepância do teor de sólidos solúveis e pH. As fatias foram, então, divididas em oitavos de forma uniforme.

3.1.2 Caracterização físico-química

3.1.2.1 Umidade

As determinações de umidade foram realizadas de acordo com A.O.A.C. (2005). As amostras foram trituradas, pesadas em balança analítica (Marca Shimadzu, modelo AY220) com precisão de 0,001 g e colocadas em estufa (Marca Tecnal, Modelo TE-394/2, Brasil) a 105 °C até peso constante.

$$U_{bs}^t = \frac{m_{H_2O}^t}{m_{ss}^t} \quad (3.1)$$

onde, U_{bs}^t é a umidade em base seca (em g água/g sólidos secos), $m_{H_2O}^t$ é a massa de água retirada no tempo t, e m_{ss}^t é a massa de sólido seco da amostra retirada no tempo t. A análise foi feita em triplicata de experimento e triplicata de amostragem.

3.1.2.2 Sólidos solúveis

A concentração de sólidos solúveis totais foi determinada a partir do suco do abacaxi, utilizando um refratômetro automático (Marca Atago, modelo PAL-BX/RI, Japão) com precisão de 0,1 %. As amostras foram trituradas e depois filtradas para obtenção do suco. A análise foi feita em triplicata de experimento e quintuplicata de amostragem.

3.1.2.3 Atividade de água

A atividade de água foi realizada a partir de amostras trituradas e determinada através de um higrômetro (Marca Decagon Devices Inc., modelo Aqualab Series 3, USA). Como as amostras devem estar a temperatura de 25 °C para que o equipamento possa realizar a leitura, as frutas que foram submetidas à secagem convectiva, permaneceram 30 min no dessecador para esfriar de modo que não absorvessem umidade do ambiente antes de serem trituradas. A análise foi feita em triplicata de experimento e triplicata de amostragem.

3.1.2.4 pH

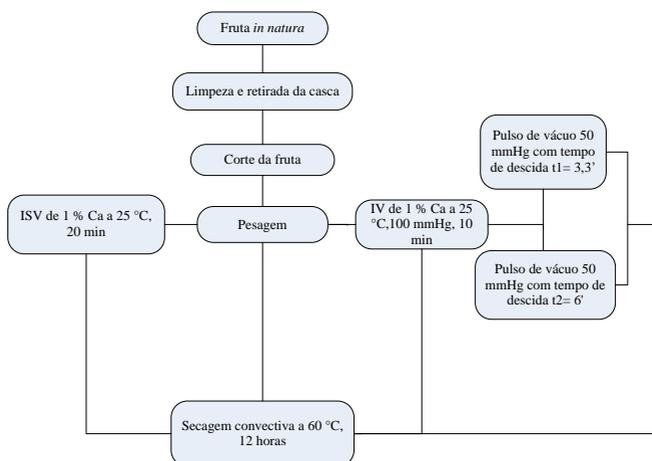
O pH foi determinado diretamente no fruto com auxílio de um pHmêtro digital de penetração (Marca Testo AG, modelo 205, Alemanha). A análise foi feita em triplicata de experimento e quintuplicata de amostragem.

Os resultados foram analisados estatisticamente por meio da análise de variância (ANOVA), com auxílio do *software Statistica 8.0*. Os valores médios foram analisados, com relação à diferença significativa, através do teste de Tukey ao nível de 5 % de significância.

3.2 AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE PROCESSOS DE DESENVOLVIMENTO DE ABACAXI DESIDRATADO ENRIQUECIDO COM CÁLCIO

As alternativas estudadas para a obtenção de frutas desidratadas e enriquecidas com cálcio estão demonstradas na Figura 4.

Figura 4. Fluxograma esquematizado das técnicas de impregnação de cálcio e secagem.



Fonte: Autor.

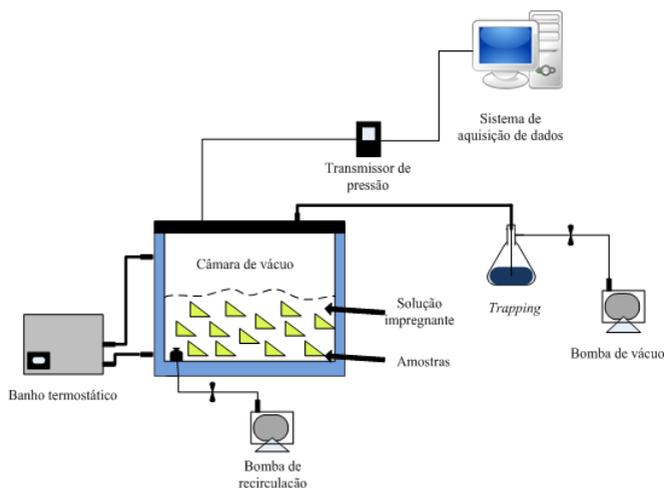
3.3 PREPARO DA SOLUÇÃO IMPREGNANTE

A solução impregnante a 1 % de cálcio foi preparada diluindo o cloreto de cálcio ($\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) em água destilada. Uma razão de 1:20 de fruta/solução foi utilizada para evitar mudanças significativas de concentrações na solução durante a impregnação.

3.4 DISPOSITIVO EXPERIMENTAL DE IMPREGNAÇÃO A VÁCUO

O dispositivo experimental utilizado na impregnação a vácuo da solução de cálcio nas fatias de abacaxi, esquematizado na Figura 5, é composto de uma câmara encamisada de volume interno de 50 litros, equipada com um sistema de controle e monitoramento de temperatura e pressão. O controle de temperatura é realizado através da circulação da água proveniente do banho termostático (Marca Quimis, modelo Q214M2, Brasil). A câmara é conectada a uma bomba de vácuo, de vazão nominal de $350 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (Marva DVP, modelo LC.305, Itália), a um *trapping*, a uma válvula de controle proporcional e a um transdutor de pressão (Marca Warne, modelo WTP 4010, Brasil). O transdutor de pressão foi ligado a um controlador externo, e este ligado à válvula de controle proporcional e a um computador, possibilitando o controle e um monitoramento *on-line* da pressão através de um programa de aquisição de dados. A solução é colocada no interior da câmara e as amostras acomodadas em telas de nylon. A agitação da solução foi realizada através de uma bomba centrífuga sanitária, com vazão nominal de 5000 L h^{-1} (Marca Bombinox, modelo BL 5, Brasil) conectada à câmara.

Figura 5. Representação esquemática do equipamento utilizado para IV.



Fonte: Autor.

3.5 OBTENÇÃO DAS CURVAS DE VÁCUO

Para as medidas de pressão, foi utilizado uma válvula de controle e um transdutor de pressão (Marca Warme, modelo WTP 4010, Brasil). Este equipamento registra pressões na faixa de 0 a 760 mmHg. O sensor foi interligado a um microcomputador através de uma porta serial e um programa de aquisição de dados foi desenvolvido para o mesmo (Vacuum Controller, Version 2.0).

3.6 IMPREGNAÇÃO A VÁCUO

Para a realização da impregnação a vácuo, as amostras foram pesadas de modo aleatório, colocando-as nas telas de nylon previamente identificadas, sendo então anotadas as respectivas massas na planilha de controle. Todas as fatias foram colocadas simultaneamente no equipamento representado na Figura 4. As amostras permaneceram imersas na solução (1 % de cálcio), a uma temperatura de 25 °C, por 10 min, sob pressão de 100 mmHg e, em seguida, por adicionais 10 min sob a pressão de 760 mmHg.

3.7 IMPREGNAÇÃO A VÁCUO COM PULSO DE 50 mmHg COM TEMPO DE DESCIDA t1

O processo de impregnação a vácuo foi feito como descrito no tópico 3.6. Para realização do pulso de vácuo, as amostras impregnadas foram dispostas em telas de nylon e colocadas dentro da câmara de vácuo sem solução, com o objetivo da remoção parcial da água da amostra, auxiliando no processo de secagem. Logo em seguida foi feito o pulso de vácuo de 50 mmHg com um tempo de descida de aproximadamente 3,3 min \pm 0,3 min.

3.8 IMPREGNAÇÃO A VÁCUO COM PULSO DE 50 mmHg COM TEMPO DE DESCIDA t2

Para o processo de impregnação a vácuo com pulso de vácuo de 50 mmHg com tempo de descida t2, repetiu-se o mesmo procedimento descrito

no tópico 3.7, contudo, com o tempo de descida de aproximadamente 6 min \pm 0,7 min.

Nos três casos, houve a análise da amostra após a IV; além dos tempos de retirada a cada 15 min na primeira hora de secagem, a cada 30 min na segunda hora e a cada hora nas subsequentes 10 horas de secagem.

3.9 IMPREGNAÇÃO SEM APLICAÇÃO DE VÁCUO

Para a realização da impregnação sem aplicação de vácuo (ISV), foram acondicionadas em telas de nylon, previamente identificadas, sendo então anotadas as respectivas massas na planilha de controle, e imersas na solução impregnante (1 % de cálcio) dentro da câmara (sem uso do vácuo), a temperatura de 25 °C por 20 min.

3.10 DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DE MASSA (VM) DO ABACAXI APÓS OS PROCESSOS DE IMPREGNAÇÃO A VÁCUO

A transferência de massa foi caracterizada pela determinação do parâmetro de variação de massa (VM). A determinação desse parâmetro foi realizada para as amostras: impregnada sem aplicação de vácuo, impregnadas a vácuo, impregnada a vácuo seguido de pulso com tempo de descida t1 e t2. As amostras foram pesadas antes e depois de cada processo e o excesso de solução aderida na superfície da amostra foi retirado com o uso de papel filtro absorvente em contato com cada lado da fruta por cinco segundos de cada lado (procedimento realizado antes de cada pesagem).

3.11 MÉTODOS DE SECAGEM

3.11.1 Secagem convectiva a 60 °C

Para a realização da secagem convectiva, as amostras (*in natura*, impregnadas a vácuo, impregnadas a vácuo seguido de pulso de vácuo com tempo de descida t_1 e t_2) foram pesadas de modo aleatório, colocando-as nas placas de Petri previamente identificadas, sendo então anotadas as respectivas massas na planilha de controle. Todas as fatias foram colocadas simultaneamente na estufa com circulação forçada de ar (Marca Tecnal, modelo TE 394/2, Brasil).

A secagem convectiva foi realizada a temperatura de 60 °C, umidade relativa de 25 % e com velocidade do ar de secagem de aproximadamente 1 m/s, medida com um Anemômetro Térmico Compacto (Marca TEXTO 425, Alemanha).

Foram realizadas pesagens a cada 15 min na primeira hora de secagem, a cada 30 min na segunda hora e nas subsequentes 10 horas de experimento foram realizadas pesagens a cada hora.

3.11.1.1 Modelagem matemática das curvas de secagem

Os modelos de Lewis e Page (Equação 3.2 e 3.3) foram ajustados aos dados experimentais do teor de umidade em função do tempo de secagem.

Lewis

O modelo de Lewis (1921) assume que a taxa de secagem é proporcional à diferença entre o conteúdo de umidade médio em um determinado tempo, t , e o conteúdo de umidade de equilíbrio de material.

$$\frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = e^{(-k.t)} \quad (3.2)$$

onde X_0 , X e X_{eq} são as umidades em base seca inicial, ao longo do tempo (t) e no equilíbrio, respectivamente, t é o tempo de secagem em horas, k é um parâmetro do modelo em horas^{-1} . Para ajuste dos dados experimentais, X_{eq} foi considerado como a umidade determinada ao final da secagem (DOYMAZ, 2004).

Devido a razoável aproximação entre os valores medidos experimentalmente e aqueles calculados pela Equação 3.2, também conhecida como Lei exponencial ou modelo logarítmico de secagem, passou-se a considerá-la como uma equação que descreve de forma aceitável o fenômeno de transferência de massa durante a secagem por convecção de produtos capilares porosos (CARLESSO et al., 2007).

Page

Page (1949) desenvolve uma modificação empírica simples, permitindo obter um método mais preciso para descrever mudanças nos resultados medidos, especialmente para o estagio inicial de secagem. A

adição de um expoente n ao tempo t na Equação 3.2. expressa o modelo da seguinte maneira:

$$\frac{X-X_{eq}}{X_0-X_{eq}} = e^{(-k.t^n)} \quad (3.3)$$

Em que k representa a constante modificada de secagem e o parâmetro n possui um efeito de modelação do tempo e corrige os possíveis erros resultantes da negligência da resistência interna para a transferência de umidade (AZZOUZ et al., 1998).

