



**Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia de Alimentos
Departamento de Engenharia de Alimentos**



Otimização do Processo de Desidratação Osmótica de Goiaba e Avaliação do Uso de Pulso de Vácuo e Sais de Cálcio

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

Gláucia Santos Vieira

Engenheira de Alimentos

Profa. Dra. Miriam Dupas Hubinger

Orientadora

Profa. Dra. Leila Mendes Pereira

Co-Orientadora

Campinas - SP

Abril de 2010.

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA FEA – UNICAMP

V673o Vieira, Gláucia Santos
Otimização do processo de desidratação osmótica de goiaba e
avaliação do uso de pulso de vácuo e sais de cálcio / Gláucia Santos
Vieira. -- Campinas, SP: [s.n.], 2010.

Orientador: Miriam Dupas Hubinger
Co-orientador: Leila Mendes Pereira
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia de Alimentos

1. Goiaba. 2. Desidratação osmótica. 3. Lactato de cálcio. 4.
Microestrutura. I. Hubinger, Miriam Dupas. II. Pereira, Leila
Mendes. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia de Alimentos. IV. Título.

Título em inglês: Optimization of osmotic dehydration process of guava and evaluation of use
vaccum pulse and calcium salts

Palavras-chave em inglês (Keywords): Guava, Osmotic dehydration, Calcium lactate,
Microstructure

Titulação: Mestre em Engenharia de Alimentos

Banca examinadora: Miriam Dupas Hubinger

Louise Emy Kurozawa

Kil Jin Park

Data de defesa: 07/04/2010

Programa de Pós Graduação: Programa em Engenharia de Alimentos

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Miriam Dupas Hubinger

Orientadora - DEA/FEA/UNICAMP

Dra. Louise Emy Kurozawa

Membro – FEAGRI/UNICAMP

Prof. Dr. Flávio Luís Schmidt

Membro – DTA/FEA/UNICAMP

Dra. Gisele Anne Camargo

Membro – ITAL

Prof. Dr. Kil Jin Park

Membro – FEAGRI/UNICAMP

*Persigo um pássaro
e alcanço, apenas,
no muro,
a sombra de um vôo.*

Helena Kolody.

*Dedico este trabalho aos meus
pais Jorge e Gisélia, a minha irmã
Geise e ao meu Jonas, pelo
presente e constante amor em
cada momento desta etapa ♥*

AGRADECIMENTOS

Aos meus maravilhosos pais, o meu mais profundo agradecimento, por todo o amor e dedicação, e por sempre acreditarem nos meus sonhos, fazendo até mesmo o impossível para que eu pudesse atingi-los ♥.

À Profa Dra. Miriam Dupas Hubinger por sua orientação ao longo desse trabalho, por compartilhar o seu conhecimento e experiências, com paciência, carinho e amizade.

À Profa. Dra. Leila, pela co-orientação, atenção e respeito em transmitir seus conhecimentos com carinho, amizade e muito café!

Aos membros da banca, composta pelos professores Dr. Kil Jin Park, Dra. Louise Emy Kurozawa, Dr. Flávio Luís Schmidt e Dra. Gisele Anne Camargo, por enriquecer este trabalho com suas sugestões.

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

Ao Departamento de Engenharia de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos, pela grata oportunidade de realizar o curso de Mestrado.

À Profa. Sandra Maria Carmello-Guerreiro pela colaboração na realização da análise de microscopia ótica.

Ao Jorge Torrezin, por fornecer as goiabas utilizadas ao longo do trabalho. Obrigada por sua paciência e enorme boa vontade em ajudar sempre.

Ao Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA), pela utilização do laboratório de Análise Sensorial.

Aos funcionários da FEA, sempre atenciosos e solícitos.

Ao meu amor Jonas, por ser muito mais que um namorado, por ser meu amigo e um incrível companheiro. Obrigada por sua enorme paciência e carinho, mas sem dúvida nenhuma, obrigada por tornar os meus dias em Campinas mais felizes.

Ao Franzinho, meu manuxo querido por sempre estar perto mesmo quando está longe.

Ao Jeffinho, por todo o apoio que me deu do começo ao fim!

Ao Drigo, pela maravilhosa amizade construída ao longo desse tempo.

À Maitesinha, minha amiga querida, pelos belos momentos compartilhados e também por ser uma ombro amigo para os dias de crise.

Ao Gui, Andréa e Julio pela amizade e companheirismo ao longo dessa etapa.

À Vânia pela companhia no laboratório de frutas e pela ajuda em momentos críticos!

À Marcela, por ser uma pessoa muito fofa, sempre muito solícita e dedicada. Também pelos lanchinhos, idas à ginástica, dietas, e pelos vários momentos alegres passados juntas.

Aos amigos do LEP pela convivência, amizade, cafés e risadas ☺.

À querida Rê, por ser sempre tão atenciosa e carinhosa. Obrigada pelas dicas, principalmente na análise dos carotenóides.

À querida Lou, pela doce amizade, conversas, cafés, e por sempre contribuir com alguma idéia para melhorar o meu trabalho.

À Margarita, por ser uma pessoa incrivelmente agradável e por suas dicas estatísticas, muito importantes para este estudo.

À minha irmã Geise, à vovó, tias Jeane, Jô e Gizelma, tio Tinho, priminhos Jéssica, Lucas, Andrena e Pedro, por serem uma família maravilhosa sempre.

Aos amigos da moradia especialmente aos atuais e ex-moradores da H4A, Angélica, João, Gisele, Márcio e Laís, pela enriquecedora experiência da vida em coletividade e por tornar os meus dias mais divertidos ☺.

Aos meus amigos Aline Alves, Amanda, Ana Karla, Germana, Rafaela, Poliane, Thaisla, Geanderson, Elisandro, Tamires, Lívia, Daniella Guimarães e Fabrício, por todo o incentivo para que essa etapa ocorresse e principalmente por poder contar com cada um sempre.

À todas as pessoas que de alguma forma colaboraram para a construção deste trabalho,
MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xii
NOMENCLATURA.....	xiv
RESUMO.....	xvii
ABSTRACT.....	xix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2.1 Goiaba.....	5
2.2 Desidratação osmótica.....	8
2.2.1 Desidratação osmótica a pulso de vácuo.....	10
2.2.2 Composição e concentração da solução osmótica.....	13
2.2.3 Temperatura de processo.....	14
2.3 Preservação estrutural pelo emprego de íons Ca²⁺.....	16
2.4 Avaliação dos produtos processados.....	18
2.4.1 Propriedades de textura e avaliação microestrutural.....	18
2.4.2 Cor.....	20
2.4.3 Teor de carotenóides.....	21
2.4.4 Análise sensorial.....	23
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 Material.....	25
3.2 Equipamento - Desidratador osmótico.....	26
3.3 Métodos.....	27
3.3.1 Caracterização da matéria-prima.....	27
3.3.2 Preparo da matéria-prima.....	27
3.3.3 Desidratação osmótica.....	28

3.3.4 Planejamento experimental.....	29
3.3.5 Estudo do efeito do pulso de vácuo e do uso de sais de cálcio na desidratação osmótica de goiabas.....	34
3.3.6 Métodos analíticos.....	41
3.4 Análise Estatística.....	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1 Caracterização da matéria-prima.....	43
4.2. Otimização do processo de desidratação osmótica de fatias de goiabas.....	44
4.2.1 Resultados do planejamento experimental 2 ³ (DCCR).....	45
4.2.2 Considerações finais e otimização do processo de desidratação osmótica de fatias de goiaba.....	73
4.2.3 Validação das condições ótimas.....	76
4.3 Estudo do efeito do pulso de vácuo e do uso de sais de cálcio na desidratação osmótica de goiabas.....	77
4.3.1 Teor de cálcio.....	77
4.3.2 Perda de peso, perda de água e ganho de sólidos.....	79
4.3.3 Atividade de água e Umidade.....	83
4.3.4 Cor.....	86
4.3.5 Retenção de carotenóides.....	88
4.3.6 Propriedades de textura – Tensão e Deformação na ruptura.....	90
4.3.7 Análise microestrutural.....	95
4.3.8 Avaliação sensorial.....	102
5. CONCLUSÕES.....	105
6.SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	107
7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
8. APÊNDICE A.....	110
9. APÊNDICE B.....	121
10. ANEXO A.....	125

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Transferência de massa entre o tecido vegetal e a solução osmótica durante o processo de desidratação.	9
Figura 3.1: Goiaba vermelha da variedade Chinesa.....	25
Figura 3.2: Esquema do desidratador osmótico.	26
Figura 3.3: Fatias de goiaba in natura utilizadas na desidratação osmótica.....	28
Figura 3.4: Fatias de goiaba contidas numa caixa telada e amostras organizadas no interior do desidratador osmótico.	29
Figura 3.5: Esquema de retirada da amostra para análise de microscopia ótica.	39
Figura 3.6: Microfotografias do tecido celular mostrando as áreas consideradas para determinar o grau de plasmólise das células.	40
Figura 4.1: Superfícies de contorno e curvas de contorno para a perda de água (%).	51
Figura 4.2: Superfícies de contorno e curvas para a perda de peso (%).	53
Figura 4.3: Superfícies de contorno e curvas para a atividade de água.....	61
Figura 4.4: Otimização simultânea das variáveis do processo de desidratação osmótica de fatias de goiabas e perfil de desejabilidade global.....	74
Figura 4.5: Superfícies da função desejabilidade obtidas para o processo de desidratação osmótica de fatias de goiaba.	75
Figura 4.6: Perda de água das goiabas desidratadas osmoticamente sob diferentes condições de processo.....	80
Figura 4.7: Perda de peso das goiabas desidratadas osmoticamente sob diferentes condições de processo.....	80
Figura 4.8: Ganho de sólidos das goiabas desidratadas osmoticamente sob diferentes condições de processo.....	81
Figura 4.9: Médias da atividade de água da goiaba fresca e das goiabas processadas submetidas aos diferentes tratamentos osmóticos.	84
Figura 4. 10: Conteúdo de umidade da goiaba fresca e das goiabas processadas submetidas aos diferentes tratamentos osmóticos..	85
Figura 4. 11: Valores de tensão na ruptura da amostra de goiaba fresca e das submetidas aos diferentes tratamentos osmóticos.	90
Figura 4.12: Valores de deformação na ruptura da amostra de goiaba fresca e das submetidas aos diferentes tratamentos osmóticos.	93
Figura 4.13: Microfotografia do tecido parênquimático da goiaba fresca. Escala 70 μm	95
Figura 4. 14: Microfotografia do tecido das goiabas submetidas aos diferentes tratamentos.....	97
Figura 4.15: Intenção de compra das fatias de goiaba avaliadas sensorialmente.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Composição química de goiabas vermelhas.	7
Tabela 3.1: Valores utilizados para as variáveis independentes da desidratação osmótica. 30	
Tabela 3.2: Matriz do planejamento experimental elaborado para a desidratação osmótica de goiabas.	31
Tabela 4.1: Composição química centesimal da goiaba <i>in natura</i> variedade Chinesa.....	43
Tabela 4.2: Caracterização física da goiaba <i>in natura</i> variedade Chinesa.	43
Tabela 4.3: Resultados da perda de peso, perda de água e ganho de sólidos de acordo com a matriz do DCCR.	46
Tabela 4.4: Coeficientes de regressão dos fatores estudados sobre as respostas perda de peso, perda de água e ganho de sólidos.	47
Tabela 4.5: Análise de variância para as respostas perda de água, perda de peso e ganho de sólidos.	49
Tabela 4.6: Atividade de água (a_w) e umidade normalizados das fatias de goiaba obtidas através do planejamento experimental.	57
Tabela 4.7: Coeficientes de regressão dos fatores estudados sobre as respostas atividade de água e umidade.	58
Tabela 4.8: Análise de variância para as respostas atividade de água e umidade normalizadas.	59
Tabela 4.9: Variação dos parâmetros de cor L^* , H^* , C^* normalizados e ΔE^* das goiabas osmoticamente desidratadas obtidos dos planejamento experimental.....	65
Tabela 4.10: Coeficientes de regressão dos fatores sobre as respostas L^* , C^* , H^* e ΔE^* ..	66
Tabela 4.11: Análise de variância para as respostas L^* , H^* , C^* e ΔE^* normalizadas.....	68
Tabela 4.12: Variação dos parâmetros tensão na ruptura(σ_{rup}), deformação na ruptura (ϵ_{rup}) e força máxima de penetração (F_{max}) normalizados das goiabas osmoticamente desidratadas obtidos dos planejamento experimental.....	69
Tabela 4.13: Coeficientes de regressão dos fatores sobre as respostas tensão na ruptura (σ_{rup}), deformação na ruptura (ϵ_{rup}) e força máxima de penetração (F_{max}) normalizadas.	71
Tabela 4.14: Análise de variância para as respostas tensão na ruptura (σ_{rup}), deformação na ruptura (ϵ_{rup}) e força máxima de penetração (F_{max}) normalizadas.	72
Tabela 4.15: Resultado da validação das condições ótimas obtidas para a desidratação osmótica de fatias de goiaba.	76
Tabela 4.16: Teores de cálcio presente na fruta fresca e nas submetidas aos diferentes processos.....	78
Tabela 4.17: Valores da luminosidade (L^*), croma (C^*), tom (H^*) e variação da dor (ΔE^*) das fatias de goiaba fresca e osmoticamente desidratadas.	86
Tabela 4.18: Teor de carotenóides totais expressos em licopeno na goiaba fresca e nas goiabas submetidas aos diferentes processos osmóticos.	88
Tabela 4.19: Avaliação do grau de plasmólise das células apresentadas nas fotos de microscopia ótica de cada tratamento.....	101

Tabela 4.20: Resultados da avaliação sensorial em relação a aparência, aroma, sabor, textura e impressão global das fatias de goiaba.....	103
--	-----

NOMENCLATURA

A (t)	área da amostra em função do tempo (m^2)
a*	parâmetro de cromaticidade (+a* = vermelho e -a* = verde)
Abs	máxima absorvância medida dos carotenóides
$A_{lcm}^{1\%}$	absortividade para o licopeno em éter de petróleo
A_i	valor alvo (máximo) da função desejabilidade
ANOVA	análise de variância
a_w	atividade de água
b*	parâmetro de cromaticidade (+b* = amarelo e -b* = azul)
C*	croma
D	função desejabilidade global
DCCR	delineamento composto central rotacional
d_i	função desejabilidade individual
DO	desidratação osmótica
F (t)	força (N) em função do tempo
F_{max}	forma máxima de penetração
GL	graus de liberdade
GS	ganho de sólidos (%)
H (t)	altura da amostra em função do tempo (m)
H*	tom ou ângulo hue
HDM	mecânismo hidrodinâmico
H_o	altura inicial da amostra (m^2)
L*	luminosidade
L	parâmetro linear
LI_i	limite inferior da função desejabilidade
LS_i	limite superior da função desejabilidade
m_f	massa final da amostras (g)
m_i	massa inicial da amostras (g)
PA	perda de água (%)
PP	perda de peso (%)

p-valor	significância estatística
PVOD	desidratação osmótica a pulso de vácuo
Q	parâmetro quadrático
r	parâmetro da função desejabilidade
R ²	coeficiente de determinação
S _f	teor de sólidos final do produto
S _i	teor de sólidos inicial do produto
U _{buf}	teor de umidade (base úmida) final do produto
U _{bui}	teor de umidade (base úmida) inicial do produto
V	volume de diluição (ml) dos carotenóides
x _i	variáveis independentes
y _i	modelo polinomial de segunda ordem

Letras Gregas

β_n	coeficiente de regressão
ΔE^*	diferença de cor entre a fruta fresca e a processada
ε_H	deformação de Hencky
σ_H	tensão de Hencky (kPa)

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo estudar o processo de desidratação osmótica sob pressão atmosférica e com aplicação de pulso de vácuo em fatias de goiabas (*Pisidium guajava*, L.) e avaliar o efeito do uso de lactato de cálcio na preservação estrutural das frutas osmoticamente desidratadas. Na primeira etapa deste trabalho, o estudo foi realizado de acordo com um Delineamento Composto Central Rotacional 2³ composto por 17 ensaios, tendo como variáveis independentes a concentração de sacarose (40 a 60°Brix), a temperatura de processo (20 a 40°C) e o tempo de aplicação de pulso de vácuo (0 a 20 minutos), a fim de avaliar a perda de peso, perda de água, ganho de sólidos, umidade, atividade de água, propriedades de textura e cor das goiabas. Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente empregando a metodologia de superfície de resposta em conjunto com a função desejabilidade, o que permitiu obter as seguintes condições ótimas do processo: solução osmótica na concentração de 60°Brix, temperatura de processo de 32°C e aplicação de 20 minutos de pulso de vácuo. Nestas condições foram obtidas as maiores perdas de peso (25,91%) e de água (29,01%) e o menor valor de atividade de água (0,967) das fatias de goiaba desidratadas. Na segunda parte deste estudo, a condição otimizada foi aplicada a novos tratamentos, com a finalidade de avaliar a influência da aplicação do pulso de vácuo (20 minutos) e da adição de lactato de cálcio (0,6 e 1,2%) nas características estruturais e nos parâmetros de qualidade das fatias de goiaba. O emprego do pulso de vácuo provocou as maiores perdas de água e de peso das amostras e mostrou ser eficaz para preservar a qualidade das fatias de goiaba, uma vez que favoreceu a manutenção da cor das frutas e do teor de carotenóides inicialmente presente. As características de textura das frutas foram afetadas pelo tipo do processo (a pressão atmosférica ou a pulso de vácuo) e pela adição dos sais de cálcio nas soluções osmóticas. No entanto, as características sensoriais das frutas osmoticamente desidratadas sobre as diferentes condições de processo apresentaram variações pouco perceptíveis aos consumidores, sendo igualmente aceitas. A avaliação microestrutural das fatias de goiaba, através das imagens de microscopia ótica, mostrou os severos danos à estrutura celular das frutas, causados pelo processo osmótico realizado a pressão atmosférica, e o efeito benéfico do vácuo na manutenção das características estruturais das frutas. A adição de lactato de cálcio proporcionou a manutenção da estrutura celular das frutas desidratadas osmoticamente a pressão atmosférica e a pulso de vácuo. Os resultados obtidos através da microscopia ótica permitiram avaliar quantitativamente as modificações celulares, refletindo as alterações qualitativas observadas visualmente.

Palavras-chave: Goiaba, desidratação osmótica, função desejabilidade, lactato de cálcio, microestrutura.

ABSTRACT

The aim of this work was studying the osmotic dehydration process under atmospheric pressure and vacuum pulse application of guavas slices (*Pisidium guajava*, L.), evaluating the calcium lactate effect on the structural preservation of osmotically dehydrated fruits. In the first stage of this work, a osmotic dehydration study was performed according to a Central Composite Rotatable Design 2³ composed of 17 trials and the independent variables were: osmotic solution concentration (40 to 60°Brix), process temperature (20 to 40°C) and vacuum pulse application time (0 to 20 minutes), in order to evaluate weight reduction, water loss, solid gain, moisture content, water activity, texture characteristics and color of guavas. The results were statistically analysed using the response surface methodology and the desirability function allowed to obtain the optimum process conditions: osmotic solution concentration of 60°Brix, process temperature of 32°C and vacuum pulse application time of 20 minutes. Under these conditions, the largest weight reduction (25.91%), water loss (29.01%) and the minimum water activity (0.967) of guavas slices were obtained. In the second part of this work, the optimized condition was applied to new trials, with the purpose of evaluating the influence of vacuum pulse application (20 minutes) and the addition of calcium lactate (0.6 and 1.2%) on structural characteristics and quality of guavas slices. The use of pulsed vacuum caused the greatest water loss and weight reduction of the samples, and proved to be effective to preserve the quality of guava slices, as it favored maintenance of the fruits color and carotenoids. The texture characteristics of fruits were influenced by the type of process (atmospheric pressure or vacuum pulse) and the addition of calcium salts in the osmotic solutions. However, the sensory characteristics of osmotically dehydrated fruits on the different process conditions showed variations not perceptible to consumers, being equally accepted. The microstructural evaluation of the guavas slices analysed through light microscopy images showed the severe damage to the cellular structure of fruits caused by the osmotic process performed at atmospheric pressure, and the effect of vacuum on the maintenance of its structural characteristics. Calcium lactate addition provided the maintenance of cellular structure of fruits osmotically dehydrated at atmospheric pressure and vacuum pulse. The results obtained by light microscopy allowed to quantitatively assessing cellular changes, reflecting the alterations observed visually.

Keywords: Guavas, osmotic dehydration, desirability function, calcium lactate, microstructure.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca como um importante produtor de frutas tropicais, ocupando a terceira posição na produção mundial de frutas (ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2009). No entanto, o consumo de frutas frescas ainda é limitado em decorrência da alta perecibilidade desses produtos, tendo em vista que os processos metabólicos são acelerados após a colheita, que aliado a práticas inadequadas, desde a fase de pós-colheita até a comercialização, aceleram os processos de senescência, afetando drasticamente a qualidade dos produtos, limitando assim a sua comercialização.

Diante da elevada perecibilidade das frutas, torna-se necessário o desenvolvimento de processos que forneçam produtos com elevada qualidade e com características sensoriais preservadas. Dentro desse contexto, a utilização de processos tecnológicos brandos que proporcionem a obtenção de alimentos com alta umidade e características similares às frutas frescas, pode representar uma alternativa viável para a conservação dos alimentos.

O processo de desidratação osmótica tem se mostrado uma importante ferramenta para a conservação de frutas e hortaliças, podendo ser utilizado como pré-tratamento aos processos tradicionais de secagem e congelamento, como também para o desenvolvimento de alimentos minimamente processados (TAPIA et al., 1999; MASTRÁNGELO et al., 2000; TORREGGIANI e BERTOLO, 2001; TALENS et al., 2001; PANADÉS et al., 2003; PEREIRA et al., 2004; LOMBARD et al., 2008). O método permite introduzir ingredientes específicos na matriz porosa do alimento de maneira controlada. Podem ser incorporados ácidos, agentes preservantes, depressores de atividade de água, nutrientes, antimicrobianos, entre outros, podendo-se obter produtos prontos e ingredientes de elevada qualidade (ALZAMORA et al., 1993; ALZAMORA et al., 1997; ESCRICHE et al., 2000; FITO et al., 2001; PEREIRA et al., 2007).

Tradicionalmente o processo osmótico é realizado à pressão atmosférica. No entanto, alguns trabalhos sugerem que a aplicação de pulso de vácuo no início do processo de desidratação osmótica promove uma melhora no processo de transferência de massa, em

relação ao uso da pressão atmosférica, além de proporcionar redução do tempo de processo (SHI e FITO, 1993; TAPIA et al., 1999; ESCRICHE et al., 2000; GIRALDO et al., 2003; PANADÉS et al., 2006). Além disso, alguns benefícios estruturais, tais como maior integridade do tecido e menor dano celular, também são apontados com a aplicação do pulso de vácuo no início do processo osmótico (MUNTADA, et al., 1998; MASTRÁNGELO et al., 2000).

Embora o processo osmótico apresente benefícios à qualidade dos produtos como a manutenção da cor, aroma e textura, similares a da fruta fresca, em relação aos processos de conservação convencionais, os fluxos de massa que ocorrem nos tecidos podem provocar modificações nas características de textura dos produtos vegetais (JACKMAN e STANLEY, 1995; MASTRÁNGELO et al., 2000; PEREIRA et al., 2009). Todavia, tem-se observado recentemente que o emprego de agentes de firmeza, como os sais de cálcio, possibilita a manutenção estrutural do tecido, além de elevar o valor nutricional das frutas osmoticamente desidratadas resultando em produtos com características sensoriais e de qualidade preservadas.

A incorporação de sais de cálcio na solução osmótica visando à preservação estrutural dos tecidos dos alimentos processados tem sido abordada por vários autores (MASTRÁNGELO et al., 2000; ABBOTT et al., 2000; PEREIRA et al., 2007). De acordo com Jackman e Stanley (1995), o íon cálcio interage com a pectina presente na parede celular dos tecidos vegetais, proporcionando maior rigidez à estrutura celular, e com isso, podendo contribuir para a manutenção das características de textura dos produtos.

Com base nestas considerações, o presente trabalho objetivou estudar o processo de desidratação osmótica sob pressão atmosférica e com aplicação de pulso de vácuo em fatias de goiaba e avaliar o efeito do uso de sais de cálcio na preservação estrutural das frutas osmoticamente desidratadas, apresentando como principais objetivos específicos:

- Otimizar o processo de desidratação osmótica em goiabas utilizando um planejamento experimental, avaliando-se os efeitos das variáveis concentração da solução osmótica, temperatura de processo e tempo de

aplicação de pulso de vácuo na perda de peso, perda de água, ganho de sólidos, atividade de água, umidade, propriedades de textura e cor das goiabas.

- Comparar o efeito dos processos de desidratação osmótica a pressão atmosférica e a vácuo nas características estruturais e de qualidade das goiabas.
- Avaliar o efeito da adição de sais de cálcio na manutenção da estrutura celular das frutas osmoticamente desidratadas, pela avaliação de propriedades de textura e microestrutura.
- Verificar a aceitação sensorial das frutas osmoticamente desidratadas pelo consumidor.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Goiaba

A origem da goiaba é incerta, mas acredita-se que é originária de uma área que se estende do México meridional ou através da América Central. É comum em todas as áreas quentes da América tropical e das Índias Ocidentais (desde 1526), as Bahamas, as Bermudas e sul da Flórida, onde foi introduzida, segundo relatos, em 1847, tornando-se comum em mais da metade do Estado antes de 1886 (MORTON, 1987).

Embora a goiabeira tenha sido domesticada há mais de 2.000 anos, foi somente em 1526 que o primeiro cultivo comercial de goiaba foi relatado nas ilhas caribenhas. Depois foi difundida por exploradores nas Filipinas e Índia. Os colonizadores espanhóis e portugueses foram rápidos para levar a goiabeira do Mundo Novo para a Índia Oriental e Guam. A goiaba foi logo adotada como cultura na Ásia e nas regiões quentes da África. Os egípcios a cultivaram por muito tempo e pode ter viajado do Egito para a Palestina. É vista ocasionalmente na Argélia e na costa mediterrânea da França (POMMER, MURAKAMI e WATLINGTON, 2006).

A goiaba (*Psidium guajava*, L.) pertencente à família Myrtaceae, compreende mais de 70 gêneros e mais de 2.800 espécies. O gênero *Psidium* apresenta aproximadamente 150 espécies entre as quais se destaca *P. guajava* L., sendo hoje distribuída ao longo das áreas tropicais e subtropicais do mundo (POMMER, MURAKAMI e WATLINGTON, 2006).

No *ranking* dos maiores produtores mundiais de goiaba estão a Índia, China, México, Indonésia e a Tailândia (FAOSTAT, 2009). O Brasil também é considerado um grande produtor da fruta, produzindo cerca de 316.301 mil toneladas em 2007, sendo as regiões Sudeste e Nordeste as maiores produtoras, com destaque para os estados de São Paulo com produção de 103.108 toneladas e Pernambuco com produção na mesma safra de 102.965 toneladas de goiaba (IBGE, 2008; ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2009).

Embora exista uma grande disponibilidade da fruta no país, as exportações são ainda inexpressivas. Em relação à 2007, as exportações de goiaba em 2008, diminuíram 8,85% em valor, atingindo 219,6 mil kg e 418,12 mil dólares (IBRAF, 2008). Dados divulgados na Série de Estatísticas da Agricultura apontam que a produção de goiabas vermelhas destinadas ao consumo *in natura* representa 29% da produção total da fruta produzida no estado de São Paulo em 2007, enquanto que o restante, cerca de 71%, é cultivada para fins de industrialização (IEA, 2008).

No mercado brasileiro, as goiabas de polpa vermelha correspondem à 75% da preferência do consumidor, sendo a cor condição indispensável ao aproveitamento industrial na fabricação de goiabadas, fruta em calda, geléias, base para bebidas, sucos, sorvetes e polpa concentrada. Dentre os cultivares disponíveis no Brasil destacam-se: *Kumagai, Ogawa, Pedro Sato, Sassaoka, Rica e Paluma*. (MEDINA, 1988; SANJINEZ-ARGANDOÑA, 2005).

A goiaba além de apresentar aroma e sabor inconfundíveis possui alta qualidade nutricional, indicada por seus elevados teores de selênio, cobre, fósforo, magnésio, cálcio, ferro, zinco, ácido fólico e vitaminas A, E e do complexo B (TODA FRUTA, 2003). Destaca-se também por seu alto teor de vitamina C, inferior ao da acerola, quando comparada às frutas ricas nessa vitamina, e também por ser rica em outras substâncias, como as fibras. Também possui alto teor de carotenóides, especialmente o licopeno, sendo considerada uma das frutas mais ricas nesse pigmento (KAVATI, 2008). A Tabela 2.1 apresenta a composição nutricional média da goiaba *in natura* disponibilizada na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2006), elaborada pelo Núcleo de Estudos e Pesquisa em Alimentação (NEPA) da UNICAMP, e pelo Banco de Dados de Nutrientes Americano (USDA, 2009). A composição química da goiaba é variável sendo influenciada pelas condições de cultivo, variedade e estágio de maturação, condições climáticas durante o desenvolvimento dos frutos e procedimentos durante o cultivo.

Tabela 2.1: Composição química de goiabas vermelhas com valores expressos por 100g da fruta.

Componente	Unidade	Quantidade¹	Quantidade²
Umidade	g	85,00	80,80
Energia	kcal	54,00	68,00
Proteínas	g	1,10	2,55
Lipídeos	g	0,40	0,95
Carboidratos	g	13,00	14,32
Fibra Alimentar	g	6,20	5,40
Cinzas	g	0,50	1,39
Açúcares totais	g	*	8,92
Cálcio	mg	*	18,00
Magnésio	mg	7,00	22,00
Manganês	mg	0,09	0,15
Fósforo	mg	15,00	40,00
Ferro	mg	0,20	0,26
Sódio	mg	> 0,05	2,00
Potássio	mg	198,00	417,00
Cobre	mg	0,04	0,23
Zinco	mg	0,10	0,23
Ácido ascórbico	mg	*	228,30
Tiamina	mg	> 0,05	0,07
Riboflavina	mg	> 0,05	0,04
Niacina	mg	> 0,05	1,08
Piridoxina	mg	0,03	0,11

Fonte: ¹Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2006); ²BDN – Banco de dados de nutrientes (USDA, 2009). *Dado indisponível.

2.2 Desidratação Osmótica

Ao longo das últimas décadas, a demanda por alimentos mais saudáveis que apresentem-se naturais e saborosos tem crescido muito. Com isso, a indústria alimentícia tem se dedicado ao desenvolvimento de técnicas que minimizem as mudanças nas características do alimento original (RIZZOLO et al., 2007).

A desidratação osmótica é um processo alternativo de preservação e manutenção da qualidade nutricional dos produtos agrícolas. Sua vantagem é a de incorporar solutos e retirar a água do alimento, criando um meio desfavorável às reações enzimáticas e ao crescimento biológico, além de prolongar a vida útil do produto (ESCRICHE et al., 2000; PEREIRA, 2007).

O processo osmótico é baseado na imersão de frutas em soluções hipertônicas de açúcar, que apresentam alta pressão osmótica e baixa atividade de água, estabelecendo um gradiente de concentração entre a fruta e a solução desidratante. Como a estrutura celular dos alimentos age como uma membrana semipermeável, não completamente seletiva aos íons e compostos presentes tanto na solução osmótica quanto no interior do alimento, estabelece-se um fenômeno caracterizado por três tipos de fluxo: água do produto para a solução; soluto da solução para o produto e solutos naturais do produto, como ácidos orgânicos, minerais e vitaminas, para a solução com conseqüente alteração da sua composição química (RAOULT-WACK, 1994). A Figura 2.1 mostra um esquema dos fluxos de transferência de massa entre o tecido e a solução desidratante durante o processo de desidratação osmótica.

A desidratação osmótica tem sido utilizada como pré-tratamento aos processos tradicionais de conservação de frutas e hortaliças como a secagem e o congelamento (TREGUNNO e GOFF, 1996; TALENS et al., 2001; PAN et al., 2003; PEREIRA, 2007; QUEIROZ et al., 2007; VALENTE, 2007) e também para elaborar produtos minimamente processados (TAPIA et al., 1999; MASTRÁNGELO et al., 2000; ESCRICHE et al., 2002; PANADÉS et al., 2003; PEREIRA et al., 2004; RODRIGUES et al., 2006; TORRES et al., 2008; CASTELLÓ et al., 2009), resultando em produtos de alta qualidade sensorial e nutricional. O processo osmótico também pode ser utilizado como barreira, dentro do conceito de tecnologia dos obstáculos, para o desenvolvimento de frutas e hortaliças

minimamente processadas. A suave redução da atividade de água e a possível incorporação de aditivos combinados a tratamentos térmicos brando podem fornecer produtos mais estáveis, de boa qualidade e com características similares às do produto fresco (ALZAMORA et al., 1997; PEREIRA, 2006).

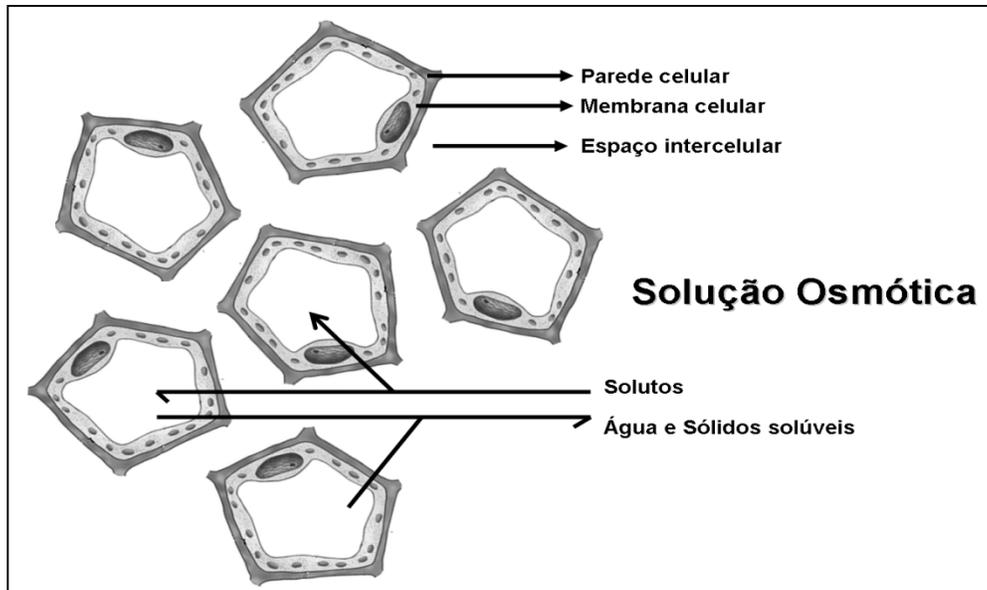


Figura 2.1: Transferência de massa entre o tecido vegetal e a solução osmótica durante o processo de desidratação (adaptado de LAZARIDES, 2001).

