



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

# **ESTUDO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COM ADITIVOS E DO ACONDICIONAMENTO SOB ATMOSFERA MODIFICADA DE PEDAÇOS DE MAMÃO *FORMOSA***

Alline Cristina Carpigiani Rodrigues

Prof<sup>a</sup>. Dra. Míriam Dupas Hubinger

Orientadora

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rosiane Lopes da Cunha

Co-Orientadora

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para a obtenção do título de Doutor em Engenharia de Alimentos.

Campinas, março de 2005

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA F.E.A. – UNICAMP

R618e Rodrigues, Aline Cristina Carpigiani  
Estudo da desidratação osmótica com aditivos e do  
acondicionamento sob atmosfera modificada de pedaços  
de mamão *Formosa* / Aline Cristina Carpigiani Rodrigues.  
– Campinas, SP : [s.n.], 2005.

Orientador: Míriam Dupas Hubinger  
Co-orientador: Rosiane Lopes da Cunha  
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de  
Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1. Mamão. 2. Desidratação osmótica. 3. Aditivos.  
4. Vida de prateleira. 5. Embalagem sob atmosfera  
modificada. I. Hubinger, Míriam Dupas. II. Cunha,  
Rosiane Lopes da. III. Universidade Estadual de  
Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. IV.  
Título.

(ckn/fea)

Palavras-chave em inglês (Keywords): Papaya, Osmotic dehydration,  
Aditives, Shelf life, Modified atmosphere packaging

Titulação: Doutor em Engenharia de Alimentos

Banca examinadora: Míriam Dupas Hubinger  
Rosiane Lopes da Cunha  
Nilda de Fátima Ferreira Soares  
Benedito Carlos Benedetti  
Kil Jin Park  
Helena Maria André Bolini  
Hilary Castle de Menezes (Suplente)  
Carlos Alberto Rodrigues Anjos (Suplente)

## BANCA EXAMINADORA

---

Profa. Dra. Míriam Dupas Hubinger  
(orientadora)

---

Profa.Dra. Rosiane Lopes da Cunha  
(co-orientadora)

---

Profa. Dra. Nilda de Fátima Ferreira Soares  
(membro)

---

Prof. Dr. Benedito Carlos Benedetti  
(membro)

---

Prof Dr. Kil Jin Park  
(membro)

---

Profa. Dra. Helena Maria André Bolini  
(membro)

---

Profa. Dra. Hilary Castle de Menezes  
(suplente)

---

Prof. Dr. Carlos Alberto Rodrigues Anjos  
(suplente)

*“Se as portas da percepção fossem desobstruídas, cada coisa pareceria ao homem como é, infinita. Pois o homem se mantém enclausurado, até que enxergue todas as coisas através das estreitas fendas em sua caverna.”*

William Blake  
*The marriage of heaven and hell*

A meus queridos pais e irmã, meus exemplos de caráter, com meu carinho, amor e respeito. Ao Renato, amor da minha vida, com minha profunda admiração.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me guiar sempre no caminho certo, acalentando o coração nos momentos mais difíceis.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Míriam Dupas Hubinger pela orientação, paciência, compreensão, valiosas sugestões, confiança, incentivo, amizade e carinho, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rosiane Lopes da Cunha pelo apoio, orientação, paciência e compreensão, sem os quais boa parte do trabalho estaria irremediavelmente comprometida.

Aos Professores Doutores Nilda de Fátima Ferreira Soares, Benedito Carlos Benedetti, Kil Jin Park, Helena Maria André Bolini, Hilary Castle de Menezes e Carlos Alberto Rodrigues Anjos, pelas valiosas correções que melhoraram o trabalho.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de doutorado.

À Companhia União dos Refinadores de Açúcar e Café (Limeira/SP) pela doação do açúcar.

À Goodyear pela doação do filme de PVC utilizado nas embalagens.

À casa de frutas Três Amigos SSA. Ltda.– Comércio e Distribuição de Frutas e Legumes do CEASA/Campinas pela gentil doação dos mamões de excelente qualidade.

Aos sempre amáveis Jhonatha Figueiredo Oliveira Nequiz e Jaqueline Oliveira Garcia pela extrema boa vontade, cordialidade, gentileza e paciência na doação e escolha das melhores frutas.

Ao Prof. Dr. José de Assis Fonseca Faria pela concessão de uso do analisador de gases e à Alice pelo auxílio técnico durante a operação do equipamento do Laboratório de Embalagem do Departamento de Tecnologia de Alimentos.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Helena Maria André Bolini pela colaboração na realização e avaliação das análises sensoriais.

Ao Departamento de Planejamento Alimentar e Nutrição e à Lia pela concessão de uso do laboratório de análise sensorial.

Ao Departamento de Tecnologia de Alimentos e à Ana Lourdes pela concessão de uso do colorímetro.

À Claire I.G.L. Sarantópoulos e aos técnicos do CETEA do ITAL pela colaboração nos ensaios de embalagem.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Sandra Maria Carmello Guerreiro do Laboratório de Anatomia do Departamento de Botânica (Instituto de Biologia da UNICAMP) pela imensa e bem humorada ajuda nas análises de microscopia.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Florencia Cecilia Menegali por várias lições de atitude com seu bom humor sutil, sua sensibilidade, bom gosto, presença de espírito e inteligência.

Ao querido Prof. Dr. Satoshi Tobinaga por compartilhar seu espetacular acervo intelectual com tanta boa vontade, desprendimento e carinho.

À Aninha Rocha, nossa auxiliar de laboratório, pela boa vontade, presteza, brio profissional, sabedoria, bom humor e amizade, sem os quais o trabalho no laboratório seria muito mais penoso.

À Dona Castorina, nossa secretária da limpeza, pelo espírito incrivelmente alegre, pela ajuda incondicional, pelas pequenas gentilezas que fazem a vida valer a pena.

À Joyce, nossa técnica de laboratório, pelo auxílio nas preparações, análises, cotações, negociações e pela organização do ambiente de trabalho, sem os quais a qualidade dos resultados seria comprometida.

À querida Leila Mendes Pereira Rodrigues pela amizade, dedicação, incentivo, determinação, compromisso, cumplicidade, sinceridade e bom humor durante o desenvolvimento do trabalho. Meu apreço, respeito, carinho e amizade.

Ao meu querido amigo Ângelo Luiz Fazano Cavallieri por compartilhar sua sensibilidade, bom gosto, presença de espírito, bom humor contagiante e raciocínio de desenho animado, que contribuíram para o meu crescimento de forma tão iluminada. Minha amizade, respeito e muito carinho.

À Alessandra Faria Baroni pelas discussões, dicas, amizade e bom humor que ajudaram a desanuviar a mente nos momentos difíceis.

À Katiuchia por compartilhar os raciocínios químicos, à Ana Luiza pelo exemplo de dedicação, ao Alfredo pelas sessões “revival” e aulas de cultura mexicana.

A todo o pessoal do laboratório pela convivência pacífica e bem humorada mesmo nos momentos mais atribulados.

Aos professores, alunos e funcionários da FEA que participaram de inúmeras análises sensoriais, muitas vezes parando de trabalhar para me ajudar com tanta boa vontade.

À “Egípcia” que se envolveu com tanto empenho no desenvolvimento do trabalho, sempre tão longe do corpo e tão perto da alma.

Aos queridos Juliana, Maria, Margarida, Vanessa, Renata, Tati, Vera, Diogo, Fernando, Klaus e Júnior por compartilharem da sagrada cantoria que alivia a alma e renova o espírito. Vocês são tudo!

Às queridíssimas Sabbazinha, Puppinha e Giggia pelo carinho incondicional de todas as horas; uma lição de amor.

À minha irmã, Tatiana Karinya Carpigiani Rodrigues, que mesmo passando por dificuldades profissionais e dispondo de pouco tempo sempre dava um jeitinho de ajudar com uma sessão terapêutica e içar as âncoras. Obrigadíssima!

Aos meus pais Leo Ivan Carpigiani Rodrigues e Orlando Custódio Rodrigues Filho por contribuírem sempre de forma tão rica ouvindo, compreendendo, incentivando, aliviando meu espírito e coração. Obrigada por darem mesmo quando precisavam mais receber.

Ao Renato Cadecaro, amor da minha vida, por estar sempre disponível, agüentar todas as apreensões, ansiedades, inseguranças, explosões, medos e impaciências, sempre com tanto amor, paciência, dedicação, doação e carinho. Obrigada por ter acreditado, mesmo quando nem eu mesma o fazia. A você, todo o meu amor.

A todos que contribuíram para o meu crescimento de forma tão dedicada e desprendida.

## SUMÁRIO

<b>Lista de Tabelas</b> .....	x
<b>Lista de Figuras</b> .....	xiii
Resumo .....	xvi
Abstract .....	xvii
<b>Capítulo I - Introdução e Objetivos</b>	
1.1. Introdução .....	01
1.2. Objetivos .....	04
<b>Capítulo II - Revisão Bibliográfica</b>	
2.1. Mamão .....	06
2.2. Desidratação Osmótica .....	07
2.3. Microestrutura e Pectina.....	14
2.4. Embalagem sob Atmosfera Modificada.....	23
2.5. Referências Bibliográficas.....	32
<b>Capítulo III – Estudo da Desidratação Osmótica de Pedacos de Mamão Formosa em Soluções com Aditivos</b>	
3.1. Introdução .....	40
3.2. Material e Métodos .....	43
3.3. Resultados e Discussão .....	50
3.3.1. Perda de Peso.....	55
3.3.2. Conteúdo de Umidade.....	58
3.3.3. Conteúdo de Açúcares Redutores.....	62
3.3.4. Atividade de Água.....	65
3.3.5. Cor.....	67
3.3.6. Tensão na Ruptura.....	70
3.3.7. Tempo de Relaxação.....	74
3.3.8. Tensão Residual.....	77
3.3.9. Escolha da Condição de Processo.....	80
3.4. Conclusões.....	82

3.5. Referências Bibliográficas.....	83
--------------------------------------	----

**Capítulo IV – Efeito da Desidratação Osmótica Branda sobre Parâmetros Reológicos Instrumentais, Microestrutura e Textura Sensorial dos Pedacos de Mamão *Formosa***

4.1. Introdução .....	88
4.2. Material e Métodos .....	90
4.3. Resultados e Discussão .....	94
4.3.1. Estudo do Processo de Transferência de Massa na Desidratação Osmótica .....	94
4.3.2. Avaliação da Textura Instrumental e Sensorial e da Microestrutura	100
4.4. Conclusões .....	107
4.5. Referências Bibliográficas .....	109

**Capítulo V – Vida de Prateleira das Amostras Tratadas por Desidratação Osmótica com Aditivos e Armazenadas sob Atmosfera Modificada Passiva**

5.1. Introdução .....	114
5.2. Material e Métodos .....	115
5.3. Resultados e Discussão .....	123
5.3.1. Escolha da Embalagem .....	124
5.3.2. Vida de Prateleira .....	138
5.4. Conclusões .....	167
5.5. Referências Bibliográficas .....	168

**Capítulo VI – Conclusões Gerais** 171

Apêndice A .....	172
Apêndice B .....	183
Apêndice C .....	186
Anexo A .....	188

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b> – Taxa respiratória e produção de etileno para algumas frutas e hortaliças em ar atmosférico e a temperatura ambiente. ....	23
<b>Tabela 2.2</b> – Condições de atmosfera modificada recomendadas para o transporte e armazenamento de frutas e hortaliças inteiras. ....	27
<b>Tabela 2.3</b> – Valores nominais para taxa de permeabilidade de materiais poliméricos comerciais para embalagem de alimentos sob atmosfera modificada. ....	28
<b>Tabela 3.1</b> – Níveis dos planejamentos realizados. ....	49
<b>Tabela 3.2</b> – Propriedades de transferência para meia hora de desidratação osmótica e variações codificadas do planejamento experimental. ....	51
<b>Tabela 3.3</b> – Propriedades de transferência para uma hora de desidratação osmótica e variações codificadas do planejamento experimental. ....	51
<b>Tabela 3.4</b> – Propriedades de transferência para duas horas de desidratação osmótica e variações codificadas do planejamento experimental. ....	52
<b>Tabela 3.5</b> – Propriedades de transferência para três horas de desidratação osmótica e variações codificadas do planejamento experimental. ....	52
<b>Tabela 3.6</b> – Parâmetros de qualidade para meia hora de desidratação osmótica e variações codificadas do planejamento experimental. ....	53
<b>Tabela 3.7</b> – Parâmetros de qualidade para uma hora de desidratação osmótica e variações codificadas do planejamento experimental. ....	53
<b>Tabela 3.8</b> – Parâmetros de qualidade para duas horas de desidratação osmótica e variações codificadas do planejamento experimental. ....	54
<b>Tabela 3.9</b> – Parâmetros de qualidade para três horas de desidratação osmótica e variações codificadas do planejamento experimental. ....	54
<b>Tabela 3.10</b> – Tabela de efeitos lineares de interação e quadráticos para a perda de peso (%) após a desidratação osmótica. ....	55
<b>Tabela 3.11</b> – Tabela de coeficientes dos modelos, teste $F$ e $r^2$ para a perda de peso (%) após a desidratação osmótica. ....	57
<b>Tabela 3.12</b> – Tabela de efeitos lineares de interação e quadráticos para a umidade (%) após a desidratação osmótica. ....	58
<b>Tabela 3.13</b> – Tabela de coeficientes dos modelos, teste $F$ e $r^2$ para a umidade (%) após a desidratação osmótica. ....	59
<b>Tabela 3.14</b> – Tabela de efeitos lineares de interação e quadráticos para o teor de açúcares redutores (%) após a desidratação osmótica. ....	62
<b>Tabela 3.15</b> – Tabela de coeficientes dos modelos, teste $F$ e $r^2$ para o teor de açúcares redutores (%) após a desidratação osmótica. ....	63
<b>Tabela 3.16</b> – Tabela de efeitos lineares de interação e quadráticos para a atividade de água após a desidratação osmótica. ....	65

<b>Tabela 3.17</b> – Tabela de coeficientes dos modelos, teste F e $r^2$ para a atividade de água após a desidratação osmótica. ....	66
<b>Tabela 3.18</b> – Tabela de efeitos lineares de interação e quadráticos para o croma após a desidratação osmótica. ....	67
<b>Tabela 3.19</b> – Tabela de coeficientes dos modelos, teste F e $r^2$ para o croma após a desidratação osmótica. ....	68
<b>Tabela 3.20</b> – Tabela de efeitos lineares de interação e quadráticos para os valores normalizados da tensão máxima na ruptura após a desidratação osmótica. ....	70
<b>Tabela 3.21</b> – Tabela de coeficientes dos modelos, teste F e $r^2$ para os valores normalizados da tensão máxima na ruptura após a desidratação osmótica. ....	72
<b>Tabela 3.21</b> – Tabela de efeitos lineares de interação e quadráticos para o tempo de relaxação após a desidratação osmótica. ....	74
<b>Tabela 3.22</b> – Tabela de coeficientes dos modelos, teste F e $r^2$ para o tempo de relaxação após a desidratação osmótica. ....	75
<b>Tabela 3.23</b> – Tabela de efeitos lineares de interação e quadráticos para a tensão assintótica residual relativa após a desidratação osmótica. ....	77
<b>Tabela 3.24</b> – Tabela de coeficientes dos modelos, teste F e $r^2$ para a tensão assintótica residual relativa após a desidratação osmótica. ....	78
<b>Tabela 4.1</b> – Efeito da desidratação osmótica sobre características físico-químicas e atributos de qualidade do mamão. ....	95
<b>Tabela 4.2</b> – Valores dos parâmetros reológicos obtidos a baixas deformações (tempo de relaxação e tensão residual). ....	101
<b>Tabela 4.3</b> – Valores dos parâmetros reológicos obtidos a altas deformações (tensão máxima na ruptura) e teor de íons cálcio. ....	101
<b>Tabela 4.4</b> – Valores dos atributos sensoriais para as amostras frescas e desidratadas. ....	107
<b>Tabela 5.1</b> - Taxa de respiração ( $\text{CO}_2$ produzido em ml de gás·kg <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> a 711mmHg) do mamão fresco e desidratado (tratamentos 1 e 2) em função da temperatura. ....	124
<b>Tabela 5.2</b> – Taxa de produção de etileno (ml de $\text{C}_2\text{H}_4$ ·kg <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> ) a 25°C e 711mmHg para a fruta fresca e cada tratamento osmótico. ....	125
<b>Tabela 5.3</b> – Taxas de permeabilidades requeridas estimadas para as amostras frescas e desidratadas (tratamentos 1 e 2). ....	126
<b>Tabela 5.4</b> – Taxa de permeabilidade ao oxigênio (TPO <sub>2</sub> ) e ao vapor de água (TPVA) das embalagens previamente escolhidas para o teste piloto. ....	128
<b>Tabela 5.5</b> – Valores máximos encontrados para a contagem microbiológica durante a vida de prateleira a 5°C. ....	145
<b>Tabela 5.6</b> – Avaliação sensorial da cor dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira. ....	156
<b>Tabela 5.7</b> – Avaliação sensorial da aparência dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira. ....	157

<b>Tabela 5.8</b> – Avaliação sensorial do sabor dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira. ....	158
<b>Tabela 5.9</b> – Avaliação sensorial da textura dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira. ....	159
<b>Tabela 5.10</b> – Avaliação sensorial da impressão global dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira. ....	161