O ajuste dos modelos foi realizado por um método de regressão não linear utilizando o *software* MATLAB, versão 7.10.

3.11.2 Liofilização

Para a realização da liofilização, as amostras *in natura*, impregnadas sem aplicação de vácuo e impregnadas a vácuo foram acondicionadas em bandejas de aço inox e congeladas a $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) por 4 horas e logo em seguida colocadas sob uma pressão de vácuo de 0,2 mbar ($\pm 0,05$ mbar) no Liofilizador (Marca Liotop, modelo L101, Brasil) durante 24 horas.

3.12 ANÁLISES PÓS-PROCESSAMENTO

Os pontos da secagem convectiva foram tratados de modo a se determinar taxa de secagem, a cinética de atividade de água e de umidade para os processos aplicados.

Nos experimentos que envolveram a solução impregnante, o excesso de solução de cálcio aderida na superfície das frutas foi eliminado colocando-as em contato com papel filtro por 5 s em cada lado antes de se realizar as análises.

Foram analisadas amostras comerciais dos abacaxis desidratados por convecção e liofilização. Para todas essas análises foram preparadas amostras de abacaxis *in natura* liofilizada, impregnada a vácuo liofilizada e impregnada sem aplicação de vácuo liofilizadas. Assim, pode-se comparar de maneira mais eficiente as amostras comerciais às desenvolvidas durante a pesquisa, observando os vários fatores envolvidos.

Todas as análises foram realizadas em triplicata e os experimentos foram realizados com amostras destrutivas.

3.13 POROSIDADE

Para a determinação da porosidade (ϵ) das amostras (*in natura*, impregnada sem aplicação de vácuo, impregnada a vácuo e amostras comerciais desidratadas por convecção ou por liofilização; impregnada a vácuo com pulso de vácuo com tempo de descida t_1 e t_2 desidratadas por convecção) foi utilizado uma relação entre o volume real (V_{real}) e o volume aparente (V_{ap}) segundo a metodologia de Sereno, Silva e Mayor (2012).

O volume aparente de cada amostra foi calculado a partir da força de empuxo resultante da amostra quando imerso em n-heptano. Uma cesta foi suspensa na parte inferior de uma balança-analítica (Shimadzu, AY220), sua massa foi medida no ar (m_c) e imersas no n-heptano ($m_{c,h}$). Amostras do abacaxi foram, então, acondicionada na cesta e suas massas no ar ($m_{c,a}$) e

imersa no n-heptano ($m_{c,a,h}$) foram registradas. O n-heptano utilizado possui densidade igual a $0,68 \text{ g cm}^{-3}$ a $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

O volume real foi obtido utilizando o picnômetro de ar (Figura 5) do Laboratório de Propriedades Física de Alimentos – PROFI, Departamento de Engenharia Química e Alimentos, na Universidade Federal de Santa Catarina. A análise foi feita em triplicata de experimento e quaduplicata de amostragem.

A porosidade das amostras foi calculada pela seguinte Equação 3.4:

$$\varepsilon = \frac{V_{ap} - V_{real}}{V_{ap}} \quad (3.4)$$

onde, ε é a porosidade (%), V_{ap} é o volume aparente e V_{real} é o volume real da amostra.

O picnômetro de ar (Figura 6) mede a mudança de pressão quando uma quantidade conhecida de gás comprimido dentro de uma câmara de referência com volume constante se expande até a segunda câmara contendo a amostra de abacaxi.

Figura 6. Picnômetro de ar.



Fonte: Autor.

O picnômetro de ar consiste em duas seções com volumes V1 e V2, contendo três válvulas, um transdutor de pressão (Marca Warme, modelo WTP 4010, Brasil) e um termopar. A primeira seção inclui a câmara de referência e todas as ligações da tubulação entre a válvula 1 e a válvula 2. O transdutor de pressão e o termopar são colocados depois da câmara de referência e antes da válvula 2. A segunda seção inclui a câmara da amostra e toda a tubulação de conexão entre as válvulas 2 e 3. O transdutor de pressão mede a pressão absoluta dentro do intervalo de 0 a 5 bar. O gás utilizado no experimento foi o ar comprimido.

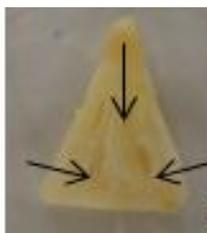
3.14 PROPRIEDADE TÉRMICA - CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)

Foram pesadas 6 mg ($\pm 0,4$ mg) das amostras e fechadas em cápsulas de alumínio e analisadas em DSC (Perkin-Elmer, Jade, Massachusetts, USA) previamente calibrado com Índio e Zinco, utilizando-se gás de arraste N₂ com vazão de 50 mL.min⁻¹. Os termogramas dos materiais foram obtidos em uma faixa de temperatura de -60 a 100 °C, com velocidade de aquecimento de 10 °C.min⁻¹. Os resultados foram analisados no *software Pyris DSC*, onde a temperatura de transição vítrea (T_g) foi detectada quando ocorria descontinuidade da linha base e determinadas pela interseção da reta que extrapola a linha base com outra linha tangente ao ponto de inflexão da curva.

3.15 PROPRIEDADES MECÂNICAS

As amostras (*in natura*, impregnada sem aplicação de vácuo, impregnada a vácuo e amostras comerciais desidratadas por convecção ou por liofilização; impregnada a vácuo com pulso de vácuo com tempo de descida t1 e t2 desidratadas por convecção) foram avaliadas através do teste de penetração em um analisador de textura (Marca Texture Analyser, modelo TA.HD plus, Reino Unido). Para esse teste, foi utilizada uma sonda cilíndrica de 2 mm de diâmetro, considerando a resistência a penetração em 80 % da sua altura original. Para cada tratamento foram analisadas cinco amostras, realizando três perfurações em diferentes regiões de cada fatia.

Figura 7. Localização das perfurações.



Fonte: Autor.

3.16 CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL (MEV)

As microscopias foram realizadas no Laboratório de Caracterização Microestrutural (LCM) do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. Para as imagens de MEV (modelo JEOL JSM 6390LV, Japão) as amostras desidratadas, por secagem

convectiva, foram liofilizadas (Marca Liobras, Modelo Liotop L101, Brasil), durante 24 horas, para retirada da umidade residual, e recobertas com ouro utilizando um metalizador (Marca LEICA, Modelo EM SCD500).

3.17 ESTUDO DE IMPREGNAÇÃO DE CÁLCIO NO ABACAXI

Para estudar o aumento da concentração de cálcio no abacaxi submetido ao processo de impregnação a vácuo foram utilizadas como meio impregnante soluções com diferentes concentrações de cálcio: 0,5 %, 1 % e 2,7 %. O processo de impregnação a vácuo foi realizado como descrito no tópico 3.6 e as soluções preparadas como descrito no tópico 3.3.

3.18 DETERMINAÇÃO DE CÁLCIO

Para a determinação de cálcio das amostras (*in natura*, impregnada sem aplicação de vácuo, impregnada a vácuo e impregnada a vácuo com pulso de vácuo com tempo de descida t1 e t2) foi utilizado a espectrometria de absorção atômica com chama, segundo a metodologia do IAL (2008) com algumas modificações.

O método utilizado refere-se à quantificação de minerais em alimentos, neste caso o cálcio. Baseia-se na determinação por espectrometria de absorção atômica com chama do cálcio em uma amostra representativa de abacaxi, previamente digerida.

Higienização das vidrarias

Para eliminar as interferências de outros sais durante a digestão da amostra é necessário um cuidado maior com a limpeza das vidrarias a serem utilizadas.

Todas as vidrarias foram imersas por 24 horas em uma solução detergente a 3 %. Após esse período as vidrarias foram enxaguadas três vezes com água destilada e seguiram para a segunda etapa. Nesta etapa as vidrarias foram imersas por 24 horas em uma solução ácida a 10 % de ácido nítrico. Passado esse tempo as vidrarias foram, então, enxaguadas três vezes com água destilada e colocadas para secar a temperatura ambiente (25°C) e armazenadas até o dia da análise.

Preparo da curva-padrão

Os cinco pontos da curva-padrão foram preparados de acordo com a sensibilidade e faixa linear de trabalho do equipamento. As soluções-padrão foram preparadas de tal forma que continham os reagentes em concentrações similares às adicionadas nas amostras. Assim, foram pipetadas em balões volumétricos de 100 ml alíquotas adequadas da solução-padrão intermediária de cálcio. As soluções foram então transferidas para frascos de polietileno e guardadas a temperatura de 5 °C até o dia da análise.

Preparo da solução de lantânio 1 %

Para o preparo da solução de lantânio a 1 % pesou-se 11,7 g de La_2O_3 e em seguida adicionou-se água destilada em quantidade suficiente para umedecer o óxido. Foi acrescentado lentamente 50 ml de HCl para dissolver o óxido. Esta solução foi transferida para um balão volumétrico de 1000 ml e completado o volume com água destilada e armazenada a temperatura de 5 °C até o dia da análise.

Digestão da amostra

Uma quantidade representativa da amostra foi triturada e transferida para cadinhos de porcelana. O cadinho foi transferido para estufa (Marca Tecnal, modelo 394/2, Brasil) a 105°C por 24 horas. Após a secagem a amostra foi queimada em chapa aquecedora até cessar o desprendimento de fumaça. Assim, a amostra foi transferida para mufla (Marca Quimis, modelo Q318M24, Brasil) e aquecida gradualmente até chegar a temperatura de 800°C, permanecendo nessa temperatura por um período de quatro horas. Após esse período a amostra foi retirada da mufla e colocada no dessecador para esfriar por trinta minutos. Com a amostra fria foi pipetado 10 ml de ácido clorídrico em cada cadinho e colocado em banho-maria por uma hora. Em seguida a amostra foi transferida para um balão de 100 ml e adicionados 10 ml da solução de cloreto de lantânio 1 %, previamente preparada, com o intuito de eliminar as interferências de outros sais durante a leitura. Assim, completava-se o balão com água destilada.

Após esse processo as amostras foram diluídas 200 e 250 vezes de forma que a solução da amostra digerida esteja compreendida na faixa linear da curva-padrão.

Todas as amostras foram preparadas em triplicata além de um branco dos reagentes.

Quantificação de cálcio na amostra

Após o processo de digestão das amostras descritas no tópico 3.19.4, a concentração de cálcio foi determinada utilizando um espectrofotômetro de absorção atômica e realizada pelo Laboratório de Análises de Alimentos do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos (LABCAL) da Universidade Federal de Santa Catarina.

3.19 TESTES REALIZADOS EM AMOSTRAS DESIDRATADAS COMERCIAIS

Foram realizados testes em amostras de abacaxi liofilizadas e secas convectivamente comerciais desidratadas, adquiridas no comércio local da cidade de Florianópolis- SC. As amostras foram caracterizadas quanto ao teor de umidade, atividade de água, a porosidade, propriedades mecânicas e caracterização macroestrutural segundo metodologias descritas nos tópicos, 3.1.2.1, 3.1.2.3, 3.13, 3.15, 3.16, respectivamente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO ABACAXI *IN NATURA* E APÓS OS TRATAMENTOS

As características físico-químicas dos abacaxis *in natura* e tratados pelo processo de impregnação a vácuo (IV), impregnado sem aplicação de vácuo (ISV) e impregnação a vácuo seguido da aplicação de pulso de vácuo com o tempo de descida t1 e t2 (IVPt1 e IVPt2) são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 2. Caracterização físico-química do abacaxi *in natura* e após os tratamentos.

Características	Tratamentos				
	<i>In natura</i>	IV	IVPt1	IVPt2	ISV
Umidade (g água/g sólidos secos)	7,9 ±0,80 ^a	9,1 ±0,69 ^a	8,6 ±0,52 ^a	8,8 ±0,67 ^a	9,1 ±0,17 ^a
Sólidos solúveis totais (°Brix)	12,6 ±1,3 ^b	11,1 ±1,4 ^{a,b}	10,6 ±0,96 ^a	11,2 ±0,96 ^{a,b}	11,4 ±0,90 ^{a,b}
Atividade de água (aw)	0,990 ±0,003 ^a	0,989 ±0,004 ^a	0,990 ±0,002 ^a	0,993 ±0,004 ^a	0,988 ±0,005 ^a
pH	3,52 ±0,17 ^a	3,53 ±0,07 ^a	3,60 ±0,18 ^a	3,52 ±0,08 ^a	3,53 ±0,18 ^a

As letras iguais em uma mesma linha indicam que não há diferença significativa entre as amostras $p \leq 0,05$, pelo teste de Tukey.