De acordo com Torreggiani e Bertolo (2001) o processo osmótico permite gerar produtos prontos e ingredientes de excelente qualidade, os quais apresentam elevado potencial para o mercado, permitindo agregar valor aos produtos de fruta, além de mostrar-se como uma importante ferramenta para o desenvolvimento de novos produtos.

No entanto, Chiralt e Fito (2003), apontam que as propriedades e características do produto final irão depender das características intrínsecas do produto (espécie, variedade, grau de maturação, microestrutura do tecido, relação superfície/volume) e dos pré-tratamentos aplicados ao alimento (descascamento, branqueamento, congelamento-descongelamento, etc.). Além disso, a cinética do processo osmótico, taxa de transferência de massa e a relação ganho de açúcar/perda de água são afetadas pelas variáveis de

processo como: a composição e concentração da solução osmótica, relação produto/solução, temperatura, agitação, pressão de trabalho (atmosférica ou vácuo) e o tempo de contato.

A seleção das variáveis do processo deve estar relacionada à finalidade a qual o produto é destinado. Para a desidratação osmótica aplicada como um pré-tratamento, torna-se necessária a escolha de um conjunto de variáveis que promovam as maiores perdas de água e menores ganhos de sólidos na fruta, além de contribuir para a manutenção das características de qualidade do produto final.

Alguns trabalhos indicam que a aplicação de um pulso de vácuo no início do processo de desidratação osmótica está relacionada com uma melhora no processo de transferência de massa e apresenta benefícios à qualidade do produto (FITO, 1994; ESCRICHE et al., 2000; GIRALDO et al., 2003; PANADÉS et al., 2006; CASTELLÓ et al., 2009; CORRÊA et al., 2010).

Neste âmbito, uma descrição mais detalhada de algumas variáveis do processo de desidratação osmótica será apresentada a seguir.

2.2.1 Desidratação osmótica a pulso de vácuo

A pressão é uma variável relevante no processo de desidratação osmótica. A velocidade de transferência de massa em frutas e hortaliças aumenta em condições de vácuo, quando comparada à utilização de pressão atmosférica (FITO et al., 2001).

O processo de desidratação osmótica a vácuo é uma técnica que consiste em submergir um produto em uma solução osmótica e aplicar uma pressão abaixo da atmosférica, por um curto período, o qual é seguido por um longo período de desidratação osmótica a pressão atmosférica. A aplicação do vácuo causa a saída dos gases ou líquidos oclusos nos poros do tecido e posterior entrada da solução osmótica devido à ação dos mecanismos hidrodinâmicos (HDM) promovidos pela mudança de pressão no sistema (FITO, 1994; FITO e PASTOR, 1994).

A impregnação das amostras sob vácuo é desenvolvida em duas etapas, após a introdução do produto no tanque contendo a solução osmótica. Na primeira etapa o sistema é submetido à aplicação de vácuo (50-100 mbar) por um curto intervalo de tempo no tanque fechado, ocorrendo a expansão e posterior liberação do gás contido no interior dos poros do produto. Na segunda etapa, desenvolvida a pressão atmosférica, o sistema é submetido a um novo gradiente de pressão, causando o preenchimento dos poros do produto com a solução (FITO et al., 1996).

Os gradientes de pressão tornam mais efetiva a ação dos mecanismos hidrodinâmicos, cujo fenômeno da deformação-relaxação da matriz sólida intensifica a transferência de massa. Quando a impregnação a vácuo é aplicada no início da desidratação osmótica (DO), o processo é chamado de desidratação osmótica a pulso de vácuo (PVOD - *pulsed vacuum osmotic dehydration*) (FITO e CHIRALT, 1997). Esta operação influencia o comportamento da transferência de massa e pode promover mudanças estruturais no tecido das amostras.

Alguns trabalhos indicam que a aplicação do pulso de vácuo no início do processo está relacionada à melhora da transferência de massa, com a ocorrência de maiores perdas de água do produto, o que resulta na redução do tempo de processo quando comparado à desidratação osmótica a pressão ambiente (SHI e FITO, 1993; TAPIA et al., 1999; GIRALDO et al., 2003; BOEIRA, STRINGARI e LAURINDO, 2007). No entanto, a ação do vácuo é afetada pelas características do tecido, como a porosidade, tamanho, distribuição e comunicação entre os poros. Frutas que apresentam elevada porosidade são mais suscetíveis aos tratamentos com vácuo (SHI, FITO e CHIRALT, 1995; CHIRALT e FITO, 2003).

Souza et al. (2003), Panadés et al. (2008) e Corrêa et al. (2010) constataram, ao trabalhar com a desidratação osmótica de goiabas, que a aplicação do pulso de vácuo contribuiu para uma maior perda de água em relação ao tratamento realizado à pressão atmosférica. Resultados semelhantes foram encontrados por Giraldo et al. (2003), no seu trabalho com mangas. Ainda segundo este autor, o aumento da taxa de transferência de massa observada na desidratação osmótica com aplicação de pulso de vácuo permite o uso

de temperaturas suaves no decorrer do processo, preservando os atributos de qualidade do produto.

A operação da desidratação osmótica com pulso de vácuo também tem sido relatada como um método que permite introduzir ingredientes específicos na matriz porosa do alimento de maneira controlada. Podem ser incorporados ácidos, agentes preservantes, depressores de atividade de água, nutrientes, antimicrobianos, etc., podendo-se desenvolver produtos funcionais estáveis. O uso do vácuo também proporciona à fruta desidratada manutenção da cor, aroma e propriedades de textura similares às da fruta fresca (ESCRICHE et al., 2000; FITO et al., 2001).

Barrera, Bertoret e Fito (2004) e Castelló et al. (2009), ao trabalharem com maçãs, e Torres et al. (2006) com mangas, observaram que a aplicação do pulso de vácuo consiste em uma técnica adequada para obter frutas enriquecidas com cálcio, em comparação ao processo osmótico realizado à pressão atmosférica, uma vez que os processos a vácuo causaram um maior ganho da solução osmótica pelas frutas, contribuindo para a difusão do íon nos tecidos.

Além disso, de acordo com Castelló et al. (2009), o tratamento com aplicação de pulso de vácuo apresentou a melhor alternativa para a obtenção das frutas minimamente processadas quando comparado ao tratamento atmosférico. O uso do vácuo permitiu obter frutas mais estáveis durante o período de estocagem com redução da taxa respiratória e manutenção dos padrões microbiológicos e da resposta mecânica dos tecidos. Os autores relacionaram o preenchimento dos espaços intercelulares do tecido pela solução osmótica a uma provável redução do colapso celular, que dessa forma colaborou para a manutenção dos padrões de qualidade da fruta.

Ito (2007) observou que, no processo de desidratação osmótica de fatias de manga, o uso do pulso de vácuo contribuiu efetivamente nas características sensoriais das frutas, na conservação do teor de carotenóides e na preservação das propriedades mecânicas, em relação ao processo realizado à pressão atmosférica. A aplicação do pulso de vácuo por 10 minutos, também causou menores danos microestruturais, proporcionando a manutenção da parede celular e da turgidez das células.

Resultados semelhantes foram observados por Mastrángelo et al. (2000), quando desidrataram osmoticamente cilindros de melão à pressão atmosférica e a vácuo. Os autores verificaram que a aplicação de um pulso de vácuo proporcionou uma maior integridade da estrutura celular das frutas, quando comparado ao tratamento osmótico atmosférico. O benefício estrutural promovido pelo vácuo foi refletido em melhores características de textura das frutas osmoticamente desidratadas.

2.2.2 Composição e concentração da solução osmótica

A composição e a concentração da solução osmótica pré-determinam o potencial químico, que agirá como força motriz na transferência de massa. No processo de desidratação osmótica de frutas, podem ser utilizados diversos agentes osmóticos, sendo comumente utilizados soluções de sacarose, frutose, glicose, maltose e xarope de milho (LAZARIDES et al., 1997; EL-AOUAR et al., 2006; PEREIRA, 2006; DERMESONLOUOGLOU, GIANNAKOUROU e TAOUKIS, 2007).

Para a escolha do agente desidratante, devem ser consideradas as alterações ocorridas no valor nutritivo e nas propriedades sensoriais do produto final, sendo frequentemente empregada no processo osmótico de frutas as soluções de sacarose, em virtude da sua eficiência, disponibilidade, baixo custo, além de conferir um sabor agradável à fruta (PEREIRA, 2006).

Azoubel et al. (2009), avaliando o efeito do tipo do agente desidratante (sacarose e xarope de milho) no pré-tratamento osmótico de fatias de caju, aplicado como etapa preliminar à secagem convectiva, e nas características de qualidade do alimento processado, observaram que as frutas desidratadas, pré-tratadas com sacarose, apresentaram uma maior aceitação sensorial.

A concentração do agente osmótico na solução está diretamente relacionada à transferência de massa no processo. O uso de soluções com altas concentrações de açúcar têm resultado no aumento da perda de água dos produtos durante o processo de desidratação osmótica, sendo esse efeito intensificado pela aplicação de um pulso de vácuo (GIRALDO et al., 2003; ITO, 2007; LOMBARD et al., 2008; CORRÊA et al., 2010).

Por outro lado, a utilização de soluções osmóticas concentradas pode reduzir as perdas de solutos hidrossolúveis, como o ácido ascórbico e a frutose, devido à formação da camada de sólidos dificultar a migração desses solutos para a solução (RAOULT-WACK, 1994). Ainda é correlacionado às altas concentrações osmóticas, o menor ganho de sólidos nas fruta. Por outro lado, dependendo das condições de processo, um ganho de sólidos elevado pode afetar o perfil nutricional e sensorial do alimento.

2.2.3 Temperatura de Processo

A temperatura é um outro fator altamente relevante no processo de desidratação osmótica, uma vez que influencia diretamente a cinética do processo osmótico. A taxa de transferência de massa aumenta consideravelmente com o aumento da temperatura, devido a uma expansão e plasticização das membranas celulares, ocasionando assim fluxos mais rápidos e intensos de perda de água e de peso do produto. O efeito da elevação da temperatura também ocasiona a diminuição da viscosidade do meio osmótico, diminuindo assim a resistência externa ao transporte de massa (LAZARIDES et al., 1997).

Pereira et al. (2006), avaliando o efeito da temperatura do processo (30-40°C) na desidratação osmótica a 50°Brix, de cubos de melão e de mamão, verificaram que o uso de temperaturas de processo mais altas causaram um aumento da difusão da água e dos sólidos na fruta, resultando no aumento da perda de peso e do ganho de açúcar.

Por outro lado, Torreggiani (1993) afirma que, apesar do aumento da temperatura provocar um aumento na taxa osmótica, temperaturas superiores à 45°C podem acarretar alterações das características de cor, sabor, aroma e modificações na parede celular do produto vegetal.

A aplicação de um pulso de vácuo no início do processo de desidratação osmótica está relacionada com uma melhora no processo de transferência de massa, o qual possibilita o uso de temperaturas mais baixas. Como resultado, podem ser obtidos valores de perda de água similares aos encontrados pelos processos de desidratação osmótica realizada a altas temperaturas a pressão atmosférica (FITO, 1994; SHI, FITO e CHIRALT, 1995). No estudo com damascos, morangos e abacaxi, Shi, Fito e Chiralt (1995)

verificaram que o processo de desidratação osmótica das frutas realizado à 40°C e com aplicação de vácuo resultou numa perda de água equivalente à obtida pelo tratamento osmótico atmosférico realizado à 50°C, contudo, sem apresentar maiores ganhos de sólidos. Os autores concluíram que podem ser obtidos produtos de fruta de boa qualidade final, favorecidos pelo uso de temperaturas mais baixas associadas à aplicação do vácuo nos processos osmóticos.

Panadés et al. (2006) investigaram a influência da temperatura da solução osmótica (30 a 50°C), tempo do processo (30 a 180 min), e pressão de trabalho (atmosférica, pulso de vácuo e vácuo contínuo) nos parâmetros cinéticos de perda de água, ganho de sólidos e perda de massa de goiabas osmoticamente desidratadas. Os resultados obtidos mostraram que as variáveis influenciam significativamente os parâmetros cinéticos. O aumento da temperatura combinado à aplicação do pulso de vácuo provocou o aumento da perda de água, sendo que o maior percentual de perda de água e de peso foi alcançado à 50°C e o maior ganho de sólidos foi obtido quando utilizado 40°C.

Escriche et al. (2000) estudaram o processo de desidratação osmótica à pulso de vácuo de kiwi, utilizando soluções de sacarose (65°Brix) e concentrado de suco de uva (63°Brix), variando a temperatura (25 a 45°C) e o tempo de aplicação do vácuo (0 a 15 min). Os autores observaram que o aumento da temperatura causou o aumento da perda de água e do ganho de sólidos, no entanto esse comportamento não foi relacionado à aplicação do pulso de vácuo, devido a baixa porosidade da fruta.

2.3 Preservação estrutural pelo emprego de íons Ca^{2+}

A sofisticação dos hábitos alimentares dos consumidores tem aumentado expressivamente a importância das propriedades de textura como atributo de qualidade. A textura dos alimentos vegetais é um dos mais importantes atributos dentre aqueles que afetam a preferência e a aceitação por parte dos consumidores, porém pode ser severamente afetada quando frutas e hortaliças são submetidas a processos para sua conservação (JACKMAN e STANLEY, 1995).

Os processamentos normalmente utilizados para a conservação das frutas e hortaliças provocam mudanças nas características do produto afetando sua qualidade final (TORREGGIANI e BERTOLO, 2001). Embora a desidratação osmótica apresente benefícios à qualidade dos produtos frente aos processos de conservação convencionais, os fluxos de massa que ocorrem nos tecidos podem provocar modificações estruturais nas características do produto. Chiralt e Talens (2005) apontam como as principais alterações ocorridas no processo à perda de turgor das células, alterações na lamela média e na resistência da parede celular, rompimento de membranas (plasmalema e tonoplasto), plasmólise e encolhimento dos tecidos. De acordo com Jackman e Stanley (1995), essas alterações estruturais podem resultar na perda das características de textura dos produtos vegetais.

A adição de sais de cálcio com o objetivo de preservar a integridade estrutural de frutas e hortaliças, intencionando manter as características de textura do produto final tem sido largamente estudada. O uso dos sais de cálcio em banhos de soluções de cloreto e lactato de cálcio ou a adição dos sais em soluções de açúcar para processos e pré-tratamentos de desidratação osmótica, tem proporcionado a preservação das propriedades de textura dos produtos em virtude do efeito firmador do cálcio nos tecidos vegetais (MUNTADA, et al., 1998; ABBOTT et al., 2000; LEWICKI, VU LE e POMARANSKA-LAZUKA, 2002; SAFTNER et al., 2003; MARTÍN-DIANA et al., 2005; PEREIRA, 2006).

A incorporação dos íons cálcio em alimentos também tem sido realizada por meio da desidratação osmótica com aplicação de vácuo, seja com o objetivo de promover

melhorias na textura ou para obter alimentos funcionais (MASTRÁNGELO et al., 2000; ANINO, SALVATORI e ALZAMORA, 2006; GRAS et al., 2003; BARRERA, BETORET e FITO., 2004; TORRES et al., 2006; CASTELLÓ et al., 2009; MORAGA et al., 2009).

O efeito da preservação da textura dos alimentos vegetais pela ação dos sais de cálcio está relacionado às interações do íon com biopolímeros, principalmente com a pectina presente na parede celular dos tecidos vegetais (JACKMAN e STANLEY, 1995; GRAS et al., 2003). Estas interações proporcionam maior rigidez à parede celular, favorecendo a manutenção das características de textura dos produtos.

Pereira (2006) estudou o tratamento osmótico de metades de goiaba com adição dos sais lactato e cloreto de cálcio em concentrações de 0,5 a 2,5%. No estudo foi verificado que a utilização do sal lactato de cálcio foi mais adequado que o cloreto, promovendo a preservação estrutural do tecido e obtendo boa aceitação sensorial quando utilizado em concentrações de até 1,5%. A não aceitação do cloreto de cálcio foi relacionada ao surgimento de amargor nas frutas tratadas com o sal. Adicionalmente, Luna-Guzmán e Barret (2000), ao comparar o efeito dos mesmos sais de cálcio na qualidade de melões minimamente processados, notaram que apesar da melhoria da textura, as frutas tratadas com o cloreto apresentaram sabor amargo e residual, sugerindo-se o uso do lactato de cálcio como agente de firmeza de melões.

Mastrángelo et al. (2000) avaliaram o efeito da adição de lactato de cálcio nas propriedades de textura de pedaços de melão osmoticamente desidratados à pressão atmosférica ou a vácuo. De acordo com os autores, a presença do íon cálcio na solução osmótica resultou na obtenção de uma parede celular mais íntegra, refletindo em melhores atributos de textura do produto.

Em um estudo realizado por Torres et al. (2006), foi avaliada a influência da desidratação osmótica a pressão atmosférica e a vácuo, utilizando soluções de sacarose (45 e 65°Brix) adicionadas de lactato de cálcio (0 a 2%) nas propriedades mecânicas de mangas. Os tratamentos com cálcio provocaram um aumento da tensão na ruptura das amostras, devido à maior firmeza das frutas promovida pela interação do cálcio com a pectina presente na parede celular. Os autores também observaram que a presença do cálcio

limitou os fluxos de massa através do tecido, sendo concluído que o íon colabora para a diminuição da permeabilidade da parede celular, em virtude do reforço à estrutura polimérica, com isso impondo maior resistência à transferência de massa.

2.4 Avaliação dos produtos processados

2.4.1 Propriedades de textura e avaliação microestrutural

A investigação das alterações estruturais decorrentes do processamento das frutas e hortaliças através de ensaios de microscopia e textura instrumental tem se destacado nos últimos anos. As técnicas de microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura ou transmissão têm se mostrado eficientes no conhecimento da microestrutura desses alimentos e suas alterações, apresentando uma boa correlação com as características de textura dos tecidos vegetais (PEREIRA, 2006).

De acordo com Wilkinson, Dijksterhuis e Minekus (2000), o estudo da microestrutura dos alimentos tem sido utilizado para ampliar o conhecimento das mudanças estruturais que ocorrem ao longo dos diferentes processamentos empregados, permitindo um melhor controle da textura dos produtos. As informações que são fornecidas pela microscopia e outras técnicas de imagem permitem que a estrutura do alimento seja visualizada, contribuindo para um melhor entendimento das propriedades mecânicas.

Prinzivalli et al. (2006) avaliaram o efeito da desidratação osmótica sobre as características estruturais e de textura de fatias de morango em diferentes tempos de processo. Os autores observaram que os danos celulares foram intensificados com o aumento do tempo de processo osmótico, com conseqüente diminuição dos valores da tensão na ruptura. Ainda segundo os autores, uma boa correlação foi obtida entre as características de textura e a estrutura celular do produto avaliada pela técnica de microscopia ótica.

Utilizando ensaios de microscopia ótica e microscopia eletrônica de transmissão associados a textura instrumental, Mastrángelo et al., (2000) verificaram as alterações estruturais provenientes da desidratação osmótica de melões, obtendo resultados

condizentes com as características de textura das frutas osmoticamente desidratadas. A equivalência entre as mudanças na textura detectadas através de medidas instrumentais e as alterações estruturais do tecido vegetal também foi verificada por Buggenhout et al. (2008) empregando a técnica de microscopia ótica na avaliação de estrutura celular de morangos osmoticamente desidratados.

Pereira (2006) relatou que a avaliação estrutural de goiabas osmoticamente desidratadas com soluções de maltose ou sacarose adicionadas ou não de sais de cálcio, através das imagens de microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura, foi importante para estimar os danos causados pelo processo osmótico nas amostras e para investigar o efeito preservador do lactato de cálcio na estrutura celular das frutas. Ainda de acordo com a autora, a técnica de microscopia ótica foi mais adequada para a avaliação das alterações estruturais das goiabas, já que as imagens obtidas pela análise de microscopia eletrônica de varredura não mostraram de forma muito clara os eventos observados na microscopia ótica, provavelmente em decorrência das alterações sofridas pela fruta durante as etapas de preparação da amostra para esta última análise.

Apesar da boa correlação encontrada entre as características de textura e as alterações estruturais observadas através das análises de microscopia, as informações obtidas fornecem apenas uma descrição qualitativa da estrutura do alimento. Entretanto, ferramentas de análise de imagem podem ser utilizadas para quantificar algumas características físicas da estrutura celular reveladas nas imagens, como área e tamanho das células, volume ocupado pelo vacúolo e dos espaços intercelulares, indicando numericamente as alterações estruturais causadas pelo processamento dos alimentos (KALÁB, ALLAN-WOJTAS e MILLER, 1995; LEWICKI e PORZECKA-PAWLAK, 2005).

Mayor, Pissarra e Sereno (2008) avaliaram as alterações microestruturais decorrentes da desidratação osmótica de abóboras, utilizando ensaios de microscopia ótica e aplicando a técnica de análise de imagem para quantificar as mudanças ocorridas no tamanho e no formato das células. Plasmólise e encolhimento celular foram as principais alterações observadas durante o processo osmótico, consequentemente causando

modificações no tamanho e no formato da células, como a diminuição da área, do diâmetro equivalente, da redondeza e da densidade das células.

Seguí, Fito e Fito (2009) utilizaram ferramentas de análise de imagens para avaliar as mudanças microestruturais progressivas de células isoladas de maçãs durante o processo de desidratação osmótica. A análise das imagens foi útil para quantificar as mudanças celulares que ocorreram, como a plasmólise e o encolhimento, e relacioná-las as condições de processo. Os autores relataram que o encolhimento do citoplasma aumentou com o aumento da concentração da solução osmótica, no entanto, a parede celular sofreu maiores deformações quando foram utilizadas baixas concentrações de açúcar, sendo recomendado o aumento progressivo da concentração da solução osmótica a fim de obter uma melhor preservação e integridade celular.

2.4.2 Cor

A cor é um atributo sensorial que desempenha um importante papel para a avaliação da qualidade de um alimento, e apresenta grande relevância para a aceitação dos consumidores devido à correlação visual direta entre frescor e sabor (CLYDESDALE, 2000).

A avaliação das alterações da cor através de sistemas de determinação instrumental têm sido realizada com o intuito de padronizar mais efetivamente este atributo, já que a importância tecnológica da cor reside na possibilidade de utilizá-la como índice de transformações naturais de alimentos frescos ou de mudanças ocorridas durante o processamento industrial (ITO, 2007). No caso de frutas submetidas à desidratação osmótica, o nível de alteração da cor é dependente das condições do processo (concentração da solução osmótica, temperatura, tempo, agitação e pressão de trabalho) empregadas (TORREGGIANI, 1993; SHI et al., 1999). Contudo, a partir da seleção de condições apropriadas para o processo osmótico, é possível reduzir as mudanças de cor das amostras, obtendo frutas desidratadas de elevada qualidade.

De acordo com Torreggiani e Bertolo (2001), a penetração dos solutos, combinado ao efeito da desidratação osmótica, além de modificar a composição da fruta, promove a retenção de pigmentos e melhorias na cor das amostras quando estas são submetidas a tratamentos posteriores de secagem e congelamento. Concomitantemente, Krokida, Karathanos e Maroulis (2000) observaram que a desidratação osmótica de maçãs e bananas, contribuiu para a maior estabilidade da cor em relação a fruta desidratada por secagem convencional.

Trabalhando com mangas, Ito et al. (2007), relataram que o processo de desidratação osmótica a pulso de vácuo não provocou alterações nas características de cor da fruta *in natura*, devido à manutenção dos valores de cor e de luminosidade das amostras, após o processo osmótico.

Panadés et al. (2003), avaliando a influência da temperatura da solução (30 a 50°C), tempo de processo (60 a 180 min) e regime de pressão (pressão atmosférica, pulso de vácuo e vácuo contínuo) na qualidade de goiabas desidratadas osmoticamente, relataram que os fatores estudados não afetaram a cor das goiabas, avaliadas sensorialmente.

2.4.3 Teor de Carotenóides

Os carotenóides compõem um grupo de pigmentos responsáveis pela coloração amarela, laranja e vermelha de um grande número de alimentos. A importância dos carotenóides não é somente atribuída à cor que eles conferem a alguns vegetais, mas também aos benefícios à saúde, promovidos por estes composto bioativos (FERREIRA e RODRIGUEZ-AMAYA, 2008).

A composição dos carotenóides em frutas e vegetais é complexa e variável, sendo afetada por fatores como: cultivar ou variedade, estágio de maturação, características edafoclimáticas da região produtora, parte do alimento utilizado, manuseio durante a colheita e pós-colheita, processamento e estocagem. Os carotenóides não estão distribuídos homogeneamente nos alimentos, sendo que vários pesquisadores relataram que em muitas frutas e vegetais, a casca apresenta maior concentração desses pigmentos que a polpa, com

exceção para as frutas de polpa vermelha como a goiaba (RODRIGUEZ-AMAYA e KIMURA, 2004).

As goiabas vermelhas contêm de 76 a 86% de licopeno em relação ao total de carotenóides, apresentando teor que varia entre 44,8 e 61,0 µg/g, sendo esta fruta considerada uma rica fonte neste carotenóide (PADULA e RODRIGUEZ-AMAYA, 1986). Este pigmento tem atraído muita atenção nos últimos anos devido à possibilidade de prevenir doenças degenerativas, como o câncer e as doenças cardiovasculares (SHI et al., 1999; BRUNO, WILDMAN e SCHWARTZ, 2007). No entanto, a degradação desse carotenóide, com concomitante perda da cor, é um problema comum no processamento e armazenamento de frutas (PADULA e RODRIGUEZ-AMAYA, 1986).

Condições severas de processo, como altas temperaturas, longos tempos de processo, presença de luz e oxigênio, têm mostrado influenciar a estabilidade do licopeno, provocando sua biodegradação devido a isomerização e oxidação, afetando não apenas a cor do produto final, como também seu valor nutritivo. Dessa forma, processos que favoreçam a retenção ou diminuição da degradação do licopeno vem sendo estudados.

SHI et al. (1999), avaliando a influência de diferentes métodos de desidratação (desidratação osmótica, secagem a pressão atmosférica e a vácuo) sobre a retenção de licopeno em tomates, relataram que o pré-tratamento osmótico desenvolvido a baixas temperaturas, favoreceu a retenção do licopeno na fruta quando comparado aos outros métodos de desidratação. Foi atribuído à impregnação de açúcares na superfície da fruta o efeito benéfico da desidratação osmótica, já que a camada superficial de sólidos atuou como uma barreira a penetração do oxigênio, diminuindo assim a oxidação do licopeno.

Num estudo com goiabas, Sanjinez-Argandoña (2005) avaliou o efeito do pré-tratamento osmótico aplicado como etapa preliminar à secagem convectiva, na retenção de carotenóides das frutas. A autora relatou que as goiabas osmoticamente tratadas e secas apresentaram maior retenção dos carotenóides totais (68%) em relação as amostras secas sem o pré-tratamento osmótico (25%), indicando que o efeito benéfico e protetor da impregnação de açúcares nas goiabas osmoticamente desidratadas favorece a obtenção de produtos de melhor qualidade em termos de retenção de carotenóides totais.

2.4.4 Análise sensorial

A qualidade do alimento engloba os aspectos relacionados à segurança, propriedades nutricionais e sensoriais. A aceitação do produto pelo consumidor está diretamente relacionada com a qualidade do mesmo (VALENTE, 2007).

A análise sensorial é um campo muito importante na indústria de alimentos, pois contribui direta ou indiretamente para inúmeras atividades, como desenvolvimento de novos produtos, controle de qualidade, reformulação e redução de custos de produtos, relações entre condições de processo, ingredientes, aspectos analíticos e sensoriais (MARTINÉZ, 2007).

Os testes sensoriais são incluídos no controle de qualidade por serem uma medida multidimensional integrada, que possui importantes vantagens, como: serem capazes de identificar a presença ou ausência de diferenças perceptíveis, definir características sensoriais importantes de um produto de forma rápida e detectar particularidades dificilmente detectadas por outros procedimentos analíticos (MUÑOZ, CIVILLE e CARR, 1992).

Diferentes metodologias têm sido empregadas para a avaliação dos produtos alimentícios. Dentre os testes sensoriais geralmente empregados, os testes afetivos são utilizados para avaliar os produtos quanto à aceitação. Os consumidores classificam, através de uma escala, o quanto gostam ou desgostam de um produto. Esses testes são úteis para medir a magnitude subjetiva do provador, o qual pode expressar a preferência por determinado alimento por meio de notas, sendo frequentemente utilizados para comparar produtos concorrentes, para o desenvolvimento de novos produtos, para a melhoria da qualidade de produtos já existentes e para a avaliação do mercado potencial (MEILGAARD, CIVILLE e CARR, 1999; STONE e SIDEL, 2004).

A escala hedônica de 9 pontos é a escala mais aplicada para testes de aceitação, devido à confiabilidade dos resultados e à fácil compreensão da ficha sensorial pela equipe. Os dados obtidos no teste de aceitação devem ser submetidos à análise de variância (ANOVA) e testes de Tukey, para a obtenção de informações sobre as diferenças entre os produtos analisados. As diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos

produtos são normalmente avaliadas a um nível de confiança de 95% (STONE e SIDEL, 2004).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

Matéria-Prima

Goiabas vermelhas (*Psidium guajava* L.) da variedade *Chinesa* (Figura 3.1) foram utilizadas neste estudo, gentilmente cedidas pela Torrezin Ind. e Com. Polpas e Frutas Congeladas, localizada na cidade de Valinhos, SP, Brasil. As frutas foram selecionadas, fornecendo amostras uniformizadas quanto ao grau de maturação (8 - 9 °Brix e 70% da cor da casca amarela), tamanho ($100,10 \pm 3,65$ mm de comprimento, $85,49 \pm 2,75$ mm de diâmetro e espessura do pericarpo de $12,63 \pm 1,55$) e formato oval.



Figura 3.1: Goiaba vermelha da variedade Chinesa

Agente Desidratante

As soluções osmóticas de sacarose foram preparadas com água filtrada e sacarose comercial (Cosan, Sertãozinho, SP, Brasil) nas concentrações de 40 a 60 °Brix, adicionando-se ou não lactato de cálcio (LabSynth Produtos para Laboratórios Ltda., Diadema, SP, Brasil) nas concentrações de 0,6 e 1,2% (p/p). A escolha dessas concentrações foi baseada no trabalho de Pereira (2006).

Agente Sanitizante

A sanitização da matéria-prima foi realizada com solução de ácido peracético (nome comercial: Tsuname 100), fabricado pelo laboratório ECOLAB Química Ltda (Barueri, SP, Brasil). A concentração utilizada foi de 533 ppm do produto, o que equivale a 80ppm de ácido peracético, como indicado pelo fabricante. O tempo de imersão das frutas na solução sanitizante foi de 3 minutos.

3.2 Equipamento - Desidratador Osmótico

O processo de desidratação osmótica foi realizado em equipamento projetado para trabalhar a pressão atmosférica ou a vácuo, construído por Pezantes, Sobral e Hubinger (2004) (Figura 3.2).

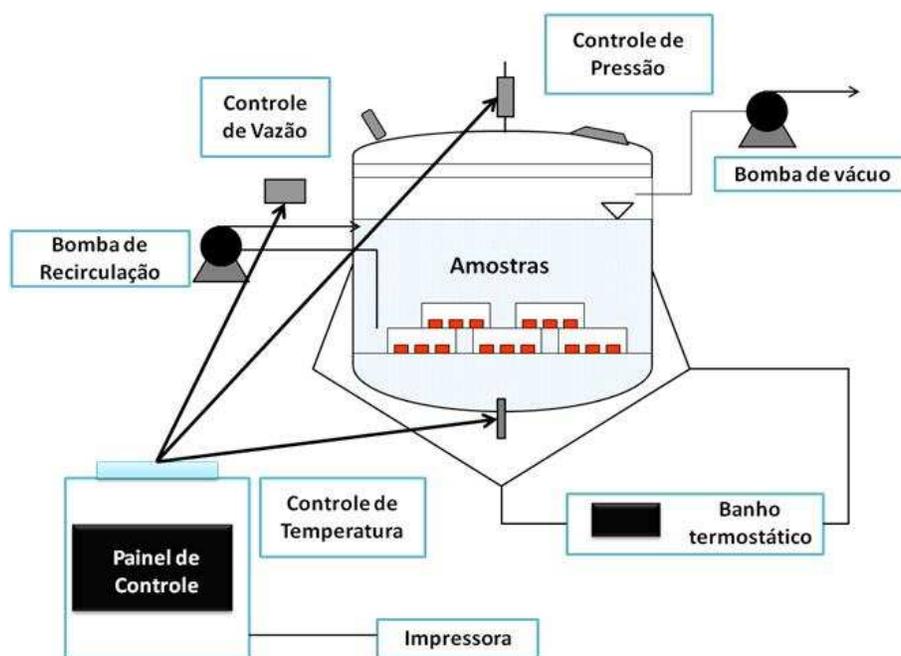


Figura 3.2: Esquema do desidratador osmótico.

O equipamento é constituído por uma câmara encamisada, de aço inox (A-240-304) com capacidade máxima de trabalho de 60 L de líquido osmótico, com acesso pela parte superior. O sistema de controle da temperatura é constituído de um banho

termostático (Tecnal, modelo TE-184, Piracicaba, Brasil) que promove a circulação do fluido térmico (etilenoglicol) no interior da camisa do equipamento, tendo como faixa de trabalho temperaturas entre 5 e 70°C, sendo que quando operado em temperaturas de 5 a 25°C, o banho termostático trabalha sob refrigeração. A solução osmótica é recirculada por uma bomba centrífuga (capacidade de 1 a 5m³/h) e a vazão é controlada por um medidor de vazão tipo turbina, conectado na canalização do equipamento. A geração de pulso de vácuo é realizada por uma bomba de vácuo acoplada ao equipamento, trabalhando entre 0 e 300 mBar. Equipamentos de controle como vacuômetro e termômetro estão acoplados ao desidratador. Um painel de controle, programável para operação manual ou automática, é ligado a um computador para registrar a pressão de vácuo, condições de fluxo e temperatura durante o processo.