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> – Fluxos de transferência de massa durante a desidratação osmótica. ....	8
<b>Figura 2.2</b> – Estrutura molecular da pectina. ....	14
<b>Figura 2.3</b> – Figura esquemática: células vegetais indicando o vacúolo, núcleo, citoplasma, membrana plasmática e tonoplasto da célula central, assim como as paredes celulares unidas pela lamela média. ....	15
<b>Figura 2.4</b> – Modelo da parede celular vegetal desde a lamela média até a membrana plasmática indicando seus principais constituintes poliméricos (matriz celulósica imersa em matriz de polissacarídeos). ....	17
<b>Figura 2.5</b> – Ruptura do tecido por (a) ruptura celular, típico de frutas verdes (o conteúdo das células é liberado); e (b) separação celular, comum a frutas maduras. ....	18
<b>Figura 2.6</b> – Figura esquemática do funcionamento da interação hidrofóbica entre cadeias secundárias (áreas cinzas) de um polímero em solução aquosa. ....	19
<b>Figura 2.7</b> – Gráfico da tensão na ruptura em função da temperatura. ....	20
<b>Figura 2.8</b> – Formação dos dímeros (a), agregação dos dímeros (b) e cavidade de caixa de ovo (c). ....	21
<b>Figura 3.1</b> – Mamão fresco utilizado da variedade <i>Formosa</i> . ....	34
<b>Figura 3.2</b> – Superfícies de resposta da variação do teor de umidade (%) para as amostras tratadas osmoticamente por 1 hora em função das concentrações de ácido láctico e lactato de cálcio. ....	61
<b>Figura 3.3</b> - Superfícies de resposta da variação do teor de açúcares redutores (%) para as amostras tratadas osmoticamente por 3 horas em função das concentrações de ácido láctico e lactato de cálcio. ....	64
<b>Figura 3.4</b> - Superfícies de resposta da variação do croma para as amostras tratadas osmoticamente por 3 horas em função das concentrações de ácido láctico e lactato de cálcio e temperatura. ....	69
<b>Figura 3.5</b> – Superfícies de resposta e curvas de nível para o valor normalizado da tensão máxima na ruptura das amostras tratadas osmoticamente por 1 hora. ....	73
<b>Figura 3.6</b> - Superfícies de resposta da variação do tempo de relaxação (s) para as amostras tratadas osmoticamente por 3 horas em função da concentração de ácido láctico e temperatura. ....	76
<b>Figura 3.7</b> - Superfícies de resposta da variação da tensão residual assintótica para as amostras tratadas osmoticamente por 2 horas em função das concentrações de ácido láctico e lactato de cálcio e temperatura. ....	79
<b>Figura 3.8</b> – Superfície de resposta e curva de nível para o valor normalizado da tensão a tensão máxima na ruptura das amostras tratadas osmoticamente por 1 hora com a concentração de ácido fixa em 0,02M (nível -1). ....	81
<b>Figura 3.9</b> – Superfície de resposta e curva de nível para a atividade de água das amostras tratadas osmoticamente por 2 horas com a concentração de sal fixa em 0,05M (nível 0). ....	82

<b>Figura 4.1</b> – Ilustração do corte feito na fruta para as análises de microscopia. ....	93
<b>Figura 4.2</b> – Cinética de perda de água dos pedaços de mamão desidratados. ....	96
<b>Figura 4.3</b> – Cinética de ganho de açúcares dos pedaços de mamão desidratados. ....	97
<b>Figura 4.4</b> –Atividade de água dos pedaços de mamão durante a desidratação osmótica. ....	99
<b>Figura 4.5</b> – Teor de umidade em base seca em função atividade de água do dos pedaços de mamão durante a desidratação osmótica. ....	99
<b>Figura 4.6</b> – Microscopia do tecido fresco com aumento de 20 vezes. ....	102
<b>Figura 4.7</b> – Microscopia do tecido tratado osmoticamente na condição 1, sem lactato de cálcio. ....	103
<b>Figura 4.8</b> – Microscopia do tecido tratado osmoticamente na condição 2, sem lactato de cálcio. ....	104
<b>Figura 4.9</b> – Microscopia do tecido tratado osmoticamente na condição 1. ....	105
<b>Figura 4.10</b> – Microscopia do tecido tratado osmoticamente na condição 2. ....	106
<b>Figura 5.1</b> – Taxas de permeabilidade dos filmes disponíveis no mercado em função da temperatura. ....	127
<b>Figura 5.2</b> – Perda de peso das embalagens armazenadas a 5°C contendo pedaços de mamão desidratados pelo tratamento 1. ....	129
<b>Figura 5.3</b> – Perda de peso das embalagens armazenadas a 5°C contendo pedaços de mamão desidratados pelo tratamento 2. ....	130
<b>Figura 5.4</b> - Teores de CO <sub>2</sub> e O <sub>2</sub> no interior das embalagens de PVC armazenadas a 5°C por 15 dias. ....	131
<b>Figura 5.5</b> - Teores de CO <sub>2</sub> e O <sub>2</sub> no interior das embalagens de PEBD armazenadas a 5°C por 15 dias. ....	132
<b>Figura 5.6</b> - Teores de CO <sub>2</sub> e O <sub>2</sub> no interior das embalagens de PD 961 armazenadas a 5°C por 15 dias. ....	132
<b>Figura 5.7</b> - Teores de CO <sub>2</sub> e O <sub>2</sub> no interior das embalagens de PET armazenadas a 5°C por 15 dias. ....	133
<b>Figura 5.8</b> – Notas em escala hedônica para o sabor dos pedaços de mamão desidratados pelo tratamento 1 e armazenados a 5°C. ....	134
<b>Figura 5.9</b> – Notas em escala hedônica para o sabor dos pedaços de mamão desidratados pelo tratamento 2 e armazenados a 5°C. ....	135
<b>Figura 5.10</b> – Notas em escala hedônica para a textura dos pedaços de mamão desidratados pelo tratamento 1 e armazenados a 5°C. ....	136
<b>Figura 5.11</b> – Notas em escala hedônica para a textura dos pedaços de mamão desidratados pelo tratamento 2 e armazenados a 5°C. ....	137
<b>Figura 5.12</b> - Composição gasosa (teores de CO <sub>2</sub> e O <sub>2</sub> ) do interior das embalagens de PVC perfurado contendo pedaços de mamão fresco durante a vida de prateleira. ....	139
<b>Figura 5.13</b> - Composição gasosa (teores de CO <sub>2</sub> e O <sub>2</sub> ) do interior das embalagens de PET contendo pedaços de mamão fresco durante e vida de prateleira. ....	140

<b>Figura 5.14</b> - Composição gasosa (teores de CO <sub>2</sub> e O <sub>2</sub> ) do interior das embalagens de PET contendo pedaços de mamão desidratados durante a vida de prateleira. ....	141
<b>Figura 5.15</b> – Perda de peso dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira. ....	142
<b>Figura 5.16</b> – Acidez dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira. ....	143
<b>Figura 5.17</b> – Valores máximos encontrados para a contagem de bolores e leveduras durante o armazenamento de pedaços de mamão a 5°C. ....	146
<b>Figura 5.18</b> - Valores máximos encontrados para a contagem de bactérias lácticas durante o armazenamento de pedaços de mamão a 5°C. ....	147
<b>Figura 5.19</b> – Valores de croma dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira. .	148
<b>Figura 5.20</b> – Valores do ângulo de tom dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira. ....	149
<b>Figura 5.21</b> – Valores de luminosidade dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira. ....	150
<b>Figura 5.22</b> - Valores para o tempo de relaxação dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira. ....	152
<b>Figura 5.23</b> - Valores para a tensão assintótica residual dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira. ....	153
<b>Figura 5.24</b> - Valores para a tensão máxima na ruptura normalizada dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira. ....	154
<b>Figura 5.25</b> – Influência do tempo de armazenamento sobre a cor dos pedaços de mamão. ....	156
<b>Figura 5.26</b> – Influência do tempo de armazenamento sobre a aparência dos pedaços de mamão. ....	157
<b>Figura 5.27</b> – Influência do tempo de armazenamento sobre o sabor dos pedaços de mamão. ....	159
<b>Figura 5.28</b> – Influência do tempo de armazenamento sobre a textura dos pedaços de mamão. ....	160
<b>Figura 5.29</b> – Influência do tempo de armazenamento sobre a impressão global dos pedaços de mamão. ....	161
<b>Figura 5.30</b> – Intenção do consumidor de comprar os mamões avaliados sensorialmente durante a vida de prateleira. ....	162
<b>Figura 5.31</b> – Influência do tempo de armazenamento sobre a intenção de compra dos consumidores. ....	163
<b>Figura 5.32</b> – Mamão fresco armazenado sob ar atmosférico (FR AR) após 0 (A), 6 (B), 10 (C), 13 (D) e 15 (E) dias de armazenamento. ....	164
<b>Figura 5.33</b> – Mamão fresco armazenado sob atmosfera modificada (FR AM) após 0 (A), 6 (B), 10 (C) e 15 (D) dias de armazenamento. ....	165
<b>Figura 5.34</b> – Mamão osmoticamente desidratado armazenado sob atmosfera modificada (DO AM) após 0 (A), 6 (B), 10 (C) e 15 (D) dias de armazenamento. ....	166

## RESUMO

A vida moderna, aliada ao interesse por uma dieta saudável, vem provocando uma demanda do mercado por alimentos com características de frescos, prontos para o consumo e apresentados com praticidade e conveniência. Em resposta a esta demanda, a indústria de alimentos promoveu o desenvolvimento de tecnologias e processamento brando para a sua conservação, visando à manutenção da qualidade do produto natural e ao aumento de sua resistência à degradação. Os mamões da variedade *Formosa* são especialmente apreciados pela qualidade da sua polpa e propriedades funcionais. Entretanto, frutos desta variedade exigem preparo para seu consumo. Um processo brando de conservação é a desidratação osmótica, capaz de remover parte da água do alimento, simultaneamente à sua formulação direta por incorporação de aditivos de interesse na preservação do produto final. O produto vegetal osmoticamente desidratado requer a aplicação de um sistema apropriado de embalagem, já que o tecido tratado mantém seu processo respiratório ativo. A embalagem sob atmosfera modificada passiva pode prolongar a vida de prateleira da fruta desidratada, alterando a composição gasosa da atmosfera interna da embalagem, diminuindo as taxas respiratórias do tecido da fruta, e retardando sua senescência e deterioração. Este trabalho estudou a desidratação osmótica em soluções de sacarose com aditivos e o acondicionamento sob atmosfera modificada de pedaços de mamão *Formosa*. Soluções de sacarose a 50°Brix adicionadas de diferentes concentrações de ácido láctico e lactato de cálcio (0 a 0,10 M) foram utilizadas para a desidratação osmótica a diferentes temperaturas (de 24 a 63°C) de pedaços de mamão. Foram estudados os efeitos da temperatura e concentrações de ácido e sal sobre a perda de peso, a umidade, teor de açúcares, atividade de água, parâmetros reológicos, cor, sólidos solúveis totais, pH e acidez total da fruta tratada, por meio de planejamento experimental fatorial. A temperatura de processo foi o fator mais influente sobre a perda de peso, a umidade, o ingresso de açúcares e sobre o aumento da tensão na ruptura. A atividade de água foi reduzida com o aumento da temperatura e concentração de ácido láctico, mas não se alterou significativamente com o aumento da concentração de lactato de cálcio. De acordo com a avaliação do planejamento experimental foram escolhidas duas condições de desidratação osmótica: condição 1 - 0,02M de ácido láctico e 0,05M de lactato de cálcio em solução de sacarose de 50°Brix a 24°C por 1 hora e condição 2 - 0,10M de ácido láctico e 0,05M de lactato de cálcio em solução de sacarose de 50°Brix a 47°C por 2 horas. As condições de processo escolhidas no estudo da desidratação osmótica foram avaliadas quanto às taxas de transferência de massa de perda de água e ganho de solutos. Micrografias dos tecidos da fruta tratada nas condições 1 e 2 com e sem lactato de cálcio, e o tecido da fruta fresca foram comparadas. Avaliação sensorial de aceitação para a textura e estudos reológicos foram realizados para estas condições. O estudo da microestrutura mostrou que a adição de lactato de cálcio manteve a integridade do tecido tratado. As avaliações reológica e sensorial não apontaram diferenças significativas entre as texturas das amostras antes e depois do tratamento osmótico nas condições 1 e 2. As amostras tratadas na condição osmótica 2 apresentaram gosto residual amargo, sendo inadequadas ao estudo de armazenamento. As amostras tratadas na condição osmótica 1 modificaram a atmosfera interna das embalagens PET, apresentando boa aceitação sensorial e atingindo intenção de compra de 77% ao final de 15 dias de armazenamento, em comparação a 55% para as amostras frescas embaladas também sob atmosfera modificada passiva.

## ABSTRACT

Modern life style, allied to an interest for a healthy diet, has been causing a market demand for fresh-like foods, ready for consumption and convenience. In response to this demand the food industry promoted the development of mild processes and technologies, aiming to maintain product final quality and increase its resistance to degradation. Papayas from the *Formosa* variety are especially appreciated for the quality of its pulp and its functional properties. Still, fruits of this variety require preparation before its consumption. A mild preservation process is the osmotic dehydration, able to remove part of the water of the food, simultaneously to its direct formulation by the incorporation of additives of interest in the preservation of the final product. The osmotically dehydrated vegetable product requires the use of an appropriate packaging system, since the treated tissue maintain its respiratory processes active. The passive modified atmosphere packaging technology can extend dehydrated fruit shelf life, hindering the fruit tissue respiratory rates, and slowing down its senescence and decay. This work studied the osmotic dehydration of papaya pieces (*Formosa* variety) in sucrose solutions with additives and its packaging under passive modified atmosphere. Sucrose solutions at 50°Brix added with different concentrations of lactic acid and calcium lactate (0 to 0,10 M) were used to carry out the osmotic dehydration of papaya pieces at different temperatures (from 24 to 63°C). The effect of process temperature and salt and acid concentrations over weight loss, moisture, sugars content, water activity, rheological parameters, color, total soluble solids, pH and total acidity of the osmotically treated fruit was studied by an experimental factorial design. Process temperature was the most influent factor over weight loss and moisture, sugars intake and the increase of stress at rupture. Water activity was reduced mainly with the increase of temperature and lactic acid concentration, but did not change significantly with the increase of calcium lactate concentration. In accordance with the experimental design evaluation two osmotic dehydration conditions were chosen: 1- 0,02M lactic acid and 0,05M calcium lactate in a sucrose solution of 50°Brix at 24°C for 1 hour and condition 2 - 0,10M lactic acid and 0,05M calcium lactate in a sucrose solution of 50°Brix at 47°C for 2 hours. The chosen process conditions from the osmotic dehydration study were evaluated for the mass transfer rates of water loss and solids gain. Micrographs of fruit tissues treated by conditions 1 and 2 with and without calcium lactate, and of the fresh fruit tissue were compared. Sensorial analysis of acceptance for texture and rheological studies were carried out aiming to evaluate the use of this salt as additive. The study of the microstructure showed that the addition of calcium lactate maintained the integrity of the treated tissue. Rheological and sensorial evaluations pointed no significant differences among the sample textures before and after the osmotic treatment in conditions 1 and 2. Treated samples by the osmotic condition 2 presented residual bitter taste, and were inadequate for the storage study. The samples treated in the osmotic condition 1 modified the internal atmosphere inside the PET packages, presenting good sensorial acceptance and reaching purchase intention of 77% after 15 days of storage, compared to 55% of the fresh samples also packed under passive modified atmosphere.

# CAPÍTULO I

## INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

### 1.1. Introdução

O mamão é uma fruta climatérica originária da região tropical do continente Americano, produzido no Brasil principalmente nos estados da Bahia e Espírito Santo. A fruta é rica em vitaminas A e C, cálcio, ferro e na enzima papaína, auxiliar dos processos digestivos. Além disso, as variedades de polpa vermelha, como *Papaia* e *Formosa*, apresentam grande quantidade de licopeno, carotenóide de extrema importância funcional, de caráter antioxidante poderoso no combate contra doenças degenerativas.

Os mamões da variedade *Formosa* são especialmente apreciados pela qualidade de sua polpa, mas um dos fatores limitantes ao seu consumo é o tamanho da fruta, que chega a atingir 30cm de comprimento e cerca de 2 kg, exigindo o preparo da fruta para o seu consumo. Assim, o processamento dos mamões da variedade *Formosa*, previamente à sua comercialização, pode viabilizar o consumo da fruta, melhorando seu aproveitamento e agregando valor à cultura.

A demanda do mercado por uma dieta saudável, constituída de produtos com características similares às daquelas do alimento fresco, promoveu o desenvolvimento de tecnologias de processamento brando para a sua conservação, conferindo conveniência, praticidade e qualidade aos alimentos processados. Um processo brando de conservação que pode ser aplicado a frutas mantendo sua integridade estrutural, nutricional e funcional é a desidratação osmótica, capaz de remover parte da água por imersão do alimento em uma solução hipertônica, simultaneamente à formulação direta da fruta processada por incorporação de aditivos à solução desidratante.

Durante o processo de desidratação osmótica pode haver amaciamento do tecido vegetal tratado, principalmente em decorrência do dano celular e da solubilização e arraste dos componentes pécicos presentes no fruto. A função das substâncias pécicas é hidratar e cimentar a rede de celulose, além de espessar a parede celular, mantendo a

estrutura do tecido. As substâncias pécticas contribuem para a adesão entre as células e para a resistência mecânica da parede celular. São solubilizadas facilmente, apresentando um alto grau de reatividade em comparação a outros polímeros da parede celular. Desta forma, é desejável a aplicação da desidratação osmótica com aditivos que mantenham a estrutura do tecido vegetal (sais de cálcio) e inibam a proliferação microbológica (ácidos fracos).

Frutas submetidas a desidratação osmótica branda mantêm seu processo respiratório, dando continuidade ao seu amadurecimento e senescência. A respiração é um processo metabólico que fornece a energia requerida para a demanda bioquímica da planta, sendo que vários substratos consumidos na síntese metabólica são formados durante a respiração. A deterioração de um alimento de natureza vegetal se dá por reações oxidativas resultantes do próprio metabolismo celular, da proliferação de microrganismos, e/ou da atividade de enzimas que usam o oxigênio como substrato. Assim, a alteração da composição da atmosfera que circunda um tecido vegetal vivo, pode retardar a respiração do tecido e as reações oxidativas, aumentando a vida útil do alimento durante seu armazenamento.

A tecnologia de embalagem sob atmosfera modificada consiste no acondicionamento de um alimento em um material de embalagem permeável, de forma a equiparar a taxa em que o material de embalagem troca oxigênio e dióxido de carbono com o meio externo e a taxa respiratória do tecido vegetal, criando uma atmosfera dentro da embalagem tal que a atividade respiratória do produto seja diminuída, conservando-o por mais tempo.

Assim, a aplicação de desidratação osmótica branda com aditivos associada ao acondicionamento sob atmosfera modificada passiva pode prolongar a vida de prateleira de pedaços mamão *Formosa*, mantendo seus atributos de qualidade, agregando valor à cultura.