A umidade encontrada para as amostras de abacaxi *in natura* foi de 7,9 g de água/g de sólidos secos. Thé et al. (2010) encontram valores de umidade semelhante, com média de 7,1 g de água/g de sólidos secos. Sandri et al. (2011) estudaram as características físico-químicas do abacaxi ‘Pérola’ em diferentes posições, para o meio do fruto a umidade encontrada foi de 8,6 g de água/g de sólidos secos. Já Ramos et al. (2008) encontraram um teor de umidade de 6,4 g de água/g de sólidos secos para o abacaxi ‘Pérola’.

A concentração de sólidos solúveis das amostras de abacaxi *in natura* foi de 12,6 °Brix. Este valor está de acordo com o encontrado por Cortellino, Pani e Torreggiani (2011), 12,3 °Brix. Já Thé et al. (2010) encontraram a concentração de 11,50 °Brix. Sandri et al. (2011) encontraram 10,7 °Brix. Rodrigues (2006), Gonçalves, Andrade e Souza (2010) e Ramos et al. (2008) encontraram valores superiores, 16,2, 14 e 13,8 °Brix, respectivamente.

A atividade de água encontrada nas amostras *in natura* de abacaxi foi de 0,990. Valor este também encontrado por Silva et al. (2003) ao estudarem o abacaxi do cultivar ‘Pérola’. Ramos et al. (2008) encontraram o valor de 0,960. Já Rodrigues (2006) encontrou valores da atividade de água entre 0,90 e 0,93.

Nas amostras de abacaxi *in natura* deste trabalho o valor médio de pH encontrado foi de 3,52. Gonçalves, Andrade e Souza (2010) encontraram um valor de 3,71. Já Rodrigues (2006) encontrou valores entre 3,70 a 4,10. Thé et al.(2010) e Ramos et al. (2008) encontraram o valores de 3,85 e 3,99, respectivamente.

A variação dos valores umidade, sólidos solúveis, atividade de água e pH reportado pela literatura, pode ser devido ao grau de maturação

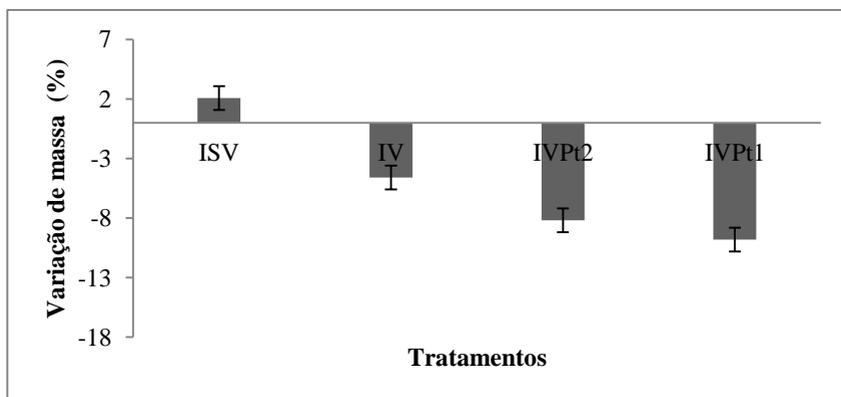
do fruto, ao local de cultivo e as variações climáticas sofridas durante o seu desenvolvimento.

As amostras de abacaxi *in natura* e as amostras de abacaxi após os tratamentos de impregnação de cálcio para os parâmetros de umidade, atividade de água e pH não tiveram diferença significativa. Contudo, em relação a concentração de sólidos solúveis houve diferença significativa entre as amostras *in natura* e as impregnadas a vácuo seguida de pulso com tempo de descida t1.

4.2 VARIAÇÃO DE MASSA

A variação de massa das amostras em relação a massa inicial está representado pela Figura 8.

Figura 8. Variação de massa das amostras após os tratamentos em relação a massa inicial.



As amostras antes do tratamento foram pesadas para padronizar a sua massa inicial em 8 g (\pm 0,5 g) e pesadas após os tratamentos de impregnação. Assim, para avaliar a variação de massa das amostras, após cada tratamento a massa foi comparada com a massa inicial.

Houve um ganho de massa de 2 % nas amostras submetidas a impregnação sem aplicação de vácuo em relação ao seu peso inicial. As amostras IV, IV seguida de pulso de vácuo com tempo de descida t1 e t2 houve uma diminuição de 4,6 %, 8,2 % e 9,8 %, respectivamente, em relação a sua massa inicial. Essa variação pode ter ocorrido devido a alteração da estrutura do abacaxi durante a aplicação de vácuo e que juntamente com o estado de senescência do fruto propiciaram a perda de sólidos das amostras.

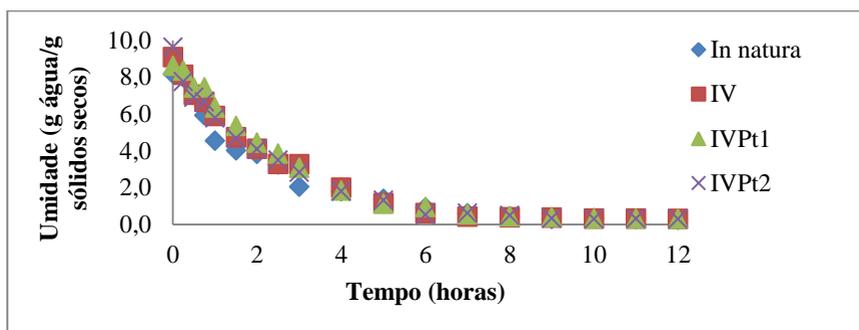
As amostra submetidas ao processo de IV seguido de pulso de vácuo com tempo de descida t1 e t2 em relação as amostras submetidas ao processo de IV tiveram uma diminuição de 53,2 % e 43,9 % de massa. Isso é resultado do processo de drenagem da solução impregnante causado pelo pulso de vácuo.

Quando comparado a variação de massa das amostras submetidas ao processo de IVPt1 e IVPt2, observa-se que as amostras IVPt1 tiveram uma variação de massa maior, perdendo 16,5 %. Isso ocorre porque a descida do pulso de vácuo é mais rápido, gerando uma agressão maior na estrutura dos poros, o que ocasionou a drenagem mais intensa da solução impregnante. Essa drenagem é um fato positivo para a próxima etapa, a secagem, pois retira o excesso de solução nas amostras podendo diminuir o tempo de secagem.

4.3 SECAGEM CONVECTIVA

Na Figura 9 e no Anexo A estão apresentadas as curvas de secagem das amostras *in natura*, impregnadas a vácuo (IV), impregnadas a vácuo seguido de pulso de 50 mmHg com tempo de descida t1 (IVPt1) e t2 (IVPt2).

Figura 9. Curva de secagem de abacaxi *in natura*, IV, IV seguida de pulso de vácuo com tempo de descida t1 e t2 em estufa com circulação de ar a 60 °C, umidade relativa de 25 % e velocidade do ar de 1 m s⁻¹.



Em relação ao processo de IV seguido de pulso ou não, pela Figura 9, percebe-se que ao se impregnar cloreto de cálcio nas fatias de abacaxi, a umidade inicial aumentou em relação ao *in natura*.

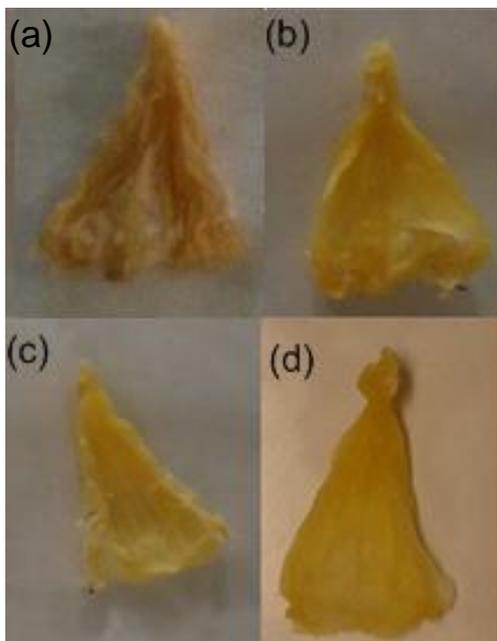
As amostras *in natura* iniciaram a secagem com 8,1643 g água/g sólidos secos, já as amostras impregnadas a vácuo (IV), impregnadas a vácuo seguido de pulso com tempo de descida t1 e t2 (IVPt1 e IVPt2) iniciaram com 9,0833, 8,5982 e 9,6227 g água/g sólidos secos. Contudo,

todas as amostras atingiram a umidade de equilíbrio (0,29 g água/g sólidos secos) no tempo de 9 h de secagem.

A umidade máxima permitida para as amostras secas segundo a Resolução do Conselho Nacional de Normas e Padrões para Alimentos (CNNPA) nº 12/1978, é de 0,33 g água/g sólidos secos. As amostras *in natura*, impregnadas a vácuo atingiram essa umidade no tempo de 9 h.

Na Figura 10 estão apresentadas fotografias de amostras *in natura*, IV, IVPt1 e IVPt2 submetidas ao processo de secagem convectiva a 60 °C.

Figura 10. Amostras *in natura* (a), IV (b), IVPt1 (c) e IVPt2 (d) submetidas a secagem convectiva a 60 °C.



Através da Figura 10, observar-se que todas as amostras sofreram encolhimento após o processo de secagem. Contudo, esse encolhimento foi suavizado nas amostras submetidas ao pré-tratamento de impregnação a vácuo. Quanto a cor, as amostras pré-tratadas com o processo de impregnação a vácuo apresentaram uma coloração amarelo brilhante, mais próxima da cor original do fruto, enquanto que a *in natura* apresentou uma coloração escura. Pré-tratamentos como a impregnação a vácuo provocam mudanças na estrutura do alimento, alterando as propriedades nutricionais, sensoriais e funcionais do produto seco. Além disso, provoca mudanças na textura, bem como a estabilidade da pigmentação do alimento durante a desidratação e armazenamento, inibe a ação da polifenoloxidase, previne a perda de compostos voláteis e minimiza os danos na cor causados pelo calor durante a desidratação (RAOULT-WACK, 1994; KROKIDA e MAROULIS, 2001).

Os valores dos parâmetros e os coeficientes de correlação (R^2) dos ajustes do modelo de Page e Lewis para as amostras *in natura* e tratadas secas a 60 °C são apresentados na Tabela 5.

Tabela 3. Resultados dos ajustes dos modelos de Lewis e do modelo de Page para o abacaxi seco.

Tratamentos	Modelos	Parâmetros			
		k	n	R ²	RMSE
<i>In natura</i>	Lewis	0,3766	-	0,988	0,039
	Page	0,3871	0,9711	0,987	0,039
IV	Lewis	0,4756	-	0,994	0,026
	Page	0,4926	0,9548	0,994	0,026
IVPt1	Lewis	0,4484	-	0,995	0,025
	Page	0,4138	1,1054	0,997	0,020
IVPt2	Lewis	0,5441	-	0,985	0,040
	Page	0,6041	0,8430	0,992	0,029

As equações estudadas podem ser utilizadas na modelagem e simulação de processos de secagem. Através dos resultados apresentados pela Tabela 5, observa-se que os modelos utilizados ajustaram satisfatoriamente os dados experimentais, com modelo de Page sinalizando discretamente maiores valores de R² e os menores valores de RMSE em todos os tratamentos. Tais resultados levam a considerar o uso do modelo de Lewis, já que este modelo, também conhecido como exponencial, apresenta apenas um parâmetro sendo, então, considerado simples e uma equação que descreve de forma aceitável o fenômeno de transferência de massa durante a secagem por convecção de produtos capilares porosos (CARLESSO et al., 2007).