3.3 Métodos

3.3.1 Caracterização da matéria-prima

A matéria-prima foi caracterizada quanto a sua composição centesimal, em relação aos teores de umidade, açúcares, cinza, lipídeos, proteínas e fibras (por diferença). A caracterização física foi realizada por meio de medidas de peso, comprimento, diâmetros, espessura do pericarpo, sólidos solúveis, pH e atividade de água.

3.3.2 Preparo da matéria-prima

As frutas, previamente selecionadas, lavadas e sanitizadas foram descascadas por tratamento químico através da imersão por 45-50 s em solução de hidróxido de sódio a 2% (p/v) pré-aquecidas a 65 °C, lavadas em água corrente e em seguida foram cortadas em metades e as sementes foram removidas utilizando-se acessórios de aço inoxidável. De cada metade foram obtidas duas fatias com dimensões de 50 mm de altura e 30 mm de largura, preservando-se a espessura natural da fruta de aproximadamente 12 mm. Esta geometria foi escolhida devido à limitação de tamanho das bandejas utilizadas no equipamento, que possuem 6 cm de largura. Na figura 3.3 podem ser observadas as fatias de goiaba utilizadas nos processos de desidratação osmótica.



Figura 3.3: Fatias de goiaba in natura utilizadas na desidratção osmótica.

3.3.3 Desidratção osmótica

A solução osmótica foi previamente colocada no interior do desidratador osmótico para estabilizar a temperatura escolhida para cada processo por aproximadamente 1 h. Durante esse período, a bomba de recirculação e o banho termostático estiveram ligados a fim de manter a solução homogênea e favorecer a mais rápida estabilização, sendo que o banho termostático foi regulado entre 3 e 10 °C abaixo da temperatura de trabalho, compensando o aquecimento gerado, principalmente, pela bomba de recirculação da solução. Devido às características de projeto e escala do equipamento, a proporção mínima de fruta:solução foi de 1:35 (p/p) com um volume de solução de cerca de 22 litros (ITO, 2007).

Três fatias de goiaba foram dispostas em cada uma das caixas teladas e colocadas no equipamento para a desidratção osmótica (Figura 3.4), sendo o processo conduzido à pressão atmosférica. Antes das amostras serem colocadas na solução, desligou-se o banho termostático e a bomba de recirculação para que o equipamento fosse acionado no modo previamente programado. Para a desidratção osmótica a pulso de vácuo (PVOD), assim que as bandejas foram arrumadas, o equipamento foi fechado e o sistema foi ligado (bomba de recirculação, banho termostático e bomba de vácuo). O vácuo foi aplicado a 100

mbar no início do processo pelo tempo determinado para cada experimento. Após o final da aplicação do vácuo, o equipamento foi aberto e o processo transcorreu à pressão atmosférica. Os experimentos realizados ou não com aplicação de pulso de vácuo tiveram duração total de 3 horas de processo. O tempo total utilizado foi escolhido em conformidade com outros trabalhos de desidratação osmótica (KOWALSKA e LENART, 2001; PANADÉS, et al., 2006; MORAGA et al., 2009).

Após os diferentes tratamentos osmóticos, as fatias de goiaba, foram enxaguadas e colocadas sobre papel absorvente, para a remoção da solução em excesso (PEREIRA, 2006).

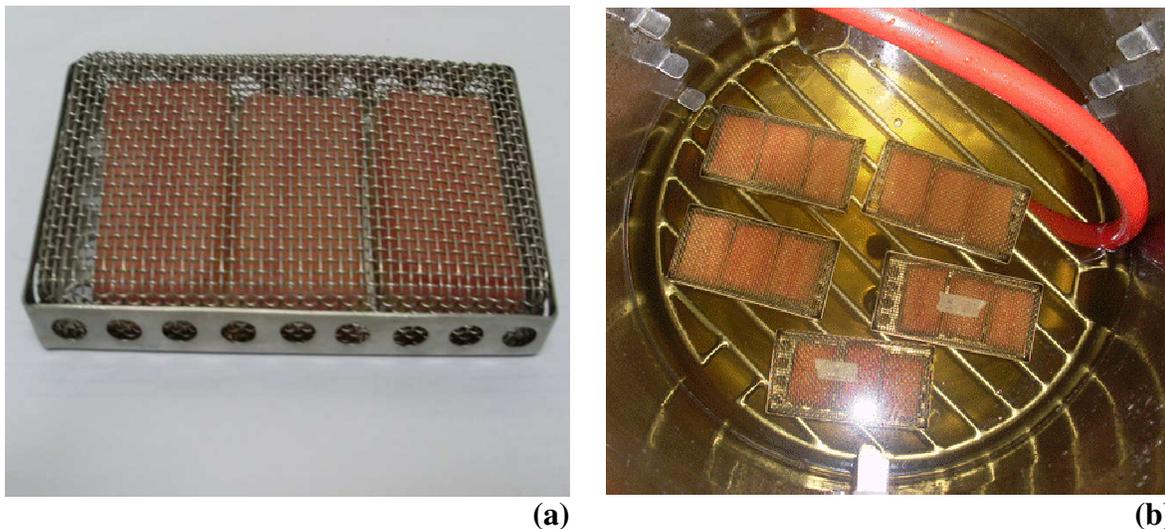


Figura 3.4: Fatias de goiaba contidas numa caixa telada (a) e (b) amostras organizadas no interior do desidratador osmótico.

3.3.4 Planejamento Experimental

O desenvolvimento experimental do trabalho foi realizado em 2 etapas. Na primeira foi avaliado o efeito da concentração de açúcar, temperatura do processo e emprego de pulso de vácuo na desidratação osmótica de fatias de goiaba. Para isso, foi realizado um planejamento experimental por meio de um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) 2^3 , com seis pontos axiais e três repetições no ponto central, totalizando 17 ensaios, onde os efeitos das variáveis independentes concentração de

sacarose (°Brix), temperatura (°C) e tempo de vácuo (minutos) foram avaliados sobre as respostas perda de peso, perda de água, ganho de sólidos, atividade de água, umidade, características de textura e cor. Os valores reais e codificados dos níveis das variáveis independentes são apresentados na Tabela 3.1. As faixas de estudo utilizadas para as condições do processo, concentração de sacarose e temperatura foram escolhidas com base em um estudo prévio de desidratação osmótica de goiaba realizado por Pereira (2006), enquanto que a faixa de estudo para a variável tempo de aplicação de pulso de vácuo foi escolhida levando-se em consideração dados prévios do trabalho de Ito (2007).

Tabela 3.1: Valores utilizados para as variáveis independentes da desidratação osmótica

Variáveis	Níveis				
	-1,68	-1	0	+1	+1,68
Concentração de sacarose (°Brix)	40	44	50	56	60
Temperatura (°C)	20	24	30	36	40
Tempo de pulso de vácuo (minutos)	0	4	10	16	20

A matriz do planejamento contendo os valores codificados e os valores reais de cada variável avaliada pelo DCCR está apresentada na Tabela 3.2. A análise estatística dos resultados foi realizada por meio da Metodologia de Superfície de Resposta utilizando o software STATISTICA® 8.0. O planejamento estatístico permitiu obter modelos matemáticos para as variáveis resposta em função das variáveis independentes avaliadas, que apresentaram melhor ajuste dos resultados experimentais ao modelo polinomial de segunda ordem apresentado na Equação 3.1.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2 \quad (3.1)$$

Onde: y_i representa as respostas ou as variáveis dependentes (perda de peso, perda de água, ganho de sólidos, atividade de água, umidade, força máxima de penetração, tensão e

deformação na ruptura e parâmetros da cor – luminosidade, croma, tom e variação total da cor), β_0 , β_1 , β_2 e β_3 são os coeficientes de regressão obtidos para o modelo e x_1 , x_2 e x_3 são as variáveis independentes codificadas (concentração de sacarose, temperatura do processo e tempo de aplicação do pulso de vácuo).

A determinação da validade dos modelos propostos foi realizada tendo como critérios a porcentagem de variação explicada pelo modelo (R^2) e o Teste F obtidos pela análise de variância (ANOVA) ao nível de confiança de 90 e 95%.

Tabela 3.2: Matriz do planejamento experimental elaborado para a desidratação osmótica de goiabas.

Experimentos	Conc. de sacarose (°Brix)	Temperatura (°C)	Tempo de pulso de vácuo (min)
1	44 (-1)	24 (-1)	4 (-1)
2	56 (+1)	24 (-1)	4 (-1)
3	44 (-1)	36 (+1)	4 (-1)
4	56 (+1)	36 (+1)	4 (-1)
5	44 (-1)	24 (-1)	16 (+1)
6	56 (+1)	24 (-1)	16 (+1)
7	44 (-1)	36 (+1)	16 (+1)
8	56 (+1)	36 (+1)	16 (+1)
9	40 (-1,68)	30 (0)	10 (0)
10	60 (+1,68)	30 (0)	10 (0)
11	50 (0)	20 (-1,68)	10 (0)
12	50 (0)	40 (+1,68)	10 (0)
13	50 (0)	30 (0)	0 (-1,68)
14	50 (0)	30 (0)	20 (+1,68)
15	50 (0)	30 (0)	10 (0)
16	50 (0)	30 (0)	10 (0)
17	50 (0)	30 (0)	10 (0)

3.3.4.1 Avaliação das goiabas osmoticamente desidratadas

-Perda de Água, Perda de Peso e Ganho de Sólidos

A perda de água (PA), perda de peso (PP) e o ganho de sólidos (GS), resultantes do processo osmótico, foram calculados de acordo com as Equações 3.2 a 3.4.

$$PA(\%) = \frac{U_{bui} m_i - U_{buf} m_f}{m_i} \times 100 \quad (3.2)$$

$$PP(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (3.3)$$

$$GS(\%) = \frac{S_f m_f - S_i m_i}{m_i} \times 100 \quad (3.4)$$

Onde: m_i = massa inicial do produto, m_f = massa final (após processo osmótico) do produto, U_{bui} = teor de umidade (base úmida) inicial do produto, U_{buf} = teor de umidade (base úmida) final do produto, S_i = teor de sólidos inicial do produto, S_f = teor de sólidos final do produto.

As variações de peso foram obtidas pesando as amostras antes e depois do tratamento osmótico e os teores de umidade e de sólidos foram determinados.

-Determinação da Atividade de água

A determinação da atividade de água foi realizada diretamente, com a utilização do equipamento Aqualab, modelo Series 3TE (Decagon Devices Inc., Pullman, WA) à temperatura de 25°C.

-Determinação da Umidade

A determinação da umidade das amostras feita realizada em estufa de convecção forçada a temperatura de 60°C, por 48 horas (RANGANNA, 1977).

-Determinação da Cor

A cor das amostras frescas e processadas foi determinada em espectrofotômetro de bancada ScanVis, marca Hunter Lab (Riston, Virginia, EUA), utilizando-se as coordenadas da escala CIELab (L^* , a^* , b^*). Foi utilizado o módulo de calibração de Reflectância Especular Excluída (RSEX), com o iluminante D65 e um ângulo de observação de 10° . As medições de coloração foram expressas em termos da luminosidade L^* ($L^*=0$ preto e $L^*=100$ branco), e da cromaticidade definida por a^* ($+a^*$ =vermelho e $-a^*$ =verde) e b^* ($+b^*$ =amarelo e $-b^*$ =azul). Com os parâmetros L^* , a^* e b^* ,

foi calculada a diferença média de cor entre a fruta fresca e a processada através da Equação 3.5 e foram avaliadas as coordenadas cilíndricas C^* e H^* , onde C^* define o croma e H^* o tom (ou ângulo Hue), a partir das Equações 3.6 e 3.7. O índice zero representa o valor do parâmetro para a fruta fresca (CALVO e DURAN, 1997). Os parâmetros da cor foram determinados para a parte interna da fruta.

$$\Delta E^* = \sqrt{(a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2 + (L^* - L_0^*)^2} \quad (3.5)$$

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (3.6)$$

$$H^* = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (3.7)$$

-Determinação das Propriedades Mecânicas

A avaliação das propriedades de textura das frutas foi realizada por meio da avaliação de algumas propriedades mecânicas através de ensaios de compressão e de punção, com o auxílio do texturômetro Universal Testing, modelo TA-TX plus, marca Stable Micro Systems (Surrey, Inglaterra).

Nos ensaios de compressão uniaxial, foram determinadas a tensão e a deformação na ruptura das amostras, utilizando uma placa cilíndrica de acrílico de 60 mm

lubrificada com silicone, a uma velocidade de compressão de 1mm/s até atingir 70% de deformação da amostra. Os dados de força e altura fornecidos pelo equipamento foram convertidos em tensão (σ_H) e deformação (ε_H) de Hencky, de acordo com as equações 3.8 e 3.9.

$$\sigma_H = \frac{F(t)}{A(t)} \quad (3.8)$$

$$\varepsilon_H = - \ln \left(\frac{H(t)}{H_0} \right) \quad (3.9)$$

Onde: $F(t)$, $A(t)$ e $H(t)$ são a força (N), área (m²) e altura (m) da amostra em função do tempo $t(s)$, respectivamente, e H_0 é a altura inicial da amostra (m).

Os ensaios tiveram uma média de dez repetições e a tensão e a deformação na ruptura foram calculados pelo valor do pico da curva tensão-deformação. Os valores foram expressos em kPa.

Nos ensaios de punção, foi determinada a resistência das frutas à penetração, utilizando uma agulha cilíndrica de base plana e secção de 6mm de diâmetro, a uma velocidade de 2mm/s e uma profundidade de penetração de 6mm. A resistência à penetração foi dada pelo valor do pico da curva força-deformação (SILVA, 2005).

3.3.4.2 Otimização e validação das condições do processo de desidratação osmótica de goiabas.

A otimização simultânea das respostas obtidas foi realizada segundo a metodologia proposta por Derringer e Suich (1980). O método se baseia em converter cada variável resposta (y_i) em uma função de desejabilidade individual (d_i) com valores restritos ao intervalo [0,1], sendo o valor 0 atribuído a uma resposta indesejável e o valor 1 atribuído a uma resposta desejável. A natureza de cada função desejabilidade depende dos objetivos dos experimentos, podendo-se maximizar ou minimizar uma resposta e até mesmo atingir um valor alvo desejável (DERRINGER e SUICH, 1980).

Neste estudo objetivou-se maximizar as perdas de água e de peso, minimizar o ganho de sólidos, a atividade de água e a umidade e manter as características de cor e de textura das frutas. Uma vez que as funções desejabilidade individuais para os valores preditos de cada variável resposta foram especificadas, estas foram combinadas numa *desejabilidade global* (D) através da média geométrica das n desejabilidades individuais (Equação 3.10) a qual foi maximizada (valores de D próximos a 1) o que reduz a otimização simultânea a um único valor ótimo.

$$D=(d_1 \times d_2 \times d_3 \dots \times d_n)^{1/n} \quad (3.10)$$

Quando o que interessa é atingir um valor alvo ótimo máximo de uma resposta, a desejabilidade individual é utilizada como a função descrita na Equação 3.11, onde (y_i) é a variável resposta avaliada, A_i é o valor alvo (máximo) e LI_i e LS_i são os limites inferior e superior dentro da faixa de aceitação. O expoente r é um parâmetro da função que atribui diferentes desejabilidades aos diversos níveis da resposta. No programa Statistica esse expoente aparece na forma de dois outros expoentes, s e t , que apresentam a mesma função que o r e são especificados para obter o melhor conjunto de condições otimizadas.

$$d_i = \begin{cases} 0 & y_i < LI_i \\ \left(\frac{y_i - LI_i}{A_i - LI_i} \right)^r & LI_i \leq y_i \leq A_i \\ 1 & y_i > A_i \end{cases} \quad (3.11)$$

Quando a resposta deve ser minimizada, o valor alvo para a resposta y_i é um mínimo, a desejabilidade é dada pela equação 3.12.

$$d_i = \begin{cases} 1 & y_i < A_i \\ \left(\frac{y_i - LS_i}{A_i - LS_i} \right)^r & A_i \leq y_i \leq LS_i \\ 0 & y_i > LS_i \end{cases} \quad (3.12)$$

Assim, com o auxílio da função desejabilidade foi obtido o conjunto das condições otimizadas do processo de desidratação osmótica das fatias de goiaba. Para realizar a validação das condições do processo preditas, foram realizados experimentos

utilizando a condição estabelecida pela otimização e comparados os valores preditos pelos modelos aos valores obtidos experimentalmente.

3.3.5 Estudo do efeito do pulso de vácuo e do uso de sais de cálcio na desidratação osmótica de goiabas

Na segunda etapa deste trabalho, as condições ótimas de temperatura, concentração de sacarose e tempo de aplicação de pulso de vácuo obtidas no planejamento experimental foram aplicadas a novos tratamentos, com a intenção de avaliar a influência da adição de lactato de cálcio e no

vamente da aplicação do pulso de vácuo no processo otimizado de desidratação osmótica de goiabas. Todos os tratamentos tiveram duração total de 3 h de processo osmótico. Abaixo, estão apresentados os diferentes tratamentos osmóticos que foram estudados:

Tratamento 1 – Desidratação osmótica sob pressão atmosférica.

Este tratamento foi realizado utilizando-se a condição ótima de temperatura e concentração de sacarose obtida no planejamento experimental, sendo o processamento realizado a pressão atmosférica.

Tratamento 2 – Desidratação osmótica sob pressão atmosférica com adição de 0,6% de lactato de cálcio.

Este tratamento foi realizado utilizando-se as mesmas condições de processo do tratamento anterior (Tratamento 1), sendo adicionado às soluções desidratantes 0,6% de lactato de cálcio.

Tratamento 3 – Desidratação osmótica sob pressão atmosférica com adição de 1,2% de lactato de cálcio.

Este tratamento foi realizado utilizando-se as mesmas condições de processo do Tratamento 1, sendo adicionado às soluções desidratantes 1,2% de lactato de cálcio.

Tratamento 4 – Desidratação osmótica com aplicação de pulso de vácuo

Este tratamento foi realizado com uma aplicação de um pulso de vácuo à pressão de 100 mbar durante o tempo determinado no planejamento experimental como condição ótima, no início do processo osmótico (ITO, 2007), e foi realizado nas mesmas condições de concentração e temperatura da solução desidratante do processo de desidratação osmótica sob pressão atmosférica (Tratamento 1).

Tratamento 5 – Desidratação osmótica a vácuo com adição de 0,6% de lactato de cálcio

Este tratamento foi realizado sobre as mesmas condições do processo osmótico do tratamento anterior (Tratamento 4), sendo adicionado às soluções desidratantes 0,6% de lactato de cálcio.

Tratamento 6 – Desidratação osmótica a vácuo com adição de 1,2% de lactato de cálcio

Este tratamento foi realizado sobre as mesmas condições do processo osmótico do Tratamento 4, sendo adicionado às soluções desidratantes 1,2% de lactato de cálcio.

As amostras foram preparadas e desidratadas osmoticamente de acordo com os itens 3.3.2 e 3.3.3. As frutas submetidas aos diferentes tratamentos osmóticos, foram avaliadas em relação às propriedades mecânicas e a cor segundo item 3.3.4.1, análise microestrutural, por meio de microscopia ótica, e aceitação sensorial. O processo osmótico ainda foi avaliado pela perda de peso (PP), perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS), atividade de água (a_w) e teor de umidade como descrito no item 3.3.4.1 além de serem determinados os teores de cálcio e de carotenóides das frutas frescas e osmodesidratadas. As determinações para a PP (%), PA (%), GS (%), a_w , umidade e para os parâmetros das propriedades mecânicas, foram realizadas em quintuplicatas, para cada amostra, sendo o resultado final expresso pela média das repetições e seu desvio padrão.

-Determinação do teor de cálcio

A quantificação do teor de cálcio das amostras foi determinada em triplicata, utilizando um espectrofotômetro de emissão atômica com fonte de plasma indutivamente acoplada, modelo ICP 2000 (BAIRD, Massachusetts, EUA) (AOAC, 2005).

-Determinação do Teor de Carotenóides

A determinação do teor de carotenóides totais foi feita com base no teor de licopeno, que é o pigmento majoritário da goiaba. A análise foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Rodriguez-Amaya (1999), baseada na extração dos carotenóides com acetona, seguida por separação em éter de petróleo, diluição em balão volumétrico e posterior leitura em espectrofotômetro. A quantificação dos carotenóides foi feita de acordo com a Lei de Beer, utilizando o espectro de absorção registrado no comprimento de onda de 470 nm, como descrito pela Equação 3.13:

$$\text{Carotenóides } (\mu\text{g/g}) = \frac{\text{Abs} \cdot V \cdot 10^6}{A_{1\text{cm}}^{1\%} \cdot m \cdot 100} \quad (3.13)$$

Onde: V = volume da diluição (ml); Abs = máxima absorbância medida; $A_{1\text{cm}}^{1\%}$ = Absortividade para o carotenóide predominante em éter de petróleo (no caso do licopeno, 3450) e m = massa da amostra (g).

Para avaliar o percentual de retenção dos carotenóides nas amostras foi utilizada a Equação (3.14) recomendada por Murphy et al. (1975) para calcular a retenção de nutrientes em alimentos processados que apresentam variações no peso.

$$\% \text{ Retenção} = \frac{(\mu\text{g carotenóides final/g}) \cdot (\text{massa final da goiaba})}{(\mu\text{g carotenóides inicial/g}) \cdot (\text{massa inicial da goiaba})} * 100 \quad (3.14)$$

-Microscopia Ótica

A avaliação estrutural através da técnica de microscopia ótica, foi realizada para as amostras frescas e osmoticamente desidratadas. Amostras medindo aproximadamente 5x3x3mm foram retiradas da porção média do mesocarpo das fatias de goiaba com o

auxílio de lâmina de aço disponível comercialmente (Figura 3.5). A seguir, as amostras foram fixadas em solução contendo 4% (v/v) de glutaraldeído, 0,2M de fosfato de potássio bibásico anidro, 0,1M de ácido cítrico monohidratado e 4% (p/v) de sacarose. Após esse procedimento, realizou-se a desidratação em série alcoólica-etílica até álcool 100%, utilizando soluções alcoólicas a 10, 30 e 50% com adição de 4% de sacarose (com o intuito de se evitar a plasmólise celular) e soluções alcoólicas a 70 e 100% sem adição do açúcar.

As amostras desidratadas (série alcoólica-etílica) foram infiltradas em resina hidroxil metacrilato (HistoResin, Leica Microsystems-Jung, Heidelberg, Alemanha), seccionadas a 10 μ m de espessura, utilizando micrótomo rotativo (RM2245 Microtome, Leica Microsystems, Heidelberg, Alemanha), montadas em lâminas e coradas com azul de toluidina a 0,05% em tampão citrato (pH 4,5). Finalmente, as amostras foram observadas ao microscópio óptico Olympus modelo BX51 (Olympus Optical CO., Tokyo, Japão), de acordo com a seqüência experimental descrita por Pereira (2006).

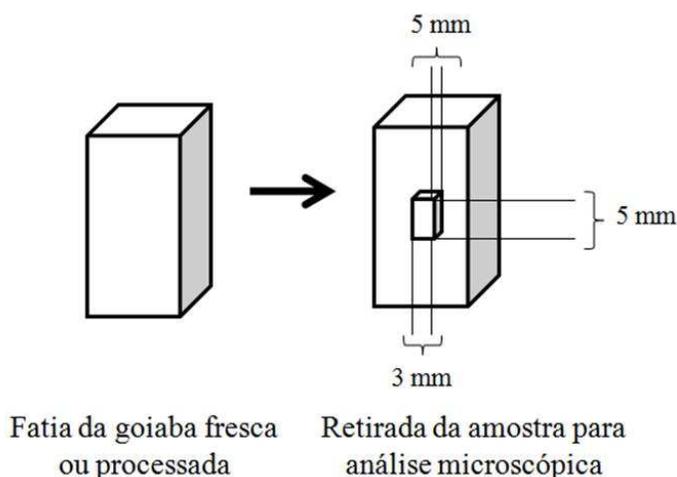


Figura 3.5: Esquema de retirada da amostra para análise de microscopia ótica.

-Análise de Imagem

A partir das microfotografias do tecido celular das goiabas, obtidas nos ensaios de microscopia ótica, foi realizada a análise das imagens com o auxílio do software Image-Pro Plus version 6.2 (Media Cybernetics, Inc., Maryland, USA) para quantificar as

alterações estruturais decorrentes do processo osmótico. As células foram contornadas manualmente, obtendo-se os valores das áreas delimitadas pela membrana plasmática que corresponde à área ocupada pelo citoplasma da célula (área interna) e pela parede celular que corresponde à área total da célula (área externa). Com esses dados foi calculada a relação $\text{Área}_{\text{interna}}/\text{Área}_{\text{externa}}$ e estimado o encolhimento do citoplasma do tecido celular causado pelo processo osmótico, denominado como grau de plasmólise das células. Essas regiões podem ser observadas na Figura 3.6. Foram avaliadas cerca de trinta células do tecido das goiabas submetidas a cada tratamento osmótico e da fruta fresca.

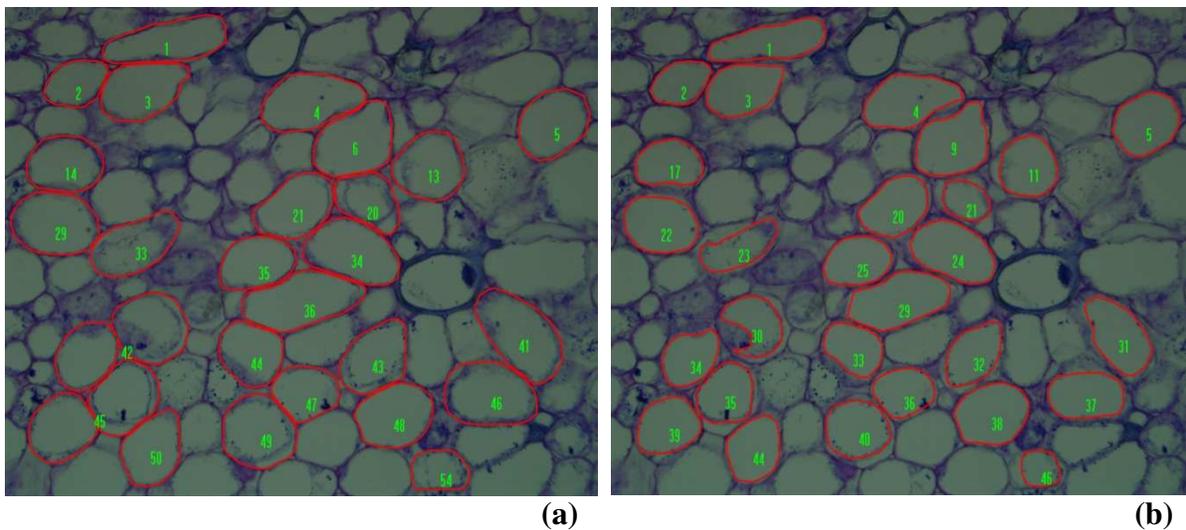


Figura 3.6: Microfotografias do tecido celular mostrando as áreas consideradas para determinar o grau de plasmólise das células. (a) área delimitada pela parede celular que corresponde à área total da célula e (b) área delimitada pelo plasmalema que corresponde à área ocupada pelo citoplasma da célula.

-Aceitação Sensorial

Amostras frescas e desidratadas osmoticamente foram submetidos a uma análise sensorial de aceitação, utilizando-se escala hedônica não estruturada de 9cm, ancorada nos extremos pelos termos “Desgostei muitíssimo” à esquerda e “Gostei muitíssimo” à direita, sendo avaliadas em relação à cor, aroma, sabor, textura e impressão global por 50 provadores não treinados, consumidores de goiaba (Apêndice A). A intenção

de compra do consumidor também foi avaliada. Os testes sensoriais foram realizados em cabines individuais padronizadas. As amostras foram avaliadas de forma monádica seqüencial, segundo um delineamento de blocos completos casualizados e apresentadas em pratos brancos com códigos de três dígitos aleatórios (MEILGAARD, CIVILLE e CARR, 1999).

A análise sensorial realizada está dentro das normas estabelecidas pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências Médicas da UNICAMP, conforme o parecer apresentado no Anexo A.

3.3.6 Métodos analíticos

As análises de sólidos solúveis, proteínas, cinzas, lipídios, açúcares redutores e totais e pH, assim como as medidas de comprimento, diâmetro e espessura da fruta foram realizadas somente para caracterização da matéria-prima, em triplicata.

3.3.6.1 Determinação de sólidos solúveis

Foi realizada por medida direta em refratômetro de bancada marca Zeiss, West Germany.

3.3.6.2 Determinação de proteínas

Determinada pelo Método de Kjeldahl, para Proteína em Produtos de Frutas, segundo método oficial da AOAC (2002) nº 960.52.

3.3.6.3 Determinação de cinzas

Determinada pelo método de Cinzas de Frutas e Produtos de Frutas, segundo método oficial da AOAC (2002) nº 940.26.

3.3.6.4 Determinação de lipídeos

Determinada pelo método de Bligh e Dyer (extração a frio), segundo metodologia descrita em CECCHI (2003).

3.3.6.5 Determinação de açúcares redutores e totais

Determinação segundo o Método Geral de Munson-Walker: Açúcares Invertidos em Açúcares e Xaropes, segundo método oficial da AOAC (2002) nº 906.03.

3.3.6.6 Determinação do potencial hidrogeniônico (pH)

O pH da goiaba foi determinado por processo eletrométrico, utilizando-se o pHmetro Tecnalise, modelo pH300.

3.3.6.7 Determinação do peso, comprimento, diâmetro e espessura

A determinação do comprimento, diâmetro e espessura das frutas foi realizada com o auxílio de um paquímetro digital da marca Mitutoyo IP 65, Japão. O comprimento correspondeu à medida longitudinal da fruta, o diâmetro, ao valor medido na porção mais larga da goiaba e a espessura, a medida do pericarpo das frutas. O peso da fruta inteira foi obtido.

3.3.6.8 Determinação da acidez titulável

A acidez titulável da fruta foi expressa em termos de g de ácido cítrico / 100 g do produto, segundo método oficial da AOAC (2002) nº 942.15B.

3.4 Análise Estatística

Os resultados obtidos durante os experimentos foram avaliados estatisticamente através da Análise da Variância (ANOVA), aplicando o teste de Tukey ao nível de 5% de significância, com o auxílio do programa STATISTICA[®] 8.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização da matéria-prima

A composição química centesimal e a caracterização física da goiaba (*Psidium guajava* L.) da variedade “Chinesa” utilizada neste estudo são apresentadas nas Tabelas 4.1 e 4.2, respectivamente. Os dados apresentados correspondem a uma média mínima de três repetições.

Tabela 4.1: Composição química centesimal da goiaba *in natura* variedade Chinesa.

Determinações	Valores médios(%)
Umidade (base úmida)	87,24 ± 0,75
Proteínas	0,77 ± 0,11
Lipídeos	0,33 ± 0,03
Cinzas	0,55 ± 0,02
Açúcares totais	5,00 ± 0,89
*Fibras	5,7 ± 1,83
Acidez Total (g ácido cítrico/100g)	0,41 ± 0,03

*Valor determinado por diferença

Tabela 4.2: Caracterização física da goiaba *in natura* variedade Chinesa.

Determinações	Valores médios
Massa (g)	390,75 ± 53,30
Comprimento (mm)	100,10 ± 3,65
Diâmetro (mm)	85,49 ± 2,75
Espessura do pericarpo(mm)	12,63 ± 1,55
pH	3,42 ± 0,03
Sólidos Solúveis (°Brix)	9,00 ± 0,25
Atividade de água	0,989 ± 0,002

Os resultados obtidos para a composição química são semelhantes aos apresentados pela Tabela de Composição Química de Alimentos (TACO, 2006) e pelo Banco de Dados de Nutrientes da USDA (USDA, 2009), cujos dados foram apresentados

na Tabela 2.1, com algumas variações. A composição química dos produtos vegetais é influenciada pelo estágio de maturação, clima, local de plantio das goiabas e também pelas diferentes variedades utilizadas para as determinações analíticas, o que pode explicar as variações encontradas entre as tabelas e em relação à goiaba analisada neste estudo.

4.2. Otimização do processo de desidratação osmótica de fatias de goiabas

O estudo da desidratação osmótica de fatias de goiaba foi realizado de acordo com um Delineamento Composto Central Rotacional 2^3 (DCCR) composto por 17 ensaios, tendo como variáveis independentes a concentração de sacarose (40 a 60°Brix), a temperatura de processo (20 a 40°C) e o tempo de aplicação de pulso de vácuo (0 a 20 min). Este planejamento teve como objetivo obter as melhores condições do processo de desidratação osmótica avaliando o efeito das variáveis de processo nos parâmetros de transferência de massa e nas características de qualidade das goiabas, que foram: perda de água, perda de peso, ganho de sólidos, atividade de água, umidade, cor e propriedades de textura (tensão e deformação na ruptura e força máxima de penetração) da fruta.

A análise estatística dos resultados do planejamento foi realizada levando-se em consideração os coeficientes de regressão lineares, quadráticos e de interações das variáveis independentes sobre as respostas estudadas, assim como o erro padrão e erro puro (Apêndice B), o valor da estatística t e a significância estatística (p-valor).

Os coeficientes de regressão estimados indicam o quanto cada fator influencia na resposta avaliada, ou seja, quanto maior é o seu valor, maior é a sua influência positiva ou negativa. Os coeficientes positivos estão relacionados ao aumento das respostas, quando o valor da variável passa de um nível mínimo a um nível máximo, sendo a relação contrária estabelecida para o coeficiente negativo, ou seja, ao passar de um nível mínimo para um máximo a resposta diminui. O valor de t indica o quanto grande é a variável em relação ao seu desvio. Assim, quanto maior o valor de t, maior a probabilidade da variável ser estatisticamente significativa. Foram utilizados os níveis de confiança de 95 e 90% para todas as variáveis, com a finalidade de não desconsiderar fatores com valores de p-valor

entre 0,05 e 0,10 de significância, devido à grande variabilidade inerente aos processos que envolvem frutas.