A apresentação do trabalho foi então dividida em introdução e objetivos (capítulo I), revisão bibliográfica geral sobre os principais tópicos estudados (capítulo II) e três capítulos de resultados, subdivididos em Material e Métodos, Resultados e Conclusões:

- Capítulo III: estudo da desidratação osmótica de pedaços de mamão Formosa, onde foram avaliados o comportamento da perda de peso, teor de açúcares e umidade, sólidos solúveis, pH, acidez total, atividade de água, cor e parâmetros reológicos da

fruta desidratada frente à variação da temperatura de processo e concentrações de aditivos (ácido láctico e lactato de cálcio) na solução de desidratação osmótica. Uma vez estudados os atributos de qualidade da fruta processada osmoticamente, buscaram-se duas condições de processo que resultassem em produto de características semelhantes à fruta fresca, mas com maior vida de prateleira.

- Capítulo IV: estudo do efeito da desidratação osmótica sobre parâmetros reológicos, microestrutura e textura sensorial dos pedaços de mamão tratados nas duas condições escolhidas no capítulo anterior. Foram estudados os processos de transferência de massa para a perda de água e o ganho de açúcares, e calculados os respectivos coeficientes de difusividade. A cinética de redução da atividade de água do produto osmoticamente desidratado também foi avaliada. Para o estudo da textura foram realizados ensaios reológicos, sensoriais e foi observada a microestrutura por meio de estudos da microscopia do tecido das frutas fresca e tratadas osmoticamente.
- Capítulo V: estudo dos atributos de qualidade do mamão osmoticamente desidratado acondicionado sob atmosfera modificada durante sua vida de prateleira. Foram selecionadas embalagens comerciais que promovessem modificação da atmosfera interna para as duas condições de desidratação osmótica escolhidas previamente, por meio da avaliação da perda de peso da embalagem, composição gasosa (%CO<sub>2</sub> e %O<sub>2</sub>) no interior da embalagem e análise sensorial. A embalagem escolhida foi utilizada no armazenamento refrigerado sob atmosfera modificada passiva de pedaços de mamão frescos e desidratados osmoticamente e foram avaliados perda de peso das embalagens, teor de umidade e açúcares, acidez total, atividade de água, cor, parâmetros reológicos, avaliação sensorial e microbiológica da fruta ao longo da sua vida de prateleira.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo Geral**

Este trabalho teve como objetivo geral determinar uma condição ótima de desidratação osmótica contendo aditivos para pedaços de mamão *Formosa* e selecionar de uma condição de embalagem sob atmosfera modificada que prolongue a vida de prateleira da fruta, mantendo seus atributos de qualidade, e resultando em um produto próximo à fruta fresca e de boa aceitação pelo consumidor.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Avaliar os efeitos da desidratação osmótica utilizando soluções de sacarose adicionadas de ácido láctico e lactato de cálcio sobre o teor de umidade e açúcares, atividade de água, parâmetros reológicos, cor, perda de peso, sólidos solúveis totais, pH e acidez total titulável por meio de planejamento experimental fatorial.
- Determinar uma condição de desidratação osmótica, tal que os parâmetros de qualidade (como textura e cor) do produto final sejam o mais próximo possível aos da fruta fresca.
- Estudar os processos de transferência de massa, calculando os coeficientes de difusividade da perda de água e do ganho de açúcares durante o processo de desidratação osmótica.
- Avaliar a alteração da microestrutura por meio de microscopia da parede celular vegetal das frutas tratadas osmoticamente, com e sem adição de lactato de cálcio, e relacionar estes resultados com as alterações observadas nos parâmetros reológicos da fruta processada.
- Especificar e escolher um sistema de embalagem sob atmosfera modificada passiva que preserve os pedaços de mamão osmoticamente desidratados com aditivos, nas condições escolhidas de desidratação osmótica.

- Estudar a vida de prateleira dos pedaços de mamão osmoticamente desidratados embalados sob atmosfera modificada passiva, através de avaliação de perda de peso, umidade, teor de açúcares, sólidos solúveis, pH, acidez, atividade de água, cor, parâmetros reológicos e microbiota. Avaliação da intenção de compra do consumidor deste produto ao longo do período de armazenamento.

## CAPÍTULO II

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1. Mamão

O mamão é a fruta do mamoeiro, supostamente originário da América tropical, pertencente à classe das dicotiledôneas, gênero *Carica*, sendo que o *Carica papaya* L. é o de maior importância comercial. Os frutos das plantas fêmeas são arredondados e aqueles das hermafroditas podem ser piriformes (em forma de pêra), esféricos ou cilíndricos, dependendo de fatores modificadores afetando a morfologia da flor durante a ontogenia. As frutas podem variar sua massa de 200g a 10kg, e a espessura da polpa de 1,5 a 4 cm. A polpa da fruta é branco-esverdeada quando não madura, passando a amarelo, alaranjado ou laranja-avermelhado, dependendo do cultivar, quando madura. Os sólidos solúveis totais na polpa variam de 5 a 19%. A fruta é climatérica e começa a desenvolver cor amarelada na casca a partir do estigma. A coloração interna e amaciamento se desenvolvem do endocarpo para fora, motivo que dificulta a avaliação do grau de maturação da fruta inteira (Morton, 1987; Paull et al., 1997; Fruti Séries, 2000).

O fruto é rico em vitaminas e minerais, como a vitamina A (1093 a 2034  $\mu\text{g}/100\text{g}$ ), vitamina C (74 a 84  $\mu\text{g}/100\text{g}$ ) e cálcio (12,9 a 40,8  $\text{mg}/100\text{g}$ ), fósforo (5,3 a 22,0  $\text{mg}/100\text{g}$ ), ferro (0,25 a 0,78  $\text{mg}/100\text{g}$ ) e magnésio (0,035%), além de apresentar a enzima proteolítica papaína, auxiliar dos processos digestivos, e amplamente empregada na indústria (Morton, 1987). A papaína está presente em maior quantidade no látex da fruta verde, sendo aproveitada nas indústrias farmacêuticas (tratamento de insuficiência gástrica), químicas (adesivos e plásticos), bioquímicas (produção de peptonas, peptidase aminas acídicas de carne), alimentos (alimentos infantis e dietéticos, leites e clarificação de cervejas), têxteis (tratamento de lãs e sedas), curtumes, entre outras. A atividade da vitamina A de alguns carotenóides é de grande interesse, sendo os principais carotenóides aqueles que atuam como precursores desta vitamina nos mamões da variedade vermelha (como os da variedade *Formosa*):  $\beta$ -caroteno (3,7  $\mu\text{g}/\text{g}$ ),  $\beta$ -criptoxantina (7,0  $\mu\text{g}/\text{g}$ ) e licopeno (22,8  $\mu\text{g}/\text{g}$ ) (Wilberg & Rodriguez-Amaya, 1995).

Mamões da variedade *Formosa* são especialmente apreciados pela qualidade de sua polpa (Teixeira et al., 2001), e produzidos no Brasil, principalmente, nos estados do Espírito Santo e Bahia, sendo que este último é responsável por 56% da produção nacional desta fruta (FrutiSéries, 2000). Do ano de 1990 a 2000, a produção de mamão no Brasil cresceu cerca de 163% e as exportações desta fruta aumentaram de 34,6 para 108,9 milhões de dólares americanos no mesmo período, atingindo 125 milhões de dólares em 2001 (IBGE, 2004). Um dos motivos limitantes para o consumo de mamões da variedade *Formosa* é seu tamanho (cerca de 30cm de comprimento e massa variando entre 1,5 e 2,5kg), exigindo o descascamento, eliminação das sementes e corte antes de seu consumo. Desta forma, o processamento desta fruta, previamente à sua comercialização, pode viabilizar seu consumo, permitindo maior aproveitamento do fruto colhido e agregando valor à cultura (Teixeira et al., 2001).

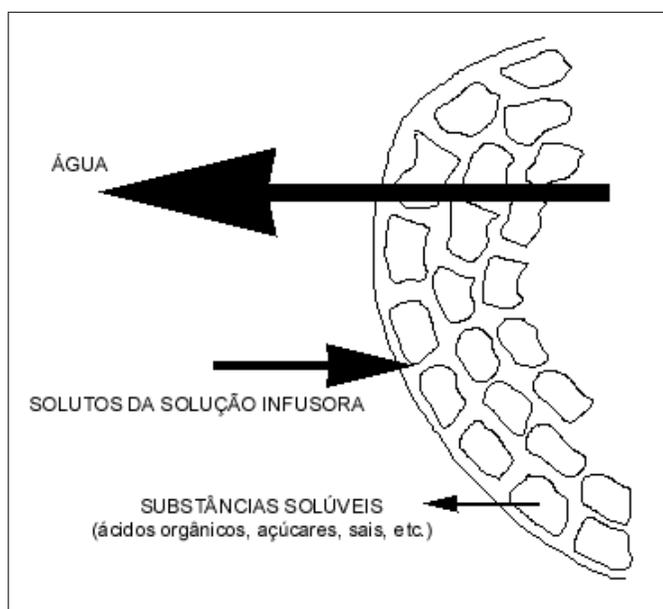
## **2.2. Desidratação Osmótica**

A demanda do mercado por uma dieta saudável constituída de produtos com características similares às daquelas do alimento fresco, promoveu o desenvolvimento de tecnologias de processamento brando para a sua conservação, conferindo conveniência, praticidade e qualidade aos alimentos processados (Torreggiani & Bertolo, 2001; Pereira et al., 2004).

A remoção ou a inviabilização de água para o desenvolvimento da microflora é a tarefa principal na conservação dos alimentos. A água, sendo um dos principais componentes dos alimentos de origem vegetal, apresenta influência direta e decisiva sobre a qualidade e durabilidade dos produtos alimentícios por meio da sua participação em muitos processos físico-químicos e biológicos (Labuza, 1980; Lenart, 1996).

Um processo brando de conservação, que pode ser aplicado a frutas mantendo sua integridade estrutural, nutricional e funcional, é a desidratação osmótica (Torreggiani & Bertolo, 2001), capaz de remover parte da água presente em alimentos de origem vegetal por imersão destes em uma solução hipertônica (Sereno et al., 2001; Park et al., 2002; Karel, 1975; Heng et al., 1990; Krokida et al., 2000). A força motriz para a remoção desta água se estabelece em consequência da diferença entre as pressões osmóticas do alimento e da solução em que este está imerso. A complexa estrutura celular dos vegetais

age como uma membrana semipermeável, responsável pelo transporte de massa. Assim, a difusão da água é acompanhada por uma difusão em contracorrente de solutos da solução desidratante para o tecido do alimento. Já que a membrana responsável pelo transporte osmótico não é perfeitamente seletiva, outros solutos presentes nas células (tais como ácidos orgânicos, açúcares, sais minerais, entre outros) podem também ser arrastados para a solução osmótica, gerando um fluxo quantitativamente desprezível, mas importante para a composição e qualidade do produto final (Heng et al., 1990; Corzo & Gomez, 2004; Park et al., 2002). A Figura 2.1 representa estes três tipos de transferência de massa estabelecidos durante um processo de desidratação osmótica de um alimento de natureza vegetal, indicando com as setas suas magnitudes.



**Figura 2.1** – Fluxos de transferência de massa durante a desidratação osmótica.

A desidratação osmótica é comumente usada como pré-tratamento a vários processos de conservação, visando a manutenção das propriedades nutricionais, sensoriais e funcionais do alimento sem mudar sua integridade. Geralmente, esta operação precede a aplicação de processos como congelamento, liofilização, secagem a vácuo ou secagem a ar (Rastogi et al., 2002), mas outras combinações de processos podem ser feitas (Monsalve-González et al., 1993).

Como a maioria dos alimentos contém uma grande quantidade de água, seu transporte, embalagem e armazenamento se tornam onerosos. A desidratação osmótica é

reconhecida como um método energeticamente eficiente de desidratação parcial, já que prescinde de mudança de fase.

A taxa de difusão de água de qualquer material de origem vegetal depende de fatores como: temperatura e concentração da solução osmótica, tamanho e geometria do material, a proporção em massa entre solução e material e o nível de agitação da solução. Estas variáveis podem ser manipuladas apenas dentro de um limite, fora do qual a qualidade do produto final pode ser comprometida, mesmo que as taxas de transferência de massa possam ser aumentadas. Assim, há a necessidade de identificar métodos que aumentem as taxas de transferência de massa sem afetar a qualidade do produto de forma significativa (Rastogi et al., 2002; Corzo & Gomez, 2004).

Os efeitos da concentração e da temperatura da solução osmótica foram estudados por vários autores e foi mostrado que a taxa de desidratação osmótica se intensifica com o aumento de ambos os parâmetros (Corzo & Gomez, 2004; Palou et al., 1993; Giraldo et al., 2003; Sacchetti et al., 2001; Heng et al., 1990; Park et al., 2002; Sablani et al., 2002).

À medida que a desidratação osmótica ocorre, a solução osmótica se torna gradualmente mais diluída e a força motriz para promover subseqüentes retiradas de água do produto cai. Torna-se então necessário que se tenha uma proporção sólido:solução em torno de 1:10 a fim de assegurar a estabilidade da força motriz. A constância da concentração da solução osmótica auxilia a determinação do coeficiente de difusão usando soluções das leis de Fick para a difusão no estado não-estacionário. A taxa de desidratação também aumenta com a intensificação do nível de agitação do sistema, necessário para minimizar ou eliminar a resistência interfacial na fase líquida diluída.

As membranas semipermeáveis das células presentes no material biológico oferecem a resistência dominante ao processo de transferência de massa durante o tratamento osmótico. Desta forma, durante a remoção osmótica da água dos alimentos, a frente de desidratação se move da superfície em contato com a solução osmótica para o centro do alimento. Se o sólido é maior em tamanho, ele desidratará mais lentamente devido a um maior caminho de difusão a ser percorrido. O formato do sólido é outro fator de importância, sendo que a perda de água e o ganho de sólidos aumentam na proporção da razão da área superficial em relação ao comprimento característico (Rastogi et al., 2002).

As variáveis que influenciam a transferência de massa podem então ser listadas como: concentração e temperatura da solução, agitação, proporção alimento:solução, estrutura do alimento (porosidade, etc.), tamanho e forma (que determinam a área superficial e resistência à transferência de massa), natureza e peso molecular do soluto osmótico, pressão (alta pressão, ambiente ou vácuo). A seleção destas variáveis de processo também depende da sua aplicação.

A cinética de desidratação osmótica de cubos de pêras D'anjou foi realizada com soluções em três diferentes concentrações e em três diferentes temperaturas. As difusividades efetivas para a perda de água e ganho de sólidos foram calculadas utilizando soluções para a equação de Fick, de onde os autores concluem que as taxas de perda de água e de ganho de solutos aumentam tanto com o aumento da temperatura, quanto com o crescimento da concentração da solução infusora (Park et al., 2002).

Cilindros de maçã foram desidratados osmoticamente por Sereno et al. (2001) para a determinação dos coeficientes de transferência de massa em soluções de sacarose e sal em diferentes concentrações e temperaturas. Os autores observaram que a taxa de desidratação cresceu com o aumento da temperatura de processo, simultaneamente a um aumento no teor de sólidos da amostra por impregnação de sacarose.

A desidratação osmótica de maçãs foi estudada por Sablani et al. (2002) para a obtenção dos coeficientes de partição utilizando soluções de sacarose a diferentes temperaturas (de 22 a 90°C) e concentrações (30 a 70%). Maçãs vermelhas foram cortadas em cubos, imersos em soluções de sacarose e agitado por 60 horas em banho termostático. Os autores apontaram a intensificação do ingresso de solutos com o aumento da temperatura de processo e com a queda da concentração da solução infusora.

O efeito da concentração das soluções de sacarose na desidratação osmótica de cilindros de manga foi estudado por Giraldo et al. (2003). O processo foi conduzido a 30°C, utilizando concentrações de 35, 45, 55 e 65°Brix para a solução infusora, e as cinéticas de ganho de açúcares e perda de água foram analisadas. Os autores concluem que os coeficientes de difusão efetivos na fruta aumentam com o decréscimo da concentração de sacarose na solução, especialmente para os tratamentos a 45°Brix, que induziu uma razão ganho de açúcares - perda de água muito alta, provavelmente causada

por uma menor viscosidade das soluções mais diluídas, facilitando a transferência de massa.

A desidratação osmótica admite o ajuste de propriedades físico-químicas do alimento por redução do seu conteúdo de água, simultaneamente à sua formulação direta por incorporação de ingredientes ou aditivos com efeitos antioxidantes ou outras propriedades preservantes durante o processamento, constituindo importante ferramenta para desenvolver e agregar valor aos produtos de frutas (Torreggiani & Bertolo, 2001; Krokida et al., 2000).

Moléculas de ácidos fracos, tais como o acético e o láctico, podem inibir o crescimento de bactérias e fungos. Quando em solução, ácidos estabelecem um equilíbrio, dependente do pH, entre os estados dissociado e não-dissociado. Estes preservantes apresentam atividade inibitória ótima a baixos valores de pH, porque esta condição favorece o estado não-dissociado da molécula que pode então penetrar livremente a membrana plasmática. Uma vez dentro da célula, encontrando um pH mais alto, a molécula dissociará resultando na liberação de prótons e anions carregados que não são capazes de atravessar a membrana plasmática. A molécula do ácido se difunde para dentro das células procurando alcançar o equilíbrio, de acordo com o gradiente de pH gerado no processo, resultando no acúmulo de prótons e anions dentro da célula do microrganismo. No caso dos fungos, o efeito preservante dos ácidos fracos pode ser atribuído à indução de um estresse energeticamente dispendioso na tentativa de restaurar sua homeostase, resultando na redução da energia disponível para seu crescimento e outras funções metabólicas essenciais (Brul & Coote, 1999).

A homeostase é a tendência à uniformidade e estabilidade do ambiente interno do microrganismo. Por exemplo, a manutenção do pH é um pré-requisito e uma característica das células vivas, fazendo com que microrganismos despendam esforço considerável na manutenção de seu pH dentro de limites estreitos. Assim, a preservação é atingida pela perturbação temporária ou permanente da homeostase do microrganismo no alimento (Leistner, 2000; Leistner & Gorris, 1995).