Menezes et al. (2013) ao estudarem o uso de diferentes temperaturas e velocidades do ar na secagem do bagaço do maracujá,

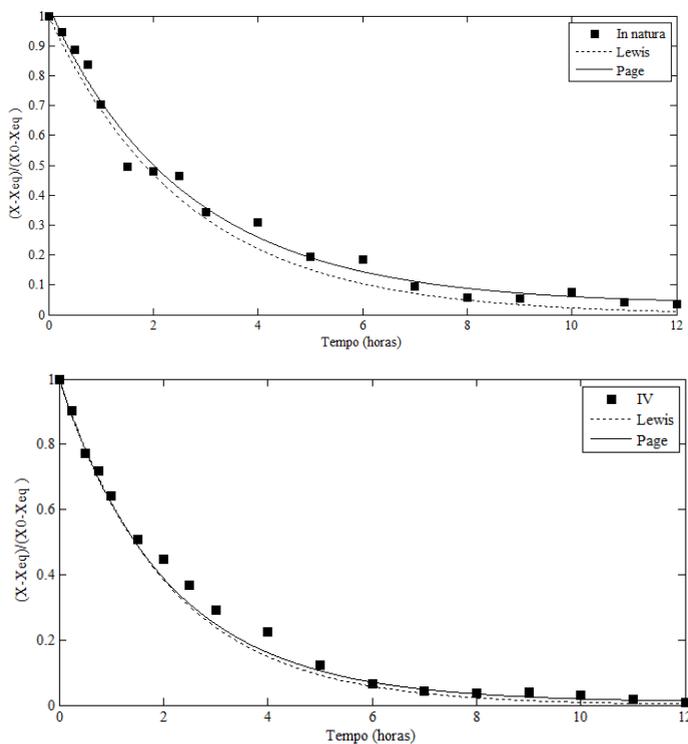
notaram que tanto o modelo de Lewis quanto de Page se ajustaram bem os dados experimentais, e Page obteve melhores valores de R^2 e RMSE. Quintero (2007) ao estudar diferentes equações empíricas na secagem do abacaxi, verificou que os modelos de Page, Lewis e o de dois termos apresentaram melhor comportamento com o R^2 superior a 0,98.

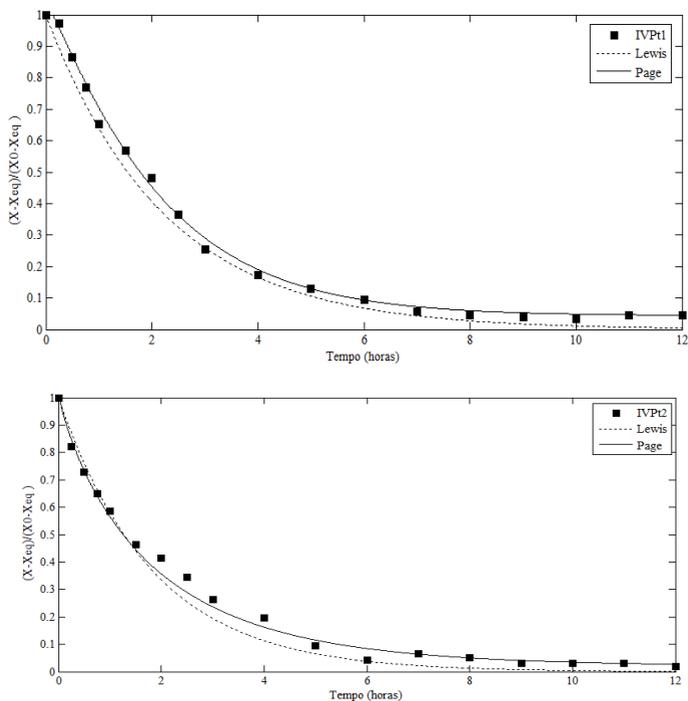
O k é um parâmetro indicativo do comportamento da taxa de secagem (SIMAL et al., 2005). Comparando os parâmetros obtidos pelo modelo de Page e Lewis, foi observado que os maiores valores da constante k foram obtidos para as amostras submetidas a impregnação a vácuo. Esses resultados indicam que as amostras impregnadas a vácuo tiveram uma maior taxa de transferência de umidade que as amostras *in natura*. Resultado este que pode ser confirmado na Tabela 6.

O parâmetro n do modelo de Page é um parâmetro empírico e está o relacionado com as condições do processo, como a velocidade e temperatura do ar de secagem e o teor de umidade inicial (CARLESSO et al., 2005). Maiores valores da constante n foram observados nas amostras submetidas a IV e IV seguida de pulso de vácuo com tempo de descida t_1 . Uma vez que as condições de processo foram iguais para ambos os tratamentos, esta diferença pode estar relacionada ao teor de umidade inicial das amostras ou mesmo à composição química (CARLESSO et al., 2005).

Na Figura 11 são apresentadas as cinéticas de secagem dos abacaxis *in natura*, submetidos a IV, IV seguido de pulso de vácuo com tempo de descida t_1 e t_2 e os ajustes pelos modelos empíricos de Lewis e Page.

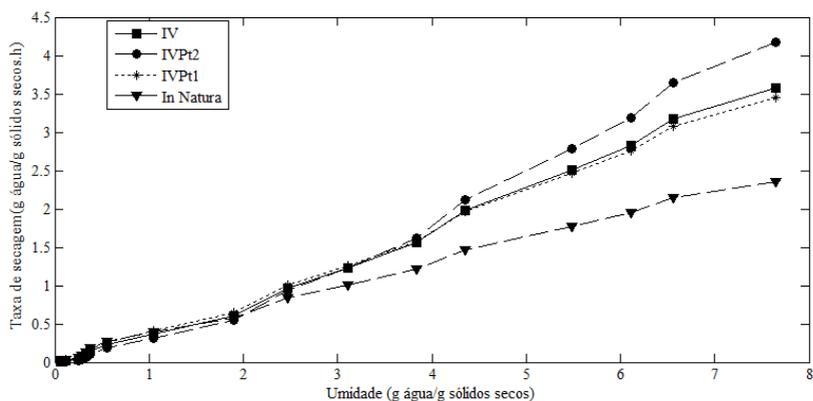
Figura 11. Dados de secagem do abacaxi em estufa com circulação de ar a 60 °C, umidade relativa de 25 % e velocidade do ar de 1 m s⁻¹ a partir de amostras *in natura* e submetidas a IV, IV seguido de pulso de vácuo com tempo de descida t1 e t2.





O modelo de Lewis foi utilizado para representar o comportamento da taxa de secagem através da derivada da função do modelo ajustando os dados experimentais dos abacaxis *in natura* e submetidos a IV, IV seguido de pulso de vácuo com tempo de descida t_1 e t_2 secas em estufa com circulação de ar a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de 25 % e velocidade do ar de 1 m s^{-1} (Figura 12).

Figura 12. Curva da taxa de secagem das amostras de abacaxi *in natura*, IV, IV seguida de pulso de vácuo com tempo de descida t1 e t2 submetidas à secagem em estufa com circulação e renovação de ar a 60 °C, umidade relativa de 25 % e velocidade do ar de 1 m s⁻¹ ajustadas ao modelo de Lewis.



A Figura 12, pode-se observar que as curvas das amostras submetidas a impregnação a vácuo seguidas ou não de pulso de vácuo, tiveram comportamentos similares. Já a curva das amostras *in natura* iniciou com uma taxa de secagem menor que as demais amostras. Essa diferença de comportamento das curvas é devido a aplicação do processo de impregnação a vácuo que pode alterar a estrutura e aumentar a umidade inicial das amostras.

A taxa de secagem no momento linear inicial foi determinada através da equação da reta. Tais valores são apresentados na Tabela 6.

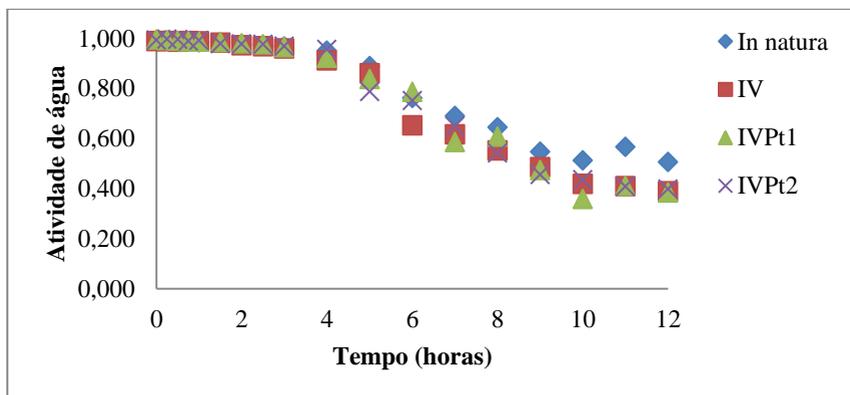
Tabela 4. Taxa de secagem das amostras de abacaxi *in natura*, IV, IV seguido de pulso de vácuo com tempo de descida t1 e t2 no período linear durante o processo de secagem.

Tratamentos	Taxa de secagem (g água/g sólidos secos.h)
<i>In natura</i>	0,2683
IV	0,5318
IVPt1	0,4784
IVPt2	0,5334

Quanto maior a quantidade de água livre maior é taxa de secagem. E este fato pode ser notado nos resultados apresentados pela Tabela 6, onde as amostras submetidas a impregnação a vácuo, que possuem a umidade inicial maior que a *in natura* (Tabela 2), apresentaram uma taxa de secagem mais elevada.

Na Figura 13 e no Anexo B apresentam-se as evoluções temporais das atividades de água das amostras *in natura*, IV e IV seguido de pulso de vácuo com tempo de descida t1 e t2 secas convectivamente.

Figura 13. Evolução da atividade de água das amostras *in natura* e tratadas pelo processo IV, IV seguido de pulso de vácuo com tempo de descida t1 e t2 ao longo da secagem convectiva.



Os valores de atividade de água das amostras *in natura* e tratadas, obtidos ao longo da secagem convectiva, apresentados na Figura 13, mostram que as amostras iniciaram a secagem com valores médios de atividade de água entre 0,988 e 0,994. Todas as amostras apresentaram um decréscimo acentuado após 5 horas, na faixa de $0,88 \pm 0,02$. Contudo, após 8 horas as amostras submetidas a impregnação a vácuo apresentaram um decréscimo maior em relação as amostras *in natura*. Ao final do processo de secagem essa diferença se manteve de forma que as amostras IV, IVPt1 e IVPt2 apresentaram valores próximos a 0,390 e as amostras *in natura* 0,506. O que mostra que a impregnação a vácuo de cálcio diminuiu a disponibilidade da água livre.

O aumento da resistência ao transporte de água pelas membranas celulares em função do aumento do teor de cálcio também é decorrente do

efeito do Ca^{2+} na regulação de um grupo de proteínas, as aquaporinas. Essas proteínas são responsáveis pelo transporte ativo de água que ocorre com consumo de energia (ATP), diminuindo, portanto, o fluxo de saída de água das células (MORANGA et al., 2009).

4.4 PROPRIEDADE TÉRMICA - CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)

As análises térmicas das amostras de abacaxis *in natura*, ISV, IV, IV com pulso de vácuo com tempo de descida t1 e t2 desidratadas por convecção, foram realizadas na faixa de temperatura de -60 a 100 °C, na taxa de 10 °C min⁻¹. Para as amostras *in natura* observou-se um pico endotérmico situado, aproximadamente, em -15 °C, enquanto as amostras que foram submetidas ao processo de impregnação sem aplicação de vácuo e impregnação a vácuo com ou sem pulso de vácuo apresentaram valores de Tg entre -0,17 e 7,00 °C (Tabela 7). A redução dessa temperatura está relacionada com a diminuição da mobilidade das moléculas de água ocasionada pela impregnação de cálcio nas amostras. As amostras *in natura* apresentavam a atividade de água de 0,50 e as amostras de ISV, IV, IVPt1 e IVPt2 apresentavam a atividade de água de 0,38; 0,40; 0,43 e 0,39, respectivamente.

As amostras submetidas a impregnação sem aplicação de vácuo ou aos diferentes processos de impregnação a vácuo tiveram variação nos valores encontrados de temperatura de transição vítrea (Tg). Isso pode ter ocorrido em função da quantidade de cálcio impregnada, que varia dependendo do processo.

A Tabela 7 e o Anexo D apresentam a faixa de temperatura vítrea encontrada nas amostras *in natura*, IV e IV seguido de pulso de vácuo com tempo de descida t1 e t2.

Tabela 5. Temperatura de transição vítrea para as amostras *in natura*, ISV, IV, IV seguido de pulso de vácuo com tempo de descida t1 e t2 secas convectivamente em estufa de circulação e renovação de ar com temperatura de 60 °C e umidade relativa de 25%.