Os modelos matemáticos foram construídos para as respostas que apresentaram melhor ajuste dos resultados experimentais ao modelo de segunda ordem descrito anteriormente na Equação 3.1, levando em conta apenas os fatores estatisticamente significativos e tendo como critérios da análise a distribuição de Fisher (Teste F) e a porcentagem de variação explicada pelo modelo (R^2) na análise de variância (ANOVA).

4.2.1 Resultados do Planejamento Experimental 2³ (DCCR)

4.2.1.1 Perda de Água, Perda de Peso e Ganho de sólidos

Os resultados obtidos conforme o delineamento experimental para a perda de água (PA), perda de peso (PP) e ganho de sólidos (GS) são apresentados na Tabela 4.3. Houve um incremento significativo da perda de peso de 11,27 para 23,79% (ensaios 9 e 8), da perda de água de 17,48 para 28,23% (ensaios 9 e 10) e do ganho de sólidos de 3,38 para 6,96% (ensaios 8 e 3). O desvio padrão da triplicata de cada análise não foi superior a 1,5%.

A análise estatística dos resultados experimentais possibilitou o cálculo dos coeficientes de regressão dos fatores estudados (concentração de sacarose, temperatura e tempo de aplicação do pulso de vácuo) e suas interações sobre as respostas perda de água, perda de peso e ganho de sólidos os quais são apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.3: Resultados da perda de peso (PP), perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS) de acordo com a matriz do DCCR.

Ensaio	Variáveis do Processo			Respostas		
	Conc. (°Brix)	T (°C)	t (min)	PP (%)	PA (%)	GS (%)
1	44	24	4	17,46	22,39	4,92
2	56	24	4	19,38	23,57	4,20
3	44	36	4	13,14	20,10	6,96
4	56	36	4	22,24	27,27	5,02
5	44	24	16	14,08	19,33	5,26
6	56	24	16	18,75	23,17	4,42
7	44	36	16	15,91	22,58	6,66
8	56	36	16	23,79	27,17	3,38
9	40	30	10	11,27	17,48	6,20
10	60	30	10	22,20	28,23	6,03
11	50	20	10	19,09	23,25	4,16
12	50	40	10	17,68	23,09	5,41
13	50	30	0	18,54	25,06	6,52
14	50	30	20	19,36	25,60	6,25
15	50	30	10	21,15	26,77	5,62
16	50	30	10	22,44	26,86	4,42
17	50	30	10	21,75	27,00	5,25

Tabela 4.4: Coeficientes de regressão dos fatores estudados sobre as respostas perda de peso, perda de água e ganho de sólidos.

Resposta	Fatores	Coef. Reg.	Erro padrão	t(7)	p-valor
Perda de Água	Média Global	26,90*	0,77	34,96	0,0000
	(1) Conc. de sacarose (L)	2,55*	0,36	7,07	0,0002
	Conc. de sacarose (Q)	-1,51*	0,40	-3,80	0,0067
	(2)Temperatura(L)	0,61***	0,36	1,70	0,1334
	Temperatura(Q)	-1,40*	0,40	-3,52	0,0098
	(3)Tempo de vácuo(L)	-0,01	0,36	-0,03	0,9742
	Tempo de vácuo (Q)	-0,64***	0,40	-1,60	0,1541
	Conc.(L) x Temper.(L)	0,84***	0,47	1,78	0,1177
	Conc.(L) x tempo (L)	0,01	0,47	0,02	0,9842
Temper. (L) x tempo (L)	0,73***	0,47	1,55	0,1662	
Perda de Peso	Média Global	21,76*	0,60	36,43	0,0000
	(1) Conc. de sacarose (L)	3,07*	0,28	10,95	0,0000
	Conc. de sacarose (Q)	-1,72*	0,31	-5,56	0,0009
	(2)Temperatura(L)	0,22	0,28	0,80	0,4511
	Temperatura(Q)	-1,13*	0,31	-3,67	0,0080
	(3)Tempo de vácuo(L)	0,12	0,28	0,44	0,6746
	Tempo de vácuo (Q)	-0,93*	0,31	-3,03	0,0192
	Conc.(L) x Temper.(L)	1,30*	0,37	3,55	0,0094
	Conc.(L) x tempo (L)	0,19	0,37	0,52	0,6177
Temper. (L) x tempo (L)	1,04*	0,37	2,84	0,0250	
Ganho de Sólidos	Média Global	5,14*	0,47	10,96	0,0000
	(1) Conc. de sacarose (L)	-0,52*	0,22	-2,35	0,0510
	Conc. de sacarose (Q)	0,21	0,24	0,85	0,4248
	(2)Temperatura(L)	0,39	0,22	1,77	0,1204
	Temperatura(Q)	-0,27	0,24	-1,09	0,3102
	(3)Tempo de vácuo(L)	-0,13	0,22	-0,61	0,5597
	Tempo de vácuo (Q)	0,30	0,24	1,24	0,2566
	Conc.(L) x Temper.(L)	-0,46	0,29	-1,59	0,1560
	Conc.(L) x tempo (L)	-0,18	0,29	-0,63	0,5482
Temper. (L) x tempo (L)	-0,31	0,29	-1,08	0,3143	

Valores estatisticamente significativos: *p<0,05; **p<0,10; ***considerado significativo.

Os fatores temperatura linear, tempo de aplicação do pulso de vácuo quadrático e as interações entre a concentração x temperatura e a temperatura x tempo de aplicação do pulso de vácuo da resposta perda de água, não foram consideradas significativas pelo cálculo do erro padrão (Tabela 4.4), no qual são incluídos todos os ensaios; no entanto, foram significativos pelo cálculo do erro puro (Apêndice B), que evidencia a boa reprodutibilidade dos experimentos em virtude dos baixos valores de erro encontrados. Como os valores da significância estatística p calculados pelo primeiro método variaram de 0,1177 a 0,1662, estes fatores foram considerados relevantes e não foram eliminados do modelo.

Após a identificação dos coeficientes de regressão estatisticamente significativos, foi determinada a validade dos modelos e o seu ajuste aos dados experimentais através da análise de variância (ANOVA), baseado no Teste F e na porcentagem de variação explicada (R^2). Estes resultados estão apresentados na Tabela 4.5.

Verificou-se que os modelos das respostas perda de água e perda de peso apresentaram coeficientes de determinação (R^2) iguais a 0,92 e 0,95, respectivamente, indicando que os modelos explicam 92 e 95% da variação dos dados observados. Os valores de $F_{\text{calculado}}$ foram superiores ao F_{tabelado} , implicando que para cada variável, o modelo obtido foi significativo e válido para descrever os dados experimentais, sendo possível gerar as superfícies de resposta e respectivas curvas de contorno. A análise de variância realizada para o ganho de sólidos apresentou um valor do $F_{\text{calculado}}$ inferior ao F_{tabelado} e o coeficiente de determinação igual a 0,23, explicando apenas 23% da variação dos dados, indicando assim o baixo grau de ajuste do modelo aos dados experimentais. Por essas razões, o modelo não foi considerado preditivo para a descrição dos dados desta resposta dentro das faixas estudadas e com isso, não foi possível construir superfícies de respostas para essa variável. No entanto, a análise dos coeficientes de regressão (Tabela 4.4) pode ser realizada, os quais sugerem a tendência dos fatores estudados sobre essa resposta do planejamento.

As superfícies de resposta e as curvas de contorno para a perda de água e de peso, geradas através dos modelos obtidos estão apresentadas nas Figuras 4.1 e 4.2, as quais expressam a interação entre duas variáveis sobre a resposta estudada. A terceira variável do planejamento foi fixada no seu ponto central.

Tabela 4.5: Análise de variância para as respostas perda de água, perda de peso e ganho de sólidos.

Resposta	Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus Liberdade	Média Quadrática	F_{calculado}	F_{tabelado*}
Perda de Água	Regressão	141,04	7	20,15	14,53	2,46
	Resíduos	12,48	9	1,39		
	Falta de Ajuste	12,46	7			
	Erro puro	0,03	2			R ² =0,92
	Total	153,52	16			
Modelo: $PA = 26,90 + 2,55.C - 1,51.C^2 + 0,62.T1 - 1,39.T^2 - 0,63.t^2 + 0,84.C.T + 0,73.T.t$						
Perda de Peso	Regressão	190,13	6	31,69	36,40	2,51
	Resíduos	8,71	10	0,87		
	Falta de Ajuste	7,88	8	0,98		
	Erro puro	0,83	2	0,41		R ² =0,95
	Total	198,84	16			
Modelo: $PP = 21,76 + 3,07.C - 1,72.C^2 - 1,13.T^2 - 0,93t^2 + 1,30.C.T + 1,04.T.t$						
Ganho de sólidos	Regressão	3,67	1	3,67	4,31	3,07
	Resíduos	12,75	15	0,85		
	Falta de Ajuste	12,00	13			
	Erro puro	0,75	2			R ² =0,23
	Total	16,42	16			

*Teste F tabelado a 10% de significância.

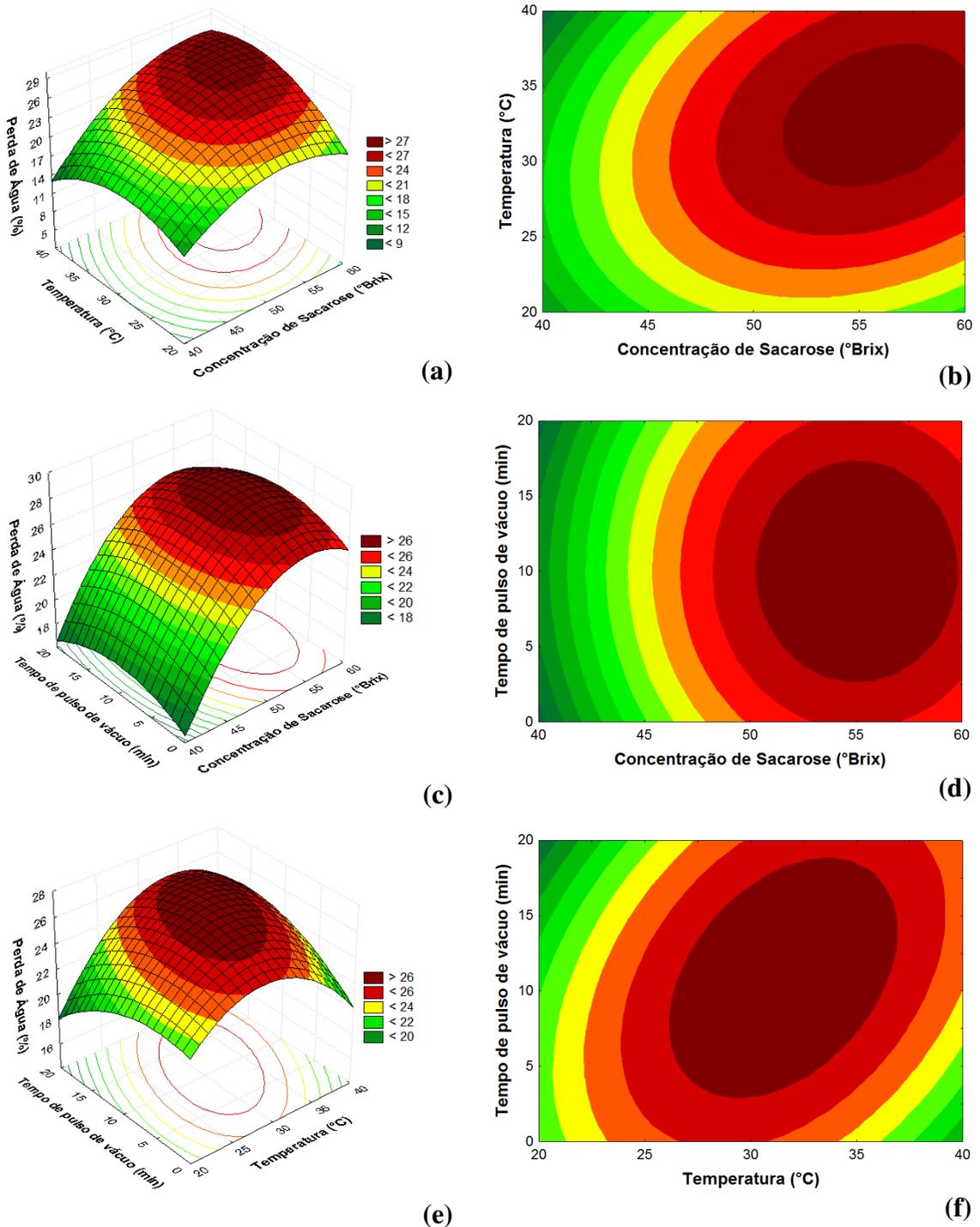


Figura 4.1: Superfícies de contorno e curvas de contorno para a perda de água (%) em função da temperatura e concentração da solução (a) e (b), do tempo de aplicação de pulso de vácuo e concentração da solução (c) e (d) e do tempo de aplicação de pulso de vácuo e da temperatura (e) e (f).

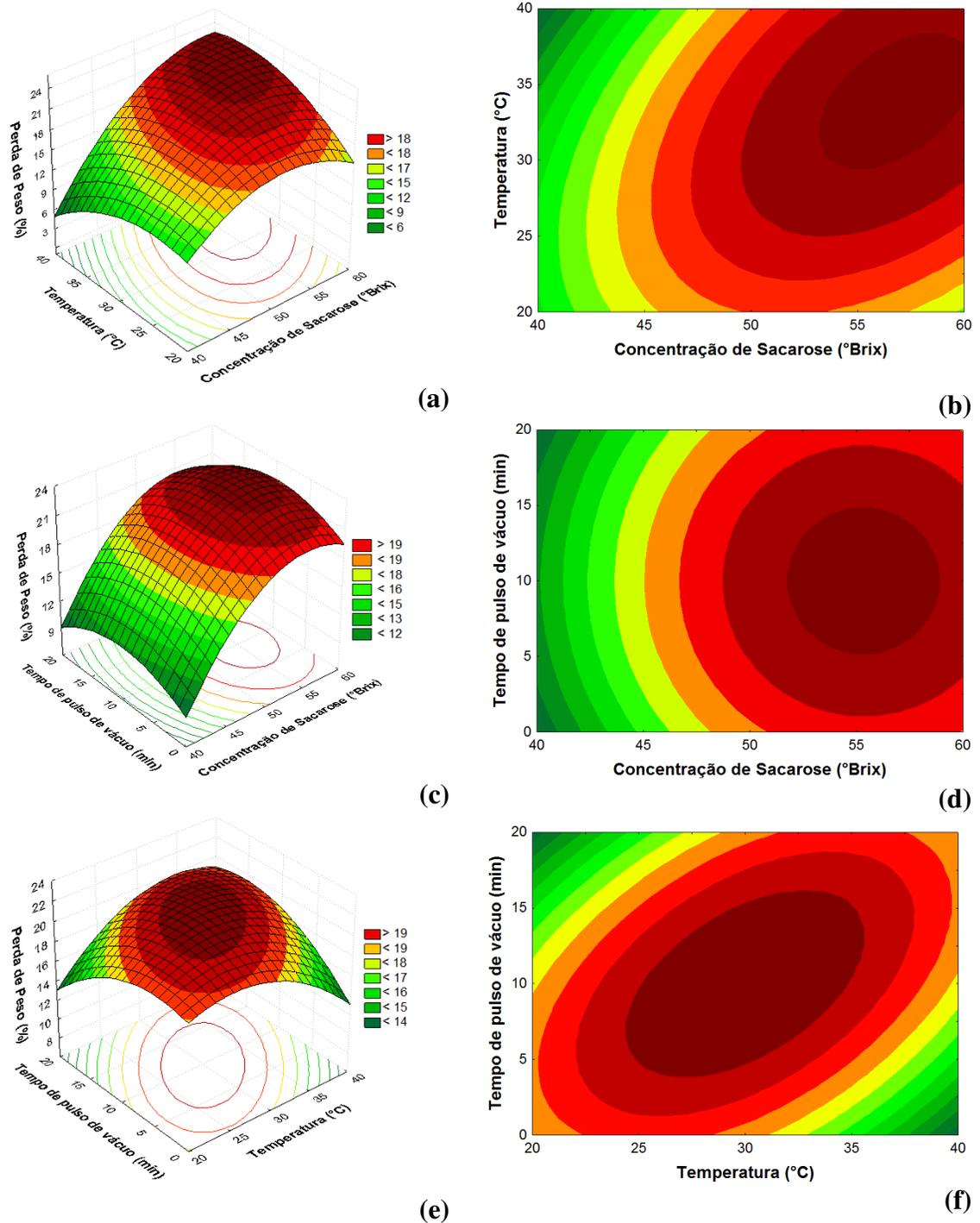


Figura 4.2: Superfícies de contorno e curvas para a perda de peso (%) em função da temperatura e concentração da solução (a) e (b), do tempo de aplicação de pulso de vácuo e concentração da solução (c) e (d) e do tempo de aplicação de pulso de vácuo e da temperatura (e) e (f).

Ao analisar as Figuras 4.1.a e 4.1.b, observa-se que os valores de perda de água aumentam com o aumento da concentração de sacarose e com o aumento da temperatura, até alcançar uma região intermediária da faixa estudada. Este comportamento pode ser atribuído ao alto gradiente osmótico gerado entre a fruta e a solução hipertônica de sacarose, ocasionando maiores perdas de água do produto e, conseqüentemente, maiores perdas de peso como pode ser observado nas Figuras 4.2.a e 4.2.b. Como conseqüência do aumento da temperatura, uma expansão e plasticização das membranas celulares pode ter ocorrido, tornando-as mais permeáveis à difusão da água e assim provocando as maiores perdas de água e de peso (LAZARIDES, KATSANIDIS e NICKOLAIDIS, 1995; UDDIN, AINSWORTH, e IBANOGLU, 2004). A elevação da temperatura também ocasiona a diminuição da viscosidade do meio osmótico, diminuindo assim a resistência externa ao transporte de massa nas fatias de goiaba. Resultados semelhantes foram observados por Talens et al. (2001), Corzo e Gomes (2004), Mastrantonio, Pereira e Hubinger (2005), Ito (2007), e por Lombard et al. (2008) nos seus trabalhos de desidratação osmótica de fatias de kiwi, melão, goiaba, manga e de abacaxi, respectivamente.

As figuras 4.1.c, 4.1.d, 4.2.c e 4.2.d mostram a influência do tempo de aplicação do pulso de vácuo na perda de água e perda de peso, onde se observa o aumento dessas respostas com o aumento do tempo de aplicação do vácuo, associado ao aumento da concentração osmótica. A influência dessa variável pode ser atribuída à ação do mecanismo hidrodinâmico promovido pelas mudanças de pressão no início do processo osmótico. Fito (1994) verificou que a redução da pressão causada pela aplicação do pulso de vácuo no início do processo promove a expansão e o escape do gás ocluso nos poros dos tecidos vegetais, os quais são preenchidos pela solução osmótica quando a pressão atmosférica é restaurada, o que sugere o aumento da área de contato entre a fruta e a solução e em conseqüência favorece a transferência de massa.

Comportamento similar foi observado por Corrêa et al. (2010), quando avaliaram o efeito da concentração osmótica (40 a 60°Brix) e da aplicação de pulso de vácuo (0 a 15 min) sobre a cinética de perda de água e de peso de fatias de goiaba. Os autores também verificaram maiores perdas de água e de peso quando as frutas foram

tratadas com soluções de sacarose mais concentradas e aplicados maiores tempos de pulso de vácuo no início do processo.

A influência positiva do tempo de aplicação de pulso de vácuo na perda de água e de peso pode ser também observada nas Figuras 4.1.e, 4.1.f, 4.2.e e 4.2.f, quando esta variável está relacionada com o aumento da temperatura do processo. Este fato está relacionado ao efeito combinado do mecanismo hidrodinâmico com a menor resistência à transferência de massa, causada possivelmente pela maior permeabilidade das membranas celulares e também pela diminuição da viscosidade da solução como consequência da elevação da temperatura.

A análise estatística para o ganho de sólido não pode ser realizada através de superfícies de resposta, em virtude da não adequação do modelo a esta resposta, como visto anteriormente. Verificou-se que apenas o termo linear da concentração de sacarose foi estatisticamente significativo para o ganho de sólidos (Tabela 4.4). Os demais coeficientes não foram estatisticamente significativos, sendo que seus erros padrões foram próximos ou superiores aos próprios coeficientes do modelo. Ainda visualizando a Tabela 4.4 nota-se a influência negativa da concentração de sacarose sobre o ganho de sólidos nas fatias de goiaba, indicando que o uso de soluções mais concentradas de sacarose causam a diminuição da entrada de sólidos na fruta. Este comportamento deve estar relacionado à formação de uma camada de solutos na superfície da goiaba osmoticamente desidratada, que serve de barreira a penetração de sólidos. As soluções osmóticas mais concentradas apresentam maior viscosidade e impõem uma maior resistência a transferência de massa. Comportamentos similares foram observados por Barat, Chiral e Fito (2001), Ferrari (2005), Madamba e Lopez (2002) e Corrêa et al. (2010) em seus trabalhos com maçã, melão, manga e goiaba, respectivamente.

O ganho de sólidos não foi afetado pela variação da temperatura e nem pela aplicação do pulso de vácuo. Shi, Fito e Chiralt (1995) relataram que tratamentos osmóticos realizados com aplicação de vácuo são efetivos na perda de água, porém essa influência no ganho de sólidos só é observada em frutas altamente porosas. De acordo com os autores, o

ganho de sólidos está intrinsecamente relacionado às características microestruturais do tecido celular, como a porosidade.

4.2.1.2 Atividade de Água e Umidade

Os valores de atividade de água (a_w) e de umidade obtidos através do planejamento experimental são apresentados na Tabela 4.6. Os dados obtidos foram normalizados, ou seja, foram relacionados com os valores da atividade de água e umidade da fruta fresca de cada lote utilizada ao longo do planejamento, a fim de desconsiderar a influência do grau de maturação da fruta. Os resultados da análise estatística aplicado aos dados experimentais da a_w e da umidade das fatias de goiaba osmoticamente desidratadas possibilitou o cálculo dos coeficientes de regressão e da análise de variância (ANOVA) utilizando um intervalo de confiança de 95 e 90% para todas as variáveis que estão apresentadas nas Tabela 4.7 e 4.8. O desvio padrão da triplicata de cada análise não foi superior a 1,5%.

Tabela 4.6: Atividade de água (a_w) e umidade normalizados das fatias de goiaba obtidas através do planejamento experimental.

Ensaio	Variáveis do Processo			Respostas	
	Conc. (°Brix)	T (°C)	t (min)	a_w	Umidade
1	44	24	4	0,986	0,90
2	56	24	4	0,982	0,91
3	44	36	4	0,987	0,89
4	56	36	4	0,992	0,89
5	44	24	16	0,990	0,91
6	56	24	16	0,976	0,91
7	44	36	16	0,992	0,88
8	56	36	16	0,990	0,91
9	40	30	10	0,989	0,90
10	60	30	10	0,984	0,87
11	50	20	10	0,987	0,91
12	50	40	10	0,992	0,90
13	50	30	0	0,987	0,88
14	50	30	20	0,984	0,88
15	50	30	10	0,991	0,89
16	50	30	10	0,989	0,89
17	50	30	10	0,988	0,89

Tabela 4.7: Coeficientes de regressão dos fatores estudados sobre as respostas atividade de água e umidade.

Resposta	Fatores	Coef. Reg.	Erro padrão	t(7)	p-valor
a_w	Média Global	0,989*	0,0011	933,54	0,0000
	(1) Conc. de sacarose (L)	-0,002*	0,0005	-3,28	0,0134
	Conc. de sacarose (Q)	-0,001	0,0005	-1,70	0,1339
	(2)Temperatura(L)	0,003*	0,0005	5,45	0,0010
	Temperatura(Q)	0,000	0,0005	-0,09	0,9345
	(3)Tempo de vácuo(L)	0,000	0,0005	-0,54	0,6092
	Tempo de vácuo (Q)	-0,001*	0,0005	-2,65	0,0329
	Conc.(L) x Temper.(L)	0,003*	0,0007	4,09	0,0046
	Conc.(L) x tempo (L)	-0,002*	0,0007	-3,41	0,0113
	Temper. (L) x tempo (L)	0,001	0,0007	0,88	0,4098
Umidade	Média Global	0,889*	0,0065	136,92	0,0000
	(1) Conc. de sacarose (L)	-0,002	0,0030	-0,63	0,5470
	Conc. de sacarose (Q)	0,001	0,0034	0,23	0,8223
	(2)Temperatura(L)	-0,006**	0,0030	-1,96	0,0909
	Temperatura(Q)	0,006***	0,0034	1,77	0,1208
	(3)Tempo de vácuo(L)	0,002	0,0030	0,50	0,6298
	Tempo de vácuo (Q)	-0,001	0,0034	-0,31	0,7631
	Conc.(L) x Temper.(L)	0,002	0,0040	0,58	0,5801
	Conc.(L) x tempo (L)	0,002	0,0040	0,55	0,6018
	Temper. (L) x tempo (L)	0,001	0,0040	0,36	0,7292

Valores estatisticamente significativos: *p<0,05; **p<0,10; ***considerado significativo.

Verificou-se pela ANOVA (Tabela 4.8) que o modelo obtido para a a_w apresentou coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,87, indicando que o modelo explicou 87% da variação dos dados observados, e $F_{\text{calculado}}$ maior que F_{tabelado} , sugerindo um bom ajuste dos dados experimentais ao modelo proposto. Foi verificado que o modelo obtido para a umidade não foi significativo para descrever os dados experimentais, uma vez que o baixo coeficiente de determinação obtido, $R^2 = 0,46$, indicou a não adequação do modelo a esta resposta. Sob os critérios estatísticos estabelecidos, foi possível gerar as superfícies de resposta e curva de contorno apenas para a a_w .

Tabela 4.8: Análise de variância para as respostas atividade de água e umidade normalizadas.

Resposta	Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus Liberdade	Média Quadrática	F_{calculado}	F_{tabelado*}
Atividade de água	Regressão	$2,53.10^{-4}$	5	$5,05.10^{-5}$	14,79	2,45
	Resíduos	$3,76.10^{-5}$	11	$3,42.10^{-6}$		
	Falta de Ajuste	$2,93.10^{-5}$	9			
	Erro puro	$8,25.10^{-6}$	2			R ² =0,87
	Total	$2,90.10^{-4}$	16			
Modelo: $aw = 0,988 - 0,002.C + 0,003.T - 0,001.t + 0,003C.T - 0,002.C.t$						
Umidade	Regressão	$9,55.10^{-4}$	2	$4,78.10^{-4}$	6,10	2,73
	Resíduos	$1,10.10^{-3}$	14	$7,8.10^{-5}$		
	Falta de Ajuste	$1,10.10^{-3}$	12			
	Erro puro	$2,44.10^{-5}$	2			R ² =0,46
	Total	$2,05.10^{-3}$	16			

*Teste F tabelado a 10% de significância.

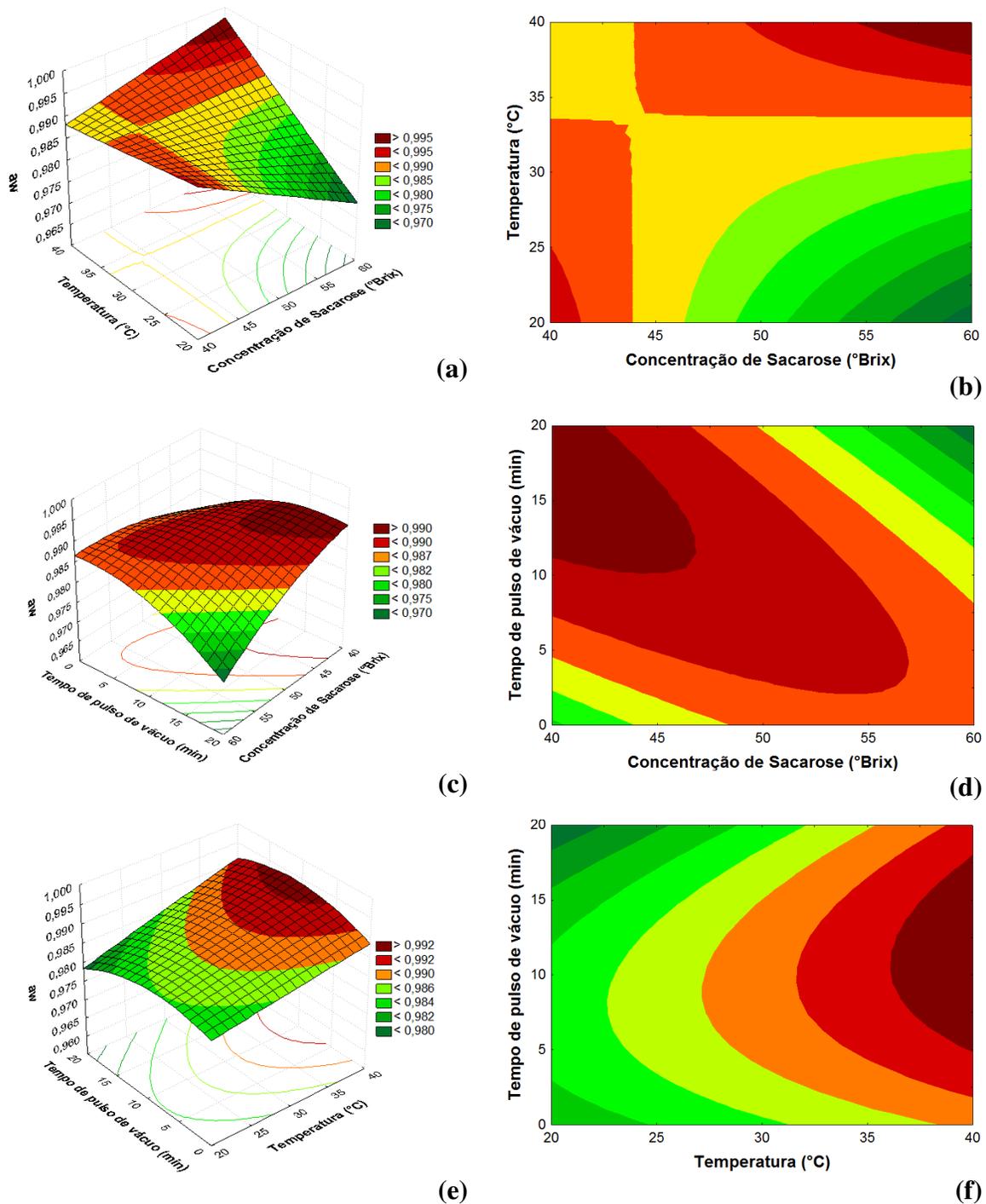


Figura 4.3: Superfícies de contorno e curvas para a atividade de água em função da temperatura e concentração da solução (a) e (b), do tempo de aplicação de pulso de vácuo e concentração da solução (c) e (d) e do tempo de aplicação de pulso de vácuo e da temperatura (e) e (f).

A atividade de água é uma medida do potencial químico de energia da água presente no sistema sólido-líquido e influencia as reações metabólicas e o crescimento microbiano nos alimentos, sendo fundamental no conhecimento da estabilidade de um alimento. Embora o processo de desidratação osmótica não seja suficiente para causar uma redução da atividade de água a níveis microbiologicamente seguros, o processo permite obter frutas de alta umidade com características similares aos produtos frescos e com propriedades sensoriais e nutricionais preservadas (ALZAMORA, TAPIA e WELLETI, 1993).

O processo de desidratação osmótica proporcionou uma suave redução da atividade de água das fatias de goiaba, como pode ser observado nas Figuras 4.3.a e 4.3.b. Valores de atividade de água normalizados próximos a 0,976 foram obtidos quando utilizadas maiores concentrações de sacarose e menores temperaturas de processo. O aumento da concentração de sacarose, além de promover uma maior perda de água da fruta, conforme visto na Figura 4.1, favoreceu a redução da atividade de água em virtude do alto gradiente de pressão osmótica existente entre o sistema fruta-solução.

A aplicação de maiores tempos de pulso de vácuo favoreceu a diminuição da atividade de água das frutas quando combinadas a altas concentrações de sacarose (Figuras 4.3.c e 4.3.d) e a temperaturas mais baixas (Figuras 4.3.e e 4.3.f). O emprego do pulso de vácuo favoreceu as maiores perdas de água da fruta e com isso, um aumento no teor de sólidos ocasionado pela concentração dos sólidos iniciais da fruta e, como consequência, menores valores de atividade de água foram observados. Resultados semelhantes foram observados por Tapia et al. (1999) e Moreno et al. (2000). Os autores verificaram que a aplicação do pulso de vácuo no início do processo contribuiu para uma redução mais efetiva da atividade de água de cilindros de mamão e morangos, respectivamente, quando comparado ao processo osmótico realizado a pressão atmosférica.

Verificou-se que somente os termos linear e quadrático da temperatura foram estatisticamente significativos para a umidade (Tabela 4.7). Os demais coeficientes não apresentaram significância estatística, sendo que seus erros padrões foram maiores que os próprios coeficientes do modelo. A Tabela 4.8 mostra a análise de variância da resposta

umidade e apresenta a baixa correlação obtida para o modelo e um F calculado quase igual ao tabelado; sendo assim essa resposta não pode ser avaliada através de superfícies de resposta. O efeito negativo da temperatura (termo linear) na umidade das goiabas indica que o aumento dessa variável do processo causa a diminuição da umidade das fatias de goiaba. Esse efeito pode ser atribuído às maiores perdas de água e de peso (Fig. 4.1 e 4.2) verificadas durante o processo osmótico obtidas quando utilizadas temperaturas mais elevadas. O efeito negativo da temperatura sobre a umidade também foi relatado por Corzo e Gomes (2004) e Madamba e Lopes (2002) quando fatias de abacaxi e de manga foram submetidas à desidratação osmótica, respectivamente.

4.2.1.3 Cor

As respostas obtidas do planejamento para os atributos da cor das fatias de goiaba foram: luminosidade (L^*), tom ou ângulo Hue (H^*), croma (C^*) e a variação total da cor (ΔE^*). Os parâmetros de cor, exceto o ΔE^* , também foram normalizados. Os valores normalizados próximos a 1 (um) indicam que a cor da fruta osmoticamente desidratada foi mais preservada, sofrendo alterações suaves em relação à fruta fresca. A análise estatística dos resultados experimentais possibilitou o cálculo dos coeficientes de regressão dos fatores estudados (concentração de sacarose, temperatura e tempo de aplicação do pulso de vácuo) e suas interações sob as respostas L^* , H^* , C^* normalizadas e ΔE^* as quais são apresentados na Tabela 4.9.