Além de inibir a proliferação microbiológica, a acidificação da solução infusora, durante o processo osmótico, pode auxiliar na preservação dos pigmentos da fruta e na aceleração da desidratação osmótica. A utilização de ácido ascórbico durante a desidratação osmótica de mamões foi estudada por Heng et al. (1990), que apontaram o caráter antioxidante deste ácido como responsável por evitar a oxidação dos

carotenóides, protegendo estes pigmentos. Em um estudo de desidratação osmótica de mamões, Moy et al. (1978) constataram o efeito da aplicação de ácido láctico sobre a taxa de transferência de massa para esta fruta, indicando perda de água mais acelerada para as amostras tratadas em meio acidificado.

Outro meio de preservar a integridade do alimento osmoticamente desidratado consiste na adição de um sal de cálcio à solução infusora durante o processamento com a finalidade de manter a textura do produto final, assim como descrito por muitos autores trabalhando tanto com banhos (Luna-Guzman & Barrett, 2000; Luna-Guzman et al., 1999), quanto com a própria desidratação osmótica (Mastrangelo et al., 2000; Suutarinen et al., 2000).

O emprego dos sais de cálcio durante os processamentos de alimentos tem por objetivo promover a complexação dos íons  $\text{Ca}^{2+}$  do sal com os componentes pécticos da parede celular e da lamela média (Lee, 1983; Van-Buren, 1979), conservando a integridade da estrutura celular por (i) retardamento da quebra de galactolipídeos que ocorre naturalmente a partir do período do pós-colheita (Picchioni et al., 1995) e por (ii) manter a pressão de turgor das células tratadas (Mastrangelo et al., 2000; Mignani et al., 1995). Entretanto, os efeitos firmadores da adição de sais de cálcio ao processamento de frutas podem também ser atribuídos à ação da enzima termo-ativada pectinaesterase, que rompe ligações entre grupos metoxila da pectina nativa para produzir grupos carboxílicos livres que complexam íons divalentes para reticular cadeias poliuronidas, aumentando a firmeza do tecido (Bartolome & Hoff, 1972; Fayyaz et al., 1995; Lee, 1983). Estes atributos de textura, como as alterações da firmeza do tecido, são uma expressão das propriedades reológicas da estrutura física do alimento.

Desta forma, nota-se que a ação dos sais de cálcio sobre os atributos de textura do alimento dependem do teor de pectina presente no tecido e das condições em que estes componentes pécticos reagem (gelificando-se), mantendo ou aumentando a firmeza do tecido.

A transferência de massa e as mudanças na textura de fatias e cilindros de maçãs durante processos de desidratação osmótica com aditivos a 30, 40 e 50°C foram estudadas por Monsalve-González et al. (1993). Os autores observaram uma correlação negativa entre a textura das maçãs e a difusão de açúcar no tecido tratado e afirmam que o amaciamento do tecido e o ganho de sólidos foram mais pronunciados em meio acidificado. Entretanto, apontam que o uso de cloreto de cálcio a 0,3% minimizou o efeito

de amaciamento do tecido, provavelmente por reagir com os componentes da parede celular.

A firmeza e as características da parede celular de pimentas em conserva foram avaliadas por Gu et al. (1999). Os autores realizaram ensaios reológicos e análise da composição pectínica da parede celular para o estudo das características da parede celular do fruto. As amostras enlatadas com a solução de salmoura com e sem cloreto de cálcio foram levadas à pasteurização e posterior armazenamento. Os autores concluem que o aumento da temperatura levou substâncias pectínicas de alto teor de metoxilação a se hidrolisarem para formas mais solúveis, abandonando o tecido e causando seu amaciamento. A utilização de sal de cálcio melhorou a textura do produto mantendo altos níveis de pectinas insolúveis e reduzindo sua solubilização, resultando em um produto próximo ao fresco e com textura uniforme.

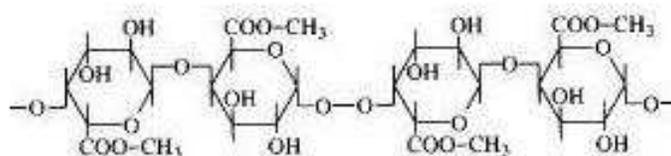
Em um trabalho com melões, Luna-Guzmán et al. (1999) levaram pedaços cilíndricos da fruta a banhos em soluções contendo cloreto de cálcio (a 1 – 5%) por 1 a 5 minutos com o objetivo de melhor preservar a fruta minimamente processada (descascada e cortada) e armazenada a 5°C. As autoras observaram que a presença de cálcio no tecido reduziu a taxa respiratória da fruta e aumentou a firmeza (avaliada por ensaios de penetração) dos cilindros de melão, que ocorreu pelo aumento da concentração de sal de cálcio na solução, mas não com o tempo de imersão nela.

Em um trabalho posterior, Luna-Guzmán & Barrett (2000) compararam a utilização de lactato de cálcio e cloreto de cálcio em soluções de imersão por 1 minuto entre temperaturas de 25 e 60°C. São medidas a firmeza, as características sensoriais, taxa de respiração e produção de etileno durante 12 dias de armazenamento a 25°C e 95% de umidade relativa do ar. Ambos os sais mantiveram a firmeza das amostras de melão durante o armazenamento. Entretanto, o cloreto de cálcio conferiu sabor amargo indesejável aos pedaços de fruta tratados. Assim, as autoras recomendaram o uso de lactato de cálcio como o sal mais indicado para manter as características reológicas dos melões minimamente processados, atingindo textura 25 a 33% mais firme que as amostras frescas não tratadas armazenadas nas mesmas condições.

### **2.3. Microestrutura e Pectina**

Pectinas são misturas complexas de polissacarídeos que constituem cerca de um terço da massa seca da parede celular das plantas superiores (Van-Bu ren, 1991; Lee, 1983). Dentro deste contexto, se forem observadas apenas as frutas e hortaliças, os componentes da parede celular podem se distribuir em: 40% de pectinas, 35% de celulose, 15% de hemiceluloses, 5% de proteínas e 5% de compostos fenólicos (Brett & Waldron, 1996).

O principal constituinte do polissacarídeo péctico é o ácido D-galacturônico, unido em cadeias por meio de ligações  $\alpha$ -(1→4) glicosídicas. Inseridas nesta cadeia uronida principal estão unidades de ramnose distribuídas de diferentes formas ao longo da cadeia. Frequentemente cadeias secundárias (polissacarídeos) de arabinanas, galactanas e arabinogalactanas estão ligadas à ramnose. A estrutura molecular primária da pectina pode ser vista na Figura 2.2.



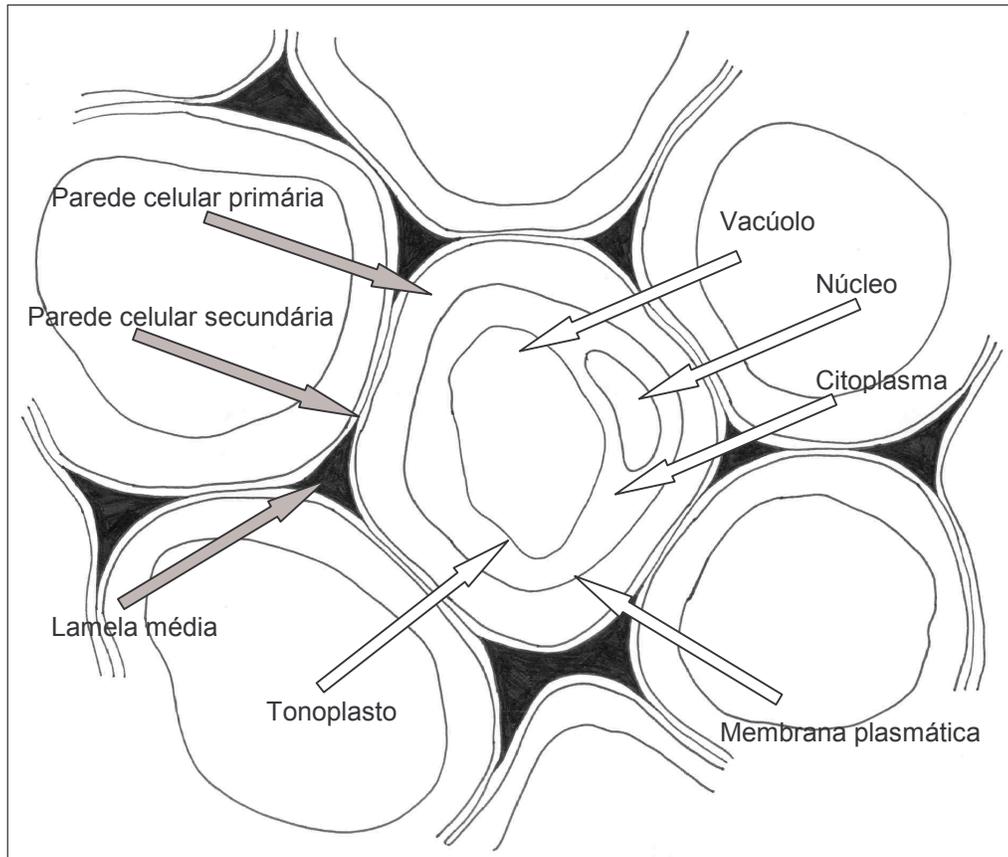
**Figura 2.2** – Estrutura molecular da pectina (Fonte: Alkorta et al., 1998)

As pectinas são classificadas em três categorias: pectinas solúveis em água, pectinas solúveis em agente quelante (como EDTA) e protopectinas solúveis em soluções alcalinas e soluções diluídas de ácido. As proporções desses tipos de pectinas variam consideravelmente entre os diferentes tecidos. Em maçãs maduras predominam as protopectinas; em cenouras e batatas há uma larga proporção de pectinas solúveis em agentes quelantes; pêssegos apresentam proporção quase igual de todas os tipos de pectinas. As pectinas solúveis em água e agentes quelantes são tipicamente compostas por ácido galacturônico com 2% de ramnose e 10-20% de açúcares neutros. A distribuição e o número de grupos carboxílicos livres definem se uma pectina é solúvel em água ou em quelantes. As protopectinas possuem alto teor de açúcares neutros, principalmente galactose e arabinose (van Buren, 1991).

Um fator importante na caracterização das cadeias de pectina é o grau de esterificação dos grupos carboxílicos da cadeia uronida com o álcool metílico. Em geral, pode-se dizer que as pectinas solúveis em agentes quelantes são as de baixo teor de

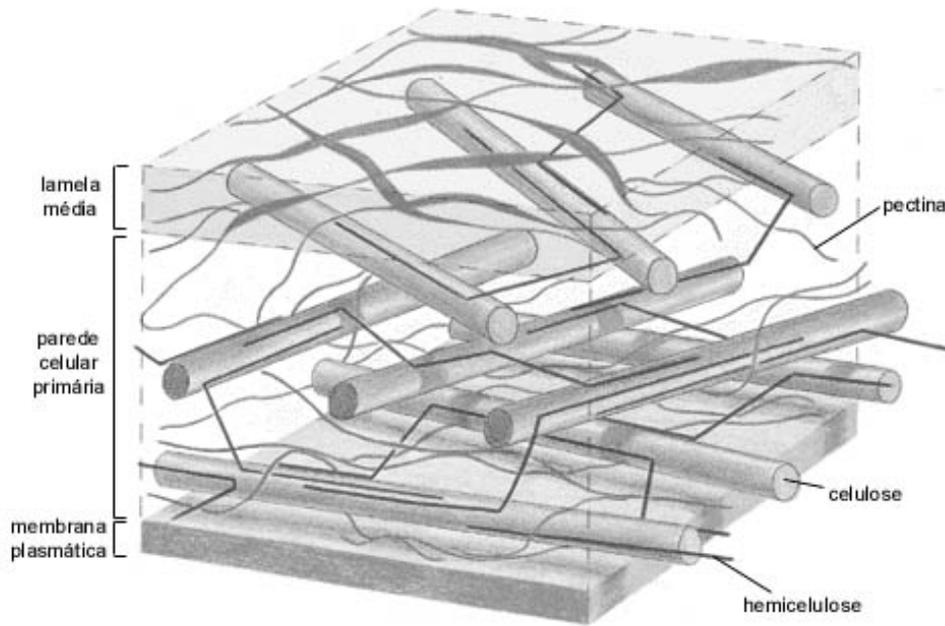
metoxilação e as solúveis em água ou em ácido e base são as pectinas de alto teor de metoxilação. Ainda pode-se dizer que as pectinas predominantes na lamela média são aquelas solúveis em água e em agentes quelantes, enquanto que as pectinas da parede celular são predominantemente aquelas solúveis em agentes quelantes. O grau de esterificação das pectinas tem um papel fundamental na firmeza e coesão dos tecidos vegetais. Reduções no grau de esterificação resultam em aumento da coesão. A enzima pectina metilesterase pode desmetoxilar cadeias pécticas quando o tecido é submetido a aquecimento (50 a 80°C), congelamento ou dano físico (van Buren, 1991; Thakur et al., 1997).

A função das substâncias pécticas é hidratar e cimentar a rede de celulose, além de espessar a parede celular, mantendo a estrutura do tecido. As maiores concentrações de pectina se dão na lamela média, com um decréscimo gradual a partir da parede celular primária em direção à membrana plasmática (Figura 2.3). As substâncias pécticas contribuem para a adesão entre as células e para a resistência mecânica da parede celular, se comportando da mesma forma que géis estabilizados. São solubilizados facilmente e possuem um alto grau de reatividade, em comparação a outros polímeros da parede celular (van Buren, 1991; Thakur et al., 1997).



**Figura 2.3** – Figura esquemática: células vegetais indicando o vacúolo, núcleo, citoplasma, membrana plasmática e tonoplasto da célula central, assim como as paredes celulares unidas pela lamela média. Fonte: adaptação de Brett e Waldron (1996).

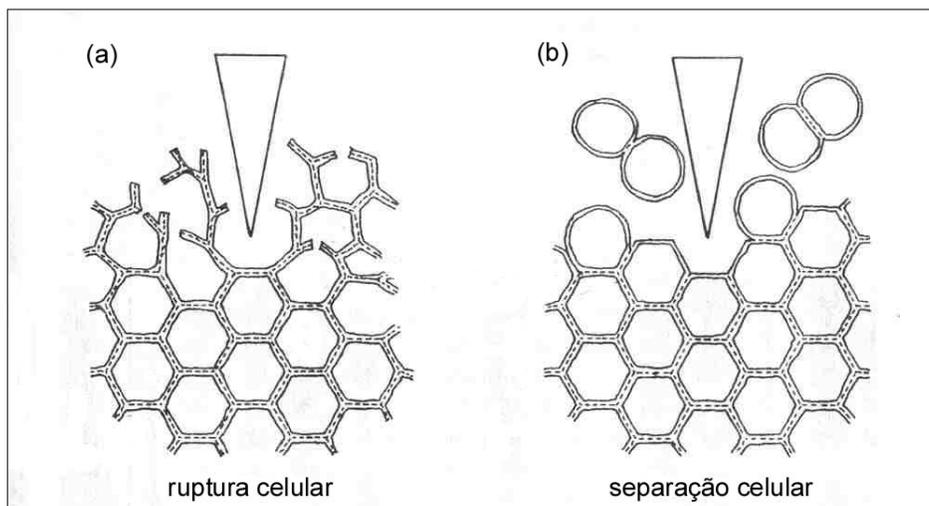
A parede celular primária é composta por fibras de celulose emaranhadas, inseridas em uma matriz amorfa de polissacarídeos (Figura 2.4). O amadurecimento de frutas geralmente envolve o amaciamento dos tecidos por separação celular, resultado da despolimerização dos polissacarídeos pécticos da lamela média. A resistência da parede está relacionada com a sua espessura. Danos induzidos por aplicação de forças são observados em algumas frutas maduras ou em tecidos aquecidos. Nesses casos há usualmente mudanças resultantes do dano à lamela média e degradação de seus componentes pécticos (van Buren, 1991; Brett & Waldron, 1996).



**Figura 2.4** – Modelo da parede celular vegetal desde a lamela média até a membrana plasmática indicando seus principais constituintes poliméricos (matriz celulósica imersa em matriz de polissacarídeos).

(Fonte: [http://www.enzymes.co.uk/answer24\\_pectinase.htm](http://www.enzymes.co.uk/answer24_pectinase.htm))

A firmeza do tecido pode ser descrita como a resistência a uma força de deformação. A resistência a pequenas deformações resulta do turgor e da rigidez da parede celular. Quando estas forças são suficientemente grandes, mudanças irreversíveis são causadas à conformação de um tecido. No nível celular, muitos fenômenos podem estar relacionados à textura. Pode haver a quebra da parede celular acompanhada de expulsão do conteúdo do vacúolo. Quando este tipo de dano ocorre em células com grande proporção de vacúolos, o tecido é comumente descrito como suculento. Outro tipo de mudança conformacional é a separação das células, quando há uma falha na camada de adesão entre as células. Quando esta perda de adesão é muito pronunciada, há uma extensiva separação entre as células resultando das forças aplicadas (Figura 2.5). O tipo de fratura que realmente ocorre é determinado pela resistência da parede celular e das camadas adesivas entre as células.



**Figura 2.5** – Ruptura do tecido por (a) ruptura celular, típico de frutas verdes (o conteúdo das células é liberado); e (b) separação celular, comum a frutas maduras.

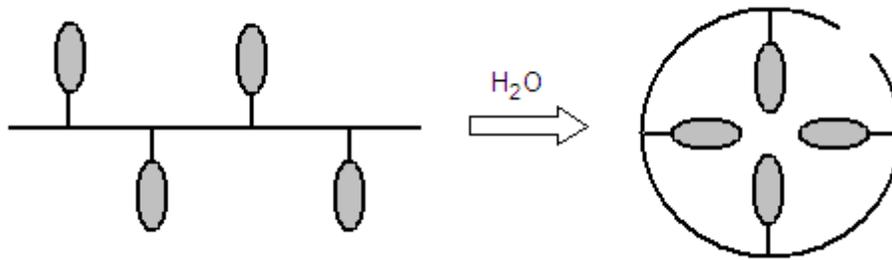
Fonte: Brett e Waldron, 1996.

#### MECANISMOS DE GELIFICAÇÃO DA PECTINA

##### 1- PECTINAS DE ALTO TEOR DE METOXILAÇÃO:

A reticulação de cadeias de pectina envolve segmentos extensos da molécula para formar zonas de junção. Estas zonas são estabilizadas por uma combinação de pontes de hidrogênio e interações hidrofóbicas entre as moléculas de pectina.