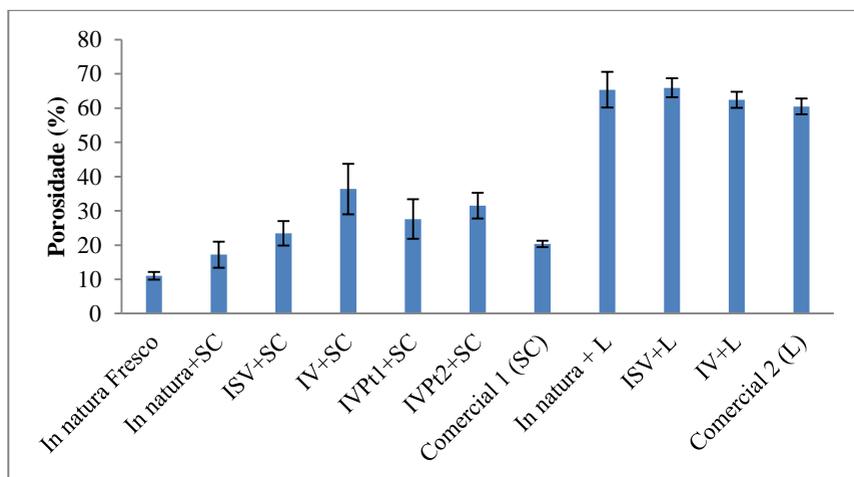
Tratamentos	Ti (°C)	Tf (°C)	Tg (°C)
<i>In natura</i> +SC	-37,41	1,13	-15,01
ISV+SC	-24,56	20,45	0,66
IV+SC	-25,31	19,08	1,68
IVPt1+SC	-27,23	15,47	-0,17
IVPt2+SC	-23,25	20,10	7,00

Resultados semelhantes foram encontrados por Telis e Sobral (1999), que ao estudarem a temperatura de transição vítrea em abacaxis liofilizados acondicionados em sistemas com diferentes atividades de água, observaram que quando a atividade de água do abacaxi era de 0,53 a temperatura de transição vítrea foi de aproximadamente -18,3 °C. Resultado este semelhante ao encontrado nesse trabalho para as amostras com a atividade de água de 0,50.

4.5 POROSIDADE

Na Figura 14 e no Anexo C são apresentados os resultados da porosidade dos abacaxis *in natura* fresco e *in natura* seco convectivamente; amostras submetidas ao tratamento de impregnação a vácuo, impregnação sem aplicação de vácuo (ISV), IV seguido de pulso de vácuo com tempo de descida t1 e t2 secas convectivamente; *in natura*, IV imerso desidratadas pelo processo de liofilização; e comercial 1 (seco convectivamente) e comercial 2 (liofilizado).

Figura 14. Porosidade dos abacaxis *in natura* fresco, *in natura* seco convectivamente ou liofilizado; amostras impregnadas sem aplicação de vácuo (ISV), impregnadas a vácuo desidratadas por convecção ou por liofilização; amostras IV seguido de pulso de vácuo com tempo de descida t1 e t2 secas convectivamente; e comercial 1 (seco convectivamente) e comercial 2 (liofilizado).



Na Figura 14 observa-se que as amostras submetidas a secagem convectiva sem pré-tratamento de impregnação a vácuo tiveram valores da porosidade na faixa de 17, 2 a 23,4 %, já as amostras *in natura* frescas apresentaram um valor de 11 %. A variação da porosidade com a perda de água ocorre devido a tensão celular durante a secagem tornando a célula “rasgada” e deixando a estrutura mais aberta (MAROUSIS et al., 1991; ZOGZAS et al., 1994).

Yan, Sousa-Gallagher e Oliveira (2007) e Pantastico *apud* Bengozi (2006), encontraram resultados similares aos obtidos neste estudo para porosidade do abacaxi *in natura* fresco, sendo os valores respectivamente de 11 e 10,5 %.

As amostras de IV+SC e IVPt2+SC apresentaram diferença significativa entre si, com valores da porosidade de 36,4 e 31,5 %, respectivamente, e ambas apresentaram diferença entre as demais amostras que passaram pelo processo de secagem convectiva e entre as amostras *in natura* frescas. Isso pode ser explicado pelo fato de que a aplicação de vácuo altera as estruturas dos poros causando a sua expansão.

As amostras liofilizadas se diferenciaram significativamente dos demais tratamentos, sendo cerca de 45 % mais porosa do que as amostras IV+SC, que apresentou maior porosidade dentre as amostras desidratadas por convecção, e cerca de 85 % mais porosa que as amostras *in natura* frescas. Os valores da porosidade das amostras liofilizadas variaram entre 60,5 a 65,9 %. Segundo Achanta e Okos (2000), a elevada porosidade nos produtos liofilizados também é explicada pela baixa temperatura utilizada na secagem, pois esta se encontra abaixo do T_g permanecendo o material em seu estado vítreo. Freire (2008) ao estudar a porosidade em diferentes

frutas liofilizadas, observou que a este parâmetro varia de acordo com a estrutura da fruta e com o teor de umidade em base seca, onde amostras que apresentaram valores baixos de umidade tiveram uma porosidade maior. Esta observação confirma os resultados obtidos neste trabalho, em que as amostra *in natura* com umidade de 8,1643 g água/g sólidos secos apresentou porosidade de 11 % e a amostra liofilizada que obteve o menor teor de umidade (0,1278 g água/g sólidos secos) apresentou porosidade de 60,5 %. Deng e Zhao (2008) ao estudarem diferentes processos de secagem em maçãs impregnadas a vácuo com cálcio, observaram que as amostras liofilizadas se mostraram mais porosas, com menor encolhimento e mais claras que as amostras secas por ar quente.

Fatores como a aplicação de vácuo e a adição de cálcio não proporcionaram alterações significativas na estrutura ao ponto de alterar a quantidade de espaços vazios das amostras liofilizadas.

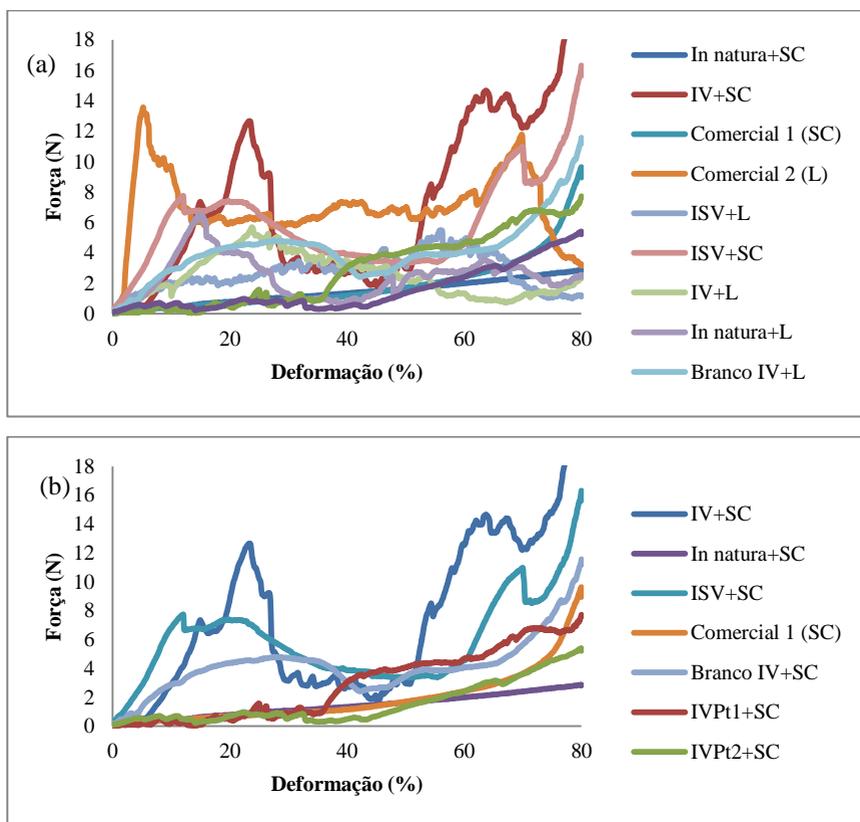
As amostras comerciais 1 não tiveram diferença significativa das amostras desidratadas por convecção e as amostras comerciais 2 não tiveram diferença significativa das amostras desidratadas por liofilização.

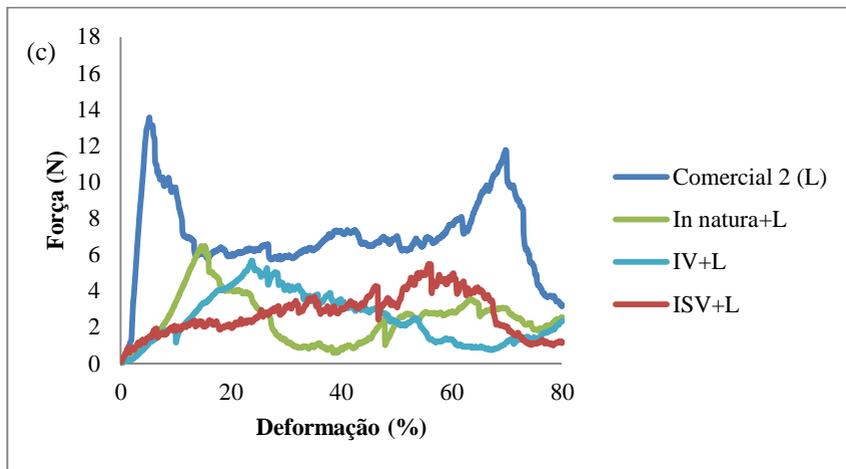
4.6 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Na Figura 15 estão apresentados os resultados dos testes de penetração nas amostras *in natura* desidratadas por convecção e por liofilização; impregnada sem aplicação de vácuo (ISV), IV, IV seguido de pulso de vácuo com tempo de descida T1 e T2 desidratadas por convecção; amostras IA e IV liofilizadas; amostras comerciais desidratadas por convecção e por liofilização. O teste também foi realizado em amostras

impregnadas a vácuo em água destilada na proporção de 1:20, para estudar a influência do vácuo nas propriedades mecânicas. Os testes de perfuração foram realizados em três pontos diferentes, até uma penetração de 80% da espessura inicial.

Figura 15. Testes mecânicos de penetração em (a) amostras *in natura*, tratadas e comerciais desidratadas convectivamente ou por liofilização; (b) amostras *in natura*, tratadas e comerciais desidratadas convectivamente; (c) amostras *in natura* e tratadas liofilizadas.





A Figura 15 (a) apresenta as curvas do teste de penetração. Para uma melhor visualização algumas curvas foram traçadas separadamente, Figura 15 (b) e (c), de acordo com o tratamento de secagem que as amostras foram submetidas.

Na Figura 15 (b) estão as curvas do teste de penetração para as amostras tratadas que passaram pelo processo de secagem convectiva. Observa-se que as amostras que foram submetidas a um pré-tratamento de impregnação a vácuo seguido ou não de pulso de vácuo tiveram um maior número de picos na curva. As amostras *in natura* e comercial 1 tiveram um comportamento semelhante. Contudo, ao observar as curvas das amostras *in natura*, impregnada sem aplicação de vácuo e a comercial 1, nota-se que a impregnada sem aplicação de vácuo teve uma leve diferença nos números de picos, causado pela influência da impregnação de cálcio na amostra, que segundo Gras et al. (2003) e Barrera et al. (2009), a interação dos íons cálcio com a pectina presente na parede celular das matrizes vegetais origina a formação de pontes de cálcio, o que por sua vez, resulta numa

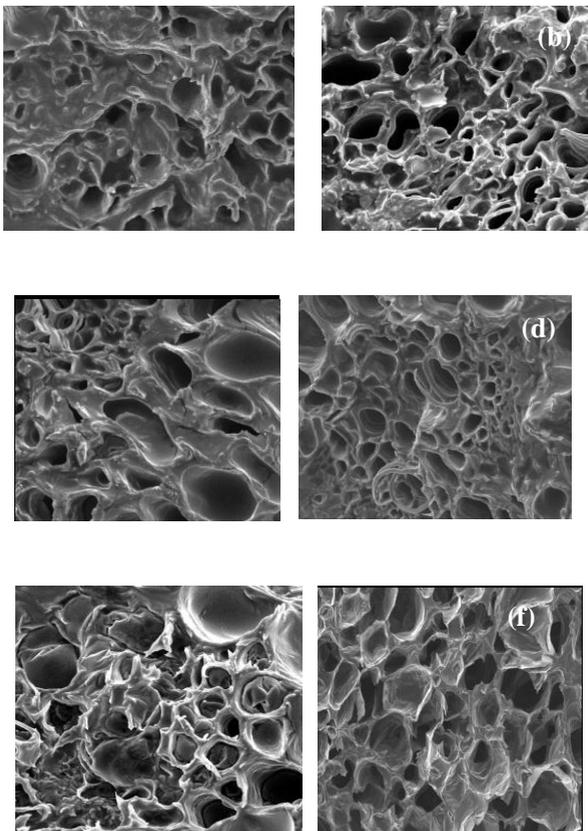
parede mais reforçada. Nesta figura pode-se observar, também, que a aplicação de vácuo teve um efeito na estrutura das amostras, aumentando os números de picos na curva, contudo, não houve diferença no comportamento das curvas de força-deformação das amostras submetidas ao processo de IV seguido de pulso de vácuo com diferentes tempos de descida. Anino et al. (2006) ao estudarem a IV de cálcio em maçãs, observaram que as amostras submetidas a IV apresentaram algumas diferenças no comportamento da curva de força-deformação em relação as frutas frescas.