Tabela 4 9: Variação dos parâmetros de cor L*, H*, C* normalizados e ΔE^* das goiabas osmoticamente desidratadas obtidos dos planejamento experimental.

Ensaio	Cor			
	L*	H*	C*	ΔE^*
1	1,30	0,93	1,28	10,98
2	1,88	0,97	1,40	25,34
3	1,33	1,00	1,12	9,79
4	1,70	0,73	1,23	19,38
5	1,11	0,94	0,97	5,25
6	1,70	0,94	1,23	18,92
7	1,20	1,00	1,04	4,42
8	1,41	0,91	1,09	12,66
9	1,32	0,89	1,12	8,19
10	1,53	1,06	1,11	15,51
11	1,29	0,84	1,24	7,84
12	1,48	0,93	1,03	13,13
13	1,13	0,70	1,06	6,73
14	1,16	0,67	1,05	7,84
15	1,21	0,71	1,16	9,28
16	1,19	0,67	1,15	9,31
17	1,45	0,70	1,05	12,44

Tabela 4.10: Coeficientes de regressão dos fatores sobre as respostas L*, C*, H* e ΔE*.

Resposta	Fatores	Coef. Reg.	Erro padrão	t(7)	p-valor
L*	Média Global	1,27*	0,11	11,59	0,0000
	(1) Conc. de sacarose (L)	0,15*	0,05	2,98	0,0204
	Conc. de sacarose (Q)	0,08	0,06	1,40	0,2037
	(2)Temperatura(L)	0,00	0,05	-0,04	0,9668
	Temperatura(Q)	0,07	0,06	1,15	0,2868
	(3)Tempo de vácuo(L)	-0,05	0,05	-1,05	0,3291
	Tempo de vácuo (Q)	-0,02	0,06	-0,34	0,7438
	Conc.(L) x Temper.(L)	-0,07	0,07	-1,09	0,3105
	Conc.(L) x tempo (L)	-0,02	0,07	-0,28	0,7891
	Temper. (L) x tempo (L)	-0,01	0,07	-0,09	0,9288
H*	Média Global	0,69*	0,05	13,03	0,0000
	(1) Conc. de sacarose (L)	0,00	0,02	-0,10	0,9228
	Conc. de sacarose (Q)	0,12*	0,03	4,21	0,0040
	(2)Temperatura(L)	0,00	0,02	0,03	0,9742
	Temperatura(Q)	0,08*	0,03	3,05	0,0186
	(3)Tempo de vácuo(L)	0,01	0,02	0,32	0,7560
	Tempo de vácuo (Q)	0,01	0,03	0,46	0,6600
	Conc.(L) x Temper.(L)	-0,05	0,03	-1,54	0,1670
	Conc.(L) x tempo (L)	0,02	0,03	0,54	0,6061
	Temper. (L) x tempo (L)	0,03	0,03	0,77	0,4659
C*	Média Global	1,12*	0,06	19,58	0,0000
	(1) Conc. de sacarose (L)	0,04	0,03	1,43	0,1953
	Conc. de sacarose (Q)	0,01	0,03	0,46	0,6572
	(2)Temperatura(L)	-0,06**	0,03	-2,06	0,0782
	Temperatura(Q)	0,02	0,03	0,70	0,5045
	(3)Tempo de vácuo(L)	-0,05**	0,03	-1,96	0,0906
	Tempo de vácuo (Q)	-0,01	0,03	-0,26	0,8045
	Conc.(L) x Temper.(L)	-0,03	0,03	-0,79	0,4573
	Conc.(L) x tempo (L)	0,01	0,03	0,29	0,7831
	Temper. (L) x tempo (L)	0,03	0,03	0,93	0,3834
ΔE*	Média Global	10,12*	2,77	3,65	0,0082
	(1) Conc. de sacarose (L)	4,26*	1,30	3,27	0,0137
	Conc. de sacarose (Q)	1,31	1,43	0,91	0,3917
	(2)Temperatura(L)	-0,39	1,30	-0,30	0,7727
	Temperatura(Q)	0,83	1,43	0,58	0,5825
	(3)Tempo de vácuo(L)	-1,64	1,30	-1,26	0,2489
	Tempo de vácuo (Q)	-0,30	1,43	-0,21	0,8376
	Conc.(L) x Temper.(L)	-1,28	1,70	-0,75	0,4782
	Conc.(L) x tempo (L)	-0,26	1,70	-0,15	0,8851
	Temper. (L) x tempo (L)	0,01	1,70	0,00	0,9966

Valores estatisticamente significativos: *p<0,05; **p<0,10.

A análise de variância, apresentada na Tabela 4.11, foi realizada apenas com os termos estatisticamente significativos de cada resposta. Observa-se que os modelos obtidos para os parâmetros da cor não foram preditivos para descrever os dados experimentais em decorrência dos baixos coeficientes de determinação e altos valores de falta de ajuste encontrados; desse modo não foi possível avaliar as respostas através de superfícies de respostas. No entanto, a análise dos coeficientes de regressão (Tabela 4.10) indica a tendência dos fatores estudados sobre o processo de desidratação osmótica. Dentre os resultados observados, a concentração de sacarose foi a variável independente que apresentou maior influência na variação dos parâmetros de cor das frutas, exceto para o parâmetro C^* . O efeito positivo da concentração de sacarose indica que o aumento dessa variável provoca o aumento nos valores dos parâmetros L^* , H^* e ΔE^* .

O aumento no parâmetro luminosidade (L^*) provocado pelo aumento da concentração da solução osmótica deve estar associado à impregnação de açúcar na superfície da goiaba, proporcionando maior intensidade e brilho à fruta (KROKIDA, KARATHANOS e MAROULIS, 2000). Na desidratação osmótica de cubos de melão em soluções de sacarose e maltose, Ferrari (2005) também relatou valores de luminosidade mais altos após o tratamento osmótico.

Falade, Igbeka e Ayanwuyi (2007), trabalhando com retângulos de melancia também verificaram que o aumento da concentração da solução osmótica ocasionou o aumento nos valores de L^* , H^* e ΔE^* . Os autores explicaram que o aumento no valor dos parâmetros ocorreu devido à impregnação de solutos na fruta e pela concentração dos pigmento presentes, devido a perda de água ocorrida ao longo do processo osmótico.

O croma (C^*), parâmetro que indica a saturação ou intensidade da cor, foi afetado negativamente pela temperatura e pela aplicação do pulso de vácuo. Este parâmetro indica a magnitude das diferenças de cor observadas entre a fruta fresca e as processadas. Segundo Pereira et al. (2006), o aumento na temperatura da solução osmótica de 30°C para 40°C resultou na manutenção das características de cor de pedaços de melão e mamão desidratados com soluções de sacarose a 50°Brix, em virtude da obtenção de valores do croma próximos aos das frutas frescas.

Por outro lado, Ito et al. (2007), ao estudarem o efeito da desidratação osmótica a pulso de vácuo na transferência de massa, nas propriedades reológicas e nos parâmetros de

cor de fatias de manga, observaram que os os parâmetros de cor L* e C* permaneceram praticamente constantes após o tratamento aplicado, mostrando que o processo de desidratação osmótica não alterou as características de cor da fruta *in natura*.

Tabela 4.11: Análise de variância para as respostas L*, H*, C* e ΔE^* normalizadas.

Resposta	Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus Liberdade	Média Quadrática	F _{calculado}	F _{tabelado*}
L*	Regressão	0,32	1	0,32	10,32	3,07
	Resíduos	0,47	15	0,03		
	Falta de Ajuste	0,43	13			
	Erro puro	0,04	2			R ² =0,41
	Total	0,79	16			
H*	Regressão	0,19	2	0,10	15,04	2,73
	Resíduos	0,09	14	0,01		
	Falta de Ajuste	0,09	12			
	Erro puro	0,00	2			R ² =0,68
	Total	0,28	16			
C*	Regressão	0,08	2	0,04	4,93	2,73
	Resíduos	0,11	14	0,01		
	Falta de Ajuste	0,10	12			
	Erro puro	0,01	2			R ² =0,41
	Total	0,19	16			
ΔE^*	Regressão	247,76	1	247,76	15,21	3,07
	Resíduos	244,37	15	16,29		
	Falta de Ajuste	237,78	13			
	Erro puro	6,59	2			R ² =0,50
	Total	492,14	16			

*Teste F tabelado a 10% de significância.

4.2.1.4 Propriedades de Textura

Os valores da tensão (σ_{rup}), deformação na ruptura (ϵ_{rup}) e força máxima de penetração (F_{max}) obtidos nos ensaios de compressão uniaxial e de punção, são apresentados na Tabela 4.12. Os resultados foram normalizados em relação à fruta fresca.

Tabela 4.12: Variação dos parâmetros tensão na ruptura (σ_{rup}), deformação na ruptura (ϵ_{rup}) e força máxima de penetração (F_{max}) normalizados das fatias de goiaba osmoticamente desidratadas obtidos dos planejamento experimental.

Ensaio	Características de Textura		
	σ_{rup} (Pa.Pa ⁻¹)	ϵ_{rup}	F_{max} (N.N ⁻¹)
1	1,25±0,33	1,27±0,09	0,96±0,14
2	0,98±0,40	1,46±0,09	0,51±0,14
3	2,37±0,53	1,42±0,19	1,31±0,10
4	1,20±0,21	1,20±0,06	0,65±0,18
5	2,06±0,26	1,42±0,20	2,66±0,63
6	0,83±0,33	1,23±0,06	0,49±0,17
7	1,91±0,35	1,40±0,14	1,90±0,41
8	2,10±0,38	1,57±0,19	2,24±0,65
9	1,69±0,26	1,46±0,11	1,08±0,27
10	1,49±0,51	1,34±0,14	1,01±0,29
11	1,43±0,26	1,41±0,17	0,71±0,18
12	2,10±0,49	1,45±0,17	1,31±0,40
13	0,81±0,09	1,31±0,08	0,64±0,05
14	1,49±0,21	1,26±0,09	0,99±0,20
15	1,76±0,33	1,38±0,09	1,50±0,15
16	0,82±0,09	1,02±0,16	0,52±0,13
17	1,09±0,55	1,07±0,13	0,66±0,20

Todos os parâmetros apresentaram desvios elevados nos ensaios do planejamento experimental, o que pode ser atribuído à grande heterogeneidade entre as amostras e à falta de uniformidade da estrutura interna, uma vez que as propriedades mecânicas de um tecido vegetal estão associadas a diferentes níveis estruturais e são determinadas mais intensamente pelos constituintes da parede celular, afetados pelas condições de processo e

pelas pequenas variações no nível de maturação, variedade e época de colheita. Alta variabilidade nas determinações das propriedades de textura também foram observadas em goiabas (PEREIRA et al., 2004), melão (FERRARI, 2005) e manga (ITO et al., 2007). Os valor da tensão e deformação na ruptura e a força máxima de penetração foram normalizados, ou seja, divididos pelos respectivos valores obtidos para a fruta fresca utilizadas durante os ensaios do planejamento.

Os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais de tensão e deformação na ruptura normalizados e de força máxima de penetração normalizada considerando-se o intervalo de confiança de 90% são apresentados nas Tabelas 4.13 e 4.14.

Verificou-se pela ANOVA (Tabela 4.14) que nenhum modelo obtido para as características de textura foi preditivo para descrever os dados experimentais, devido aos baixos coeficientes de determinação e valores de $F_{\text{calculado}}$ próximos ao F_{tabelado} , refletindo os altos valores de falta de ajuste encontrados. Desse modo não foi adequado construir as superfícies de resposta, tendo em vista que os modelos não conseguem explicar a variabilidade dos dados experimentais.

Por outro lado, a análise dos coeficientes de regressão (Tabela 4.13) indica a tendência dos fatores estudados sobre o processo. Assim os resultados revelam que houve um efeito positivo da temperatura sobre a tensão e a deformação na ruptura normalizados; a deformação normalizada também foi afetada positivamente pela concentração de sacarose e foi observado um efeito positivo do tempo de aplicação do pulso de vácuo sobre a força máxima de penetração. Os efeitos positivos dos fatores sobre as respostas indicam que ao aumentar o nível dos fatores na faixa estudada, ocorre o aumento na resposta.

Por ação do aumento da temperatura do processo, pode ter ocorrido a degradação do tecido celular, o que permitiu uma maior penetração de solutos no produto, ocasionando uma maior plasticidade da estrutura celular e, conseqüentemente, uma maior resistência à deformação, deixando o produto mais elástico. O aumento na força máxima de penetração com aplicação do pulso de vácuo pode ser ocasionado pela compactação da matriz celular que ocorre durante a desidratação osmótica. O vácuo promove a saída do ar contido nos poros dos tecidos os quais são preenchidos pela solução osmótica, ocasionando assim maior concentração de açúcar nos poros, o que favorece a maior rigidez da fruta (CONTRERAS et al., 2008). Por outro lado, alguns autores sugerem que maiores tempos de aplicação do

pulso de vácuo (superior a 15 min) possa causar sérios danos ao tecido vegetal, como a separação e rompimento das células (CHIRALT et al., 2001; MÚJICA-PAZ et al., 2003; CHIRALT e TALENS, 2005).

Tabela 4.13: Coeficientes de regressão dos fatores sobre as respostas tensão na ruptura (σ_{rup}), deformação na ruptura (ϵ_{rup}) e força máxima de penetração (F_{max}) normalizadas.

Resposta	Fatores	Coef. Reg.	Erro padrão	t(7)	p-valor
σ_{rup}	Média Global	1,22*	0,26	4,69	0,0022
	(1) Conc. de sacarose (L)	-0,21	0,12	-1,69	0,1357
	Conc. de sacarose (Q)	0,14	0,13	1,08	0,3160
	(2)Temperatura(L)	0,26**	0,12	2,16	0,0680
	Temperatura(Q)	0,21	0,13	1,54	0,1676
	(3)Tempo de vácuo(L)	0,16	0,12	1,35	0,2204
	Tempo de vácuo (Q)	-0,01	0,13	-0,08	0,9421
	Conc.(L) x Temper.(L)	0,06	0,16	0,39	0,7054
	Conc.(L) x tempo (L)	0,05	0,16	0,31	0,7651
Temper. (L) x tempo (L)	-0,03	0,16	-0,17	0,8726	
ϵ_{rup}	Média Global	1,16*	0,09	13,39	0,0000
	(1) Conc. de sacarose (L)	-0,02	0,04	-0,43	0,6804
	Conc. de sacarose (Q)	0,08**	0,04	1,86	0,1049
	(2)Temperatura(L)	0,02	0,04	0,51	0,6261
	Temperatura(Q)	0,09**	0,04	2,08	0,0757
	(3)Tempo de vácuo(L)	0,01	0,04	0,35	0,7370
	Tempo de vácuo (Q)	0,04	0,04	0,94	0,3801
	Conc.(L) x Temper.(L)	-0,01	0,05	-0,10	0,9204
	Conc.(L) x tempo (L)	0,00	0,05	0,00	0,9964
Temper. (L) x tempo (L)	0,05	0,05	1,02	0,3429	
F_{max}	Média Global	0,87*	0,36	2,38	0,0490
	(1) Conc. de sacarose (L)	-0,22	0,17	-1,31	0,2309
	Conc. de sacarose (Q)	0,14	0,19	0,74	0,4856
	(2)Temperatura(L)	0,18	0,17	1,06	0,3233
	Temperatura(Q)	0,13	0,19	0,67	0,5252
	(3)Tempo de vácuo(L)	0,33**	0,17	1,91	0,0985
	Tempo de vácuo (Q)	0,06	0,19	0,30	0,7707
	Conc.(L) x Temper.(L)	0,29	0,22	1,28	0,2413
	Conc.(L) x tempo (L)	-0,09	0,22	-0,40	0,6980
Temper. (L) x tempo (L)	0,06	0,22	0,28	0,7881	

Valores estatisticamente significativos: *p<0,05; **p<0,10.

Tabela 4.14: Análise de variância para as respostas tensão na ruptura (σ_{rup}), deformação na ruptura (ϵ_{rup}) e força máxima de penetração (F_{max}) normalizadas.

Resposta	Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus Liberdade	Média Quadrática	F calculado	F tabelado*
σ_{rup}	Regressão	0,94	1	0,94	4,57	3,07
	Resíduos	3,10	15	0,21		
	Falta de Ajuste	2,62	13			
	Erro puro	0,47	2			R ² =0,23
	Total	4,04	16			
ϵ_{rup}	Regressão	0,12	2	0,06	3,81	2,73
	Resíduos	0,21	14	0,02		
	Falta de Ajuste	0,14	12			
	Erro puro	0,07	2			R ² =0,35
	Total	0,33	16			
F_{max}	Regressão	1,45	1	1,45	4,36	3,07
	Resíduos	5,01	15	0,33		
	Falta de Ajuste	4,45	13			
	Erro puro	0,56	2			R ² =0,25
	Total	6,46	16			

*Teste F tabelado a 10% de significância.

4.2.2 Considerações finais e otimização do processo de desidratação osmótica de fatias de goiaba

A utilização do delineamento experimental teve como objetivo aprimorar o processo de desidratação osmótica de fatias de goiaba, tendo sido possível quantificar o efeito das variáveis do processo sobre o produto obtido, e assim encontrar as melhores condições para o desenvolvimento do processo.

Notou-se que o processo de desidratação osmótica foi influenciado pelas variáveis estudadas. De um modo geral, a concentração da solução osmótica e a temperatura do processo foram as variáveis que exerceram maior influência no processo, já o efeito do pulso do vácuo foi mais pronunciado nos parâmetros que envolvem transferência de massa.

Por meio da análise das superfícies de resposta pode-se perceber que o aumento das variáveis do processo (concentração de sacarose, temperatura e tempo de aplicação do pulso de vácuo) favoreceu as maiores perdas de água e de peso das frutas. A atividade de água foi reduzida quando foram utilizadas altas concentrações da solução osmótica, baixas temperatura e maiores tempos de pulso de vácuo.

Para avaliar as respostas simultaneamente e encontrar as condições ótimas das variáveis do processo, foram utilizados os modelos das respostas que apresentaram validade estatística, baseada na porcentagem de variação explicada (R^2) e na distribuição de Fischer (Teste F). Verificou-se que, apenas os modelos obtidos para a perda de peso, perda de água e atividade de água apresentaram um $R^2 \geq 0,85$ e valores de $F_{\text{calculado}}$ maiores que o F_{tabelado} . Sob esses critérios, somente os modelos destas respostas foram utilizados para gerar as superfícies de resposta da função desejabilidade. Os modelos obtidos para as variáveis: ganho de sólidos, umidade normalizada L^* , H^* e C^* normalizados, ΔE^* , tensão e deformação máxima na ruptura normalizada, e força máxima de penetração normalizados apresentaram $R^2 \leq 0,68$, indicando o baixo ajuste dos modelos aos dados experimentais.

A otimização simultânea das respostas obtidas no planejamento, realizada de modo a maximizar a perda de água e de peso e minimizar a atividade de água das fatias de goiaba resultou na obtenção do perfil de desejabilidade global, apresentado na Figura 4.4.

Os gráficos da última coluna da Figura 4.4, mostram os perfis de desejabilidade das respostas avaliadas, de acordo com os valores escolhidos para os limites da faixa de aceitação das variáveis. As linhas tracejadas verticais sinalizam as condições de máxima desejabilidade global, que chegou a 0,999 como mostra a última linha dos gráficos, sendo obtida com concentração de sacarose, temperatura e tempo de aplicação do pulso de vácuo iguais a 40°Brix, 32°C e 20 min, respectivamente.

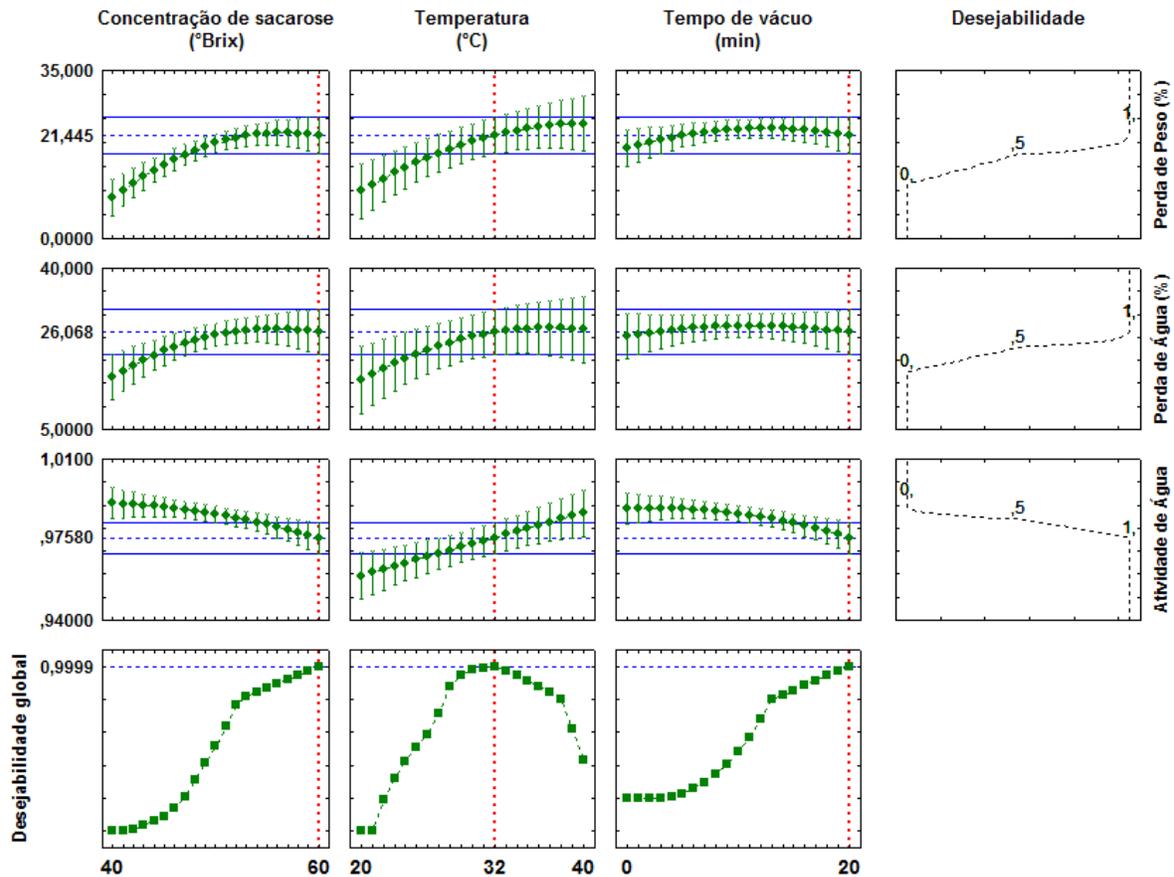


Figura 4.4: Otimização simultânea das variáveis do processo de desidratação osmótica de fatias de goiabas e perfil de desejabilidade global.

As superfícies de resposta da função desejabilidade global são apresentadas na Figura 4.5. Observando essas figuras, nota-se como a desejabilidade varia em função das faixas de estudo da variáveis. Visualizam-se regiões de cor vermelha nas quais a função desejabilidade teve valores máximos ou próximos a 1 (região ótima) como também regiões

nas quais a função esteve em torno de 0, ou seja fora da faixa desejável. Dessa forma o valor da função deseabilidade foi mais alto quando utilizados alta concentração da solução osmótica, temperatura de processo intermediária e alto tempo de aplicação do pulso de vácuo. Nessas condições foram encontradas as condições ótimas de processo para a desidratação osmótica das fatias de goiaba que possibilitam obter valores preditos de 21,44% de perda de peso, 26,07% de perda de água e atividade de água igual a 0,976.

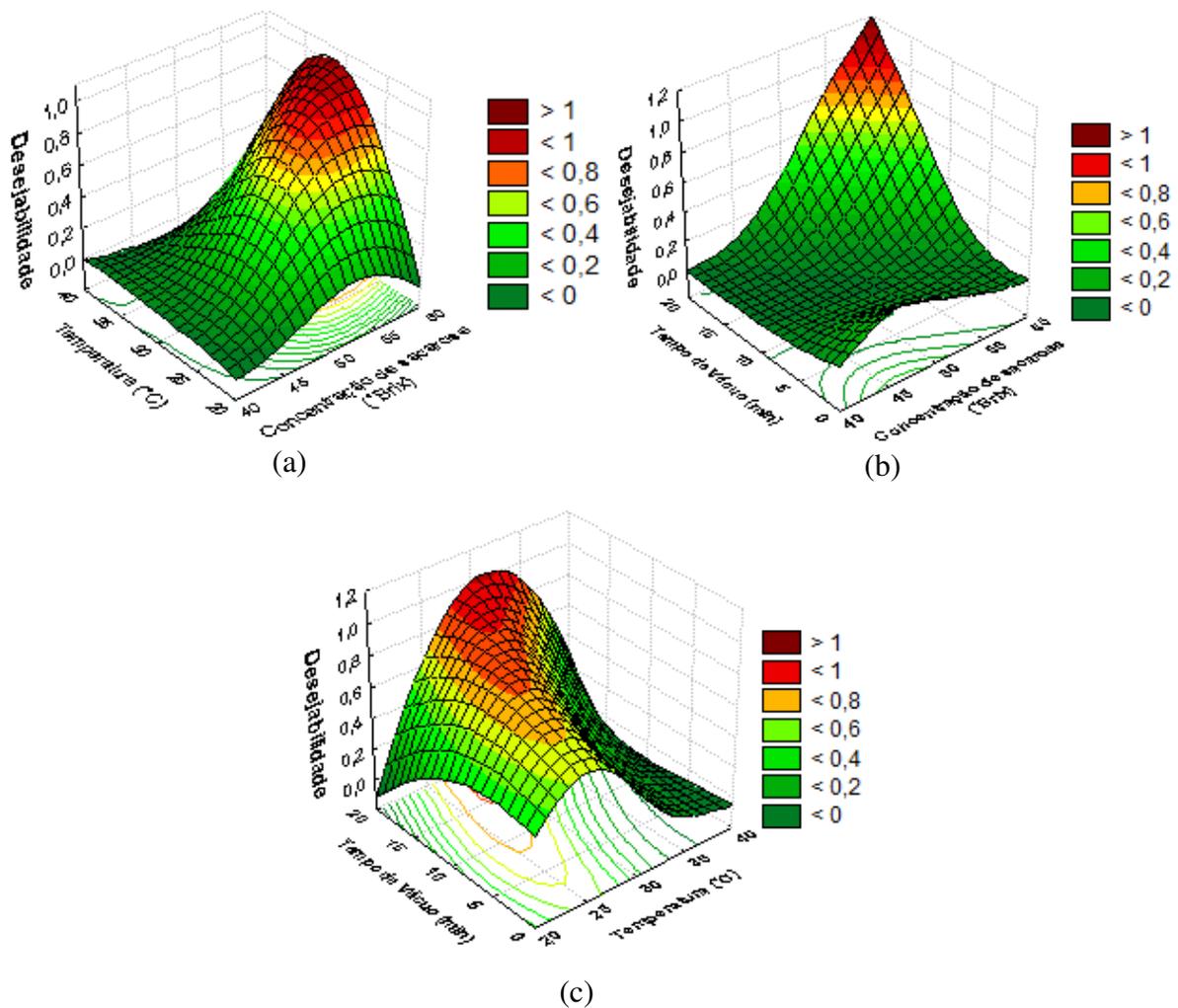


Figura 4.5: Superfícies da função deseabilidade obtidas para o processo de desidratação osmótica de fatias de goiaba em função da temperatura e concentração da solução (a), do tempo de aplicação de pulso de vácuo e concentração da solução (b) e do tempo de aplicação de pulso de vácuo e da temperatura (c).

4.2.3 Validação das condições ótimas

Os resultados da validação experimental das condições ótimas de processo para a desidratação osmótica das fatias de goiaba são apresentados na Tabela 4.15. Para a validação dos dados foram utilizados os modelos obtidos de perda de água, perda de peso e atividade de água. São apresentados os valores preditos, os valores obtidos experimentalmente nas condições ótimas que foram 60°Brix de concentração de sacarose, 32°C de temperatura e 20 min de aplicação do pulso de vácuo, e o desvio relativo entre os valores. Os ensaios realizados para cada resposta apresentaram baixos valores de desvio relativo, indicando que a ferramenta estatística empregada para otimização foi adequada para determinar as condições ótimas do processo.

Tabela 4.15: Resultado da validação das condições ótimas obtidas para a desidratação osmótica de fatias de goiaba.

Resposta	Valor predito (ótimo)	Valor experimental	Desvio Relativo (%)*
Perda de Peso(%)	21,44	25,91 ± 1,27	17,25
Perda de água(%)	26,07	29,01 ± 1,00	10,13
Atividade de Água	0,976	0,979 ± 0,004	0,31

* Desvio relativo = ((valor experimental - valor predito)/ valor experimental)*100.

Os valores experimentais obtidos para a perda de peso e de água foram superiores aos valores preditos pela função desejabilidade e o valor experimental da atividade de água foi semelhante ao valor predito, o que revela a utilização de boas condições operacionais para obtenção dessas respostas. Estes resultados também foram superiores aos maiores valores obtidos sob as condições de processo estudadas através do DCCR, apresentados no item 4.2.1.

4.3 Estudo do efeito do pulso de vácuo e do uso de sais de cálcio na desidratação osmótica de goiabas

Para o estudo do efeito da aplicação do pulso de vácuo e da adição de lactato de cálcio nos processos de desidratação osmótica de goiabas, foram utilizadas as condições ótimas obtidas no item 4.2.2. Seis tratamentos osmóticos foram realizados com soluções de sacarose a 60°Brix, na temperatura de 32°C, com e sem a adição de lactato de cálcio, aplicando-se ou não 20 min de pulso de vácuo, os quais são apresentados a seguir: (1) desidratação osmótica à pressão atmosférica (**DO**); (2) desidratação osmótica à pressão atmosférica com adição de 0,6% de lactato de cálcio (**DO 0,6%Ca**); (3) desidratação osmótica à pressão atmosférica com adição de 1,2% de lactato de cálcio (**DO 1,2 %Ca**); (4) desidratação osmótica com aplicação de pulso de vácuo (**PVOD**); (5) desidratação osmótica com aplicação de pulso de vácuo com adição de 0,6% de lactato de cálcio (**PVOD 0,6%Ca**); (6) desidratação osmótica com aplicação de pulso de vácuo com adição de 1,2% de lactato de cálcio (**PVOD 1,2%Ca**). Nesta etapa, as goiabas osmoticamente desidratadas foram avaliadas em relação ao teor de cálcio, perda de peso, perda de água e ganho de sólidos, atividade de água e umidade, cor, retenção de carotenóides, propriedades mecânicas, características estruturais e aceitação sensorial.

4.3.1 Teor de Cálcio

Os teores de cálcio presentes na amostra fresca e nas amostras processadas são apresentados na Tabela 4.16. Como a variação do peso das amostras (fresca e osmodesidratadas) foi função do tipo de tratamento empregado, a concentração do cálcio nas amostras foi relacionada à massa fresca, considerando-se as massas anteriores e posteriores aos processos de desidratação osmótica.

A goiaba fresca apresentou um teor de cálcio de $10,40 \pm 0,15$ mg/100g de massa fresca. Os tratamentos realizados sem adição de lactato de cálcio à pressão atmosférica e com aplicação de pulso de vácuo apresentaram perdas desse mineral em torno de 17 e 28%, respectivamente, em decorrência das perdas de água que ocorreram ao longo do processo de desidratação da fruta. Foi possível observar que o tratamento realizado a

pulso de vácuo causou uma maior perda do cálcio quando comparado ao tratamento realizado à pressão atmosférica. Este resultado pode estar relacionado a ação dos mecanismos hidrodinâmicos que promovem um fluxo adicional de saída do cálcio junto com a água da fruta durante o processo (MORAGA et al., 2009).

Tabela 4.16: Teores de cálcio presente na fruta fresca e nas submetidas aos diferentes processos.

Tratamentos	Teor de Cálcio (mg/100g massa fresca)
Fresca	10,40 ± 0,15 ^a
DO	8,67 ± 0,21 ^b
DO 0,6%Ca	25,73 ± 0,24 ^c
DO 1,2%Ca	29,87 ± 0,48 ^d
PVOD	7,46 ± 0,33 ^e
PVOD 0,6%Ca	24,66 ± 0,50 ^f
PVOD 1,2%Ca	29,61 ± 0,37 ^d

Médias seguidas com letras iguais na mesma coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

A adição do sal de cálcio nas soluções osmóticas resultou no aumento estatisticamente significativo ($p < 0,05$) do teor de cálcio nas amostras de todos os tratamentos, alcançando valores até três vezes maiores que o da fruta fresca. Torres et al. (2006), avaliando o processo de desidratação osmótica de mangas a 30°C, com soluções de sacarose (45 ou 65°Brix), adicionadas de lactato de cálcio (0 a 2%), à pressão atmosférica ou aplicando pulso de vácuo, também observaram perdas nos teores de cálcio das frutas tratadas a pressão atmosférica ou com vácuo quando estes tratamentos não foram enriquecidos com o sal. Os autores verificaram que a incorporação do cálcio na manga aumentou em função do aumento da concentração do lactato na solução osmótica.

Verificou-se que o aumento da concentração do sal de cálcio adicionado à solução osmótica ocasionou a maior incorporação do Ca^{2+} nas amostras tratadas a pressão

atmosférica e com aplicação de vácuo. Os teores de cálcio das amostras de goiaba tratadas com lactato de cálcio à pressão atmosférica variaram de $25,73 \pm 0,24$ a $29,87 \pm 0,48$ mg/100g massa fresca, enquanto que para as goiabas tratadas sob pulso de vácuo os valores variaram de $24,66 \pm 0,50$ a $29,61 \pm 0,37$ mg/100g massa fresca. Foi observado um suave aumento no ganho de cálcio das amostras desidratadas à pressão atmosférica com a adição de 0,6% do sal em relação às desidratadas com aplicação de vácuo. No entanto, não foram verificadas diferenças estatisticamente significativas no ganho de cálcio das amostras tratadas a pressão atmosférica e com aplicação de pulso de vácuo, adicionadas de 1,2% de lactato de cálcio.

De acordo com Castelló et al. (2009), a aplicação do pulso de vácuo no processo de desidratação osmótica de fatias de maçã resultou em um considerável aumento do conteúdo de cálcio nas frutas, até duas vezes maior que as amostras tratadas à pressão atmosférica, fato que foi atribuído a ação dos mecanismos hidrodinâmicos que ocorrem nos tecidos celulares, favorecendo a entrada da solução nos poros da fruta. Esse comportamento, no entanto, não foi evidenciado para as goiabas, submetidas à desidratação osmótica neste estudo.