O efeito hidrofóbico surge de interações desfavoráveis entre moléculas de água e grupos metoxílicos apolares da pectina. Os grupos metoxílicos induzem uma mudança na estrutura da água, diminuindo sua entropia. Para minimizar esta mudança, os grupos metoxílicos são forçados a coalescer, reduzindo sua área de contato com a água. A remoção dos grupos apolares do contato com a água contribui com a energia livre para a estabilização conformacional (Figura 2.6).



**Figura 2.6** – Figura esquemática do funcionamento da interação hidrofóbica entre cadeias secundárias (áreas cinzas) de um polímero em solução aquosa. Fonte: Oakenfull, 1991.

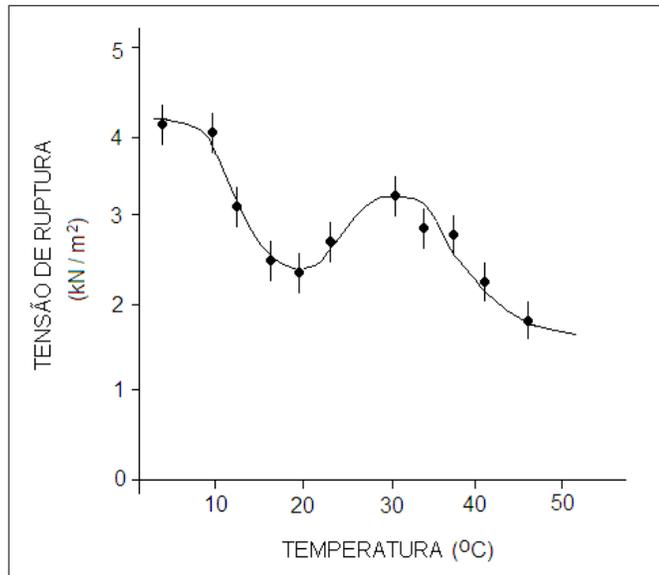
A força motriz para esta interação provém da estrutura tridimensional de ligações de hidrogênio da água. O tamanho e a estabilidade termodinâmica da zona de junção depende da proximidade dos grupos éster. A baixos pHs a repulsão eletrostática entre íons de carboidratos é diminuída por causa da separação da dissociação dos grupos carboxílicos.

As pontes de hidrogênio ocorrem entre átomos de oxigênio funcional. As pontes de hidrogênio entre moléculas de pectina são favorecidas pela conformação adjacente de ramificações de uronidas. Pontes individuais de hidrogênio são fracas, mas um grande número delas confere estabilidade termodinâmica significativa ao gel.

A contribuição das interações hidrofóbicas para a energia livre da formação das zonas de junção é a metade daquela fornecida pelas pontes de hidrogênio, mas é essencial porque as pontes de hidrogênio por si só são insuficientes para superar a barreira entrópica à gelificação.

Efeito da temperatura:

O efeito da temperatura pode ser visto na Figura 2.7, obedecendo a uma curva sigmoideal. Este resultado pode ser explicado qualitativamente pelos efeitos opostos do aumento da temperatura sobre as pontes de hidrogênio e as interações hidrofóbicas. As pontes de hidrogênio são enfraquecidas com o aumento da temperatura, enquanto que na faixa de 0 a 50°C as interações hidrofóbicas ficam mais fortes com o aumento da temperatura. Estes efeitos competem entre si gerando a curva na forma da figura (Oakefull & Scott, 1984).



**Figura 2.7** – Gráfico da tensão na ruptura em função da temperatura. Fonte: Oakenfull & Scott, 1984.

#### Efeito do açúcar:

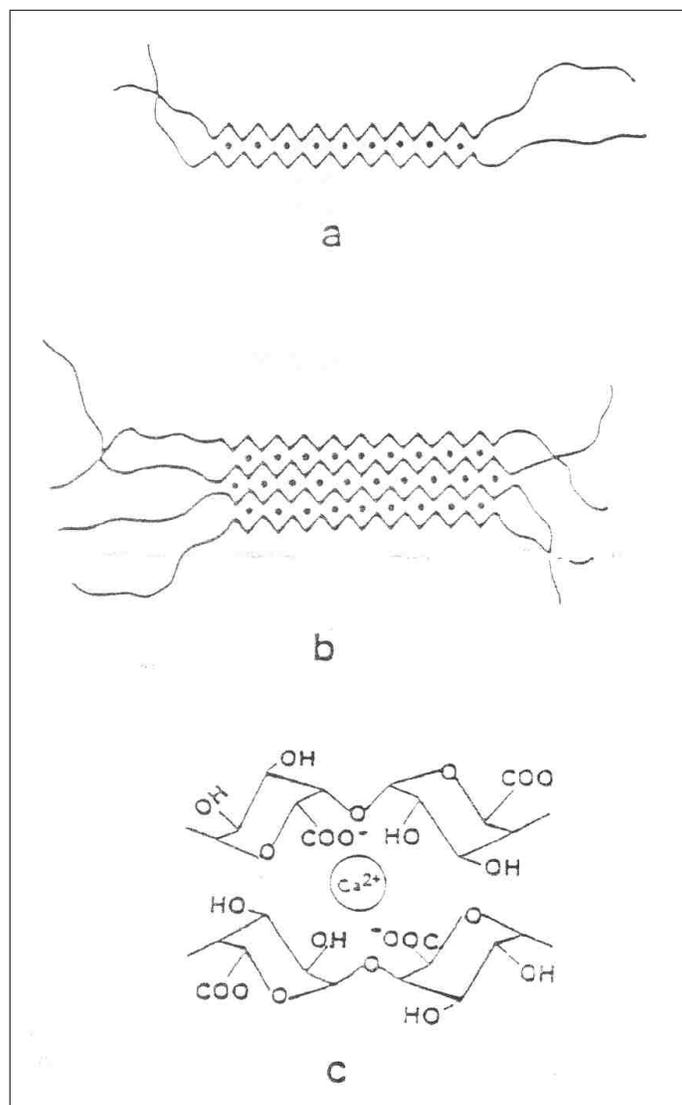
Os solutos afetam a magnitude das interações hidrofóbicas, alterando a força do gel e a taxa de desenvolvimento da estrutura. O soluto (sacarose, por exemplo) interfere nas interações não-covalentes entre as cadeias do polímero. Este efeito de enfraquecimento sobre as interações hidrofóbicas se deve à sua habilidade de (i) alterar a estrutura da água de forma que facilite a solvatação de grupos apolares com a água e (ii) solvatar os grupos apolares com a água. A estabilidade das interações hidrofóbicas pode ser modificada adicionando açúcares, como a sacarose (Oakefull, 1991).

#### Efeito do pH:

A baixos pHs a repulsão eletrostática entre os íons dos carboidratos é diminuída por supressão da dissociação dos grupos carboxílicos (Thakur et al., 1997).

#### 2- PECTINAS DE BAIXO TEOR DE METOXILAÇÃO:

A gelificação das pectinas de baixo teor de metoxilação resulta da vinculação iônica via pontes de cálcio entre dois grupos carboxílicos de cadeias diferentes. As interações entre íons cálcio e os grupos carboxílicos são descritas pelo modelo de caixa de ovo (egg-box) que envolve um processo de dois estágios: (i) dimerização e (ii) agregação dos dímeros formados. Esta estrutura (Figura 2.8) foi sugerida para promover a estabilidade da lamela média na parede celular vegetal (Thakur et al., 1997).



**Figura 2.8** – Formação dos dímeros (a), agregação dos dímeros (b) e cavidade de caixa de ovo (c). Fonte: Thakur et al., 1997.

Os átomos de oxigênio dos grupos hidroxílicos, o anel de átomos de oxigênio e os átomos de oxigênio das unidades componentes de açúcares participam do processo de ligação através de seus pares de elétrons livres (Axelos & Thibault, 1991).

Efeito do pH:

A formação de géis de pectinas de baixo teor de metoxilação pode ser influenciada pela alteração do pH. A gelificação ocorre por dimerização das triplas hélices anti-paralelas, com agregação maior a valores de pH muito baixos, onde as cadeias se tornam essencialmente descarregadas (Gilsenan et al., 2000).

Efeito da temperatura:

O aumento da temperatura resulta em diminuição na força das ligações na zona de junção.

Uma redução na temperatura pode promover uma transição conformacional reversível para uma estrutura tridimensional mais compacta (Axelos e Thibault, 1991; Gilsenan et al., 2000).

A descrição da conformação bi ou tridimensional das cadeias se relaciona com o estado de energia livre mínima ao redor do qual as conformações locais flutuam. Arranjos tridimensionais podem ser rompidos por aquecimento, substituindo a conformação média em direção a uma estrutura bidimensional, com restabelecimento da geometria de cadeias mais compacta durante o resfriamento (Gilsenan et al., 2000).

Efeito do conteúdo de sólidos solúveis:

Quando sólidos solúveis são adicionados às soluções de pectina, a força do gel aumenta e a sinerese é reduzida. O efeito combinado de pH e açúcares promove a gelificação com baixos níveis de cálcio. Apesar da diminuição do número de seqüências de grupos carboxílicos disponíveis para formar pontes de cálcio, a gelificação é intensificada por causa do efeito específico dos açúcares na atividade de água e efeitos hidrofóbicos (Axelos & Thibault, 1991; Thakur et al., 1997).

Desta forma, como as substâncias pécticas constituem cerca de 40% da parede celular vegetal, sendo o polissacarídeo mais reativo e responsável pela coesão celular, é de se esperar que alterações na temperatura, pH, conteúdo de açúcares e a presença de íons  $\text{Ca}^{2+}$  levem à gelificação parcial das pectinas do tecido, influenciando os parâmetros reológicos do produto final.

#### **2.4. Embalagem sob Atmosfera Modificada**

Mesmo após sua colheita, frutas e hortaliças continuam seus processos vitais, consumindo oxigênio e liberando dióxido de carbono (Lee et al., 1996; Artéz et al., 1999), dando seqüência à respiração, senescência e amadurecimento. Frutas climatéricas, como goiaba, mamão e banana, apresentam um pico de respiração e produção de etileno associados à senescência e ao amadurecimento no período do pós-colheita (Fonseca et al., 2002). A Tabela 2.1 aponta valores de taxa de respiração de algumas frutas e hortaliças encontradas na literatura.

**Tabela 2.1** – Taxa respiratória e produção de etileno para algumas frutas e hortaliças em ar atmosférico e a temperatura ambiente.

Fruta ou Hortaliça	Taxa de Respiração (ml CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	Produção de Etileno (µl C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )
Abacaxi	8 – 10	0,15
Brócolis	140 – 160	<0,1
Espinafre	86 – 143	< 0,1
Figo	20 – 30	4 – 6
Goiaba	10 – 70	1 – 20
Kiwi	15 – 20	50 – 100
Maçã	7,4	< 0,1
Mamão	15 – 35	1 - 15
Manga	35 – 80	0,5 – 8,0
Pepino	7 – 24	0,1 – 1,0
Pimenta Vermelha	12,8	0,55
Tomate	18	4,33
Uva	12 – 15	< 0,1

Fonte: Kader et al., 1989; Kader, 2004.

Respiração é um processo metabólico que fornece a energia requerida para a demanda bioquímica da planta. A respiração aeróbica consiste na quebra oxidativa, por uma série de reações enzimáticas, das reservas orgânicas (carboidratos, lipídeos e ácidos orgânicos) em moléculas mais simples, incluindo CO<sub>2</sub> e água, com liberação de energia. Vários substratos usados na síntese metabólica são formados durante a respiração (Fonseca et al., 2002, Hertog et al., 2003). A deterioração de um alimento de natureza vegetal (como frutas e hortaliças) se dá por reações oxidativas resultantes do próprio metabolismo celular, da proliferação de microrganismos patogênicos ou deterioradores, ou da atividade de enzimas que usam o oxigênio como substrato. Assim, a alteração da composição da atmosfera (níveis de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, por exemplo) que circunda um tecido vegetal vivo, pode retardar a respiração do tecido e as reações oxidativas, aumentando a vida útil do alimento durante seu armazenamento (Valle & Palma, 1997;

Hertog et al., 2003; Fonseca et al., 2002; Kader et al., 1989; Gunes & Lee, 1997; Agar et al., 1999).

Tecidos vegetais submetidos a dano físico nas etapas de pós-colheita e de processamento (corte, lavagem, manipulação, etc.) apresentam um aumento na sua taxa de respiração. Estes danos induzem a uma elevação da produção de etileno ( $C_2H_4$ ), que estimula a respiração e, conseqüentemente, acelera a deterioração e a senescência em tecidos vegetais e promove amadurecimento de frutas climatéricas (Fonseca et al., 2002; Brecht, 1995). O etileno é um hormônio vegetal que apresenta diferentes efeitos na fisiologia das plantas, regulando seu crescimento e desenvolvimento e acelerando a respiração, levando à maturação e à senescência, e também ao amaciamento das frutas. O etileno é efetivo a concentrações da ordem de ppm e ppb, sendo que seu acúmulo pode causar amarelecimento de hortaliças verdes, amadurecimento acelerado, senescência, sendo, na maioria das vezes, prejudicial à qualidade e vida de prateleira de frutas e hortaliças (Vermeiren et al., 1999; Salveit, 1999, Paull & Chen, 1997).

A síntese e ação do  $C_2H_4$  envolvem complicados processos metabólicos, que requerem oxigênio e são sensíveis a elevadas concentrações de dióxido de carbono (Vermeiren et al., 1999). Desta forma, para frutas climatéricas, a diminuição de oxigênio e o aumento de dióxido de carbono agem retardando o amadurecimento, não só por sua influência na respiração do tecido vegetal, mas também por seu efeito inibitório sobre a ação do etileno (Beaudry, 1999).

Outro fator que influencia a taxa de respiração de um tecido vegetal vivo é a temperatura, cujo aumento pode acelerar as reações metabólicas do alimento, levando a um estado de maturação avançado. Desta forma, a aplicação de temperaturas baixas durante o período de armazenamento pode retardar a taxa respiratória, conservando frutas e hortaliças por mais tempo. Entretanto, o uso de baixas temperaturas deve ser avaliado cuidadosamente para cada tipo de alimento com o intuito de evitar injúrias fisiológicas, que também podem levar a um aumento da taxa respiratória (Fonseca et al., 2002; Mohamed et al., 1996; Kader et al., 1989).

A tecnologia de embalagem sob atmosfera modificada passiva consiste no acondicionamento de um alimento em um material de embalagem permeável de forma a equiparar a taxa em que o material de embalagem troca oxigênio e dióxido de carbono com o meio externo e a taxa respiratória do tecido vegetal, criando uma atmosfera dentro da embalagem, tal que, a atividade respiratória do produto seja diminuída, conservando-o

por mais tempo (Ahvenainen, 1996; Howard e Hernandez-Brenes, 1998; Banks & Nicholson, 2000).

Dentro do contexto de alimentos de origem vegetal, nota-se que a taxa de respiração do produto após sua colheita é inicialmente alta, diminuindo com o tempo de estocagem e alcançando um nível de regime permanente que é função da temperatura de armazenamento e composição da atmosfera. Na embalagem sob atmosfera modificada, os fluxos projetados de permeabilidade de gases através da embalagem para  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  são tais que, o  $\text{CO}_2$  produzido pelo alimento no estado estacionário é transferido à atmosfera externa, enquanto o  $\text{O}_2$  consumido pelo produto é suprido pela atmosfera. O oxigênio do interior da embalagem é consumido pelo alimento enquanto este respira, e uma quantidade aproximadamente igual de  $\text{CO}_2$  é produzida. A redução na concentração de  $\text{O}_2$  e o aumento da concentração de  $\text{CO}_2$  criam um gradiente entre a atmosfera interna à embalagem e a condição externa (Lee et al., 1996; Silva et al., 1999).

Inicialmente, a taxa respiratória do produto é muito maior que as taxas de permeabilidade dos filmes de embalagem para o  $\text{O}_2$  e o  $\text{CO}_2$ . Os gradientes de concentração de gases através da embalagem também são pequenos. Além disso, nesse estágio inicial, os fluxos de troca gasosa através da embalagem são insuficientes para compensar os fluxos por respiração, resultando em acúmulo de  $\text{CO}_2$  e redução do teor de  $\text{O}_2$  e conseqüente aumento dos gradientes de concentração dos gases através da embalagem, que por sua vez, aumentará as taxas de troca gasosa. Eventualmente, as diferenças entre os fluxos de respiração e os fluxos de troca gasosa desaparecem, e as concentrações de  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  no estado estacionário ficam então estabelecidas dentro da embalagem. Para projetar uma embalagem eficiente que utilize a tecnologia de atmosfera modificada, é fundamental o conhecimento dos valores de taxas de permeabilidade ao  $\text{CO}_2$  e ao  $\text{O}_2$  dos filmes, assim como a taxa de respiração do produto a ser embalado (Lee et al., 1996; Artés et al., 1999).

A extensão dos benefícios da aplicação da tecnologia de atmosfera modificada depende do tipo de alimento, do cultivar, do estágio de maturação, da sua qualidade inicial, das concentrações de  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$ , da temperatura do meio e da duração da exposição do alimento a estas condições. Submeter uma fruta ou hortaliça a níveis de  $\text{O}_2$  inferiores e/ou níveis de  $\text{CO}_2$  superiores a seus limites de tolerância, por uma dada combinação temperatura/tempo, resultará em estresse do tecido vivo, que se manifestará sob vários sintomas, tais como amadurecimento irregular, início ou agravamento de dano

fisiológico, aumento da respiração anaeróbica, desenvolvimento de aromas indesejáveis, e aumento da suscetibilidade à deterioração (Kader et al., 1989).

Os limites de tolerância a concentrações elevadas de CO<sub>2</sub> caem com a redução no nível de O<sub>2</sub> e, da mesma forma, os limites de tolerância a baixas concentrações de O<sub>2</sub> crescem com o aumento dos níveis de CO<sub>2</sub>. A suscetibilidade ao estresse causado por níveis baixos de O<sub>2</sub> e altos de CO<sub>2</sub> é influenciada pelo grau de maturação, sendo que frutas maduras toleram níveis mais altos de CO<sub>2</sub> que frutas não maduras. Frutas e hortaliças minimamente processadas (cortadas, fatiadas, etc.) possuem menos barreiras à difusão gasosa, e conseqüentemente toleram maiores concentrações de CO<sub>2</sub> e menores de O<sub>2</sub> que os vegetais intactos. Os efeitos do estresse resultante da exposição do alimento a condições de atmosfera modificada indesejáveis podem ser somados a outros tipos de estresse, como injúria pelo frio ou danos físicos, acelerando a deterioração dos produtos frescos (Kader et al., 1989).