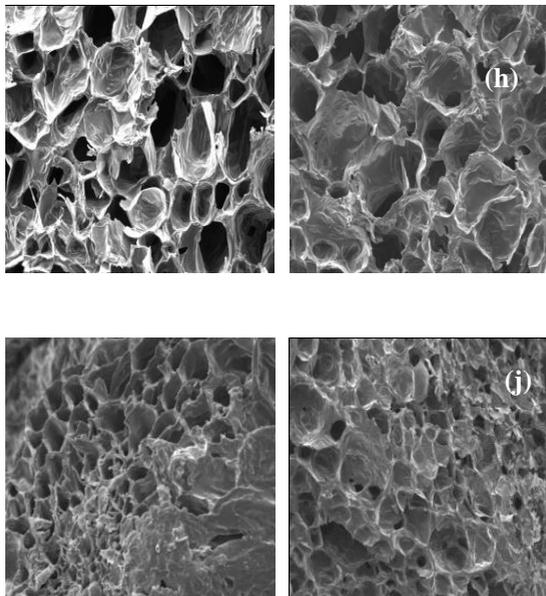
A Figura 15 (c) apresenta os resultados do teste de penetração para as amostras tratadas liofilizadas. Pode-se observar que não houve diferença no comportamento das curvas, sendo que para todos os tratamentos apresentaram variados picos, demonstrando que as amostras apresentavam características de um alimento crocante.

4.7 CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL (MEV)

Na Figura 16 são apresentadas as micrografias das amostras *in natura* desidrata por convecção e por liofilização; amostras impregnadas sem aplicação de vácuo (ISV), IV, IV seguido de pulso de vácuo com tempo de descida t1 e t2 desidratadas por convecção; amostras ISV e IV liofilizadas; amostras comerciais desidratadas por convecção e por liofilização.

Figura 16. MEV das amostras (a) *In natura*+SC, (b) IV+SC (c) IVPt1+SC, (d) IVPt2+SC, (e) ISV+SC, (f) *In natura*+L, (g) IV+L, (h) ISV+L, (i) Comercial 1 e (SC) (j) Comercial 2 (L).





Através da micrografia apresentada na Figura 16, observa-se o efeito da aplicação de vácuo, como pré-tratamento das amostras desidratadas por convecção, na estrutura porosa. As amostras *in natura*+SC, ISV+SC e comercial 1 apresentaram poucos e pequenos poros, já as amostras submetidas a vácuo, seguido ou não de pulso, apresentaram poros dilatados e mais numerosos.

As amostras submetidas a pulso de vácuo com rápido tempo de descida apresentou poros mais dilatados que as amostras IVPt2, confirmando que este último tratamento foi menos “agressivo” a estrutura das amostras.

As amostras com ou sem pré-tratamento desidratadas por liofilização apresentaram uma estrutura bastante porosa e com parede celular fina.

As observações feitas a partir das micrografias confirmam os resultados obtidos na análise de porosidade e textura, onde as amostras submetidas a liofilização se mostraram mais porosas e crocantes que as demais.

Segundo Yan, Sousa-Gallagher e Oliveira (2007), a imagem digital é aplicável para medir o diâmetro e perímetro dos poros e descrever as mudanças estruturais de frutas durante a secagem.

4.8 ESTUDO DE IMPREGNAÇÃO DE CÁLCIO NO ABACAXI

Foi estudado o aumento da concentração de cálcio no abacaxi a medida que este era imerso em soluções concentradas de cálcio e submetido a impregnação a vácuo. A Tabela 8 apresenta as concentrações encontradas nas amostras de abacaxi submetidas a impregnação a vácuo em solução impregnante com diferentes concentrações de cálcio.

Tabela 6. Concentração de cálcio no abacaxi submetido a impregnação a vácuo 100 mmHg com diferentes concentrações de cálcio.

Solução impregnante de Cálcio (%)	Concentração de Ca (mg Ca/kg sólidos secos)
-	2328,3 ± 401,9
0,54	19330,9 ± 3248,0
1,00	26815,6 ± 3220,4
2,70	60614,7 ± 456,9

Como esperado, quanto mais concentrada era a solução maior foi a quantidade de cálcio impregnada no abacaxi. Submetendo o abacaxi a impregnação a vácuo em solução com 5400 mg/L de cálcio (0,54 %), que corresponde a cerca de 2 vezes da sua concentração inicial, pode-se observar que houve um aumento de 8 vezes da concentração de cálcio nas amostras de abacaxi. As amostras submetidas a IV com 1 % de cálcio tiveram um aumento de 39 % quando comparadas as amostras submetidas a IV com 0,54 % de cálcio. Já em relação às amostras *in natura* tiveram um aumento de cerca de 10 vezes.

As amostras submetidas a IV com 27000 mg L⁻¹ de cálcio, que corresponde a cerca de dez vezes a concentração de cálcio das amostras *in natura*, tiveram um aumento de 26 vezes em relação à concentração inicial. Já comparado com as amostras submetidas a IV com 10000 mg L⁻¹ de cálcio (1 %) tiveram um aumento de cerca de 2 vezes.

Ao analisar os resultados apresentados na Tabela 8, observa-se que a concentração utilizada nesse trabalho na realização da impregnação a vácuo de cálcio no abacaxi (1 %), apresentou resultados satisfatórios, proporcionando uma concentração de cálcio no abacaxi consideravelmente maior do que a solução de 0,54 % e não tão inferior aos obtidos nas amostras submetidas a solução de 2,7 %. Silva et al. (2003) estudaram o efeito do cloreto de cálcio em diferentes concentrações no abacaxi ‘Pérola’ minimamente processado e refrigerado. Os resultados revelaram que, independente do tipo de corte, não houve diferença significativa entre os tratamentos com 1 % e 2,5 %, tendo ambos preservado as características de qualidade.

4.9 QUANTIFICAÇÃO DE CÁLCIO NA AMOSTRA

Na Tabela 9 são apresentados os resultados da quantificação de cálcio nas amostras submetidas aos diferentes métodos de impregnação.

Tabela 7. Efeito dos diferentes tratamentos de impregnação na concentração de cálcio do abacaxi.

Tratamentos	Concentração de Ca (mg Ca/100 g
	sólidos secos)
<i>In natura</i>	2328,3 ± 401,9 ^a
ISV	14030,2 ± 2289,5 ^b
IV	26815,6 ± 3220,4 ^c
IVPt1	21562,8 ± 3711,8 ^c
IVPt2	25439,5 ± 1916,7 ^c

As letras iguais em uma mesma coluna indicam que não há diferença significativa entre as amostras $p \leq 0,05$, pelo teste de Tukey.

As amostras *in natura* apresentaram 2328,3 mg Ca/kg de sólidos secos. Thé et al. (2010) e TACO (2011) apresentaram resultados semelhantes de 2404,76 e 2034,80 mg Ca/kg sólidos secos, respectivamente. O processo de impregnação a vácuo proporcionou um aumento de 11 vezes da concentração de cálcio no abacaxi quando comparado com as amostras *in natura*.

Através da Tabela 9 pode-se observar que a aplicação de vácuo no processo de impregnação de cálcio no abacaxi aumentou significativamente sua concentração (91 %) quando comparado a impregnação sem aplicação de vácuo. Esse aumento expressivo é devido à troca do líquido nativo presente no interior dos poros pela solução impregnante contendo 1 % de cálcio durante o processo da impregnação a vácuo. Anino et al. (2006), ao estudarem dois processos de impregnação de cálcio em maçã, IV e ISV, observaram que o processo de IV reduziu o tempo de impregnação em 50 %.

As amostras submetidas a IV, IV seguido de pulso de vácuo com tempo de descida t_1 e t_2 não apresentaram diferença significativa no aumento da concentração de cálcio, logo poderia ser realizado o pulso de vácuo de forma a auxiliar o processo de secagem posterior pela retirada da água sem interferir na concentração de cálcio.

A Legislação Brasileira exige que o produto para ser considerado enriquecido deva conter no mínimo 0,3 g de Ca a cada 100g do produto, sabendo a umidade do produto final deste trabalho é de 0,3 g água/g sólidos secos, para que ele seja considerado enriquecido deve conter pelo menos 3880,55 mg Ca/kg sólidos secos. Assim, os processos de ISV, IV, IVPt1 e IVPt2 se mostraram viáveis para o desenvolvimento de abacaxi enriquecido de cálcio, sendo que todos superaram a IDR, contudo, os tratamentos que apresentaram maiores incorporações de cálcio no abacaxi foram os de impregnação a vácuo seguido ou não de pulso.

Assis (2013) estudou o processo de impregnação a vácuo de 1 % de lactato de cálcio combinado com branqueamento, impregnação a vácuo combinado com branqueamento e pulso de vácuo com o intuito de estudar a influência desses diferentes processos na incorporação de cálcio em maçãs.

No final do estudo pode-se observar que as maçãs submetidas ao processo de impregnação a vácuo tiveram sua concentração de cálcio aumentada em 9 vezes, passando de 465,9 mg Ca/kg sólidos secos para 4847,7 mg Ca/kg sólidos secos. Observou, também, que aplicação de pulso de vácuo não proporcionou diferença significativa na incorporação do cálcio nas maçãs.

5. CONCLUSÃO

Os processos de impregnação proporcionaram a incorporação de sais de cálcio no abacaxi, contudo, os processos de impregnação que envolviam aplicação de vácuo apresentaram maiores concentrações de cálcio, sendo assim, esse processo se mostrou mais viável para o desenvolvimento de um produto enriquecido.

A impregnação a vácuo de cálcio como pré-tratamento da secagem convectiva proporcionou mudanças nas propriedades do produto final: aumento da crocância, da porosidade e da temperatura de transição vítrea. Gerando, assim, um produto com qualidade superior.

As amostras *in natura*, impregnadas sem aplicação de vácuo, impregnadas a vácuo desidratadas por liofilização e a comercial 2 não tiveram diferença significativa em nenhum dos testes realizados. E as amostras *in natura*, submetidas ao pré-tratamento de impregnação sem aplicação de vácuo (ISV) secas convectivamente e a comercial 1 não tiveram diferença significativa em nenhum dos tratamentos. Assim, os processos de liofilização e secagem convectiva estudados nesse trabalho se mostraram tão eficientes quanto aos utilizados na indústria de alimentos.

Os processos de impregnação a vácuo ocasionaram perda de massa nas amostras, enquanto as impregnadas sem aplicação de vácuo tiveram um discreto aumento em relação a sua massa inicial. As amostras impregnadas a vácuo submetidas ao pulso de vácuo com um rápido tempo de descida tiveram uma perda de massa maior que a dos demais tratamentos, proporcionando uma maior drenagem da solução, facilitando o processo de

secagem sem prejudicar significativamente a incorporação de sais de cálcio nas amostras.

As equações empíricas de Page e Lewis representaram satisfatoriamente o comportamento das curvas de cinética de secagem.

A aplicação do pulso de vácuo após a IV com tempo de descida t_2 se mostrou ser menos “agressiva” a estrutura do abacaxi, quando comparado ao processo com pulso de vácuo com tempo de descida t_1 , propiciando menor perda de massa e maior umidade inicial. Contudo, os demais testes não apresentaram diferença significativa entre os dois tratamentos.

Tanto o processo de desidratação por convecção quanto por liofilização produziram frutas secas com umidade e atividade de água reduzidas, contudo, a liofilização proporcionou amostras mais porosas e crocantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Análise sensorial de alimentos e bebidas – NBR 12806. Rio de Janeiro: ABNT, p. 8, 1993.

ACHANTA, S.; OKOS, M. R. “Quality changes during drying of food polymers”, In: Drying Technology in Agriculture and Food Sciences, ed. A S. Mujumdar, Enfield (NH), USA, Science Publishers, Inc., p. 133-147, 2000.

AKPINAR, E.K.; BICER, Y.; YILDIZ, C. Thin-layer drying of red pepper. Journal of Food Engineering, v. 59, p. 99-104, 2006.