4.3.2 Perda de Peso, Perda de Água e Ganho de Sólidos

Analisando as Figuras 4.6, 4.7 e 4.8, observa-se que a adição do sal de cálcio nas soluções osmóticas provocou a diminuição estatisticamente significativa ($p < 0,05$) da perda de peso (PP), perda de água (PA) e também do ganho de sólidos (GS) das amostras processadas, independentemente da condição de processo utilizada (pressão atmosférica ou com aplicação de pulso de vácuo). O aumento da concentração do cálcio nas amostras apresentou uma tendência à redução da PP (%) e PA (%) das frutas desidratadas à pressão atmosférica, comportamento que não foi mantido quando os tratamentos foram realizados com aplicação de pulso de vácuo. Com relação ao efeito do Ca^{2+} sobre o GS (%), observou-se que a adição desse sal reduziu a incorporação de sólidos, porém só foram verificadas diferenças estatisticamente significativas quando as frutas foram tratadas com aplicação de vácuo, ocorrendo um aumento do GS (%) com o aumento da concentração de Ca^{+2} .

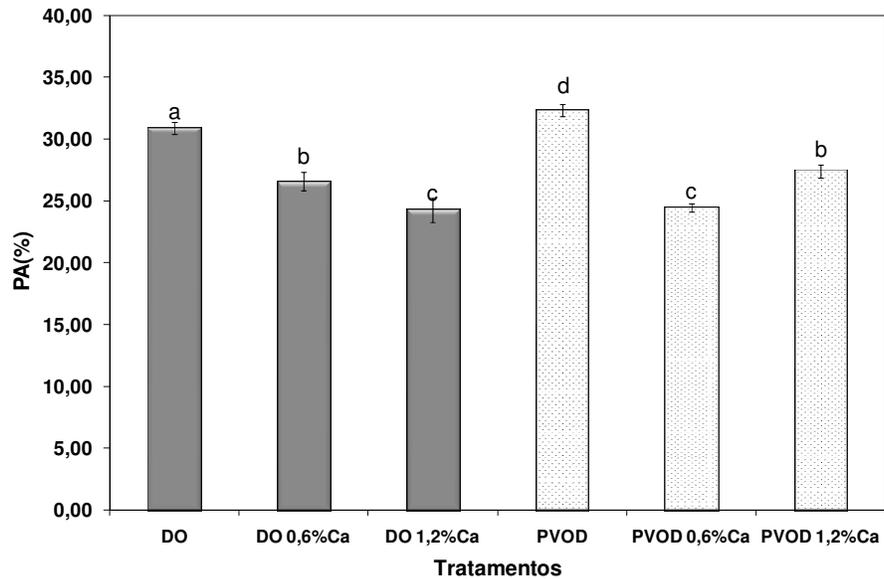


Figura 4.6: Perda de água das goiabas desidratadas osmoticamente sob diferentes condições de processo. Médias seguidas com letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

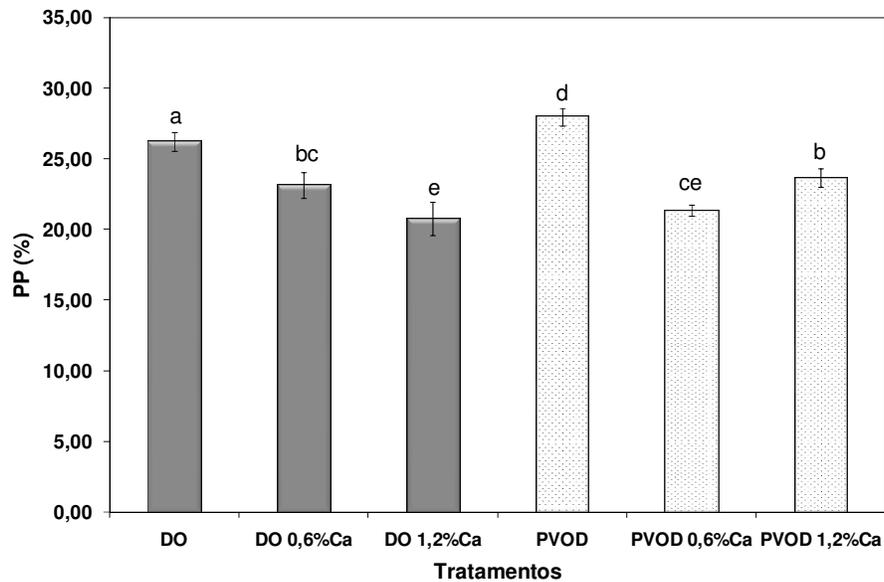


Figura 4.7: Perda de peso das goiabas desidratadas osmoticamente sob diferentes condições de processo. Médias seguidas com letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

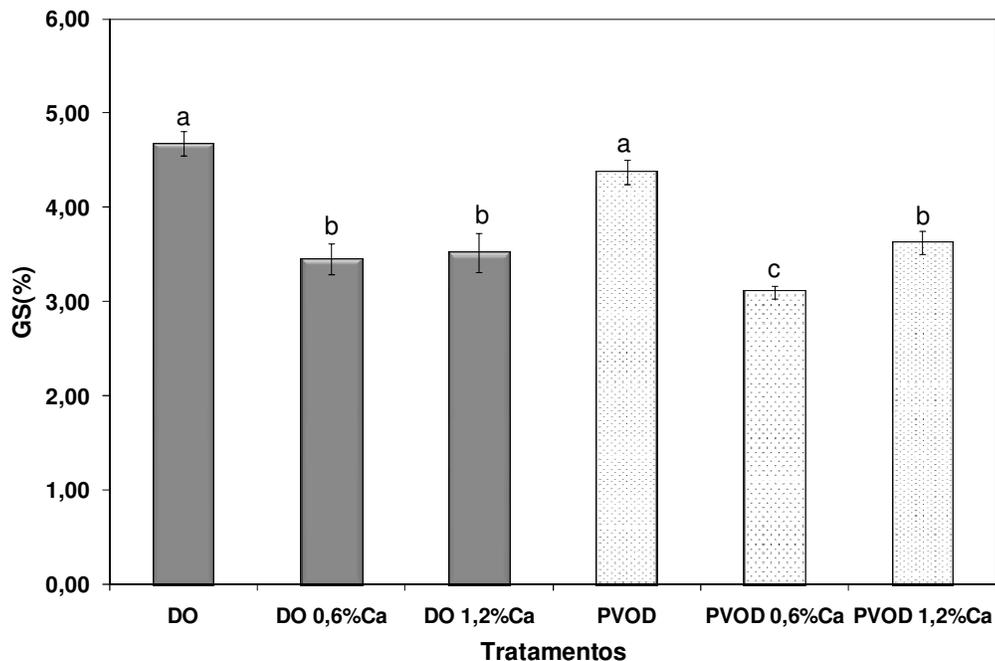


Figura 4.8: Ganho de sólidos das goiabas desidratadas osmoticamente sob diferentes condições de processo. Médias seguidas com letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

De acordo com 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, limitando assim os fluxos de água e de sólidos nos tecidos, sendo esse efeito mais notado quando utilizadas baixas temperaturas de processo (30 a 40°C). Adicionalmente, Moraga et al. (2009), avaliando o efeito da aplicação de vácuo e do uso de lactato de cálcio na desidratação osmótica de *grapefruit*, sugeriram que 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. Segundo os autores, 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. A ação do cálcio na estrutura celular, contribuindo para um maior reforço da parede e assim limitando a

transferência de massa, pode explicar a redução da perda de peso, perda de água e ganho de sólidos das fatias de goiaba tratadas com lactato de cálcio.

Torres et al. (2008) relataram a redução da perda de peso de fatias de manga osmoticamente desidratadas com soluções de sacarose adicionadas de 2% de lactato de cálcio com aplicação de pulso de vácuo no início do processo. De acordo com os autores, a redução da perda de peso das amostras esteve associada a limitação da perda de água das frutas, devido a menor permeabilidade da parede celular do tecido vegetal em virtude da interação do Ca^{2+} com a pectina presente na parede, originando a formação de pontes de cálcio, que dessa forma, favoreceu o fortalecimento da estrutura polimérica.

Por outro lado, Pereira et al. (2006), avaliando o efeito da adição de lactato de cálcio (1,2%) na cinética de desidratação osmótica de fatias de goiaba e de mamão com soluções de sacarose a 40 ou 60°Brix, notaram a intensificação da perda de água e a diminuição do ganho de sólidos nas fatias de goiaba. Entretanto, para o mamão, um comportamento contrário foi observado quando o sal de cálcio foi adicionados às soluções osmóticas. Os autores concluíram que os diferentes efeitos do cálcio na transferência de massa está diretamente relacionado com a estrutura celular das frutas estudadas.

Avaliando o efeito das pressões de trabalho utilizadas, verificou-se que as maiores perdas de peso e de água foram obtidas quando a desidratação osmótica foi realizada com aplicação de pulso de vácuo, obtendo valores de 27,95% e 32,33%, respectivamente, sendo levemente superiores às perdas de peso (26,21%) e de água (30,89%) obtidas pela desidratação conduzida à pressão atmosférica. Por outro lado o ganho de sólidos verificado não apresentou diferença estatística nas duas condições de processo analisadas. As maiores perdas de água, quando utilizado o pulso de vácuo, podem estar relacionadas à ação dos mecanismos hidrodinâmicos que agem no tecido celular em decorrência das mudanças de pressão no sistema. Associado a isso, a utilização da alta concentração da solução osmótica (60°Brix), como exposto no item 4.2.1.1, favoreceu as maiores perdas de água e de peso, devido ao maior gradiente osmótico estabelecido entre a fruta e a solução. Como nessas condições a perda de água é fortemente favorecida, este fato pode limitar a impregnação de sólidos na fruta, já que este fluxo é oposto ao fluxo de saída

da água. Pode também ter ocorrido a formação de uma camada superficial de sólidos na superfície da fruta, impedindo assim a entrada dos açúcares.

Comparando os tratamentos realizados à mesma concentração do sal, pode-se observar que quando foi adicionado 0,6% do lactato de cálcio nas soluções osmóticas, a perda de água e o ganho de sólidos foram suavemente superiores para o tratamento realizado a pressão atmosférica. No entanto, as perdas de peso não apresentaram diferenças estatisticamente significativas utilizando-se vácuo ou não. Percebeu-se também que o menor ganho de sólidos, apresentando valor de 3,09%, foi alcançado quando utilizada esta concentração de cálcio e aplicado um pulso de vácuo no início do processo. Adicionado-se 1,2% do sal às soluções osmóticas, verificou-se que as maiores perdas de água e de peso ocorreram quando o pulso de vácuo foi aplicado. No entanto, o efeito da maior concentração de cálcio não foi verificado no ganho de sólidos entre os tratamentos, apresentando valores estatisticamente iguais.

4.3.3 Atividade de Água e Umidade

A Figura 4.9 mostra os valores da atividade de água (a_w) das fatias de goiaba desidratadas osmoticamente em diferentes condições de processo. Observa-se que a adição do sal de cálcio originou resultados diferentes em função da concentração do sal adicionado às soluções osmóticas. O efeito estatisticamente significativo ($p < 0,05$) do cálcio na redução da atividade de água das goiabas quando submetidas à desidratação osmótica a pressão atmosférica foi visualizado apenas com 0,6% de lactato de cálcio e, para o processo com aplicação de pulso de vácuo, quando utilizado 1,2% do sal. Estes resultados podem estar relacionados às perdas de água (Figura 4.6) das fatias de goiabas, onde a adição do lactato de cálcio nas soluções osmóticas implicou na diminuição da perda de água das frutas, nos tratamentos desenvolvidos a pressão atmosférica e sob pulso de vácuo.

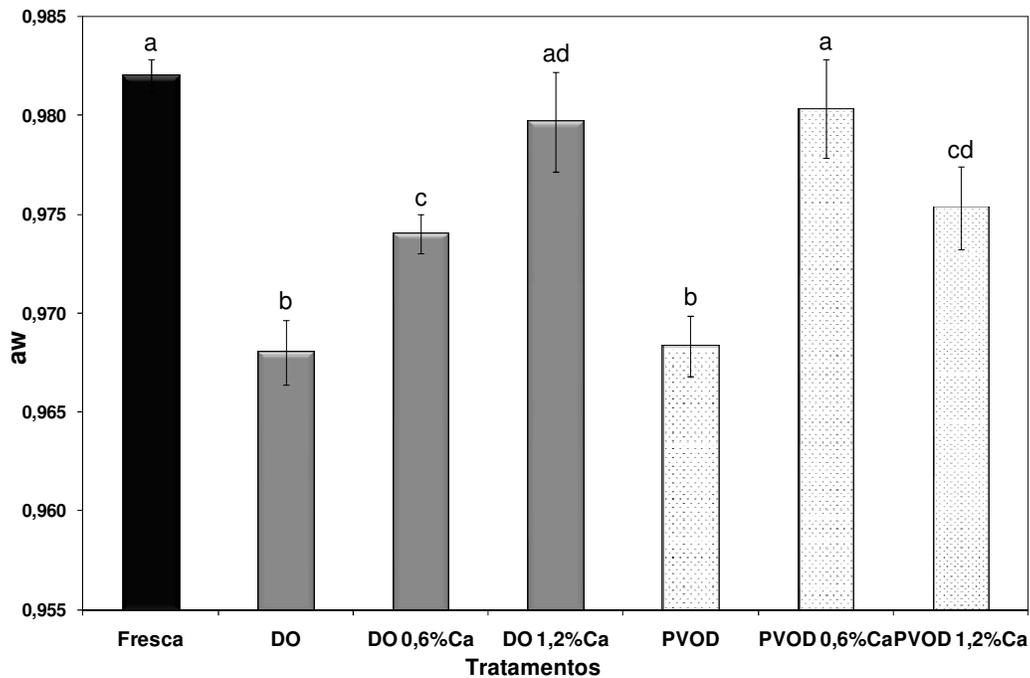


Figura 4.9: Médias da atividade de água da goiaba fresca e das goiabas processadas submetidas aos diferentes tratamentos osmóticos. Médias seguidas com letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Avaliando-se o efeito dos tipos de processo empregados na desidratação osmóticas das goiabas (pressão atmosférica ou com aplicação do pulso de vácuo), constatou-se que os processos sem a adição do sal de cálcio não diferiram estatisticamente entre si ($p < 0,05$), contribuindo da mesma forma para a redução da atividade de água das amostras. Além disso, estes tratamentos foram mais efetivos na depressão da atividade de água quando comparados aos tratamentos adicionados do sal, obtendo valores de a_w ao redor de 0,970. Entretanto, os resultados alcançados para a atividade de água das fatias de goiaba desidratadas osmoticamente foram altos, indicando que esse produto é altamente perecível e com isso, é necessária a aplicação de um processo complementar a fim de contribuir para a estabilidade microbiológica e conservação dos atributos de qualidade da fruta.

Os conteúdos de umidade das amostras fresca e osmoticamente desidratadas são apresentados na Figura 4.10. Visualizando esta figura, nota-se que a adição do lactato de cálcio resultou na diminuição estatisticamente significativa ($p < 0,05$) do conteúdo de umidade tanto para as frutas desidratadas a pressão atmosférica quanto para as tratadas com aplicação de pulso de vácuo. Embora a adição do lactato de cálcio na solução osmótica tenha promovido a redução estatisticamente significativa dos valores de umidade das amostras, com o aumento da concentração do sal na solução, não foram verificadas diferenças estatisticamente significativas, quando os ensaios foram realizados à pressão atmosférica ou com aplicação de pulso de vácuo.

Comparando-se os dois tipos de tratamentos empregados para o processo de desidratação osmótica, não foram verificadas diferenças estatisticamente significativas entre os conteúdos de umidade apresentados pelas amostras processadas em ambos os tratamentos com e sem a adição do cálcio.

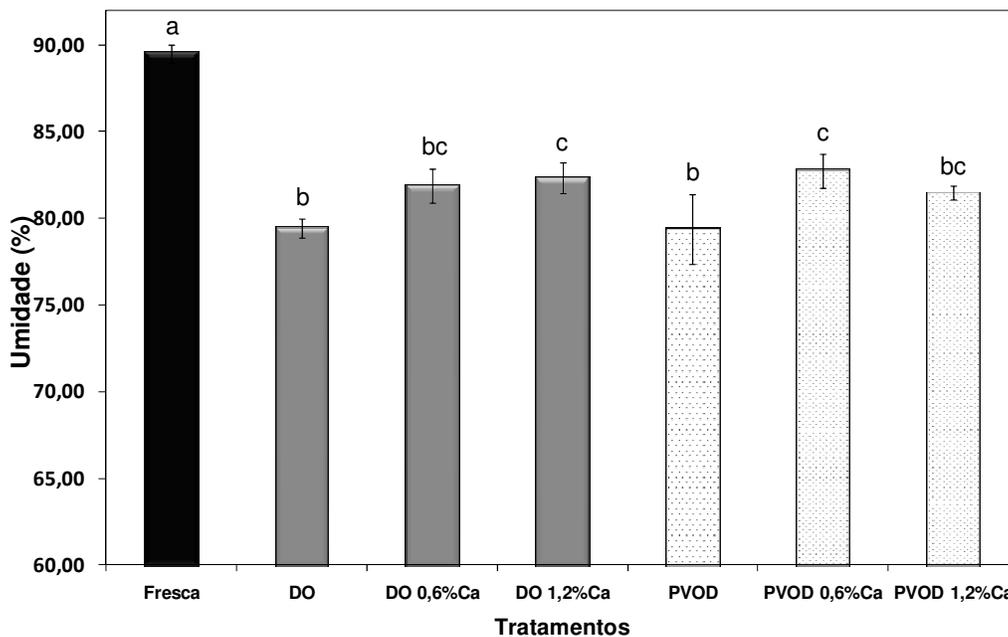


Figura 4. 10: Conteúdo de umidade da goiaba fresca e das goiabas processadas submetidas aos diferentes tratamentos osmóticos. Médias seguidas com letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

4.3.4 Cor

A coloração das amostras foi avaliada através dos parâmetros de luminosidade (parâmetro L*), croma (C*), tom (H*) e da diferença total de cor das amostras (ΔE^*) (Tabela 4.17). Observa-se que a cor das goiabas não foi afetada pelo tipo de processo (pressão atmosférica ou à pulso de vácuo), nem pela adição dos sais de cálcio nas soluções osmóticas.

Tabela 4.17: Valores da luminosidade (L*), croma (C*), tom (H*) e variação da dor (ΔE^*) das fatias de goiaba fresca e osmoticamente desidratadas.

Tratamentos	L*	C*	H*	ΔE^*
Fresca	30,56 ± 5,59 ^a	24,83 ± 0,20 ^a	35,50 ± 0,52 ^a	-
DO	41,22 ± 3,76 ^b	23,68 ± 0,16 ^a	34,05 ± 2,49 ^a	17,24 ± 5,43 ^a
DO 0,6%Ca	45,04 ± 0,50 ^b	22,00 ± 2,09 ^a	30,95 ± 2,44 ^a	15,93 ± 1,46 ^a
DO 1,2%Ca	41,30 ± 0,62 ^b	22,68 ± 2,11 ^a	32,80 ± 4,03 ^a	13,28 ± 2,03 ^a
PVOD	45,19 ± 2,09 ^b	23,12 ± 0,86 ^a	31,69 ± 3,98 ^a	15,03 ± 2,56 ^a
PVOD 0,6%Ca	45,51 ± 3,31 ^b	24,89 ± 0,72 ^a	37,71 ± 3,01 ^a	15,23 ± 3,28 ^a
PVOD 1,2%Ca	47,90 ± 1,60 ^b	24,20 ± 1,18 ^a	38,94 ± 6,09 ^a	17,19 ± 1,07 ^a

Médias seguidas com letras iguais na mesma coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

As goiabas osmoticamente desidratadas apresentaram valores de luminosidade superiores ao exibido pela fruta fresca, entretanto, não foram evidenciadas diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos estudados. O aumento da luminosidade como consequência da desidratação osmótica está relacionado à impregnação de açúcar na superfície da goiaba, conferindo maior intensidade e brilho à fruta (KROKIDA, KARATHANOS e MAROULIS, 2000). Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) nos valores do croma, tom e variação total da cor das goiabas desidratadas.

Resultados semelhantes foram encontrados por Deng e Zhao (2008), que avaliando a desidratação osmótica com aplicação de vácuo em maçãs notaram que os valores de L^* das frutas processadas foram superiores aos da fruta não-tratada. Os autores atribuíram esse comportamento à provável diminuição do escurecimento enzimático em decorrência do processo osmótico. Também foi relatado que as amostras processadas apresentaram valores de croma e tom similares à fruta fresca.

Ito et al. (2007) também relataram que, na avaliação do processo de desidratação osmótica à pulso de vácuo frente aos parâmetros da cor de fatias de manga, foi percebido que os valores do croma e da luminosidade permaneceram praticamente constantes após os tratamentos. Os autores constataram que a desidratação osmótica não alterou as características de cor da fruta *in natura*.

Pereira et al. (2006), avaliando o efeito da adição de lactato de cálcio (1,2%) em soluções de sacarose nos parâmetros de qualidade de fatias de goiaba e pedaços de mamão desidratados osmoticamente, verificaram que a adição do cálcio não causou alterações nos parâmetros de luminosidade e de croma das frutas, apresentando valores similares aos das frutas frescas.

Por outro lado, Torres et al. (2008) em seu estudo sobre desidratação de fatias de manga a pressão atmosférica ou com aplicação de pulso de vácuo, utilizando soluções de sacarose adicionadas de 2% de lactato de cálcio, verificaram que os parâmetros L^* e C^* foram afetados pela aplicação do pulso de vácuo. Os autores observaram que a luminosidade diminuiu quando aplicado o vácuo, enquanto que não foram percebidas diferenças deste parâmetro entre a fruta fresca e as desidratadas à pressão atmosférica. Esse comportamento foi atribuído à maior translucidez do tecido celular originada pela saída do gás ocluso nos poros do tecido vegetal e posterior penetração da solução osmótica em decorrência da aplicação do pulso de vácuo.

4.3.5 Retenção de Carotenóides

A Tabela 4.18 apresenta os teores médios de carotenóides totais expressos em μg de licopeno/g amostra presentes nas fatias de goiaba fresca e nas desidratadas para cada tratamento realizado. O licopeno é o carotenóide mais abundante em goiabas e representa cerca de 80% dos carotenóides totais (PADULA e RODRIGUES-AMAYA, 1987).

A goiaba fresca apresentou um teor de licopeno de $39,17 \pm 3,58 \mu\text{g/g}$ de massa fresca e as amostras desidratadas apresentaram teores de $50,17 \pm 1,69$ a $57,53 \pm 1,79 \mu\text{g/g}$ de massa fresca. Nota-se que as amostras desidratadas apresentaram maiores quantidades de licopeno em relação à fruta fresca, fato que pode ser relacionado à concentração desses pigmentos nas frutas em decorrência das perdas de água ocorridas ao longo das três horas de processo osmótico. O tipo de tratamento não apresentou efeito estatisticamente significativo sobre o teor de licopeno das frutas. Isso corrobora um aspecto positivo do uso da desidratação osmótica em frutas ricas em carotenóides, fato já relatado por Sanjinez-Argandoña et al. (2005).

Tabela 4.18: Teor de carotenóides totais expressos em licopeno na goiaba fresca e nas goiabas submetidas aos diferentes processos osmóticos e percentual de retenção.

Tratamentos	Licopeno ($\mu\text{g/g}$)	% Retenção
Fresca	$39,17 \pm 3,58^a$	-
DO	$54,57 \pm 2,98^b$	102
DO 0,6%Ca	$51,15 \pm 9,89^b$	100
DO 1,2% Ca	$54,98 \pm 1,76^b$	111
PVOD	$57,53 \pm 1,79^b$	106
PVOD 0,6% Ca	$50,17 \pm 1,69^b$	100
PVOD 1,2% Ca	$55,58 \pm 1,33^b$	108

Médias seguidas com letras iguais na mesma coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

De acordo com Heredia et al. (2009), tomates tratados com soluções osmóticas ternárias (10% de NaCl, 27.5% de sacarose e água) por 24h, apresentaram um aumento de até 30% da concentração de licopeno e β -caroteno das frutas quando tratados a temperaturas de processo suaves (30 e 40 °C).

O percentual de retenção dos carotenóides nas amostras calculados pela Equação 3.14, variaram de 100 a 111% (Tabela 4.18), o que se traduz na retenção dos carotenóides presentes inicialmente nas amostras submetidas aos diferentes tratamentos osmóticos. Considerando a baixa temperatura utilizada nos experimentos (32 °C) e o efeito de barreira da solução osmótica, impedimento o contato das frutas com o oxigênio e, deste modo, evitando a degradação oxidativa dos carotenóides durante o processo, esses resultados são bastante aceitáveis. Resultados similares a estes foram relatados por Shi et al. (1999). Os valores de retenção obtidos superiores a 100% podem ser explicados em virtude da mais fácil extração de carotenóides das amostras processadas em relação a amostra fresca, as quais estão fisicamente protegidas ou combinadas com outros componentes do alimento, como sugerido por Rodriguez-Amaya (1999).

Tonon et al. (2007) reportaram que o conteúdo total de carotenóides de metades de tomates foi retido após 6 horas de desidratação osmótica em soluções ternárias de sacarose/NaCl/água. Os autores ainda verificaram que o aumento no teor de carotenóides das amostras desidratadas apresentou uma tendência de variação linear com a perda de peso sofrida pelas mesmas. Foi concluído que a desidratação osmótica pode ser utilizada como um método eficiente para a preservação da qualidade do tomate, uma vez que promove a remoção da água sem afetar o teor de carotenóides das amostras.

De acordo com os resultados obtidos, a desidratação osmótica nas condições de processo avaliadas, foi eficaz na preservação do teor de licopeno das goiabas. Cabe mencionar que a concentração do licopeno nas fatias de goiaba, como consequência da desidratação osmótica, pode contribuir para a ingestão de maiores quantidades do pigmento quando comparado ao consumo de uma mesma massa de fruta fresca.

4.3.6 Propriedades de textura – Tensão e Deformação na ruptura

Intencionando avaliar a influência da adição de lactato de cálcio às soluções osmóticas e a aplicação de um pulso de vácuo no início do processo nas propriedades de textura das goiabas, são apresentadas nas Figuras 4.11 e 4.12 os valores das propriedades mecânicas tensão e deformação na ruptura, respectivamente. Observou-se que os valores de tensão e deformação na ruptura apresentaram desvios elevados, o que pode ser atribuído a grande heterogeneidade da matéria-prima e à falta de uniformidade da estrutura interna, uma vez que o comportamento mecânico de um tecido vegetal está relacionado a diferentes níveis estruturais, principalmente pelos constituintes da parede celular os quais podem ser grandemente afetados pelas condições de processo, nível de maturação, variedade e época da colheita. Desvios elevados obtidos neste estudo para as propriedades mecânicas, inerente a variabilidade entre as frutas, também foram observados em goiabas (PEREIRA, 2006), maçãs (ANINO et al., 2006; CASTELLÓ et al., 2009), *grapefruit* (MORAGA et al., 2009) e melão (FERRARI, 2009) desidratados osmoticamente.

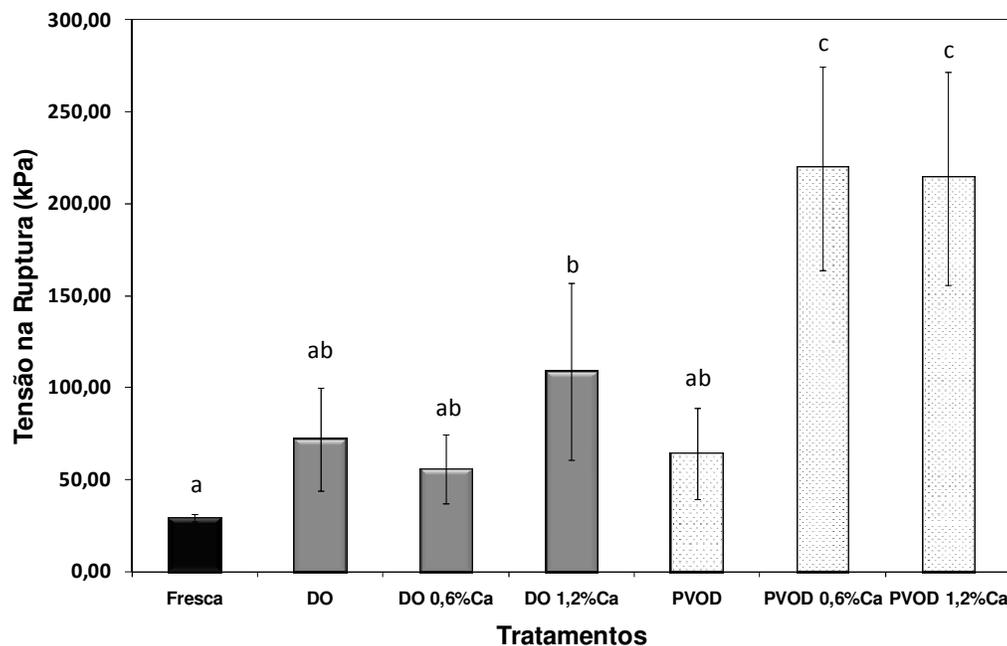


Figura 4. 11: Valores de tensão na ruptura da amostra de goiaba fresca e das submetidas aos diferentes tratamentos osmóticos. Médias seguidas com letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Observa-se na Figura 4.11 uma tendência ao aumento da tensão na ruptura das fatias de goiaba em função do processo osmótico realizado tanto a pressão atmosférica quanto com aplicação de pulso de vácuo. Porém, esses valores não diferiram estatisticamente ($p < 0,05$) da amostra fresca. A tensão na ruptura exibida pela fruta fresca foi de $29,29 \pm 1,99$ kPa, enquanto que os valores desta propriedade para as frutas desidratadas a pressão atmosférica e sob pulso de vácuo foram $71,92 \pm 27,82$ e $63,95 \pm 24,85$ kPa, respectivamente. O aumento na tensão da ruptura em virtude dos processos osmóticos empregados pode estar relacionado às maiores perdas de água ocorridas nessas condições, e que pode ter ocasionado um maior enrijecimento do tecido celular das frutas. Comportamento semelhante foi observado em goiabas do cultivar Paluma por Pereira (2006).

A adição dos sais de cálcio nas soluções osmóticas resultou no aumento da tensão de ruptura (Figura 4.11), conferindo um caráter de maior dureza as amostras, sendo esse efeito pronunciado apenas nos tratamentos com aplicação de pulso de vácuo. O aumento da concentração do lactato de cálcio não ocasionou numa mudança estatisticamente significativa da tensão na ruptura das frutas tratadas à pressão atmosférica, apesar de ser notado um aumento dessa propriedade quando adicionado 1,2% do sal ($108,79 \pm 48,23$ kPa) em relação ao tratamento sem o cálcio ($71,92 \pm 27,82$ kPa). Para as frutas desidratadas à pulso de vácuo, o aumento da concentração dos íons cálcio na solução osmótica resultou em maiores valores da tensão de ruptura ($p < 0,05$) em relação ao processo não adicionado do sal, não apresentando valores estatisticamente diferentes nas duas concentrações estudadas (0,6 e 1,2%). Esse comportamento pode estar relacionado a maior perda de água das frutas, promovida pela aplicação do vácuo, causando a compactação da estrutura das amostras. Associado ao uso do vácuo, a adição de lactato de cálcio nas soluções osmóticas, contribuiu para o fortalecimento da parede celular das frutas, provocando um enrijecimento do tecido da goiaba superior ao observado para as amostras tratadas a pressão atmosférica.

O efeito da preservação das propriedades mecânicas dos tecidos vegetais pela ação dos íons cálcio têm sido relacionado a sua interação com os grupos carboxila livres das cadeias de pectina presentes na parede celular e à lamela média, conferindo assim

maior rigidez à parede, favorecendo a manutenção das características de textura dos produtos (JACKMAN e STANLEY, 1995; MASTRANGELO, et al., 2000; GRAS et al., 2003; SILA et al., 2008). No entanto, os diferentes comportamentos, observados para a tensão na ruptura das amostras tratadas com diferentes concentrações de cálcio a pressão atmosférica e sob pulso de vácuo, podem estar relacionadas às modificações estruturais promovidas pelos tratamentos, uma vez que os teores de cálcio presente nas frutas desidratadas adicionadas de lactato de cálcio foram similares para ambos os tratamentos.

A deformação das goiabas também foi afetada pela adição de lactato de cálcio nas soluções desidratantes e pelos tratamentos osmóticos (Figura 4.12). As goiabas desidratadas osmoticamente, tanto a pressão atmosférica como sob pulso de vácuo, apresentaram valores de deformação na ruptura iguais a $0,68 \pm 0,07$ e $0,72 \pm 0,06$, respectivamente, não apresentando diferenças estatísticas ($p < 0,05$), no entanto maiores que o valor da deformação obtido pela fruta fresca ($0,50 \pm 0,06$). O aumento na deformação na ruptura após a desidratação osmótica foi também observado em mangas (TORRES et al., 2006), abóboras (MAYOR, CUNHA e SERENO, 2007), goiabas (PEREIRA et al., 2007) e maçãs (CASTELÓ et al., 2009).