Assim, os fluxos de O<sub>2</sub> e de CO<sub>2</sub> através da embalagem e suas taxas de permeabilidade a estes gases são fatores críticos no desenvolvimento de uma embalagem com atmosfera modificada. Um material de embalagem conveniente para um determinado alimento deve ser capaz de fornecer uma combinação de taxa de permeabilidade a gases que depende do tipo de alimento, sua massa, temperatura de estocagem (que afeta tanto a respiração do tecido vegetal quanto a permeabilidade da embalagem) e a composição esperada de gases no estado estacionário. Um filme deve ser capaz de satisfazer os requisitos da variedade alimentícia a ser embalada (Lee et al., 1991). A Tabela 2.2 indica algumas condições de atmosfera modificada recomendadas durante o transporte a armazenamento de frutas e hortaliças inteiras.

**Tabela 2.2** – Condições de atmosfera modificada recomendadas para o transporte e armazenamento de frutas e hortaliças inteiras.

Fruta ou Hortaliça	Temperatura (°C)	% O <sub>2</sub>	% CO <sub>2</sub>
Abacaxi	8 – 13	2 – 5	5 – 10
Figo	0 – 5	5 – 10	15 – 20
Uva	0 – 5	2 – 5	1 – 3
Kiwi	0 – 5	1 – 2	3 – 5
Mamão	10 – 15	3 – 5	5 – 10
Banana	12 – 15	2 – 5	2 – 5
Manga	10 – 15	3 – 5	5 – 10
Maçã	0 – 5	1 – 3	1 – 5
Brócolis	0 – 5	1 – 2	5 – 10
Tomate	8 – 12	3 – 5	0 – 5
Espinafre	0 – 5	Ar	0 – 20
Pimenta vermelha	8 – 12	3 – 5	0
Pepino	8 – 12	3 – 5	0

Fonte: Kader et al., 1998.

Quando se trabalha com uma fruta ou hortaliça, é conveniente a utilização de um material de embalagem que permita a respiração do tecido vegetal a um nível desejado para que sua qualidade se mantenha (Kader et al., 1998, Cameron et al., 1995; Zagory, 1998; Petersen et al., 1999). De acordo com Kader et al. (1989), embalagens plásticas para atmosfera modificada devem apresentar vários atributos desejáveis, tais como: taxas de permeabilidades requeridas aos diferentes gases, boa transparência e brilho, baixo peso, boa resistência mecânica, bom sistema de fechamento, ser atóxico, não ser reativo ao produto embalado, boa resistência térmica e ao ozônio, disponibilidade comercial, fácil manuseio e fácil rotulagem.

Valores de taxas de permeabilidade ao oxigênio de materiais poliméricos recomendadas para embalagem de alimentos sob atmosfera modificada são apresentados na Tabela 2.3.

**Tabela 2.3** – Valores nominais para taxa de permeabilidade de materiais poliméricos comerciais para embalagem de alimentos sob atmosfera modificada.

Fabricante	Estrutura	Espessura ( $\mu\text{m}$ )	Taxa de Permeabilidade a 25° e 1 atm ( $\text{cm}^3 \text{m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ )	
			O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
GoodYear	PVC	12	10255	73610
GoodYear	PVC	20	6646	53187
Garôa	PEBD	30	7416	23819
Danisco	PEBD microperfurado a laser	37	1093	5098
Cryovac	Polioléfinico coextrusado	21	9745	28766
DuPont	Polioléfinico coextrusado	20	10145	30795
Zip Lock	PPBO/PEBD	70	1409	7506
Da Roça	PPBO/PEBD	70	1688	6771

PVC: policloreto de vinila

PPBO: polipropileno biorientado

PEBD: polietileno de baixa densidade

A seleção de filmes para embalagem é foco para muitos estudos e pode ser feita por meio de modelos matemáticos de transferência de massa dos gases do interior da embalagem no estado estacionário considerando as taxas de respiração do tecido e a taxa de permeabilidade a gases da embalagem. Métodos de seleção de embalagens baseados no balanço respiração-permeabilidade no estado estacionário utilizam, para o cálculo da taxa de permeabilidade da embalagem requerida, a temperatura de estocagem e das concentrações ótimas de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> para o produto, considerando constantes a taxa respiratória do produto e a temperatura durante o armazenamento, assim como, uma concentração de gases uniforme dentro da embalagem. Apesar dessas simplificações, métodos deste tipo são eficazes para a estimativa da permeabilidade requerida para um dado produto e atmosfera desejada (Lee et al., 1996, Exama et al., 1993; Oliveira et al., 1998). Quando do emprego deste tipo de seleção de embalagem, o coeficiente de respiração (razão entre a produção de CO<sub>2</sub> e o consumo de O<sub>2</sub>) é freqüentemente simplificado à unidade, normalmente quando os substratos metabólicos são carboidratos (Fonseca et al., 2002). De fato, a maioria das frutas e hortaliças possui um coeficiente de respiração muito próximo da unidade na presença de ar ambiente, viabilizando esta consideração para esta categoria de alimentos (Lee et al., 1996).

Em um trabalho com pimentas tipo jalapeño, Howard & Hernandez-Brenes (1998) estudaram a retenção de  $\beta$ -caroteno, e a perda nutricional em anéis de pimenta após 12 dias de estocagem a 4,4°C seguidos de 3 dias a 13°C embalados sob atmosfera modificada (5% O<sub>2</sub> e 4% CO<sub>2</sub> balanceados com ar) com filmes plásticos de polietileno. A utilização de atmosfera modificada promoveu retenção de 92% de  $\alpha$ -caroteno contra 52% de retenção para pimentas embaladas com ar após 15 dias de estocagem, enquanto o ácido ascórbico foi retido em 83% com atmosfera modificada e 56% com ar. A atmosfera modificada retardou a conversão de ácido L-ascórbico em dihidroascórbico, que ocorreu nas pimentas estocadas com ar. A maior parte das perdas de antioxidantes ocorreu nos primeiros 3 dias após o processamento mínimo (corte e lavagem). Os tratamentos com atmosfera modificada resultaram, segundo os autores, em melhor preservação dos atributos de qualidade (textura, cor e umidade) e dos antioxidantes, que as pimentas estocadas com ar.

Brotos de feijão foram embalados sob atmosfera modificada em filmes plásticos de permeabilidades de 950 a 200.000 ml de O<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>atm<sup>-1</sup>, e estocados a 8°C (Varoquaux et al., 1996). Os autores avaliaram sua taxa de respiração, cor e crescimento microbiano. Foi observada a queda na concentração de oxigênio, o que ocorreu de forma mais branda para os filmes com permeabilidade superior a 100.000 ml de O<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>atm<sup>-1</sup>, no entanto estes filmes favoreceram o escurecimento, a exsudação e a perda de textura. Filmes de polipropileno orientado induziram à condição anaeróbia depois de 2 dias de estocagem. A melhor combinação para o alcance de uma vida de prateleira de 4-5 dias foi estocagem a 8°C e filme com 50.000 ml de O<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>atm<sup>-1</sup> de permeabilidade, resultando em uma composição atmosférica ótima de 5% de oxigênio e 15% de dióxido de carbono.

Em um trabalho com uvas passas e ameixas secas, El Halouat et al. (1998) combinaram o uso de atmosfera modificada com agentes preservantes para a estabilização microbiológica das frutas. Atmosferas modificadas (40% CO<sub>2</sub> – 60% N<sub>2</sub> ou 80% CO<sub>2</sub> – 20% N<sub>2</sub>) combinadas à adição de 417 e 343 ppm de benzoato de sódio forneceram total inibição do crescimento de *Zygosaccharomyces rouxii* em ameixas secas e uvas passas com alto teor de umidade a 30°C.

Os efeitos de lavagens com cálcio e embalagens com atmosfera modificada ativa e passiva sobre a qualidade de cortes de tomates frescos foram avaliados por Artéz et al. (1999). Foram determinadas firmeza, cor, qualidade visual, aroma, textura e defeitos na colheita e depois de 7 e 10 dias de estocagem. Os melhores resultados foram

encontrados durante a estocagem a 2°C sob atmosfera modificada ativa e passiva. Tomates tratados com cloreto de cálcio mantiveram boa qualidade a 2°C quando embalados em filmes perfurados.

Um trabalho para a avaliação da vida de prateleira de melão, kiwi, mamão e abacaxi minimamente processados e armazenados a 4°C foi desenvolvido por O'Connor-Shaw et al. (1994). As frutas foram manualmente descascadas e cortadas em pedaços e colocadas em potes de polipropileno e armazenadas a 4°C. As amostras foram avaliadas periodicamente quanto à aceitação sensorial em intervalos de 3 dias; as amostras foram submetidas também à avaliação microbiológica no início e ao final da vida de prateleira. Os autores observaram a natureza distinta da forma de deterioração de cada fruta, apontando a necessidade de estudar seu armazenamento de maneira particularizada. Os resultados da pesquisa apontaram vida de prateleira de 2 dias para o kiwi e o mamão, 14 dias para o melão e 11 dias para o abacaxi, apontando a necessidade de se armazenar as frutas minimamente processadas entre 0 e 5°C e não nas mesmas temperaturas recomendadas para as frutas inteiras (substancialmente maiores que 4°C).

Teixeira et al. (2002) estudaram os efeitos da embalagem sob atmosfera modificada sobre a umidade, acidez, teor de sólidos solúveis totais e contaminação microbiológica de pedaços de mamão da variedade Formosa. Foi verificada diminuição significativa da umidade das amostras nos primeiros dois dias, sendo que a temperatura de 6°C foi a que melhor preservou este atributo. Os autores concluem que os pedaços da fruta se mantiveram em condições próprias ao consumo (contagem microbiológica dentro dos limites aceitos pela legislação) por 7 dias quando armazenados sob atmosfera modificada a temperaturas entre 3 e 6°C.

O efeito da atmosfera modificada nas alterações da qualidade de abacates foi avaliado por Hertog et al. (2003). As taxas de trocas gasosas e parâmetros de qualidade dos abacates armazenados a 7°C sob 32 condições diferentes de atmosfera modificada foram comparadas, revelando uma estreita relação entre a troca gasosa e a perda de peso, alterações na cor e amaciamento do tecido, indicando uma ligação metabólica entre estes processos. Altos níveis de CO<sub>2</sub> abaixaram o quociente respiratório da fruta. Tanto a perda de peso quanto as alterações na cor indicaram o envolvimento de processos anaeróbicos a baixos níveis de O<sub>2</sub>.

Bai et al. (2003) avaliaram a aplicação de embalagem sob atmosfera modificada em pedaços de melões tipo Honeydew colhidos no verão e no inverno. Amostras foram embaladas sob atmosfera modificada e com filmes perfurados. O caráter translúcido e os odores indesejáveis foram as principais conseqüências da deterioração dos pedaços de fruta embalados. Amostras armazenadas sob atmosfera modificada passiva a 5°C retardaram o processo respiratório e inibiram a microflora nativa, apresentando qualidade superior e maior vida de prateleira que as amostras embaladas com filmes perfurados. Os atributos de qualidade entre os melões colhidos no inverno e no verão diferiram entre si, já que os melões do verão apresentavam maior teor de sólidos solúveis, mas a vida de prateleira foi similar para os dois tipos de frutas armazenadas nas mesmas condições.

Pêras minimamente processadas embaladas sob atmosfera modificada com baixos teores de O<sub>2</sub> e altos teores de CO<sub>2</sub> ou com altos níveis de O<sub>2</sub> apresentaram escurecimento superficial e amaciamento do tecido (Gorny et al., 2002). Entretanto, a combinação da embalagem sob atmosfera modificada passiva com tratamento prévio dos pedaços da fruta em soluções contendo 2% (p/v) de ácido ascórbico, 1% (p/v) de lactato de cálcio e 0,5% (p/v) de cisteína aumentou significativamente a vida de prateleira das fatias de pêra, por inibição do escurecimento enzimático e do amaciamento do tecido. Após 10 dias de armazenamento a 0°C, as frutas mostraram 82% de aceitação da aparência e 70% de aceitação em relação ao aroma.

As respostas fisiológicas de fatias de maçãs embaladas sob diferentes condições de atmosfera modificada a 5°C foram estudadas por Gunes et al. (2001). Os autores apontam a eficácia do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na inibição da respiração do tecido da fruta e da produção de etileno. O escurecimento enzimático foi reduzido pelos altos níveis de dióxido de carbono, mas apenas dentro de uma faixa limitada. Os autores apontam o acúmulo de CO<sub>2</sub> dentro da embalagem como uma ferramenta potencial para reduzir a anaerobiose, desde que estudos sensoriais revelem a aceitação das fatias de maçã armazenadas sob estas condições.

O armazenamento de mangas inteiras a 12°C sob atmosfera modificada ativa e passiva foi estudado por Pesis et al. (2000) com o intuito de minimizar os efeitos de injúria pelo frio sofridos pela fruta e expressos na forma de manchas vermelhas na casca. As frutas foram embaladas em filmes de polietileno microperfurado ou em filme de blenda polimérica Xtend®. Após 3 semanas de estocagem a 12°C mais 1 semana a 20°C, a embalagem com atmosfera modificada se mostrou efetiva na redução da injúria pelo frio.

A redução mais efetiva foi alcançada para as frutas embaladas com o filme Xtend®. Uma segunda vantagem da utilização deste filme foi apontada pelos autores como a redução do acúmulo de líquido dentro da embalagem devido ao baixo teor de umidade dentro das embalagens Xtend® (90%) em comparação às embalagens de polietileno (99%).

Pereira et al. (2004) avaliaram a manutenção da qualidade de goiabas minimamente processadas, desidratadas osmoticamente e embaladas sob atmosfera modificada passiva por 24 dias a 5°C. Os autores concluem que a utilização de embalagens PET foi eficaz na preservação da cor e ao evitar a perda de peso das frutas. Foram observadas boas condições microbiológicas durante o armazenamento sob atmosfera modificada das goiabas. Os autores afirmam que a combinação de atmosfera modificada, temperatura de armazenamento e o processo de desidratação osmótica foi capaz de manter a qualidade das goiabas durante os 24 dias de armazenamento.

Tendo em vista o que foi apresentado, os capítulos subseqüentes apresentam a determinação de uma condição de desidratação osmótica com aditivos para os pedaços de mamão *Formosa*, assim como, a seleção de uma condição de embalagem sob atmosfera modificada que prolongue a vida de prateleira da fruta, mantendo seus atributos de qualidade e resultando em um produto próximo à fruta fresca e de boa aceitação pelo consumidor.

## Referências Bibliográficas

1. AGAR, I.T.; MASSANTINI, R.; HESS-PIERCE, B.; KADER, A.A. Postharvest CO<sub>2</sub> and ethylene production and quality maintenance of fresh-cut kiwifruit slices. **Journal of Food Science**, 64, 433-440, 1999.
2. AHVENAINEN, R. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetable. **Trends in Food Science & Technology**, 7, 179 – 187, 1996.
3. ALKORTA, I.; GARBISU, C.; LLAMA, M.J.; SERRA, J.R. Industrial Application of Industrial Enzymes: A Review. **Process Biochemistry**, 33, 21-28, 1998.
4. ARTÉS, F.; CONESA, M.A.; HERNÁNDEZ, S.; GIL, M.I. Keeping quality of fresh cut tomato. **Postharvest Biology and Technology**, 17, 153 – 162, 1999.

5. AXELOS, M.A.V.; THIBAUT, J.F. The chemistry of low-methoxyl pectin gelation. In: WALTER, R.H. *The Chemistry and Technology of Pectin*. Geneva, New York, Academic Press Inc., Harcourt Brace Jovanovich Publishers, 1991, cap. 6.
6. BAI, J.; SAFTNER, R.A. e WATADA, A.E. Characteristics of Fresh-Cut Honeydew (*Cucumis x melo* L.) Available to Processors in Winter and Summer and Its Quality Maintenance by Modified Atmosphere Packaging. **Postharvest Biology and Technology**, v.28, p.349-359, 2003.
7. BANKS, N.H. e NICHOLSON, S.E. Internal Atmosphere Composition and Skin Permeance to Gases of Pepper Fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v.18, p.33-41, 2000.
8. BARTOLOME, L.G.; HOFF., J.E. Firming of Potatoes: Biochemical Effect of Preheating. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 20, 2, 266-270, 1972.
9. BEAUDRY, R.M. Effect of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> partial pressure on selected phenomena affecting fruit and vegetable quality. **Postharvest Biology and Technology**, 15, 293 – 303, 1999.
10. BRECHT, J.K. Physiology of Lightly Processed Fruits and Vegetables. **HortScience**, 30, 18 – 22, 1995.
11. BRETT, C.T.; WALDRON, K.W. Physiology and Biochemistry of Plant Cell Walls, 2<sup>nd</sup> ed., boundary Row, London, UK, Chapman & Hall, 1996.
12. BRUL, S.; COOTE, P. Preservative agents in foods. Mode of action and microbial resistance mechanisms. **International Journal of Food Microbiology**, 50, 1 – 17, 1999.
13. CAMERON, A.C.; TALASILA, P.C. e JOLES, D.W. Predicting Film Permeability Needs for Modified Atmosphere Packaging of Lightly Processed Fruits and Vegetables. **HortScience**, v.30, n.1, p.25-34, 1995.
14. CORZO, O. e GOMEZ, E.R. Optimization of Osmotic Dehydration of Cantaloupe using Desired Function Methodology. **Journal of Food Engineering**, v. 64, p. 213-219, 2004.
15. EL HALOUAT, A.; GOURAMA, H.; UYTENDAELE, M.; DEBEVERE, J.M. Effects of modified atmosphere packaging and preservatives on the shelf-life of high moisture prunes and raisins. **International Journal of Food Microbiology**, 41, 177-184, 1998.