ANINO, S. V.; SALVATORI, D. M.; ALZAMORA, S. M. changes in calcium level and mechanical properties of apple tissue due to impregnation with calcium salts. Food Research International. Meat Science, v. 69, p. 201-208, 2006.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução – CNNPA nº 12 de 1978. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/e57b7380474588a39266d63fb6735/RESOLUCAO_12_1978.pdf?MOD=AJPERES. Acessado em: 26/02/2014.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 31 de 13 de janeiro de 1998. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/41aa2e004aaa77199e71de460>

0696f00/Portaria_SVS_MS_31_de_13_de_janeiro_de_1998.pdf?MOD=AJ

PERES. Acessado em: 07/02/2014.

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

ASSIS, F. R. Desidratação e caracterização físico-química de maçãs impregnadas com lactato de cálcio. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)- Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

AZZOUZ, S., JOMAA, W., BELGHITH, A., Drying direct equation of simple layer of grapes. In: International Drying Symposium. Halkidiki. Greece. Proceeding Greece:A.S.Mujumdar.1998.

BARAT, J. M.; FITO, P.; CHIRALT, A. Modelling of simultaneous mass transfer and structural changes in fruit tissues. Journal of Food Engineering, v. 49, p. 77-85, 2001.

BARBOSA-CANOVAS, G. B.; VEGA-MERCADO, H. Deshidratación de Alimentos. 1ª ed. Zaragoza: Editorial ACRIBIA S. A. p. 297, 2000.

BARONI, A. F. Propriedades mecânicas, termodinâmicas e de estado de tomate submetido à desidratação osmótica e secagem. 2004. 226 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

BARRERA, C.; BETORET, N.; CORELL, P.; FITO, P. Effect of osmotic dehydration on the stabilization of calcium-fortified apple slices (var.

Granny Smith): Influence of operating variables on process kinetics and compositional changes. *Journal of Food Engineering*, v. 92, p.416–424, 2009.

BENGOZI, F. J. Procedência, sazonalidade e qualidade físico-química do abacaxi comercializado na CEAGESP – São Paulo. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Bocatatu, 2006.

BELITZ, H. D.; GROSCH, W. *Química de los alimentos*. P.451, editora Acriblia S. A. 2ª edição, Berlim, Alemanha, 1992.

BETORET, N. PUENTE, L.; DÍAZ, M. J.; PAGÁN, M. J.; GARCÍA, M. J.; GRAS, M. L.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; FITO, P. Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation. *Journal of Food Engineering*, v. 56, p. 273-277, 2003.

BOURNE, M. Relation Between Texture And Mastication, *Journal of Texture Studies*, v. 35, p. 125-143, 2004.

BRASIL. Agência Nacional da Vigilância Sanitária - ANVISA. Resolução RDC nº 272 de 22 de setembro de 2005. Regulamento Técnico para Produtos de Vegetais, Produtos de Frutas e Cogumelos Comestíveis, revogando a resolução - CNNPA nº 12, de 24 de julho de 1978. Diário Oficial da União, Brasília 23 de setembro de 2005.

CANO-CHAUCA, M. Análises físico-químico, sensorial y microbiológico de banana pasa. *Servicio de información y documentación alimentaria*. Alimentaria, Madrid, v. 329, p. 119-122, 2002.

CARLESSO, V. O.; BERBERT, P. A.; SILVA, R. F.; VIANNA, A. P.; DETMANN, E.; DIONELLO, R. G. Secagem de sementes de maracujá em camada delgada. Rev. Bras. Frutic. Jaboticabal - SP, v. 27, n. 3, p. 444-448, Dezembro 2005.

CARLESSO, V.; BERBERT, P., DA SILVA, R., DETMANN, E. Avaliação de modelos de secagem em camada fina de sementes de maracujá amarelo. Revista brasileira de sementes, vol 29, nº. 2, p 28-37, 2007.

CARVALHO, V. D.; BOTREL, N. Características da fruta para exportação. In: BRASIL. Ministério da Agricultura e Abastecimento. Abacaxi para exportação: procedimentos de colheita e pós- colheita. Brasília: EMBRAPA, p. 41, 1996.

CASÉ, F.; DELIZA, R.; ROSENTHAL, A.; MANTOVANI, D.; FELBERG, I. Produção de 'leite' de soja enriquecida com cálcio. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, p. 86-91, janeiro de 2005.

CHÁFER, M.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C.; ORTOLÁ, M. D.; CHIRALT, A. Long term osmotic dehydration of orange peel at atmospheric pressure and by applying a vacuum pulse. Food Science and Technology International, v. 7, p. 511-520, 2001.

CHÁFER, M.; GONZÁLEZ-MARTINÉZ, C; FERNANDÉZ, B.; PÉREZ, L.; CHIRALT, A.. Effect of blanching and vacuum pulse application on osmotic dehydration of pear. Food Science and Technology International, v. 9, n. 5. p. 321-328, 2002.

CHEN, F.; LIU, H.; YANG, H.; LAI, S.; CHENG, X.; XIN, Y.; YANG, B.; HOU, H.; ZANG, S.; BU, G.; DENG, Y. Quality attributes and cell wall properties of strawberries (*Fragaria annanassa* Duch.) under calcium chloride treatment. Food Chemistry, 2011.

CHIRALT, A.; FITO, P.; BARAT, J. M.; ANDRÉS, A.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C.; ESCRICHE, I.; CAMACHO, M. M.. Use of vacuum impregnation in food salting process. Journal of Food Engineering, v. 49, n. 2-3, p. 141-151, 2001b.

CHITARRA, A. B.; CHITARRA, M. I. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2. ed. Lavras: UFLA, p. 783, 2005.

COELHO, K. D.; PINTO, L. A. A. Caracterização da secagem convectiva de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) em camada delgada. Vetor, Rio Grande, v.21, n.2, p. 5-21, 2011.

CORTELLINO, G.; PANI, P.; TORREGGIANI, D. Crispy air-dried pineapple rings: optimization of processing parameters. Procedia Food Science, volume 1, páginas 1324–1330, 2011.

CUNHA, G.A.P.; MATOS, A.P.; CABRAL, J.R.S.; SOUZA, L.F. S. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária, Secretaria de Desenvolvimento Rural, Programa de Apoio a Produção e Exportação de Frutas, Hortaliças, Flores e Plantas Ornamentais. Abacaxi para exportação: aspectos técnicos da produção - Brasília: Embrapa-SPI. Série Publicações Técnicas, p. 35, 1994.

CUNHA, G. L.; O processamento mínimo do Abacaxi. Disponível em: <http://sbirt.ibict.br/upload/sbirt3175.pdf?PHPSESSID=7add59c0f85cc88ef81bc34d60a17169> Acesso em: 10 de novembro de 2013.

CYBULSKA, J.; ZDUNEK, A.; KONSTANKIEWICZ, K. calcium effect on mechanical properties of model cell walls and apple tissue.p. 1-2 Journal of food engineering, 2011.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. Química de alimentos de fennema. Editora Artmed 4ª edição, Porto Alegre – RS, 2010.

DENG, Y.; ZHAO, Y. Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmopretreatments on transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apples (Fuji). Food Science and Technology 41 1575-1585, 2008.

DOYMAZ, I. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. Journal of Food Engineering, v. 61, p. 359-364, 2004.

FAOSTAT - Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Database. Crops database. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Acesso em: 06 de fevereiro de 2014.

FELLOWS, P., Food Processing Technology. Principles and Practice. Ed. Boca Raton: CRC Press, 2000.

FELLOWS, P.J. Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e práticas. p. 323, Editora Artmed, Porto Alegre – RS, 2006.

FITO, P. Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. *Journal of Food Engineering*, v. 22, n. 1-4, p. 313-328, 1994.

FITO, P.; PASTOR, R. Non-diffusional mechanisms occurring during vacuum osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, v. 21, n. 4, p. 513-519, 1994.

FITO, P. et al. Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation-relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food-liquid systems. *Journal of Food Engineering*, v. 27, n.3, p.229-240,1996.

FITO, P; CHIRALT, A. Vacuum impregnation of plant tissues. In: *Minimally processed fruits and vegetables*. Maryland: Aspen publication, Cap. 11, p. 189-204, 2000.

FITO, P. et al. Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, v. 49, p. 297–302, 2001.

GONÇALVES, S. S.; ANDRADE, J. S.; SOUZA, R. S. Influência do branqueamento nas características físico-químicas e sensoriais do abacaxi desidratado. *Alim. Nutr., Araraquara*, v. 21, n. 4, p. 651-657, 2010.

GERSTNER, G. Dairy products: The calcium challenge. *International Food Ingredients*, v. 3, p. 45-48, 2002.

GRAS, M. L.; VIDAL, D.; BETORET, N.; CHIRALT, A.; FITO, P. Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation interactions with cellular matrix. *Journal of Food Engineering*, v.56, p. 279 - 284, 2003.

GRUDTNER, V. S.; WEINGRILL, P.; FERNANDES, A. L. Aspectos da absorção no metabolismo do cálcio e vitamina D. Revista Brasileira Reumatol, volume 37, junho de 1997.

HOFISKY V. A.; GOMES, J. P.; NETO, A. L. B.; SILVA, F. L. H.; ALMEIDA, F. A. C. Cinética de secagem de abacaxi cv pérola em fatias. P. 124 Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.11, n.2, p.123-128, 2009.

IAL – INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. Instituto Adolfo Lutz, 4ª edição, São Paulo – SP, 2008.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento sistemático da produção agrícola. IBGE, 2012. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201202.pdf. Acesso em: 05 de fevereiro de 2014.

KLUGE, R. A. et al. Fisiologia e manejo pós-colheita de frutas de clima temperado. Campinas: Livraria e Editora Rural, 214 p, 2002.

KOWASLKI, M. B.; CARR, L. G.; TADINI, C. C. Parâmetros físicos e de textura de pão francês produzido na cidade de São Paulo. In: Congresso Brasileiro De Ciência e Tecnologia De Alimentos, p. 18, Porto Alegre, 2002.

KROKIDA, M.K.; MAROULIS, Z. B., Structural Properties of Dehydrated Products During Rehydration, International Journal of Food Science and Technology, v. 36, p. 529-538,2001.

LABUZA, T. et al. Storage stability of dry food systems: influence of state changes during and storage. In: International Drying Symposium, 14., IDS'2004, p. 48-68, 2004.

LAMIKANRA, O.; WATSON, M. A. Effect of calcium treatment temperature on freshcut cantaloupe melon during storage. Journal of Food Science, v. 69, p. 468-472, 2004.

LIMA, U.A. Matérias-primas dos alimentos. P. 398-400, Editora Blucher, São Paulo – SP, 2010.

LOPES, R. P.; SILVA, J. S.; REZENDE, R. C. Princípios básicos da psicometria. In: SILVA, J. S. Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas. 1ª ed. Viçosa: Aprenda Fácil. p. 39-62, 2000.

LUCCAS, P. Influência do congelamento no processo de liofilização do sangue bovino. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, São Carlos – SP, p. 114, 1998.

LUNA-GUZMÁN, I.; BARRETT, D. M. Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. Postharvest Viology and Technology, p. 61-72, 2000.

MANGANARIS, G.A.; VASILAKAKIS, M.; DIAMANTIDIS, G.; MIGNANI, I. The effect of postharvest calcium application on tissue calcium concentration, quality attributes, incidence of flesh browning and

cell wall physicochemical aspects of peach fruits. *Food Chemistry*, v. 100, p. 1385–1392, 2007.

MAROUSIS, S. N.; KARATHANOS, V. T.; SARAVACOS, G. D. Effect of physical structure of starch materials on water diffusivity, *Journal of Food Processing and Preservation* 15, p.183-195, 1991.

MARQUES, L. G. Liofilização de frutas tropicais. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 2008.

MARTIN, A. B.; RICO, D. BARRY, R. C.; FRIAS, J. M.; MULCHY, J.; HENEHAN, T. G. Comparison of calcium lactate with chlorine as a washing treatment for fresh-cut lettuce and carrots: quality and nutritional parameters. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, p. 2260–2268, 2005.

MARTÍNEZ-MONZÓ, J. MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; CHIRALT, A.; FITO, P. Mechanical properties and structural changes in apple (Var. GrannySmith) due to vacuum impregnation with cryoprotectants. *Journal of Food Science*, v. 63, n. 3, 1998.

MAYOR, L.; MOREIRA, R.; SERENO, A. M. Shrinkage, density, porosity and shape changes during dehydration of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) fruits. *Journal of Food Engineering*, p. 29-17, 2011.

MEDINA, J. C.; BLEINROTH, E. W.; DE MARTIN, Z. J.; SOUZA JUNIOR, A. J.; LARA, J. C. C.; HASHIZUME, T.; MORETTI, V. A.; MARQUES, J. F. Frutas Tropicais 2 - Abacaxi. Instituto de Tecnologia de Alimentos - ITAL, 1978.