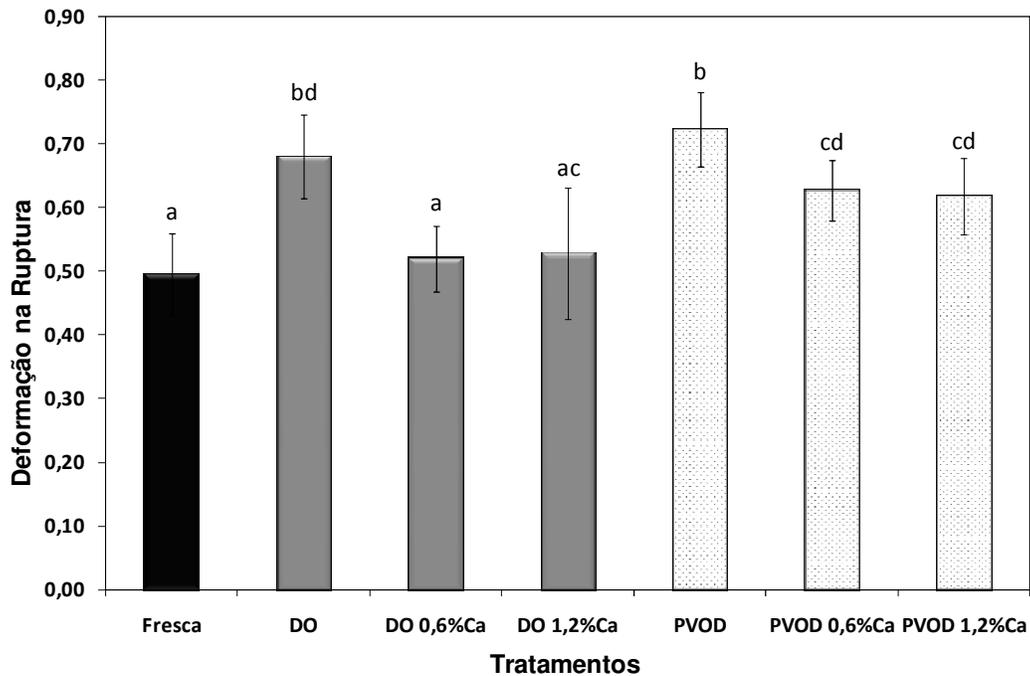


Figura 4.12: Valores de deformação na ruptura da amostra de goiaba fresca e das submetidas aos diferentes tratamentos osmóticos. Médias seguidas com letras iguais não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

O aumento da deformação na ruptura das frutas desidratadas osmoticamente pode estar relacionado à diminuição da umidade das amostras ao longo do processo de desidratação, e também devido aos fluxos de entrada de sólidos na fruta, o que pode ocasionar a plasticização da estrutura interna, resultando numa fruta com maior deformabilidade (KROKIDA, KARATHANOS e MAROULIS, 2000; MAYOR, CUNHA e SERENO, 2007). Como visto anteriormente, as maiores perdas de água foram obtidas pelos ensaios a pressão atmosférica e a pulso de vácuo (Figura 4.6), o que poderia explicar os valores mais altos da deformação na ruptura destas amostras.

A adição de lactato de cálcio nas soluções osmóticas resultou na diminuição estatisticamente significativa ($p < 0,05$) da deformação na ruptura para os tratamentos osmóticos realizados à pressão atmosférica ou sob pulso de vácuo. O aumento da concentração do cálcio nas soluções osmóticas resultou em menores valores de deformação na ruptura das amostras desidratadas à pressão atmosférica, acarretando em valores

similares aos obtidos pela fruta fresca, no entanto, sem diferenças significativas das concentrações de cálcio (0,6 e 1,2%) adicionadas. Para o tratamento desenvolvido a pulso de vácuo, também se observou a diminuição da deformação em relação ao tratamento sem cálcio, no entanto, apresentando maior deformação que a amostra fresca e as processadas a pressão atmosférica adicionadas de 0,6% do sal.

A presença do Ca^{2+} colabora na manutenção da parede celular e integridade da lamela média, o que reflete no fortalecimento da estrutura celular implicando na limitação dos fluxos de água e de sólidos que ocorrem através dos tecidos durante o processo osmótico. Com isso, a menor deformação das amostras, quando da adição do lactato de cálcio, pode estar relacionado ao efeito de preservação da matriz celular exercido pelo cálcio.

Por outro lado, Torres et al. (2006), avaliando o efeito da desidratação osmótica de mangas, a pressão atmosférica ou com aplicação de pulso de vácuo e a adição de lactato de cálcio (0 a 2%) nas soluções desidratantes de sacarose, observaram que a deformação na ruptura das amostras não apresentou tendências claras em função da concentração do cálcio adicionada às soluções osmóticas e do tipo de tratamento aplicado.

4.3.7 Análise Microestrutural

Para o melhor conhecimento do efeito dos diferentes tratamentos osmóticos sobre a microestrutura celular, a técnica de microscopia ótica foi utilizada para observar as mudanças ocorridas na estrutura das amostras. A Figura 4.13 apresenta a microfotografia do tecido celular da goiaba fresca, em que se verifica a presença de células arredondadas e alongadas, túrgidas, com a parede celular definida, além da presença de espaços intercelulares. O tonoplasto e o plasmalema aparecem associados à parede celular.

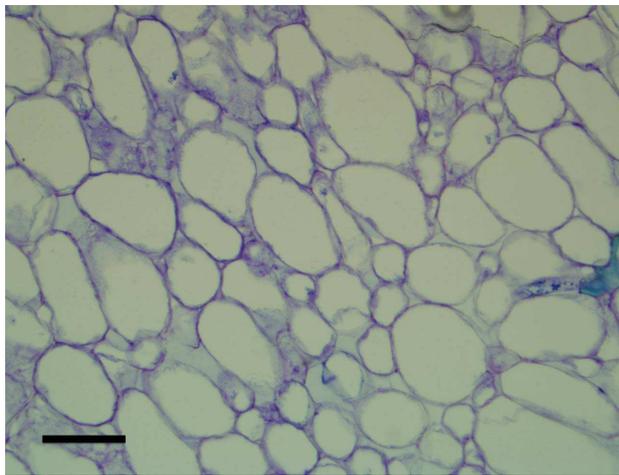


Figura 4.13: Microfotografia do tecido parênquimático da goiaba fresca. Escala 70 μm

A Figura 4.14 apresenta a estrutura celular das goiabas osmoticamente desidratadas à pressão atmosférica ou sob pulso de vácuo, adicionadas ou não de lactato de cálcio. Verificou-se que o tratamento osmótico a pressão atmosférica sem adição de cálcio resultou num intenso dano a estrutura celular da goiaba. O tecido celular apresentou intensa plasmólise, causada pela perda de água do citoplasma (setas pontilhadas) além de células deformadas e colapsadas (setas sólidas) (Figura 4.14.a). Resultado semelhante foi verificado por Pereira et al. (2009), que constataram um severo dano estrutural causado pelo processo de desidratação osmótica com soluções de sacarose (60°Brix), por duas horas, em goiabas da variedade Paluma. Os autores verificaram uma intensa plasmólise celular, além de grande colapso das células.

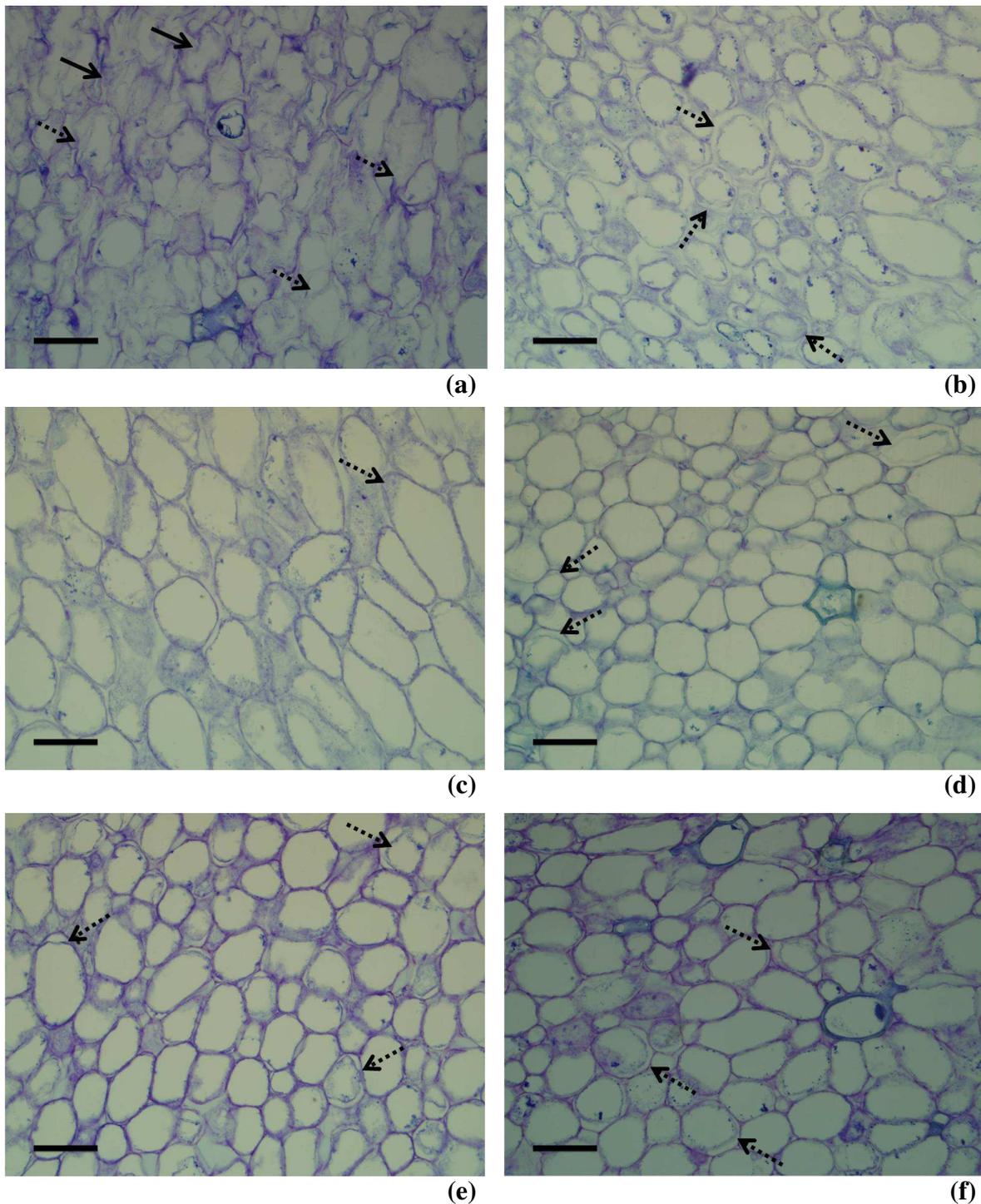


Figura 4. 14: Microfotografia do tecido das goiabas submetidas aos diferentes tratamentos. (a) Goiaba osmoticamente desidratada à pressão atmosférica; (b) e (c) osmoticamente desidratada à pressão atmosférica com adição de 0,6 e 1,2% de lactato de cálcio; (d) osmoticamente desidratada sob pulso de vácuo; (e) e (f) osmoticamente desidratada sob pulso de vácuo com adição de 0,6 e 1,2% de lactato de cálcio. Escala 70 μm .

A desidratação osmótica com aplicação de pulso de vácuo sem adição de cálcio (Figura 4.14.d), por outro lado, causou menores danos à estrutura celular que o tratamento à pressão atmosférica. Assim, observa-se a manutenção da parede e a turgidez das células, que apesar de apresentar uma suave plasmólise (setas pontilhadas), mostra um arranjo celular semelhante ao da fruta fresca, embora nessa condição tenha ocorrido as maiores perdas de água da fruta. Este resultado se opõe ao encontrado por Ito (2007) para mangas desidratadas osmoticamente com aplicação de um pulso de vácuo por 20 min, em soluções de sacarose a 60°Brix a temperatura de processo de 30°C. Os autores observaram que a desidratação osmótica nessas condições causou um intenso colapso celular e deformação das células da manga. As diferenças microestruturais e de composição (como o teor de pectina, por exemplo) existentes entre os tecidos das mangas e das goiabas podem explicar as respostas exibidas pelos tecidos quando submetidos a aplicação do pulso de vácuo.

A adição do lactato de cálcio às soluções osmóticas favoreceu a preservação da estrutura celular para ambos os processos (pressão atmosférica ou à pulso de vácuo). O efeito benéfico da adição de sais de cálcio frente aos danos causados pelo processo de desidratação osmótica à estrutura celular de frutas também foi verificado em kiwis (VIDALES, CASTRO e ALZAMORA, 1998), goiabas (PEREIRA et al., 2007) e em melão (MASTRÁNGELO, et al. 2002; FERRARI, 2009).

As frutas tratadas à pressão atmosférica com adição do sal de cálcio (Figuras 4.14.b e 4.14.c) apresentaram células túrgidas, com contorno celular bem definido, com uma grande melhora em relação ao tratamento realizado sem a adição do sal (Figura 4.14.a). No entanto, o uso da concentração de 1,2% do lactato de cálcio parece causar um maior benefício estrutural em relação ao tratamento realizado com 0,6% do sal. As frutas desidratadas com aplicação de pulso de vácuo adicionadas do lactato de cálcio (Figuras 4.14.e e 4.14.f) apresentaram a parede celular mais reforçada decorrente da presença do cálcio, indicado pela intensa coloração do azul de toluidina (corante específico para substâncias pécticas da parede celular) e manutenção do turgor das células, ainda que mostrando algum dano celular em relação à fruta fresca (Figura 4.13). Como o tratamento não adicionado de cálcio (Figura 4.14.d) já tinha apresentado um arranjo celular bem estruturado, a adição do cálcio só apresentou um efeito de fortalecimento da parede celular,

o que pode estar relacionado aos maiores valores de tensão na ruptura apresentado por estes tratamentos (Figura 4.11).

Notou-se também que a adição do lactato de cálcio às soluções desidratantes dos processos osmóticos (à pressão atmosférica e com aplicação de pulso de vácuo) provocou uma tendência à redução da perda de água das amostras (Figura 4.6) o que, de acordo com Pereira (2006), pode estar relacionada à rígida e estruturada parede celular proporcionada pela ligação entre os íons Ca^{2+} e a pectina presente no tecido vegetal, limitando a saída de água das células. A magnitude do efeito dos íons cálcio pode ser atribuída aos altos teores do mineral incorporados nas amostras, com valores até 3 vezes superiores ao teor de cálcio presente na fruta fresca.

Com o objetivo de quantificar o grau de plasmólise ocorrido nas células, inerente ao processo osmótico, foi realizada a análise de imagem das microfotografias obtidas para cada tratamento. A avaliação das células apresentadas nas fotos pode ser feita levando-se em consideração a relação estabelecida entre a área interna (delimitada pela plasmalema e que corresponde a área ocupada pelo citoplasma da célula) com a área externa (delimitada pela parede celular que corresponde à área total da célula) (Tabela 4.19). A relação entre a área interna pela área externa igual a 1 expressaria uma célula não plasmolisada, cuja área do citoplasma encontra-se associada à área da parede celular, traduzindo dessa forma a turgidez da célula e 100% da sua área preservada.

A relação entre as áreas interna e externa das células da amostra fresca apresentou um valor de $0,95 \pm 0,23$, indicando assim que as mesmas apresentaram uma média de 95% da sua área ocupada pelo citoplasma. O pequeno grau de plasmólise (5%) ocorrido pode estar relacionado à perda de água decorrentes de reações fisiológicas (respiração e transpiração celular) que são desempenhadas pelas células, além de danos mecânicos promovidos pelo corte das amostras.

Como esperado e visualizado na Figura 4.14, os processos osmóticos apresentaram um grau de plasmólise superior ao da fruta fresca, apresentando a área da célula plasmolisada de 24 a 63%. Verificou-se que o processo osmótico realizado à pressão atmosférica ou com aplicação de pulso de vácuo, provocou uma redução estatisticamente significativa da relação entre as áreas interna e externa das frutas, com valores de $0,37 \pm$

0,08 e $0,71 \pm 0,09$, respectivamente. A relação indicou que cerca de 37% da área das células ocupada pelo citoplasma nas amostras desidratadas à pressão atmosférica é preservada durante o processo, enquanto que para as amostras desidratadas sob pulso de vácuo esse valor aumenta para 71%. O elevado grau de plasmólise exibido para a amostra desidratada a pressão atmosférica pode ser verificado na Figura 4.14.a.

Tabela 4.19: Avaliação do grau de plasmólise das células apresentadas nas fotos de microscopia ótica de cada tratamento.

Tratamento	Área interna/Área externa
Fresca	$0,95 \pm 0,23^a$
DO	$0,37 \pm 0,08^b$
DO 0,6%Ca	$0,55 \pm 0,06^c$
DO 1,2%Ca	$0,76 \pm 0,04^d$
PVOD	$0,71 \pm 0,09^{de}$
PVOD 0,6%Ca	$0,71 \pm 0,07^{de}$
PVOD 1,2%Ca	$0,66 \pm 0,13^e$

Médias seguidas com letras iguais na mesma coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

A adição dos sais de cálcio nas soluções osmóticas resultou em um aumento da preservação da área das células ocupada pelo citoplasma e consequente diminuição da plasmólise ocorrida nos tecidos das amostras em ambos os processos (à pressão atmosférica ou com aplicação de pulso de vácuo). O aumento da concentração do sal de cálcio provocou um aumento estatisticamente significativo ($p < 0,05$) da preservação da área celular das amostras desidratadas osmoticamente a pressão atmosférica, sendo que a adição de 1,2% de lactato de cálcio proporcionou a preservação de 76% da área celular. Já para o processo com aplicação do pulso de vácuo, a adição do cálcio não apresentou diferenças estatisticamente significativas no nível de preservação celular das amostras, quando comparadas ao processo realizado sem adição do lactato de cálcio.

Os resultados quantitativos obtidos da análise de imagem refletiram as avaliações qualitativas realizadas anteriormente através da observação das microfotografias, indicando, que este tipo de análise pode ser considerada como uma boa

ferramenta para avaliar as mudanças que ocorrem a nível celular causadas pelo processo de desidratação osmótica.

4.3.8 Avaliação Sensorial

A análise sensorial das fatias de goiaba foi realizada a fim de verificar a aceitação das frutas osmoticamente desidratadas. Os resultados obtidos da avaliação sensorial são apresentados na Tabela 4.20.

As amostras desidratadas osmoticamente à pressão atmosférica ou com aplicação de pulso de vácuo em soluções de sacarose, adicionadas ou não de lactato de cálcio (0,6 e 1,2%), apresentaram boa aceitação sensorial em relação a todos os atributos avaliados (Tabela 4.20). Com os resultados obtidos, verificou-se que os tratamentos osmóticos afetaram o sabor e o aroma das frutas. No entanto, não foram verificadas diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos osmóticos empregados em relação aos atributos analisados (aparência, aroma, sabor, textura e impressão global).

Os atributos aroma e sabor das frutas osmoticamente desidratadas à pressão atmosférica com adição de 1,2% de lactato de cálcio receberam notas superiores à nota média da fruta fresca. Adicionalmente, notou-se também que os tratamentos realizados à pressão atmosférica com e sem a adição de 1,2% do lactato de cálcio, bem como o tratamento realizado com aplicação de pulso de vácuo adicionado de 1,2% do sal, receberam notas mais altas para o atributo sabor do que a amostra fresca. Isso ocorre provavelmente devido à incorporação de açúcar promovida pela desidratação osmótica, que melhorou o sabor das frutas, e a possível intensificação do aroma ocorrida durante o processo.

A boa aceitação sensorial de goiabas osmoticamente desidratadas com soluções de sacarose a 60°Brix com adição de até 2,0% de lactato de cálcio também foi observada por Pereira et al. (2007). Os autores não observaram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) nos parâmetros da cor, aroma, textura e impressão global das frutas.

Tabela 4 20: Resultados da avaliação sensorial em relação a aparência, aroma, sabor, textura e impressão global das fatias de goiaba.

Tratamentos	Atributos Avaliados				
	Aparência	Aroma	Sabor	Textura	Impressão Global
Fresca	5,3 ^a	5,4 ^a	5,6 ^a	5,7 ^a	5,8 ^a
DO	6,3 ^a	6,7 ^{ab}	6,8 ^b	6,5 ^a	6,8 ^a
DO 0,6% Ca	5,9 ^a	6,6 ^{ab}	6,7 ^{ab}	6,0 ^a	6,3 ^a
DO 1,2% Ca	5,8 ^a	7,0 ^b	7,0 ^b	6,7 ^a	6,7 ^a
PVOD	5,9 ^a	6,4 ^{ab}	6,7 ^{ab}	6,1 ^a	6,3 ^a
PVOD 0,6% Ca	6,5 ^a	6,7 ^{ab}	6,9 ^b	6,7 ^a	6,7 ^a
PVOD 1,2% Ca	6,1 ^a	6,5 ^{ab}	6,6 ^{ab}	6,8 ^a	6,4 ^a

Médias seguidas com letras iguais na mesma coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

A avaliação da intenção de compra das fatias de goiaba mostrou que houve uma preferência dos consumidores pelas frutas osmoticamente desidratadas, apresentando percentuais de compra iguais ou superiores a 60% para as amostras desidratadas à pressão atmosférica ou com aplicação de pulso de vácuo (Figura 4.15). Além disso, as amostras desidratadas com a adição de lactato de cálcio, de um modo geral, apresentaram intenção de compra superiores a 50% para as concentrações utilizadas, para ambos os processos osmóticos realizados (atmosférico e á pulso de vácuo).

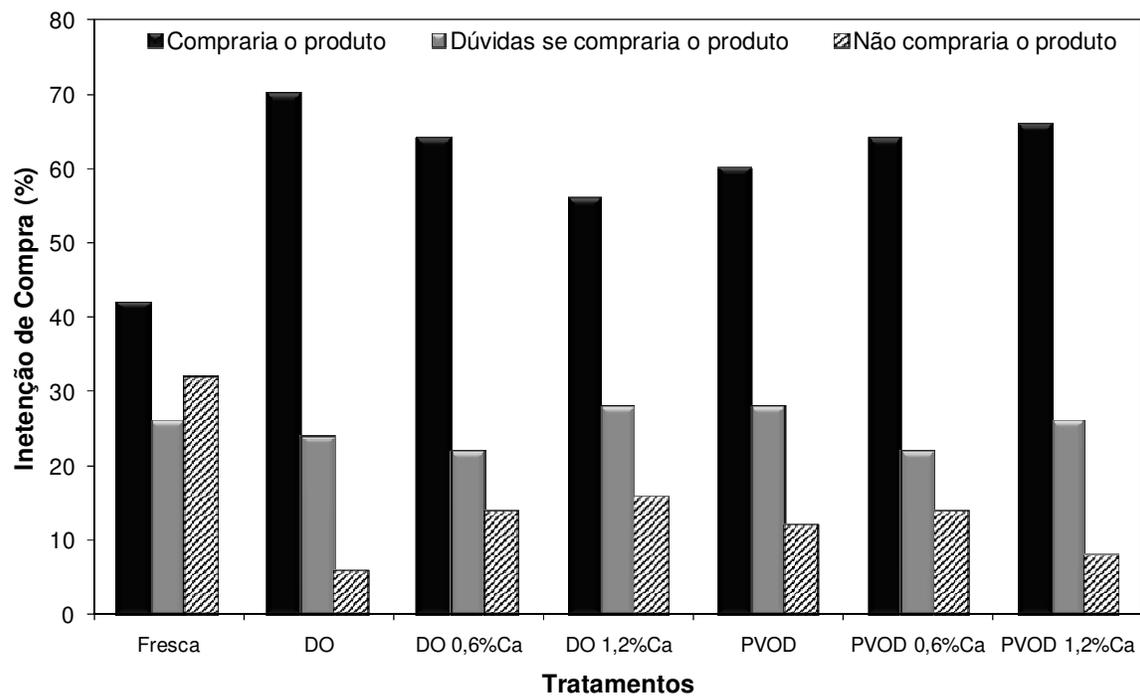


Figura 4.15: Intenção de compra das fatias de goiaba avaliadas sensorialmente.

5. CONCLUSÕES

- O delineamento experimental completo 2^3 permitiu concluir que o processo de desidratação osmótica de fatias de goiaba foi influenciado pelas variáveis do processo estudadas (concentração da solução osmótica, temperatura de processo e tempo de aplicação do pulso de vácuo).

- Verificou-se que a interação entre soluções concentradas de sacarose (55-60°Brix) e temperaturas de processo intermediárias (28-38°C) permitiram obter as maiores perdas de água e de peso, enquanto que o uso do pulso de vácuo (15 a 20 min) favoreceu a diminuição da atividade de água das frutas.

- A metodologia de otimização simultânea, utilizando a função desejabilidade aplicada neste estudo, mostrou-se uma ferramenta estatística eficiente para maximizar a perda de água e de peso e minimizar a atividade de água das fatias de goiaba. As condições otimizadas para o processo foram: solução osmótica na concentração de 60°Brix, temperatura de processo de 32°C e aplicação de 20 minutos de pulso de vácuo.

- A aplicação do pulso de vácuo foi mais eficiente na obtenção de maiores perdas de água e de peso das amostras, porém, essa variável apresentou resultados semelhantes aos obtidos pela desidratação osmótica à pressão atmosférica frente à redução da atividade de água e umidade.

- Os processos de desidratação osmótica, independentemente das condições utilizadas, foram eficazes para preservar a qualidade das fatias de goiaba, uma vez que promoveram a manutenção da cor das frutas e do teor de carotenóides inicialmente presente nas amostras.

- As propriedades mecânicas das amostras foram afetadas pelo tipo do processo (à pressão atmosférica ou à pulso de vácuo) e pela adição dos sais de cálcio nas soluções osmóticas. No entanto, as características sensoriais das frutas osmoticamente

desidratadas sobre as diferentes condições de processo não exibiram diferenças significativas de acordo com a avaliação dos consumidores.

- A avaliação microestrutural das fatias de goiaba, através das imagens de microscopia ótica, mostrou os severos danos à estrutura celular das frutas causados pelo processo osmótico realizado à pressão atmosférica. Foi possível perceber que o processo osmótico à pulso de vácuo causou menores danos celulares, proporcionando uma arranjo estrutural similar ao do tecido da fruta fresca.

- A adição de lactato de cálcio proporcionou a manutenção da estrutura celular das frutas desidratadas osmoticamente a pressão atmosférica e à pulso de vácuo.

- Os resultados obtidos através da análise das fotos de microscopia ótica, permitiu uma avaliação quantitativa da modificação celular, refletindo as alterações qualitativas observadas visualmente.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o objetivo de complementar este trabalho alguns estudos futuros poderiam ser realizados:

- Avaliar o efeito do uso do pulso de vácuo e dos sais de cálcio na taxa respiratória e na estabilidade microbiológica das fatias de goiaba.
- Avaliar as mudanças das propriedades macroestruturais (porosidade e densidade) e correlacioná-las às modificações ocorridas na microestrutura das frutas processadas.
- Estudar a vida útil das fatias de goiaba osmoticamente desidratadas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBOTT, J. A.; KLEIN, J. D.; CAMPBELL T. A.; CONWAY, W. S.; SAMS C. E. Sensory and firmness measurements of calcium- and heat-treated apples. **Journal of Texture Studies**, v. 31, p. 109-121, 2000.

ALZAMORA, S. M., TAPIA, M. S., ARGAIZ, A, WELTI, J. Application of combined methods technology in minimally processed fruits, **Food Research International**, v. 26, p. 125-130, 1993.

ALZAMORA, S. M.; GERSCHENSON, L. N.; VIDALES, S. L.; NIETO, A. Structural Changes in the Minimal Processing of Fruits: Some Effects of Blanching and Sugar Impregnation. In: FITO, P.; ORTEGA-RODRIGUEZ, E.; BARBOSA-CANOVAS, G. **Food Engineering 2000**, New York: Ed. Chapman and Hall, p.117-139, 1997.

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**, v.39, n.2, p.154-164, 2006.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2009. Disponível em: <http://www.anuarios.com.br>. Acesso em: 10 novembro de 2009.

AOAC. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**, 17th ed., Gaithersburg: Ed. William Horwitz, 2002.

AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**, 18th ed., Gaithersburg, Ed. William Horwitz, Chapter 50, methods. 985.35 e 984.27, 2005.

AZOUBEL, P. M.; EL-AOUAR, A. A.; TONON, R. V.; KUROZAWA, L. E.; Antonio, G. C.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Effect of osmotic dehydration on the drying kinetics and quality of cashew apple. **International Journal of Food Science and Technology**, v.44, p. 980–986, 2009.

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

BARRERA, C.; BETORET, N.; FITO, P. Ca²⁺ and Fe²⁺ influence on the osmotic dehydration kinetics of apple slices (var. Granny Smith). **Journal of Food Engineering**, v. 65, p. 9-14, 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.

- BOEIRA, J. B.; STRINGARI, G. B.; LAURINDO, J. B. Estudo da desidratação de pêssegos por tratamento osmótico e secagem. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 25, p. 77-90, 2007.
- BRUNO, R. S.; WILDMAN, R.E.C. AND SCHWARTZ, S.J. Lycopene: Food Sources, Properties, and Health. In: Wildman, R. E.C. **Handbook of nutraceuticals and functional foods**, Boca Raton: Ed. Taylor and Francis, 2nd ed, p. 55-68, 2007.
- BUGGENHOUT, S. V.; GRAUWET, T.; LOEY, A. V.; HENDRICKX, M. Use of pectinmethylesterase and calcium in osmotic dehydration and osmodehydrofreezing of strawberries. **European Food Research and Technology**, v.226, n.5, p.1145 - 1154, 2008.
- CALVO, C.; DURÁN, L. Propriedades Físicas II – Ópticas y Color. In: AGUILERA, J. M. **Temas en Tecnología de Alimentos**, México: Ed. Instituto Politécnico Nacional, 1997. v. I, cap. 7, p. 261-288.
- CASTELLÓ, M. L.; IGUAL, M.; FITO, P.J.; CHIRALT, A. Influence of osmotic dehydration on texture, respiration and microbial stability of apple slices (Var. Granny Smith). **Journal of Food Engineering**, v. 91, p. 1-9, 2009.
- CECCHI, H. M. **Fundamentos Teóricos e Práticos em Análise de Alimentos**. 2 ed. rev. Campinas, Editora da UNICAMP, 207 p., 2003.
- CHIRALT, A., FITO, P., BARAT, J. M., ANDRÉS, A., GONZÁLEZ-MARTINEZ, C., ESCRICHE, I., CAMACHO, M. M. Use of vacuum impregnation in food salting process. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 141 – 151, 2001.
- CHIRALT, A.; FITO, P. Transport Mechanisms in Osmotic Dehydration: The Role of the Structure. **Food Science and Technology International**, v. 9, p. 179-189, 2003.
- CHIRALT, A.; TALENS, Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues. **Journal of Food Engineering**, v. 67, p. 167-177, 2005.
- CLYDESDALE, F. M. Color: Origin, Stability, Measurement, and Quality. Chapter 7. **Food Storage Stability**, In: TAUB, I. A.; SINGH, R. P. Ed: CRC Press LLC, 2000.
- CONTRERAS, C.; MARTÍN-ESPARZA, M. E.; CHIRALT, A.; MARTÍNEZ-NAVARRETE. Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 1, p. 55-64, 2008.
- CORRÊA, J. L. G.; PEREIRA, L. M.; VIEIRA, G. S.; HUBINGER, M. D. Mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotic dehydration of guavas. **Journal of Food Engineering**, v. 96, p. 498–504, 2010.

- CORZO, O., GOMEZ, E. R. Optimization of osmotic dehydration of cantaloupe using desired function methodology. **Journal of Food Engineering**, v. 64, p. 213 – 219, 2004.
- DENG, Y; ZHAO, Y. Effects of pulsed-vacuum and ultrasound on the osmodehydration kinetics and microstructure of apples (Fuji). **Journal of Food Engineering**, v. 85, p. 84–93, 2008.
- DERMESONLOUOGLU, E.K.; GIANNAKOUREU, M.C.; TAOUKIS, P. Stability of dehydrofrozen tomatoes pretreated with alternative osmotic solutes. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 272–280, 2007.
- DERRINGER, G. C.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several response variables. **Journal of Quality Technology**, v. 12, p. 214-219, 1980.
- EL-AOUAR, A. A.; AZOUBEL, P. M.; JÚNIOR, L. B.; MURR, F. E. X. Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 75, p. 267–274, 2006.
- ESCRICHE, I.; GARCIA-PINCHI, R.; ANDRÉS, A.; FITO, P. Osmotic dehydration of kiwifruit (*Actinidia chinensis*): fluxes and mass transfer kinetics. **Journal of Food Process Engineering**, v. 23, p. 191-205, 2000.
- ESCRICHE, I.; GARCIA-PINCHI, R.; CAROT, J. M.; SERRA, J. A. Comparison of must and sucrose as osmotic solutions to obtain high quality minimally processed kiwi fruit (*Actinidia chinensis* P.) slices International. **Journal of Food Science and Technology**, v. 37, p.87-95, 2002.
- FALADE, K. O.; IGBEKA, J. C.; AYANWUYI, F. A. Kinetics of mass transfer, and colour changes during osmotic dehydration of watermelon. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 979 - 985, 2007.
- FAOSTAT. Guavas, mangoes and mangosteens. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Acesso em: 10 de novembro de 2009.
- FERRARI, C. C. **Estudo da transferência de massa e qualidade do melão desidratado osmoticamente em soluções de sacarose e maltose**. Universidade Estadual de Campinas , Dissertação (Mestrado), 98p., 2005.
- FERRARI, C. C. **Avaliação do emprego da desidratação osmótica e de coberturas comestíveis de pectina na estrutura celular e na qualidade de melão minimamente processado**. Universidade Estadual de Campinas, Tese (Doutorado), 170p., 2009.
- FERREIRA, J. E. M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Degradation of lycopene and β -carotene in model systems and in lyophilized guava during ambient storage: kinetics, structure, and matrix effects. **Journal of Food Science**. v. 78, n. 8, 2008

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.; Modeling of vacuum osmotic dehydration of food. **Journal of Food Engineering**, v. 22, p. 313-328, 1994.

FITO, P.; ANDRE, A.; CHIRALT, A.; PARDO, P. Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation-relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food-liquid systems. **Journal of Food Engineering**, v. 21, p. 229-240, 1996.

FITO, P.; CHIRALT, A. Osmotic dehydration: an approach to the modelling of solid food liquid operations. In: FITO, P.; ORTEGA-RODRIGUEZ, E.; BARBOSA-CANOVAS, G. **Food Engineering 2000**, New York: Ed. Chapman and Hall, p. 231–252, 1997.

FITO, P.; CHIRALT, A.; BARAT, J. M.; ANDRÉS, A.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; MARTÍNEZ-NAVARRETE. Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 297-302, 2001.

GIRALDO, G.; TALENS, P.; FITO, P.; CHIRALT, A. Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. **Journal of Food Engineering**, v. 58, p. 33-43, 2003.

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.

HEREDIA, A.; PEINADO, I.; BARRERA, C.; ANDRES, A. Influence of process variables on colour changes, carotenoids retention and cellular tissue alteration of cherry tomato during osmotic dehydration. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 22, p. 285-294, 2009.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção agrícola. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.** Produção Agrícola. Estatísticas: culturas, 2008. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 20 nov. 2009.