16. EXAMA, A.; ARUL, J.; LENCKI, R.W.; LEE, L.Z. e TOUPIN, C. Suitability of Plastic Films for Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables. **Journal of Food Science**, v.58, n.6, p.1365-1370, 1993.
17. FAYYAZ, A.; ASBI, B.A.; GHAZALI, H.M.; CHE-MAN, Y.B.; JINAP, S. Kinetics of Papaya Pectinesterase. **Food Chemistry**, 53, 2, 129-135, 1995.
18. FONSECA, S.C.; OLIVEIRA, J.M. e BRECHT, J.K. Modelling Respiration Rate of Fresh Fruit and Vegetables for Modified Atmosphere Packages: A Review. **Journal of Food Engineering**, v.52, p.99-119, 2002.
19. FRUTI SÉRIES. Ministério da integração Nacional, Secretaria da Infra-Estrutura Hídrica, Departamento de Projetos Especiais. Mamão - Minas gerais, Volume 7, ISSN: 1518-4579. Brasília, 2000.
20. GILSENAN, P.M.; RICHARDSON, R.K.; MORRIS, E.R. Thermally reversible acid-induced gelation of low-methoxy pectin. **Carbohydrate Polymers**, 41, 339-349, 2000.
21. GIRALDO, G.; TALENS, P.; FITO, P. e 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.
22. GORNY, J.R.; HESS-PIERCE, B.; CIFUENTES, R.A. e KADER, A.A. Quality Changes in Fresh-Cut Pear Slices as Affected by Controlled Atmospheres and Chemical Preservatives. **Postharvest Biology and Technology**, v.24, p.271-278, 2002.
23. GU, Y.S.; HOWARD, R.; WAGNER, A.B. Firmness and cell wall characteristics of pasteurized jalapeño pepper rings as affected by calcium chloride and rotary processing. **Journal of Food Science**, 64, 494 – 497, 1999.
24. GUNES, G.; LEE, C.Y. Color of minimally processed as affected by modified atmosphere packaging and antibrowning agents. *Journal of Food Science*, 62, 572 – 575, 1997.
25. GUNES, G.; WATKINS, C.B. e HOTCHKISS, J.H. Physiological Responses of Fresh-Cut Apple Slices under High CO<sub>2</sub> and Low O<sub>2</sub> Partial Pressures. **Postharvest Biology and Technology**, v.22, p.197-204, 2001.

26. HENG, K.; GUILBERT, S. e CUQ, J.L. Osmotic Dehydration of Papaya: Influence of Process Variables on the Product Quality. **Sciences des Aliments**, v.10, p.831-848, 1990.
27. HERTOOG, M.L.A.T.M.; NICHOLSON, S.E. e WHITMORE, K. The Effect of Modified Atmospheres on the Rate of Quality Change in 'Hass' Avocado. **Postharvest Biology and Technology**, v.29, p.41-53, 2003.
28. HOWARD, L.R.; HERNANDEZ-BRENES, C. Antioxidant content and market quality of jalapeño pepper rings as affected by minimal processing and modified atmosphere packaging. **Journal of Food Quality**, 21, 317 – 327, 1998.
29. IBGE, 2004. <http://www.ibge.gov.br> (visitado em 10/02/2004).
30. KADER, A. A. Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. <http://postharvest.ucdavis.edu>. 2004.
31. KADER, A.A.; SINGH, R.P. e MANNAPPERUMA, J.D. Technologies to Extend the Refrigerated Shelf Life of Fresh Fruits. Proceedings of the 7th International Controlled Atmosphere Research Conference. Davis, CA. 13 to 18 july, 1998.
32. KADER, A.A.; ZAGORY, D. e KERBEL, E.L. Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.28, n.1, p.1-30, 1989.
33. KAREL, M. osmotic drying. In; principles of Food Science, New York; Ed. Fennema, 1975. part II, 348 – 350.
34. KROKIDA, M.K.; KARATHANOS, V.T.; MAROULIS, Z.B. Effect of osmotic dehydration on color and sorption characteristics of apple and banana. **Drying Technology**, 18, 937, 950, 2000.
35. LABUZA, T.P. The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration. **Food Technology**, 36 – 41, 1980.
36. LEE, D.S.; HAGGAR, P.E.; LEE, J.; YAM, K.L. Model for freshproduce respiration in modified atmospheres based on the principles of Enzyme Kinetics. **Journal of Food Science**, 56, 1580-1585, 1991.
37. LEE, F.A. Basic Food Chemistry, 2<sup>nd</sup> ed., Westport, Connecticut, The Avi Publishing Company, 1983.

38. LEE, L.; ARUL, J.; LENCKI, R. e CASTAIGNE, F. A Review on Modified Atmosphere Packaging and Preservation of Fresh Fruits and Vegetables: Physiological Basis and Practical Aspects – Part II. **Packaging Technology and Science**, v.9, p.1-17, 1996.
39. LEISTNER, L. Basic aspects of food preservation by hurdle technology, **International Journal of Food Microbiology**, 55, 181 – 186, 2000.
40. LEISTNER, L.; GORRIS, L.G.M. Food preservation by hurdle technology. **Trends in Food Science & Technology**, 6, 41 – 46, 1995.
41. LENART, A. Osmo-convective drying of fruits and vegetables; technology and application. **Drying Technology**, 14, 391 – 413, 1996.
42. LUNA-GUZMÁN, I.; BARRETT, D.M. Comparison of Calcium chloride and Calcium Lactate Effectiveness in Maintaining Shelf Stability and Quality of Fresh-Cut Cantaloupes. **Postharvest Biology and Technology**, 19, 61-72, 2000.
43. LUNA-GUZMÁN, I.; CANTWELL, M.; BARRETT, D.M. Fresh-cut cantaloupe; effects of CaCl<sub>2</sub> dips and heat treatments on firmness and metabolic activity. **Postharvest Biology and Technology**, 17, 201 – 213, 1999.
44. MASTÁNGELO, 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**, 80, 769 – 776, 2000.
45. MIGNANI, I.; GREVE, L. C.; BEN-ARIE, R.; STOTZ, H. U.; LI, C.; SHACKEL, K. A.; LABAVITCH, J. M. The effects of GA<sub>3</sub> and divalent cations on aspects of pectin metabolism and tissue softening in ripening tomato pericarp. **Physiologia Plantarum**, 93, 108–115, 1995.
46. MOHAMED, S.; TAUFIK, B.; KARIM, M.N.A. Effects of modified atmosphere packaging on the physicochemical characteristics of ciku (*Achras sapota* L) at various storage temperatures. **Journal of Science of Food Agriculture**, v.70, 1996.
47. MONSALVE-GONZÁLEZ, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; CAVALIERI, R.P. Mass transfer and textural changes during processing of apples by combined methods. **Journal of Food Science**, 58, 1118 – 1124, 1993.
48. MORTON, J. 1987 <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton> (visitado em 18/02/2004).

49. MOY, J.H.; LAU, N.B.H.; DOLLAR, A.M. Effects of sucrose and acids on osmotic dehydration of tropical fruits. **Journal of Food Processing and Preservation**, 2, 131 – 135, 1978.
50. O'CONNOR-SHAW, R.E.; ROBERTS, R.; FORD, A.L. e NOTTINGHAM, S.M. Shelf Life of Minimally Processed Honeydew, Kiwifruit, Papaya, Pineapple and Cantaloupe. **Journal of Food Science**, v.59, n.6, p.1202-1206, 1994.
51. OAKENFULL, D.; SCOTT, A. Hydrophobic interaction in the gelation of high methoxyl pectins. **Journal of Food Science**, 49, 1093-1098, 1984.
52. OAKENFULL, D.G. The chemistry of High-methoxyl pectins. In: WALTER, R.H. The Chemistry and Technology of Pectin. Geneva, New York, Academic Press Inc., Harcourt Brace Jovanovich Publishers, 1991, cap. 5.
53. OLIVEIRA, F.A.R.; FNSECA, S.C.; OLIVEIRA, J.C.; BRECHT, J.K.; CHAU, K.V. Development of perforation-mediated modified atmosphere packaging to preserve fresh fruit and vegetable quality after harvest. **Food Science and Technology International**, 4, 339 – 352, 1998.
54. PALOU, E.; LÓPEZ-MALO, A.; ARGÁIZ, A. e WELTI, J. Osmotic Dehydration of Papaya. Effect of Syrup Concentration. **Revista Espanhola de Ciencia y Tecnologia de Alimentos**, v.33, p.621-630, 1993.
55. PARK, K.J.; BIN, A.; BROD, F.P.R. e PARK, T.H.K.B. Osmotic Dehydration Kinetics of Pear D'anjou (*Pyrus communis* L.). **Journal of Food Engineering**, v.52, p.293-298, 2002.
56. PAULL, R.E.; CHEN, W. Minimal Processing of Papaya (*Carica papaya* L.) and the Physiology of the Halved Fruit. **Postharvest Biology and Technology**, 12, 93-99, 1997.
57. PAULL, R.E.; NISHIJIMA, W.; REYES, M.; CAVALETTO, C. Postharvest handling and losses marketing of papaya (*Carica papaya* L.). **Postharvest Biology and Technology**, 11, 165 – 179, 1997.
58. 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**, 69, 3, 2004.

59. PESIS, E.; AHARONI, D.; AHARON, Z.; BEN-AIRE, R.; AARÓN, N. e FUCHS, Y. Modified Atmosphere and Modified Humidity Packaging Alleviates Chilling Injury Symptoms in Mango Fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v.19, p.93-101, 2000.
60. PETERSEN, K.; NIELSEN, P.V.; BERTELSEN, G.; LAWThER, M.; OLSEN, M.B.; NISSON, N.H. e MORTENSEN, G. Potential of Biobased Materials for Food Packaging. **Trends in Food Science & Technology**, v.10, p.52-68, 1999.
61. PICCHIONI, G.A.; WATADA, A.E.; CONWAY, W.S.; WHITAKER, B.D.; SAMS, C.E.. Phospholipid, Galactolipid and Steryl Lipid Composition of Apple Fruit Cortical Tissue Following Postharvest CaCl<sub>2</sub> Infiltration. **Phytochemistry**, 39(4), 763-769, 1995.
62. RASTOGI, N.K.; RAGHAVARAO, K.S.M.S.; NIRAJAN, K.; KNORR, D. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. **Trends in Food Science and Technology**, 13, 48 – 59, 2002.
63. SABLANI, S.S.; RAHMAN, M.S. e AL-SADEIRI, D.S. Equilibrium Distribution Data for Osmotic Drying of Apple Cubes in Sugar-Water Solutions. **Journal of Food Engineering**, v.52, p.193-199, 2002.
64. SACCHETTI, G.; GIANOTTI, A. e DALLA ROSA, M. Sucrose – Salt Combined Effects on Mass Transfer Kinetics and Product Acceptability. Study on Apple Osmotic Treatments. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.163-173, 2001.
65. SALVEIT, M.E. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, 15, 279 – 292, 1999.
66. SERENO, A.M.; MOREIRA, R.; MARTINEZ, E. Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt. **Journal of Food Engineering**, 47, 43 – 49, 2001.
67. SILVA, F.M.; CHAU, K.V.; BRECHT, J.K.; SARGENT, S.A. Modified atmosphere packaging for mixed loads of horticultural commodities exposed to two postharvest temperatures. **Postharvest Biology and Technology**, 17, 1 – 9, 1999.
68. SUUTARINEN, J.; HEISKA, K.; MOSS, P.; AUTIO, K. The effects of calcium chloride and sucrose prefreezing treatments on the structure of strawberry tissues. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, 33, 89 – 102, 2000.

69. TEIXEIRA, G.H.A.; DURIGAN, J.F.; MATTIUZ, B.H.; JUNIOR, O.D.R. Processamento mínimo de mamão 'Formosa'. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 21, 47 – 50, 2001.
70. THAKUR, B.R.; SINGH, R.K.; HANDA, A.K. Chemistry and uses of pectin – A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 37, 47-73, 1997.
71. TORREGGIANI, D.; BERTOLO, G. Osmotic Pre-Treatments in Fruit Processing: Chemical, Physical and Structural Effects. **Journal of Food Engineering**, 49, 247-253, 2001.
72. VALLE, J.M.; PALMA, M.T. Conservación II – Atmósferas controladas y modificadas. In; AGUILERA, J.M. Temas en Tecnología de Alimentos, México; Ed. Instituto Politécnico Nacional, 1997. v.I, cap. 3, 89 – 130.
73. VAN BUREN, J.P. Function of pectin in plant tissue structure and firmness. In: WALTER, R.H. The Chemistry and Technology of Pectin. Geneva, New York, Academic Press Inc., Harcourt Brace Jovanovich Publishers, 1991, cap. 1.
74. VAN BUREN, J.P. The Chemistry of Texture in Fruits and Vegetables. **Journal of Texture Studies**, 10(1), 1-23, 1979.
75. VAROQUAUX, P.; ALBAGNAC, G.; NGUYEN, C.; VAROQUAUX, F. Modified atmosphere packaging of fresh beansprouts. **Journal of Science of Food and Agriculture**, 70, 224 – 230, 1996.
76. VERMEIREN, L.; DEVLIEGHIERE, F.; VAN BEEST, M.; KRUIJF, N.; DEBEVERE, J. Developments in the active packaging of foods. **Trends in Food Science & Technology**, 10, 77-86, 1999.
77. WILBERG, V.C.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. HPLC quantitation of major carotenoids of fresh and processed guava, mango and papaya. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, 28, 474 – 480, 1995.
78. ZAGORY, D. Controlled and modified Atmospheres. I. General Aspects of Film Technology and Selection. Proceedings of the 7th International Controlled Atmosphere Research Conference. Davis, CA. 13-18 July, 1998.

## CAPÍTULO III

### ESTUDO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE PEDAÇOS DE MAMÃO *FORMOSA* EM SOLUÇÕES COM ADITIVOS

#### Resumo

Pedaços de mamão da variedade *Formosa* foram desidratados osmoticamente em soluções de sacarose contendo ácido láctico e lactato de cálcio como aditivos. Ensaios de desidratação osmótica foram conduzidos a temperaturas entre 24 e 63°C, utilizando soluções de desidratação de sacarose a 50°Brix contendo diferentes concentrações de ácido láctico (entre 0 e 0,10M) e lactato de cálcio (entre 0 e 0,10M), obedecendo a quatro planejamentos experimentais fatoriais  $2^3$  (com tempo de imersão variando entre 0,5, 1, 2 e 3 horas). Foram avaliados os efeitos das diferentes temperaturas de processo, tempos de desidratação osmótica, concentrações de ácido láctico e lactato de cálcio sobre a perda de peso, teores de umidade e açúcares, sólidos solúveis, pH, acidez total, atividade de água, cor e parâmetros reológicos das amostras desidratadas osmoticamente. A temperatura de processo foi o fator de maior influência na perda de peso, umidade e ingresso de açúcares dos pedaços da fruta desidratados osmoticamente. A atividade de água diminuiu com o aumento da temperatura e da concentração de ácido láctico, mas não com o aumento da concentração de lactato de cálcio. A tensão máxima na ruptura foi influenciada pela temperatura de processo, presença de açúcares, ácido e sal de cálcio no tecido levando à gelificação de substâncias pécticas. A avaliação do comportamento reológico do mamão osmoticamente desidratados com aditivos, permitiu a escolha da condição de desidratação temperatura de processo de 24°C, concentração de ácido láctico de 0,02M, concentração de lactato de cálcio de 0,05M para uma hora de processo, obtendo-se uma textura próxima à da fruta fresca. Foi escolhida outra condição de processo visando obter pedaços de mamão com baixos valores de atividade de água (com maior estabilidade microbiológica) para futuros ensaios de embalagem sob

atmosfera modificada: concentração de ácido de 0,10M, concentração de sal de 0,05M, temperatura de 47°C por duas horas de tratamento osmótico.

### 3.1. Introdução

O mamão é uma fruta muito apreciada por seu valor nutricional, sendo fonte de vitaminas A e C, assim como cálcio, ferro e fósforo e a enzima proteolítica papaína, auxiliar nos processos digestivos (Morton, 1987). A dificuldade em manter a qualidade da fruta durante seu transporte acarreta perdas significativas da sua produção. Desta forma, o processamento do mamão, previamente à sua comercialização, permitiria maior aproveitamento do fruto colhido, agregando valor à cultura (Teixeira *et al.*, 2001).

Uma alternativa branda de processamento é a desidratação osmótica, método de preservação de alimentos de alto teor de umidade (como frutas e hortaliças), que consiste na imersão do vegetal em uma solução hipertônica, proporcionando o ajuste da composição físico-química do alimento pela retirada parcial de água do tecido e adição de solutos depressores da atividade de água. Devido à natureza semipermeável da membrana celular, o gradiente de concentração dentro e fora da célula gera uma força motriz acarretando um fluxo de água do tecido para a solução infusora, e também uma transferência de solutos da solução para o tecido. Um pequeno fluxo de solutos naturais do alimento é arrastado para a solução. O fluxo de água do alimento para a solução osmótica proporciona a desidratação, enquanto que o fluxo de solutos da solução para o tecido proporciona a formulação direta do alimento, permitindo a incorporação de agentes antioxidantes e outros tipos de preservantes de interesse, que contribuam na manutenção da qualidade do produto final.

A adição de ácidos fracos, como o láctico, à solução desidratante pode auxiliar na inibição da proliferação de bactérias e fungos. Quando em solução, ácidos fracos atingem um equilíbrio entre o estado dissociado e não dissociado, dependente do pH do meio, sendo que a molécula no estado não dissociado permeia livremente através da membrana plasmática podendo ingressar nas células. Uma vez dentro da célula, a molécula (encontrando um pH mais elevado) se dissocia, resultando na liberação de íons incapazes de passar pelo plasmalema. Assim, a molécula do agente preservante difunde para dentro das células até que o equilíbrio celular seja atingido de acordo com o

gradiente de pH através da membrana plasmática, resultando em acúmulo de íons dentro da célula. Desta forma, a inibição da proliferação de microrganismos se dá por (i) ruptura da membrana, (ii) inibição de reações metabólicas essenciais, (iii) estresse na homeostase intracelular do pH e (iv) pelo acúmulo de ânions tóxicos (Brul e Coote, 1999). É proposto por alguns autores que há uma indução de uma resposta energeticamente onerosa ao microrganismo em resposta ao estresse sofrido pela entrada de ácidos, na tentativa de restabelecer a homeostase, resultando em uma drástica diminuição da energia disponível para a reprodução e outras funções metabólicas importantes (Alzamora *et al.*, 1993; Brul e Coote, 1999; Tapia de Daza *et al.*, 1996).