MENEZES, L.; M. STROHER, A. P.; PREIRA, N. C.; BARROS S. T.D. Análise da cinética e ajustes de modelos matemáticos aos dados de secagem do bagaço do maracujá-amarelo. ENGEVISTA, V. 15, n. 2 p. 176-186, agosto 2013.

MORAGA, M. J.; MORAGA, G.; FITO, P. J.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Effect of vacuum impregnation with calcium lactate on the osmotic dehydration kinetics and quality of osmodehydrated grapefruit. Journal of Food Engineering, v. 90, p. 372 – 379, 2009.

MÚJICA-PAZ, H.; VALDEZ-FRAGOSO, A.; LÓPEZ-MALO, A.; PALOU, E.; WELTI-CHANES, J. Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect of the vacuum pressure and syrup concentration. Journal of Food Engineering, v. 57, n. 4, p. 305-314, 2003a.

MÚJICA-PAZ, H.; VALDEZ-FRAGOSO, A.; LÓPEZ-MALO, A.; PALOU, E.; WELTI-CHANES, J. Impregnation properties of some fruits at vacuum pressure. Journal of Food Engineering, v. 56, n. 4, p. 307-314, 2003b.

NAYAK, J. K. et al. Performance studies on solar concrete collectors. Solar Energy, v. 72, n. 1, p. 45-56, 2007.

NOGUEIRA, C. M. C. da C. D. Estudo químico e tecnológico da acerola (*Malpighia glabra* L.). 1991. 117 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará - UFC, Fortaleza, 1991.

PAES, S. S. Estudo da Impregnação a Vácuo de Maçãs (Var. Gala). 2005. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Departamento

de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

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

PIRKUL, T.; TEMIA, A.; ERDEM, Y. K. Fortification of yoghurt with calcium salts and its effect on starter microorganisms and yoghurt quality. *International Dairy Journal*, v. 7, p. 547–552, 1997.

QUINTERO, A. C. F. Desidratação de abacaxi: Modelos de secagem, avaliação de qualidade e efeito de embalagem. Dissertação (Mestrado), Departamento de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, 2007.

RAMOS A. M.; QUINTERO, A. C. F., FARAONI, A. S.; SOARES, N. F. F.; PEREIRA, J. A. M. Efeito do tipo de embalagem e tempo de armazenamento nas qualidades físico-químicas e microbiológica de abacaxi desidratado. *Alim. Nutr.*, Araraquara v.19, n.3, p. 259-269, jul./set. 2008.

REINHARDT, D. H. R; MEDINA, V. M. Crescimento e qualidade do fruto do abacaxi cvs. Pérola e Smooth Cayenne. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.27, n.3, p.435-447, 1992.

RICO, D.; MARTÍN-DIANA, A. B.; FRÍAS, J. M.; HENEHAN, G. T. M.; BARRY-RYAN, C. Effect of ozone and calcium lactate treatments on browning and texture properties of fresh-cut lettuce. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 86, p. 2179–2188, 2006.

RATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of Food Engineering*, v. 49, p. 311-319, 2001.

RODRIGUES, E. Secagem de abacaxi em secador de leito fixo. Tese (Doutorado) - Programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 2006.

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

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

SANDRI, D. O.; PORTO, A. G.; SILVA, F. S.; PASTRO, D. C.; PAGLARINI, C. S. Análise físico-química do abacaxi cultivar pérola na forma *in natura* em diferentes posições do fruto: cilindro central e polpa. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.13; p. 1378, 2011.

SANTOS, J.C.B. Influencia da atmosfera modificada ativa sobre a qualidade do abacaxi “Perola” minimamente processado. Lavras, MG: UFL, 2002. 73p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) Universidade Federal de Lavras, 2002.

SANTOS, I. P. Parâmetros de qualidade na produção de abacaxi desidratado. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Montes Carlos, Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Janáuba-MG, 2011.

SAURE, M. C. Calcium translocation to fleshy fruit: its mechanism and endogenous control. *Scientia Horticulturae*, v. 105, p. 65-89, 2005.

SEBRAE - SERVIÇO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. Estatísticas de exportações e importações de frutas frescas. SEBRAE, 2013. Disponível em:<http://www.sebrae.com.br/setor/fruticultura/exportacoes-de-frutas-fevereiro-2013>. Acesso em: 06/02/2014.

SERENO, A. M.; SILVA, M. A.; MAYOR, L. Determination of particle density and porosity foods and porous materials with high moisture. *International Journal of Food Properties*, 10:3, 455-469, 2012.

SILVA, G. C.; MAIA, G. A.; FILHO, M. S. M. S.; RAIMUNDO, W. F.; FILGUEIRAS, H. A. C.; SOUZA, A. C. R. Efeito de diferentes concentrações de cloreto de cálcio na qualidade do abacaxi 'Pérola' minimamente processado. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 2003.

SIMAL, S.; FEMENIA, A.; GARAU, M. C.; ROSSEKLÓ, C. Use of exponential, Page's and Diffusional Models to Simulate the Drying Kinetics of Kiwi Fruit. *Journal of Food Engineering*, v. 66 (3), p.323-328, 2005.

SINGH, G.; ARORA, S.; SHARMA, G. S.; SINDHU, J. S.; KANSAL, V. K.; SANGWAN, R. B. Heat stability and calcium bioavailability of calcium-fortified milk. *LWT-Food Science and Technology*, v. 40, p. 625-631, 2006.

SINGH, G.; ARORA, S.; SHARMA, G.S.; SINDHU, J. S.; KANSAL, V. K.; SANGWAN, R. B. Heat stability and calcium bioavailability of calcium-fortified milk. Food Science and Technology, may 2007.

SOUSA, M. de B.; PEDROZA, J. P.; BELTRÃO, N. E. M.; SEVERINO, L. S.; DANTAS, F. P. Cinética de secagem do farelo de mamona. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, v.8, n.2, p.139-146, 2006.

SOUZA FILHO, M. S. M., LIMA, J. R., SOUZA, A. C. R. SOUZA NETO, M. A., COSTA, M. C. Efeito do branqueamento, processo osmótico, tratamento térmico e armazenamento na estabilidade da vitamina C de pedúnculos de caju processados por métodos combinados. Ciência e Tecnologia de Alimentos. v. 19, n. 2, 1999.

STRINGARI, G. B.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. An experimental device to determine the kinetics of vacuum impregnation of foods, artigo submetido para publicação no periódico Journal of Food Engineering, abril de 2006.

TACO - TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS – TACO/NEPA-UNICAMP. 4ª Edição - Campinas, SP: NEPA-UNICAMP, p.161, 2011.

TELIS, V. R. N.; SOBRAL, P. J. A. Previous note: glass transition of freeze dried pineapple. Braz. J. Food Technol., 2(1,2):181-184, 1999.

THÉ, P. M. P. Efeitos da associação de tratamento hidrotérmico, cloreto de cálcio e atmosfera modificada sobre o escurecimento interno e qualidade do

abacaxi cv. Smooth cayenne. 2001. 128 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

THÉ, P. M. P.; NUNES, R. P.; SILVA, M. M.; ARAÚJO, B. M. Características físicas, físico-químicas, químicas e atividade enzimático de abacaxi cv. *Smooth cayenne* recém colhido. Alim. Nutr., Araraquara, v. 21, n. 2, p. 273-281, abr./jun. 2010.

TORREGGIANI, D.; BERTOLO, G. Osmotic treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. Journal of Food Engineering, Oxford, v. 49, n. 2, p. 247- 256, 2001.

VIEIRA, A. P.; NICOLETI, J. F.; TELIS, V. R. N. Liofilização de fatias de abacaxi: avaliação da cinética de secagem e da qualidade do produto. Brazilian Journal of Food Technology, Campinas, v. 15, n. 1, p. 50-58, jan./mar. 2012.

YAN, Z.; SOUZA-GALLAGHER, M.; OLIVEIRA, F. A. R. Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying. Journal of Food Engineering 84, p.430–440, 2007.

ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Densities, shrinkage and porosity of some vegetables during air drying. Drying Technology 12(3), p. 1653-1666, 1994.

ZOZULEVICH, B. V.; D'YACHENKO, E. N. Osmotic dehydration of fruit. Konservn. Ovoshchesush. Prom., v. 7, p. 32-42, 1969.

WALDRON, K. W.; SMITH, A. C.; PARR, A. J.; Ng, A.; PARKER, M.,
New approaches to understanding and controlling cell separation in relation
to fruit and vegetable texture, *Trends in Food Science & Technology*, v.
81, 1997.

ANEXO A. Tabela das cinéticas de secagem e atividade de água durante a secagem convectiva em estufa de circulação de ar a temperatura de 60 °C, umidade relativa de 25 % e velocidade de 1 m/s.

Tempo (horas)	Tratamentos			
	<i>In natura</i>	IV	IVPt1	IVPt2
	Umidade (g água/g sólidos secos)			
0	8,1643	9,0833	8,5982	9,6227
0,25	7,9673	8,1181	8,3435	7,7440
0,5	7,0595	7,0290	7,4162	6,8969
0,75	5,9096	6,6438	7,4316	6,6493
1	4,5294	5,8766	6,3343	5,7768
1,5	4,0100	4,7298	5,3390	4,6756
2	3,8184	4,0921	4,4358	4,0842
2,5	3,2385	3,2783	3,8262	3,4849
3	2,0248	3,2557	3,0652	2,8252
4	1,7889	1,9885	1,8308	1,7934
5	1,3689	1,1502	1,1127	1,2968
6	0,8999	0,5988	0,9332	0,5122
7	0,5825	0,4122	0,5312	0,5939
8	0,4327	0,3708	0,4284	0,4698
9	0,2929	0,3621	0,3889	0,3281
10	0,3276	0,3015	0,3010	0,2917
11	0,2933	0,2883	0,2982	0,2964
12	0,2368	0,2789	0,2838	0,2798

ANEXO B. Atividade de água das amostras *in natura* e tratadas durante a secagem convectiva em estufa de circulação de ar a temperatura de 60 °C, umidade relativa de 25 % e velocidade de 1 m/s.

Tempo (horas)	Tratamentos			
	<i>In natura</i>	IV	IVPt1	IVPt2
	aw			
0	0,988	0,988	0,994	0,993
0,25	0,990	0,988	0,992	0,996
0,5	0,987	0,987	0,990	0,994
0,75	0,987	0,988	0,988	0,988
1	0,984	0,987	0,986	0,991
1,5	0,983	0,982	0,985	0,979
2	0,976	0,972	0,979	0,977
2,5	0,972	0,968	0,975	0,975
3	0,967	0,959	0,964	0,968
4	0,951	0,912	0,922	0,956
5	0,888	0,860	0,837	0,787
6	0,761	0,652	0,786	0,751
7	0,689	0,616	0,585	0,649
8	0,644	0,552	0,607	0,542
9	0,546	0,485	0,473	0,455
10	0,513	0,419	0,358	0,435
11	0,567	0,410	0,411	0,408
12	0,506	0,389	0,383	0,397

ANEXO C. Porosidade das amostras *in natura*, tratadas e comerciais desidratadas por convecção ou por liofilização.

Tabela 8. Porosidade das amostras *in natura*, tratadas e comerciais desidratadas por convecção ou por liofilização.

Tratamento	Porosidade (%)
<i>In natura</i> Fresco	11,04 ± 1,1 ^d
<i>In natura</i> +SC	17,19 ± 3,8 ^{b,d}
ISV+SC	23,41 ± 3,6 ^{b,c}
IV+SC	36,36 ± 6,4 ^f
IVPt1+SC	27,56 ± 5,8 ^{c,e}
IVPt2+SC	31,48 ± 3,8 ^{e,f}
Comercial 1 (SC)	20,37 ± 0,9 ^{b,c}
<i>In natura</i> + L	65,33 ± 5,2 ^a
ISV+L	65,91 ± 2,8 ^a
IV+L	62,43 ± 2,3 ^a
Comercial 2 (L)	60,48 ± 2,3 ^a

As letras iguais em uma mesma coluna indicam que não há diferença significativa entre as amostras $p \leq 0,05$, pelo teste de Tukey.

ANEXO D. Gráfico de DSC das amostras *in natura*, impregnadas sem aplicação de vácuo, impregnadas a vácuo, impregnadas a vácuo seguido de pulso de vácuo com tempo de descida t1 e t2.

Figura 17. DSC das amostras *in natura* e tratadas secas convectivamente.