IBRAF. **Instituto Brasileiro de Frutas**, 2008. Disponível em: <http://www.ibraf.org.br>. Acesso em: 10 novembro de 2009.

IEA – **Instituto de Economia Agrícola.** Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/anuario.php>>. Acesso em: 11 novembro de 2009.

ITO, A. P. **Estudo dos processos de desidratação osmótica a pulso de vácuo (PVOD) de fatias de manga.** Universidade Estadual de Campinas, Tese (Doutorado), 2007, 150p.

ITO, A. P.; CAVENAGHI, M.; BERTOLDO, C.; PARK, K. J.; HUBINGER, M. D. Efeito do processo de desidratação osmótica a pulso de vácuo na transferência de massa e nas propriedades reológicas e de cor de fatias de manga. **Ciência e Tecnologia Alimentos**, Campinas, v. 27, p.54-63, 2007.

JACKMAN, R. L.; STANLEY, D. W. Perspectives in the Textural Evaluation of Plant Foods. **Trends in Food Science e Technology**, v. 6, p. 187-194, 1995.

KALÁB, M.; ALLAN-WOJTAS, P.; MILLER, S. S. Microscopy and other imaging techniques in food structure analysis. **Trends in Food Science e Technology**, v. 6, p. 177-186, 1995.

KAVATI, R. **Produção integrada de goiaba**. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral – CATI, Campinas. Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br>> Acesso em 06 mar. 2008.

KOWALSKA, H.; LENART, A. mass exchange during osmotic pretreatments of vegetables. **Journal of Food Engineering**, v.49, p. 137-140, 2001.

KROKIDA, M. K.; KARATHANOS, V. T.; MAROULIS, Z. B. Effect of osmotic dehydration on color and sorption characteristics of apple and banana. **Drying Technology**, v. 18, p. 937-950, 2000.

LAZARIDES, H. N.; KATSANIDIS, E.; NICKOLAIDIS, A. Mass Transfer Kinetics during Osmotic Preconcentration Aiming at Minimal Solid Uptake. **Journal of Food Engineering**, v.25, p. 151-166, 1995.

LAZARIDES, H. N.; FITO, P.; CHIRALT, A.; GEKAS, V.; LENART, A. Advances in osmotic dehydration. In: FITO, P.; ORTEGA-RODRIGUEZ, E.; BARBOSACANOVAS, G. **Food Engineering 2000**, New York: Ed. Chapman and Hall, 1997.

LAZARIDES, H. N. Reasons and possibilities to control solids uptake during osmotic treatment of fruits and vegetables. In: FITO, P.; CHIRALT, A.; BARAT, J. M.; SPIESS, W. E. L.; BEHSNILIAN, D. (Eds.). **Osmotic dehydration and Vacuum impregnation**, Lancaster, Pennsylvania, Technomic Publishing Company, p.33-42, 2001.

LEWICKI, P. P.; VU LE, H.; POMARANSKA-LAZUKA, W. Effect of pre-treatment on convective drying of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 54, p. 141-146, 2002.

LEWICKI, P. P.; PORZECKA-PAWLAK, R. Effect of Osmotic Dewatering on Apple Tissue Structure. **Journal of Food Engineering**, v. 66, p. 43-50, 2005.

LOMBARD, G.E.; OLIVEIRA, J.C.; FITO, P.; ANDRES, A. Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. **Journal of Food Engineering**, v. 85, p. 277–284, 2008.

LUNA-GUZMÁN, I.; BARRETT, D. M. Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupe. **Postharvest Biology and Technology**, v. 19, p. 61-72, 2000.

MADAMBA, P., LOPEZ, R. I. Optimization of the osmotic dehydration of mango (*Mangifera indica* L.) slices. **Drying Technology**, v. 20, p. 1227 - 1242, 2002.

MAYOR, L.; CUNHA, R. L.; SERENO, A. M. Relation between mechanical properties and structural changes during osmotic dehydration of pumpkin. **Food Research International**, v. 40, p.448-460, 2007.

MAYOR, L.; PISSARRA, J.; SERENO, A.M. Microstructural changes during osmotic dehydration of parenchymatic pumpkin tissue. **Journal of Food Engineering**, v. 85, p. 326–339, 2008.

MARTÍN-DIANA, A. B.; RICO, D.; BARRY-RYAN, C.; FRÍAS, J. M.; MULCAHY, J.; HENEHAN, G. T. M. 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**, v. 85, p. 2260-2268, 2005.

MARTÍNEZ, L. Sensory evaluation based on linguistic decision analysis. **International Journal of Approximate Reasoning**, v. 44, p. 148-164, 2007.

MASTRÁNGELO, M. M.; ROJAS, A. M.; CASTRO, M. A.; GERSCHENSON, L. N.; ALZAMORA, S. M. Texture and structure of glucose-infused melon. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, p. 769-776, 2000.

MASTRANTONIO, S. D. S.; PEREIRA, L. M.; HUBINGER, M. D. Osmotic Dehydration Kinetics os Guavas in Maltose Solutions with Calcium Salt. **Alimentos e Nutrição**, v. 16, n. 4, p. 309-314, 2005.

MEDINA, J. C. Cultura. In: **Série Frutas Tropicais. Goiaba: Cultura, processamento e aspectos econômicos**, Campinas: Ed. Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL, v. 6, cap. I, p. 1-17, 1988.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V.; CARR, B.T. **Sensory Evaluation Techniques**, 3 rd ed., Boca Raton: Ed. CRC Press, Inc., 1999. 387p.

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.

MORENO, J.; CHIRALT, A.; ESCRICHE, I.; SERRA, J.A. Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries. **Food Research International**, v.33, p. 609-616, 2000.

MORTON, J. 1987. **Guava**. p. 356–363. In: Fruits of warm climates. Miami, FL. Disponível em: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/guava.html>. Acesso em 15 outubro de 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, p. 305-314, 2003.

MUÑOZ, A. M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory Evaluation in Quality Control**, New York: Ed. Van Nostrand Reinhold, 240p., 1992.

MUNTADA, V.; GERSCHENSON, L. N.; ALZAMORA, S. M.; CASTRO, M. A. Solute Infusion Effects on Texture of Minimally Processed Kiwifruit. **Journal of Food Science**, v. 63, p. 616-620, 1998.

MURPHY, E. W.; CRINER, P. E.; GRAY, B. C. Comparisons of methods for calculating retentions of nutrients in cooked foods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.23, p.1153-1157, 1975.

PADULA, M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Characterisation of the carotenoids and assessment of the vitamin A value of Brazilian guava. **Food Chemistry**, v. 20, p.11-19, 1986.

PAN, Y. K., ZHAO, L. J., ZHANG, Y., CHEN, G. AND MUJUMDAR, A. S. 'Osmotic Dehydration Pretreatment in Drying of Fruits and Vegetables. **Drying Technology**, v.21, n. 6, p. 1101 – 1114, 2003.

PANADÉS, G.; CHIRALT, A.; FITO, P.; RODRÍGUEZ, I.; NUÑEZ, M.; ALBORS, A.; JIMÉNEZ, R. Influence of operating conditions on sensory quality of minimally processed osmotically dehydrated guava. **Journal of Food Quality**, v. 26, p.91-103, 2003.

PANADÉS, G. ; FITO, P.; AGUIAR, Y.; VILLAVICENCIO, M. N.; ACOSTA, V. Osmotic dehydration of guava: Influence of operating parameters on process kinetics. **Journal of Food Engineering**, v. 72, p. 383-389, 2006.

PANADÉS, G.; CASTRO, D.; CHIRALT, A.; FITO, P.; NUN, M.; JIMÉNEZ, R. Mass transfer mechanisms occurring in osmotic dehydration of guava. **Journal of Food Engineering**, v. 87, p. 386-390, 2008.

PEREIRA, L. M.; RODRIGUES, A. C. C.; SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; JUNQUEIRA, V. C. A.; CUNHA, R. L.; HUBINGER, M. D. Influence of Modified Atmosphere Packaging and Osmotic Dehydration on the Quality Maintenance of Minimally Processed Guavas. **Journal of Food Science**, v. 69, p. 172-177, 2004.

PEREIRA, L. M. **Influência da desidratação osmótica com aditivos na estrutura celular e na manutenção da qualidade de goiabas minimamente processadas.** Universidade Estadual de Campinas, Tese (Doutorado), 202p., 2006.

PEREIRA, L. M.; FERRARI, C. C.; MASTRANTONIO, S. D. S.; RODRIGUES, A. C. C.; HUBINGER, M. D. Kinetic Aspects, Texture, and Color Evaluation of Some Tropical Fruits during Osmotic Dehydration. **Drying Technology**, v. 24, p. 475–484, 2006.

PEREIRA, L. M.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M.; BOLINI, H. M. A.; CUNHA, R. L.; HUBINGER, M. D. Effect of Calcium Salts on the Texture, Structure and Sensory Acceptance of Osmotically Dehydrated Guavas. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.87, n.6, p.1149-1156, 2007.

PEREIRA, N. R. **Estudo da aplicação de microondas na secagem de bananas tratadas osmoticamente.** Universidade Estadual de Campinas, Tese (Doutorado), 188p., 2007.

PEREIRA, L. M.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M.; HUBINGER, M. D. Microscopic features, mechanical and thermal properties of osmotically dehydrated guavas. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, p. 378–384, 2009.

PEZANTES, D. V.; SOBRAL, P. J. A.; HUBINGER, M. D. **Mass Transfer in osmotic dehydration of Atlantic Bonito (Sarda sarda) fillets under vacuum and atmospheric pressure.** In: 14th International Drying Symposium, São Paulo, Proceedings..., 2004, p.2105-2112.

POMMER, C. V.; MURAKAMI, K. R. N.; WATLINGTON, F. A goiaba no mundo. **O Agrônômico**, v. 58, n. 1, p. 22-26, 2006.

PRINZIVALLI, C.; BRAMBILLA, A.; MAFFI, D.; LO SCALZO, R.; TORREGGIANI, D. Effect of Osmosis Time on Structure, Texture and Pectin Composition of Strawberry Tissue. **European Food Research and Technology**, v.224, n.1, p.119-127, 2006.

QUEIROZ, V. A. V.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B.; GRAVINA, G. A.; QUEIROZ, L. R.; DELIZA, R. Desidratação por imersão-impregnação e secagem por convecção de goiaba. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1479-1486, 2007.

RANGANNA, S. **Manual of Analysis of Fruit and Vegetables Products**, Mysore: Ed. Central Food Technological Research Institute, 1977. 634p.

RAOULT-WACK, A. L. Recent Advances in the Osmotic Dehydration of foods. **Trends in Food Science e Techonology**, v.5, p. 255-260, 1994.

RIZZOLO, A.; GERLI, F.; PRINZIVALLI, C.; BURATTI, S.; TORREGGIANI, D. Headspace volatile compounds during osmotic dehydration of strawberries (cv Camarosa): Influence of osmotic solution composition and processing time. **LWT - Food Science and Technology**, v. 40, p. 529-535, 2007.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoids analysis in foods.** Washington, DC: Life Sciences Institute Press, 64p., 1999.

RODRIGUES AMAYA, D. B.; KIMURA, M. **HarvestPlus Handbook for Carotenoid Analysis**. Washington: International Food Policy Research Institute (IFPRI) and International Center for Tropical Agriculture (CIAT), 58p., 2004.

RODRIGUES, A. C. C.; PEREIRA, L. M.; SARANTAPOULOS, C. I. G. L.; BOLINI, H. M. A.; CUNHA, R. L. JUNQUEIRA, V. C. A.; HUBINGER, M. D. Impact of modified atmosphere packaging on the osmodehydrated papaya stability. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 30, p. 563-581, 2006.

SAFTNER, R. A.; BAI, J.; ABBOTT, J. A.; LEE, Y. S. Sanitary Dips with Calcium Propionate, Calcium Chloride, or a Calcium Amino Acid Chelate Maintain Quality and Shelf Stability of Fresh-Cut Honeydew Chunks. **Postharvest Biology and Technology**, v. 29, p. 257-269, 2003.

SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J. **Goiabas desidratadas osmoticamente e secas: avaliação de um sistema osmótico semi-contínuo, da secagem e da qualidade**. Universidade Estadual de Campinas, Tese (Doutorado), 172p., 2005.

SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J. ; MENEGALLI, F. C. ; CUNHA, R. L.; HUBINGER, M. D. Evaluation of total carotenoids and ascorbic acid in osmotic pretreated guavas during convective drying. **Italian Journal of Food Science**, v. 17, n. 3, p. 305-314, 2005.

SEGUÍ, L.; FITO, J. P.; FITO, P. Analysis of structure-property relationships in isolated cells during OD treatments. Effect of initial structure on the cell behaviour. **Journal of Food Engineering**, doi:10.1016/j.jfoodeng., (no prelo), 2009.

SHI J.; MAGUER, M. L.; KAKUDA, Y.; LIPTAY, A. e NIEKAMP. F. Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration. **Food Research International**, v.32, p.15-21, 1999.

SHI, X. Q.; FITO, P. **Vacuum osmotic dehydration of fruits**. *Drying Technology*, v.11, n.6, p.1429-1442, 1993.

SHI, X. Q.; FITO, P.; CHIRALT, A. Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic dehydration of fruits. **Food Research International**, v. 28, n. 5, p. 445-454, 1995.

SILA, D. N.; DUVETTER, T.; DE ROECK, A.; VERLENT, I.; SMOUT, C.; HILLS, B. P.; WALDRON, K. K.; HENDRICKX, M.; LOEY, A. V. Texture changes os processed fruits and vegetables: potential use of high-pressure processing. **Trends in Food Science and Technology**, v. 19, p. 309-319, 2008.

SILVA, F. A. **Estudo da Aplicação de Energia de Microondas na Secagem da Noz Macadâmia**. Universidade Estadual de Campinas, Tese (Doutorado), 151p., 2005.

SOUZA, P. H. M., MAIA, G.A.; FILHO, M. S. M. S.; FIGUEIREDO, R. W.; SOUZA, A. C. R. Goiabas desidratadas osmoticamente seguidas de secagem em estufa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, vol. 25, p. 414-416, 2003.

STONE, H.; SIDEL, J. L. **Sensory Evaluation Practices**, 3ed., San Diego: Ed. Academic Press, Inc., 408p., 2004.

TACO - **Tabela brasileira de composição de alimentos** / NEPA-UNICAMP.- Versão II. - 2. ed. - Campinas, SP: NEPA-UNICAMP, 113p., 2006.

TALENS, P.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; FITO, P.; CHIRALT, A. Changes in Optical and Mechanical Properties during Osmodehydrofreezing of Kiwi Fruit. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 3, p. 191-199, 2001.

TAPIA, M. S.; LÓPEZ-MALO, A.; CONSUEFRA, R.; CORTE, P.; WELTI-CHANES, J. Minimally processed papaya by vacuum osmotic dehydration (VOD) techniques. **Food Science and Technology International**, v. 5, p. 41-49, 1999.

TODA FRUTA. **Fruta tropical reconquista mercado e ganha destaque internacional**. 2003. Disponível em: <<http://www.todafruta.com.br/>>. Acesso em: 05 março de 2008.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; HUBINGER, M. D. Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions: Influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids. **Journal of Food Engineering**, v.82, p. 509-517, 2007.

TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetables processing. **Food Reserch International**, v. 26, p. 59-68, 1993.

TORREGGIANI, D.; BERTOLO, G. Osmotic pré-tratamentos in fruit processing: chemical, physical and structural effects. **Journal of Food Engineering**, v.49, p. 247-253, 2001.

TORRES, J. D.; TALENS, P.; ESCRICHE, I.; CHIRALT, A. Influence of process conditions on mechanical properties of osmotically dehydrated mango. **Journal of Food Engineering**, v. 74, p. 240-246, 2006.

TORRES, J. D.; CASTELLO, M.L., ESCRICHE, I., CHIRALT, A. Quality characteristics, respiration rates, and microbial stability of osmotically treated mango tissue (*Mangifera indica* L.) with or without calcium lactate. **Food Science and Technology International**, v. 14, n. 4, p.355–365, 2008.

TREGUNNO, N. B.; GOFF, H. D. Osmodehydrofreezing of apples: structural and textural effects. **Food Reserch International**, v. 2, p. 471-479, 1996.

USDA – United States Department of Agriculture. National Nutrient Database for Standard. Release 22, (2009). Disponível em: http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl. Acesso em: 18 de outubro de 2009.

UDDIN, M. B.; AINSWORTH, P.; IBANOGLU, S. Evaluation of mass exchange during osmotic dehydration of carrots using response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, v.65, p.473-477, 2004.

VALENTE, P. P. S. S. **Desidratação osmótica e secagem de abacaxi (Ananás Comosus L. Merrill), variedade pérola**. Universidade Estadual de Campinas, Dissertação (Mestrado), 142p., 2007.

VIDALES, S. L.; CASTRO, M. A.; ALZAMORA, S. M. The Structure-Texture Relationship of Blanched and Glucose-Impregnated Strawberries. **Food Science and Technology International**, v. 4, p. 169-178, 1998.

WILKINSON, C.; DIJKSTERHUIS, G. B.; MINEKUS, M. From Food Structure to Texture. **Trends in Food Science e Technology**, v. 11, p. 442-450, 2000.

8. APÊNDICE A

Ficha da análise sensorial das fatias de goiaba.

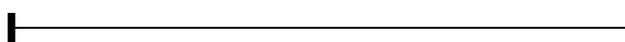
Nome: _____ Data: _____

Amostra n^o: _____

Por favor, prove a amostra de goiaba e marque na escala o quanto você gostou ou desgostou da amostra:

- Em relação à aparência:

Desgostei muitíssimo Gostei muitíssimo



- Em relação ao aroma:

Desgostei muitíssimo Gostei muitíssimo



- Em relação ao sabor:

Desgostei muitíssimo Gostei muitíssimo



- Em relação à textura:

Desgostei muitíssimo Gostei muitíssimo



- Em relação à impressão global:

Desgostei muitíssimo Gostei muitíssimo



Comentários: _____

Assinale para esta amostra, qual seria sua atitude quanto à compra do produto.

- () eu certamente compraria este produto.
- () eu provavelmente compraria este produto.
- () tenho dúvidas se compraria ou não esse produto.
- () eu provavelmente não compraria este produto.
- () eu certamente não compraria este produto.

9. APÊNDICE B

Estimativa dos coeficientes lineares, quadráticos e das interações para as respostas analisadas com o erro calculado pelo erro puro, obtidos no planejamento experimental.

Tabela 9.1: Coeficientes de regressão dos fatores estudados sobre as respostas perda de peso, perda de água e ganho de sólidos.

Resposta	Fatores	Efeito	Erro puro	t(2)	p-valor
Perda de Peso	Média Global	21,76*	0,37	58,67	0,0003
	(1) Conc. de sacarose (L)	3,07*	0,17	17,63	0,0032
	Conc. de sacarose (Q)	-1,72*	0,19	-8,95	0,0122
	(2)Temperatura(L)	0,22	0,17	1,29	0,3275
	Temperatura(Q)	-1,13*	0,19	-5,91	0,0274
	(3)Tempo de vácuo(L)	0,12	0,17	0,71	0,5536
	Tempo de vácuo (Q)	-0,93*	0,19	-4,88	0,0396
	Conc.(L) x Temper.(L)	1,30*	0,23	5,71	0,0293
	Conc.(L) x tempo (L)	0,19	0,23	0,84	0,4889
Temper. (L) x tempo (L)	1,04*	0,23	4,58	0,0446	
Perda de Água	Média Global	26,90*	0,07	404,49	0,0000
	(1) Conc. de sacarose (L)	2,55*	0,03	81,75	0,0001
	Conc. de sacarose (Q)	-1,51*	0,03	-43,96	0,0005
	(2)Temperatura(L)	0,61*	0,03	19,64	0,0026
	Temperatura(Q)	-1,40*	0,03	-40,69	0,0006
	(3)Tempo de vácuo(L)	-0,01	0,03	-0,39	0,7360
	Tempo de vácuo (Q)	-0,64*	0,03	-18,49	0,0029
	Conc.(L) x Temper.(L)	0,84*	0,04	20,64	0,0023
	Conc.(L) x tempo (L)	0,01	0,04	0,24	0,8340
Temper. (L) x tempo (L)	0,73*	0,04	17,88	0,0031	
Ganho de Sólidos	Média Global	5,14*	0,35	14,54	0,0047
	(1) Conc. de sacarose (L)	-0,52**	0,17	-3,12	0,0891
	Conc. de sacarose (Q)	0,21	0,18	1,12	0,3775
	(2)Temperatura(L)	0,39	0,17	2,35	0,1435
	Temperatura(Q)	-0,27	0,18	-1,45	0,2836
	(3)Tempo de vácuo(L)	-0,13	0,17	-0,81	0,5017
	Tempo de vácuo (Q)	0,30	0,18	1,64	0,2428
	Conc.(L) x Temper.(L)	-0,46	0,22	-2,11	0,1693
	Conc.(L) x tempo (L)	-0,18	0,22	-0,84	0,4905
Temper. (L) x tempo (L)	-0,31	0,22	-1,44	0,2868	

Valores estatisticamente significativos: *p<0,05; **p<0,10.

Tabela 9.2: Coeficientes de regressão dos fatores estudados sobre as respostas atividade de água e umidade.

Resposta	Fatores	Efeito	Erro puro	t(2)	p-valor
Atividade de Água	Média Global	0,989*	0,001	845,25	0,0000
	(1) Conc. de sacarose (L)	-0,002**	0,001	-2,97	0,0969
	Conc. de sacarose (Q)	-0,001	0,001	-1,53	0,2646
	(2)Temperatura(L)	0,003*	0,001	4,94	0,0386
	Temperatura(Q)	0,000	0,001	-0,08	0,9455
	(3)Tempo de vácuo(L)	0,000	0,001	-0,48	0,6759
	Tempo de vácuo (Q)	-0,001	0,001	-2,40	0,1383
	Conc.(L) x Temper.(L)	0,003**	0,001	3,71	0,0657
	Conc.(L) x tempo (L)	-0,002**	0,001	-3,09	0,0910
Temper. (L) x tempo (L)	0,001	0,001	0,79	0,5106	
Umidade	Média Global	0,889*	0,002	441,58	0,0000
	(1) Conc. de sacarose (L)	-0,002	0,001	-2,04	0,1781
	Conc. de sacarose (Q)	0,001	0,001	0,75	0,5304
	(2)Temperatura(L)	-0,006*	0,001	-6,32	0,0241
	Temperatura(Q)	0,006*	0,001	5,69	0,0295
	(3)Tempo de vácuo(L)	0,002	0,001	1,62	0,2457
	Tempo de vácuo (Q)	-0,001	0,001	-1,01	0,4185
	Conc.(L) x Temper.(L)	0,002	0,001	1,87	0,2023
	Conc.(L) x tempo (L)	0,002	0,001	1,76	0,2201
Temper. (L) x tempo (L)	0,001	0,001	1,16	0,3651	

Valores estatisticamente significativos: *p<0,05; **p<0,10.

Tabela 9.3: Coeficientes de regressão dos fatores sobre as respostas L*, C*, H* e ΔE*.

Resposta	Fatores	Efeito	Erro puro	t(2)	p-valor
L*	Média Global	1,28*	0,08	15,10	0,0044
	(1) Conc. de sacarose (L)	0,15**	0,04	3,89	0,0602
	Conc. de sacarose (Q)	0,08	0,04	1,82	0,2097
	(2)Temperatura(L)	0,00	0,04	-0,03	0,9794
	Temperatura(Q)	0,07	0,04	1,50	0,2714
	(3)Tempo de vácuo(L)	-0,05	0,04	-1,38	0,3018
	Tempo de vácuo (Q)	-0,02	0,04	-0,45	0,6954
	Conc.(L) x Temper.(L)	-0,07	0,05	-1,40	0,2957
	Conc.(L) x tempo (L)	-0,02	0,05	-0,36	0,7504
	Temper. (L) x tempo (L)	-0,01	0,05	-0,10	0,9291
H*	Média Global	0,69*	0,01	60,15	0,0003
	(1) Conc. de sacarose (L)	0,00	0,01	-0,48	0,6763
	Conc. de sacarose (Q)	0,11*	0,01	19,15	0,0027
	(2)Temperatura(L)	0,00	0,01	0,29	0,8011
	Temperatura(Q)	0,08*	0,01	14,13	0,0050
	(3)Tempo de vácuo(L)	0,01	0,01	1,46	0,2824
	Tempo de vácuo (Q)	0,01	0,01	1,97	0,1870
	Conc.(L) x Temper.(L)	-0,05*	0,01	-7,17	0,0189
	Conc.(L) x tempo (L)	0,02	0,01	2,52	0,1283
	Temper. (L) x tempo (L)	0,03**	0,01	3,72	0,0652
C*	Média Global	1,11*	0,04	30,82	0,0011
	(1) Conc. de sacarose (L)	0,04	0,02	2,29	0,1488
	Conc. de sacarose (Q)	0,01	0,02	0,77	0,5239
	(2)Temperatura(L)	-0,06**	0,02	-3,35	0,0789
	Temperatura(Q)	0,02	0,02	1,13	0,3770
	(3)Tempo de vácuo(L)	-0,05**	0,02	-3,05	0,0926
	Tempo de vácuo (Q)	-0,01	0,02	-0,35	0,7573
	Conc.(L) x Temper.(L)	-0,03	0,02	-1,33	0,3139
	Conc.(L) x tempo (L)	0,01	0,02	0,46	0,6933
	Temper. (L) x tempo (L)	0,03	0,02	1,47	0,2801
ΔE*	Média Global	10,12*	1,04	9,69	0,0105
	(1) Conc. de sacarose (L)	4,26*	0,49	8,68	0,0130
	Conc. de sacarose (Q)	1,31	0,54	2,42	0,1364
	(2)Temperatura(L)	-0,39	0,49	-0,80	0,5083
	Temperatura(Q)	0,83	0,54	1,53	0,2657
	(3)Tempo de vácuo(L)	-1,64**	0,49	-3,34	0,0793
	Tempo de vácuo (Q)	-0,30	0,54	-0,56	0,6291
	Conc.(L) x Temper.(L)	-1,27	0,64	-1,99	0,1851
	Conc.(L) x tempo (L)	-0,26	0,64	-0,40	0,7290
	Temper. (L) x tempo (L)	0,01	0,64	0,01	0,9911

Valores estatisticamente significativos: *p<0,05; **p<0,10.

Tabela 9.4: Coeficientes de regressão dos fatores sobre as respostas tensão na ruptura (σ_{rup}), deformação na ruptura (ϵ_{rup}) e força máxima de penetração (F_{max}) normalizadas.

Resposta	Fatores	Efeito	Erro puro	t(2)	p-valor
σ_{rup}	Média Global	1,22*	0,28	4,34	0,0491
	(1) Conc. de sacarose (L)	-0,21	0,13	-1,56	0,2590
	Conc. de sacarose (Q)	0,14	0,14	1,00	0,4225
	(2)Temperatura(L)	0,26	0,13	2,00	0,1840
	Temperatura(Q)	0,21	0,14	1,43	0,2900
	(3)Tempo de vácuo(L)	0,16	0,13	1,25	0,3390
	Tempo de vácuo (Q)	-0,01	0,14	-0,07	0,9511
	Conc.(L) x Temper.(L)	0,06	0,17	0,37	0,7497
	Conc.(L) x tempo (L)	0,05	0,17	0,29	0,8006
Temper. (L) x tempo (L)	-0,03	0,17	-0,15	0,8916	
ϵ_{rup}	Média Global	1,16*	0,09	13,39	0,0000
	(1) Conc. de sacarose (L)	-0,02	0,04	-0,43	0,6778
	Conc. de sacarose (Q)	0,08	0,04	1,86	0,1046
	(2)Temperatura(L)	0,02	0,04	0,51	0,6253
	Temperatura(Q)	0,09**	0,04	2,08	0,0758
	(3)Tempo de vácuo(L)	0,01	0,04	0,35	0,7353
	Tempo de vácuo (Q)	0,04	0,04	0,94	0,3794
	Conc.(L) x Temper.(L)	-0,01	0,05	-0,10	0,9203
	Conc.(L) x tempo (L)	0,00	0,05	-0,01	0,9955
Temper. (L) x tempo (L)	0,05	0,05	1,02	0,3429	
Fmax	Média Global	0,87*	0,36	2,38	0,0491
	(1) Conc. de sacarose (L)	-0,22	0,17	-1,31	0,2309
	Conc. de sacarose (Q)	0,14	0,19	0,74	0,4853
	(2)Temperatura(L)	0,18	0,17	1,06	0,3236
	Temperatura(Q)	0,13	0,19	0,67	0,5247
	(3)Tempo de vácuo(L)	0,33**	0,17	1,91	0,0985
	Tempo de vácuo (Q)	0,06	0,19	0,30	0,7700
	Conc.(L) x Temper.(L)	0,29	0,22	1,28	0,2413
	Conc.(L) x tempo (L)	-0,09	0,22	-0,40	0,6977
Temper. (L) x tempo (L)	0,06	0,22	0,28	0,7880	

Valores estatisticamente significativos: *p<0,05; **p<0,10.

10. ANEXO A



CEP, 23/06/09.
(Grupo III)

PARECER CEP: N° 520/2009 (Este n° deve ser citado nas correspondências referente a este projeto)
CAAE: 0417.0.146.000-09

I - IDENTIFICAÇÃO:

PROJETO: “AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA À PRESSÃO ATMOSFÉRICA E A VÁCUO EM FRUTAS TROPICAIS”.

PESQUISADOR RESPONSÁVEL: Miriam Dupas Hubinger

INSTITUIÇÃO: Faculdade de Engenharia de Alimentos/UNICAMP

APRESENTAÇÃO AO CEP: 09/06/2009

APRESENTAR RELATÓRIO EM: 23/06/10 (O formulário encontra-se no *site* acima)

II - OBJETIVOS

Estudar os efeitos das variáveis de processo: concentração da solução osmótica, temperatura de processo e tempo de aplicação de pulso de vácuo na cinética de desidratação osmótica e nas características físico-químicas das frutas, visando a otimização do processo de desidratação osmótica.

III - SUMÁRIO

Serão utilizados goiabas vermelhas do cultivar Paluma e mangas do cultivar Tommy. Serão utilizadas soluções de sacarose com agente desidratante, preparada com água filtrada e sacarose comercial marca União. O processo de desidratação osmótica será realizado em equipamentos construído por Pezantes et al. (2004) (processo FAPESP Auxílio à Pesquisa 01/13809-5). Serão recrutados provadores não selecionados, principalmente alunos e servidores da Universidade. Serão convidados 50 provadores para cada sessão de análise sensorial. Em cada sessão, serão analisadas, no máximo, quatro amostras por provadores (três amostras tratadas e uma amostra in natura). Não há faixa etária específica nem sexo para os provadores, sendo preferidos indivíduos consumidor do produto desenvolvido.

IV - COMENTÁRIOS DOS RELATORES

Este projeto esta fundamentado na experimentação laboratorial e dados científicos anteriores, indicando que não há possibilidade de apresentar danos aos provadores em quaisquer fase da pesquisa. A estrutura do protocolo está metodologicamente adequada, os procedimentos e métodos estão bem descrito. O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido esta adequado. Apresenta-se um orçamento detalhado com auxilio concedido pela FAPESP para às pesquisas de pós-doutorado, mestrado e iniciação científica na área de desidratação osmótica de frutas tropicas. Consta anuência do Chefe do Departamento de Engenharia de Alimentos. Os pesquisadores envolvidos possuem currículo lattes.

Comitê de Ética em Pesquisa - UNICAMP
Rua: Tessália Vieira de Camargo, 126
Caixa Postal 6111
13083-887 Campinas - SP

FONE (019) 3521-8936
FAX (019) 3521-7187
cep@fcm.unicamp.br



**FACULDADE DE CIÊNCIAS MÉDICAS
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA**

www.fcm.unicamp.br/pesquisa/etica/index.html

V - PARECER DO CEP

O Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências Médicas da UNICAMP, após acatar os pareceres dos membros-relatores previamente designados para o presente caso e atendendo todos os dispositivos das Resoluções 196/96 e complementares, resolve aprovar sem restrições o Protocolo de Pesquisa, o Termo do Consentimento Livre e Esclarecido, bem como todos os anexos incluídos na pesquisa supracitada.

O conteúdo e as conclusões aqui apresentados são de responsabilidade exclusiva do CEP/FCM/UNICAMP e não representam a opinião da Universidade Estadual de Campinas nem a comprometem.

VI - INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

O sujeito da pesquisa tem a liberdade de recusar-se a participar ou de retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma e sem prejuízo ao seu cuidado (Res. CNS 196/96 – Item IV.1.f) e deve receber uma cópia do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, na íntegra, por ele assinado (Item IV.2.d).

Pesquisador deve desenvolver a pesquisa conforme delineada no protocolo aprovado e descontinuar o estudo somente após análise das razões da descontinuidade pelo CEP que o aprovou (Res. CNS Item III.1.z), exceto quando perceber risco ou dano não previsto ao sujeito participante ou quando constatar a superioridade do regime oferecido a um dos grupos de pesquisa (Item V.3.).

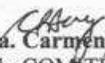
O CEP deve ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem o curso normal do estudo (Res. CNS Item V.4.). É papel do pesquisador assegurar medidas imediatas adequadas frente a evento adverso grave ocorrido (mesmo que tenha sido em outro centro) e enviar notificação ao CEP e à Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA – junto com seu posicionamento.

Eventuais modificações ou emendas ao protocolo devem ser apresentadas ao CEP de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas. Em caso de projeto do Grupo I ou II apresentados anteriormente à ANVISA, o pesquisador ou patrocinador deve enviá-las também à mesma junto com o parecer aprovatório do CEP, para serem juntadas ao protocolo inicial (Res. 251/97, Item III.2.e)

Relatórios parciais e final devem ser apresentados ao CEP, de acordo com os prazos estabelecidos na Resolução CNS-MS 196/96.

III – DATA DA REUNIÃO

Homologado na VI Reunião Ordinária do CEP/FCM, em 23 de junho de 2009.


Prof. Dra. Carmen Silvia Bertuzzo
VICE-PRESIDENTE do COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA
FCM / UNICAMP

Comitê de Ética em Pesquisa - UNICAMP
Rua: Tessália Vieira de Camargo, 126
Caixa Postal 6111
13083-887 Campinas – SP

FONE (019) 3521-8936
FAX (019) 3521-7187
cep@fcm.unicamp.br