Além de prevenir a proliferação da flora microbiana nativa do alimento, há a necessidade de se preservar a qualidade do tecido processado. A textura é um dos atributos de qualidade mais importantes para o consumidor de frutas e consiste em um parâmetro susceptível a alterações, até mesmo durante operações brandas como o branqueamento. Uma forma de preservar a textura de frutas osmoticamente desidratadas é a utilização de sais de cálcio como aditivos. Esta utilização em soluções osmóticas vem sendo reportada por vários autores (Luna-Guzmán e Barrett, 2000; Luna-Guzmán *et al.*, 1999; Mastrángelo *et al.*, 2000; Suutarinen *et al.*, 2000). Íons  $\text{Ca}^{2+}$  podem reagir com componentes pécticos da parede celular e da lamela média (Lee, 1983; Van Buren, 1979), estabilizando a membrana celular por impedir a quebra das cadeias galactolipídicas (Picchioni *et al.*, 1995) e por conservar a pressão de turgor das células (Mastrángelo *et al.*, 2000; Mignani *et al.*, 1995).

Um sal largamente empregado na indústria de alimentos para esta finalidade é o cloreto de cálcio. No entanto, pesquisas recentes mostram que a aplicação deste sal pode provocar o desenvolvimento de sabor amargo nas frutas desidratadas (Luna-Guzmán e Barrett, 2000), podendo levar à rejeição do produto final pelo consumidor. Uma alternativa ao uso de cloreto de cálcio é o emprego de lactato de cálcio à solução infusora durante o processo de desidratação osmótica, para a conservação da textura do alimento, minimizando o sabor residual desagradável.

A ação enzimática (pectina esterase, por exemplo) também pode ser responsável pelo aumento da firmeza de tecidos tratados, por provocar desmetoxilação de substâncias pécticas, gerando grupos carboxílicos livres para reagirem com o cálcio adicionado, reticulando cadeias poliuronidas e por conseqüência, aumentando a resistência mecânica do tecido (Bartolome e Hoff, 1972; Fayyaz *et al.*, 1995; Lee, 1983). Outras enzimas

presentes no mamão como a poligalacturonase e a pectinametilesterase são responsáveis pela despolimerização das cadeias poliuronidas. No entanto, a atividade da poligalacturonase pode ser estimulada pelo aumento da produção de etileno, que por sua vez é freada durante o processo de desidratação osmótica. A pectinametilesterase, por sua vez, não apresenta atividade significativamente diferente para o mamão fresco e minimamente processado, sendo que as alterações de textura não podem ser atribuídas à atividade desta enzima (Karakurt e Huber, 2003).

Desta forma, o objetivo deste capítulo foi o estudo do processo de desidratação osmótica com aditivos de pedaços de mamão da variedade Formosa, por meio de planejamentos experimentais, com a finalidade de se obter um produto com características semelhantes às da fruta fresca, visando sua posterior embalagem sob atmosfera modificada e estudo de vida de prateleira.

## **3.2. Material e Métodos**

### **3.2.1. Material**

#### **Mamão**

Utilizaram-se mamões maduros (*Carica papaya L.*) da variedade *Formosa*, cultivados no estado da Bahia e doados pelo distribuidor Três Amigos SSA Ltda. do CEASA de Campinas, São Paulo. Os frutos foram selecionados observando-se o grau de maturação (12 a 15°Brix e 70 a 80% da cor amarela na casca), formato e tamanho (aproximadamente 30 cm de comprimento, 11 cm de diâmetro, 3 cm de espessura do pericarpo) e massa (variando entre 1,9 e 2,1 kg), com a intenção de minimizar as variações da matéria-prima (Figura 3.1).



**Figura 3.1** – Mamão fresco utilizado da variedade *Formosa*.

### **Aditivos**

Como agente desidratante foram utilizadas soluções de sacarose comercial marca União (doada pela Companhia União dos Refinadores) a 50°Brix (concentração escolhida em um planejamento experimental fatorial realizado por Rodrigues, 1999), adicionadas de ácido láctico e lactato de cálcio (ambos em grau analítico) marca Sigma.

### **3.2.2. Métodos**

#### **Preparo da Amostra**

Os mamões foram descascados manualmente, as sementes retiradas e a porção central da fruta foi cortada manualmente em paralelepípedos de dimensões 40 x 30 x 15 mm em quantidade suficiente para a realização de cada ensaio de desidratação osmótica em triplicata.

#### **Preparo das Soluções**

As soluções desidratantes foram preparadas adicionando o lactato de cálcio (a concentrações variando entre 0 e 0,10M), o ácido láctico (a concentrações entre 0 e 0,10M) e a sacarose (em quantidade suficiente para atingir uma solução 50°Brix) à água destilada à temperatura ambiente. Após agitação, as soluções eram deixadas em repouso até sua estabilização por cerca de 12 horas (soluções completamente límpidas, homogêneas e livres de partículas em suspensão).

As concentrações máximas de sal e ácido foram escolhidas de acordo com as quantidades estabelecidas por Luna-Guzmán e Barrett, (2000) e obedecendo aos limites estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (*quantum satis*: quantidade suficiente para obter o efeito tecnológico necessário), Resolução 23, de 15 de março de 2000 ([www.anvisa.gov.br](http://www.anvisa.gov.br)), que indica este umectante autorizado segundo as boas práticas de fabricação.

### **Desidratação Osmótica**

As soluções estabilizadas (temperatura ambiente) foram colocadas em frascos de vidro identificados e levadas a um banho termostático por 30 minutos para que alcançassem a temperatura desejada de processo variando entre 24 e 63°C; limites calculados para os pontos axiais em função do planejamento experimental para uma faixa de variação entre 30 e 50°C (Rodrigues, 1999).

Pedaços de mamão previamente pesados foram imersos aos pares nos frascos contendo a solução osmótica na temperatura de processo, respeitando a proporção fruta:solução de 1:10 com a intenção de garantir a concentração da solução constante durante todo o processo osmótico.

Conjuntos fruta/solução foram levados a um banho termostático agitado marca TECNAL, modelo TE-420 (Brasil), a 110 rpm por 0,5, 1, 2 e 3 horas. Após o processo osmótico, os pedaços foram drenados, enxaguados em água destilada e colocados sobre papel absorvente para a remoção do excesso de solução.

## **Análises Químicas e Físicas**

### **Perda de Peso**

Os pedaços da fruta foram pesados antes e depois da desidratação osmótica, determinando-se a perda de peso da fruta em relação à massa inicial do produto, segundo a equação 3.1:

$$PP(\%) = 100 \left( 1 - \frac{m_f}{m_i} \right) \quad (3.1)$$

onde

$PP(\%)$  é a perda de peso percentual do produto desidratado;

$m_i$  é a massa inicial do produto (g);

$m_f$  é a massa final do produto (g).

### **Umidade**

Foi determinado o teor de umidade das amostras por método gravimétrico conforme Rangana (1977) utilizando estufa de convecção forçada a 60°C por 48 horas e estufa a vácuo a 60°C por 24 horas.

### **Açúcares**

O teor de açúcares redutores foi determinado por método titulométrico segundo a metodologia proposta por Lane & Eynon (Rangana, 1977).

### **Sólidos Solúveis**

Determinado por leitura direta em refratômetro marca Zeiss (West Germany).

### **Potencial Hidrogeniônico (pH)**

Determinado por medida direta em pHmetro Sentron, modelo 2001.

### **Acidez Total Titulável**

Determinada por método titulométrico segundo AOAC (1990).

### **Atividade de Água**

Determinada por leitura direta em higrômetro da marca Aqualab, modelo CX-2 (Decagon Devices Inc., Pullman, WA) à temperatura de 25°C.

### **Cor**

Foi avaliada por meio de espectrofotômetro de bancada Color Quest II (Hunterlab), através da leitura direta dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  do sistema de leitura CIELAB proposto pela Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) em 1971, utilizando-se o módulo de calibração de Reflectância Especular Excluída (RSEX) com o iluminante D65 e ângulo de observação de 10°.

Os parâmetros de cor  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  podem ser definidos como as coordenadas de um sistema cromático retangular associado a um sistema de coordenadas cilíndricas ( $L^*$ ,  $H^*$  e  $C^*$ ), onde  $L^*$  representa a luminosidade ( $L^*=0$  : preto e  $L^*=100$  : branco),  $a^*$  representa o contraste vermelho-verde e  $b^*$  representa o contraste azul-amarelo (Handprint, 2004) (Anexo A). A partir dos valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  medidos foram calculados os valores de croma ( $C^*$ ) e tom ( $H^*$ ) de acordo com as equações 3.2 e 3.3.

$$C^* = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})} \quad (3.2)$$

$$H^* = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (3.3)$$

### **Parâmetros Reológicos**

Medidas reológicas a altas (tensão na ruptura) e baixas deformações (tempo de relaxação e tensão residual) foram realizadas sob compressão uniaxial utilizando-se um Texturômetro Universal (TA-XT2i Texture Analyser, Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, UK), operando em interface com um micro computador. As medidas foram feitas

com geometria acrílica cilíndrica de 60mm de diâmetro lubrificada. As condições experimentais para cada teste estão descritas a seguir.

### **Tensão Máxima na Ruptura**

Testes de compressão uniaxial foram realizados a uma velocidade constante de 1 mm/s até atingir 80% (para garantir a ruptura da estrutura) da altura inicial da amostra. Os valores de força e altura obtidos no teste foram convertidos em tensão ( $\sigma_H$ ) e deformação ( $\epsilon_H$ ) de Hencky, considerando um volume constante da amostra durante a compressão (Chiralt *et al.*, 2001).

A tensão na ruptura foi determinada a partir do pico da curva tensão-deformação para os pedaços de mamão frescos e desidratados. Como a textura em frutas não é uniforme, os valores de tensão na ruptura foram normalizados como a razão entre a amostra desidratada e sua contraparte fresca, como descrito por Monsalve-González *et al.* (1993).

### **Tempo de Relaxação e Tensão Residual**

As medidas foram feitas com velocidade inicial de 7mm/s (para garantir a aplicação instantânea da força) e as amostras foram mantidas a 5% (mantendo a integridade estrutural) de deformação por 600s (tempo suficiente para o relaxamento da estrutura). Como as amostras se encontram fora da faixa de viscoelasticidade linear (região em que a estrutura é capaz de se recuperar integralmente de uma força aplicada), as curvas de relaxação de tensões resultantes foram linearizadas conforme a equação 3.4 (Peleg, 1979).

$$\frac{\sigma_0 \cdot t}{\sigma_0 - \sigma_t} = k_1 + k_2 \cdot t \quad (3.4)$$

onde  $t$  é tempo do teste (s);

$\sigma_0$  é a tensão inicial (Pa);

$\sigma_t$  é a tensão no tempo  $t$  (Pa);

$k_1$  é o elemento viscoso (s);

$k_2$  é o elemento elástico (-).

As constantes  $k_1$  (elemento viscoso) e  $k_2$  (elemento elástico) permitiram a determinação do tempo de relaxação no momento em que  $\sigma_{0,75}=0,75\sigma_0$  e a tensão assintótica residual relativa ( $S_r$ ) por meio das equações 3.5 e 3.6, respectivamente (Lewicki & Lukaszuk, 2000).

$$\sigma_{0,75} = \frac{k_1}{4 - k_2} \quad (3.5)$$

$$S_r = 1 - \frac{1}{k_2} \quad (3.6)$$

onde

$\sigma_{0,75}$  ou  $\sigma_{rel}$  é a tensão do produto igual a 75% da sua tensão inicial (s);

$S_r$  é a tensão assintótica residual relativa (-).

### Tratamento Estatístico

Os ensaios de desidratação osmótica foram realizados seguindo quatro planejamentos experimentais fatoriais completos de três fatores e dois níveis ( $2^3$ ) com três repetições no ponto central. Cada planejamento foi feito em um tempo de processamento: 0,5, 1, 2 e 3 horas, variando a temperatura de processo, a concentração de ácido láctico e a concentração de lactato de cálcio obedecendo aos níveis da Tabela 3.1.

**Tabela 3.1** – Níveis dos planejamentos realizados.

Níveis	Temperatura de Processo (°C)	Concentração de Ácido Láctico (M)	Concentração de Lactato de Cálcio (M)
Saturado $2^3$	30 (-1) e 50 (+1)	0,02 (-1) e 0,08 (+1)	0,02 (-1) e 0,08 (+1)
Axiais	24 ( $-\alpha$ ) e 63 ( $+\alpha$ )	0 ( $-\alpha$ ) e 0,10 ( $+\alpha$ )	0 ( $-\alpha$ ) e 0,10 ( $+\alpha$ )
Centrais	40 (0)	0,05 (0)	0,05 (0)

Os planejamentos tiveram como objetivo avaliar os efeitos estatisticamente significativos da temperatura de processo e das concentrações de sal e ácido sobre a perda de peso, os conteúdos de umidade e açúcares redutores, teor de sólidos solúveis, pH, acidez total titulável, atividade de água, cor e parâmetros reológicos.

Determinados os efeitos das variáveis independentes sobre as respostas analisadas, foram escolhidas duas condições de desidratação: uma condição mais branda que proporcionasse uma textura próxima à da fruta fresca alterando minimamente a fisiologia da fruta durante a fase de armazenamento, e uma condição mais agressiva que diminuísse mais a atividade de água atenuando a proliferação microbiana na fase de armazenamento.

### **3.3. Resultados e Discussão**

A análise estatística do planejamento experimental empregado foi realizada a partir dos resultados apresentados nas Tabelas 3.2 a 3.9 contendo os valores médios (de triplicatas) das análises químicas e físicas. As Tabelas 3.2 a 3.5 mostram os resultados das propriedades relacionadas à transferência de massa para os diferentes tempos de desidratação osmótica e as Tabelas 3.6 a 3.9 mostram os resultados determinados para os parâmetros relacionados à qualidade dos pedaços de mamão ao longo de três horas de processo.

**Tabela 3.2** – Propriedades de transferência para meia hora de desidratação osmótica e variações codificadas do planejamento experimental (temperatura de processo, concentração de ácido láctico e de lactato de cálcio).

ENSAIO	TEMP.	ÁCIDO	SAL	PERDA DE PESO (%)	UMIDADE (%)	AÇÚCARES (%)	SÓLIDOS SOLÚVEIS (°BRIX)	pH	ACIDEZ (g ac.citr./100g)	A <sub>w</sub>
1	-1	-1	-1	8,29	82,49	11,80	14,83	5,47	0,05	0,980
2	1	-1	-1	12,47	80,40	13,89	15,00	4,59	0,08	0,977
3	-1	1	-1	8,82	83,72	12,96	13,67	4,75	0,08	0,979
4	1	1	-1	14,24	78,98	13,97	13,00	4,28	0,10	0,976
5	-1	-1	1	8,11	83,09	12,79	12,83	4,97	0,07	0,982
6	1	-1	1	9,17	81,59	13,62	11,00	4,69	0,07	0,980
7	-1	1	1	6,76	81,47	13,84	12,67	5,33	0,10	0,980
8	1	1	1	8,63	80,20	13,55	10,83	4,59	0,11	0,977
9	-1,68	0	0	6,30	83,03	14,00	12,67	5,33	0,07	0,981
10	1,68	0	0	9,66	81,92	15,90	11,17	5,16	0,07	0,975
11	0	-1,68	0	7,61	82,89	13,63	13,00	5,47	0,08	0,983
12	0	1,68	0	9,27	80,91	13,99	13,33	4,61	0,10	0,982
13	0	0	-1,68	9,98	80,57	14,70	13,33	4,45	0,07	0,982
14	0	0	1,68	7,20	83,53	13,33	14,00	5,24	0,05	0,983
15 (C)	0	0	0	9,45	79,96	15,36	13,83	5,01	0,09	0,979
16 (C)	0	0	0	8,00	80,32	14,62	14,00	5,23	0,09	0,978
17 (C)	0	0	0	9,00	81,01	15,85	13,00	5,07	0,07	0,981

**Tabela 3.3** – Propriedades de transferência para uma hora de desidratação osmótica e variações codificadas do planejamento experimental (temperatura de processo, concentração de ácido láctico e de lactato de cálcio).

ENSAIO	TEMP.	ÁCIDO	SAL	PERDA DE PESO (%)	UMIDADE (%)	AÇÚCARES (%)	SÓLIDOS SOLÚVEIS (°BRIX)	pH	ACIDEZ (g ac.citr./100g)	A <sub>w</sub>
1	-1	-1	-1	9,79	81,91	13,55	14,50	5,19	0,07	0,979
2	1	-1	-1	15,64	77,72	15,82	14,33	4,40	0,09	0,975
3	-1	1	-1	10,33	81,63	14,91	14,00	4,75	0,09	0,977
4	1	1	-1	15,75	76,00	16,09	12,00	4,18	0,08	0,973
5	-1	-1	1	8,91	82,79	14,09	13,67	5,10	0,06	0,982
6	1	-1	1	11,73	80,47	15,42	13,33	4,72	0,06	0,975
7	-1	1	1	9,50	80,77	14,75	14,33	5,11	0,09	0,976
8	1	1	1	12,71	79,09	15,49	13,33	4,38	0,10	0,97
9	-1,68	0	0	8,90	80,89	14,17	13,83	5,10	0,08	0,976
10	1,68	0	0	16,18	77,45	17,00	13,83	5,05	0,10	0,969
11	0	-1,68	0	11,65	81,68	15,65	14,50	5,36	0,06	0,983
12	0	1,68	0	12,32	79,70	15,37	13,50	4,47	0,08	0,977
13	0	0	-1,68	12,52	79,64	15,19	14,33	4,36	0,07	0,978
14	0	0	1,68	11,08	82,26	14,76	15,33	5,22	0,06	0,982
15 (C)	0	0	0	11,94	79,77	16,44	13,00	4,96	0,08	0,977
16 (C)	0	0	0	10,38	79,28	16,78	13,50	5,16	0,08	0,975
17 (C)	0	0	0	12,28	79,40	17,30	13,17	5,04	0,09	0,976

**Tabela 3.4** – Propriedades de transferência para duas horas de desidratação osmótica e variações codificadas do planejamento experimental (temperatura de processo, concentração de ácido láctico e de lactato de cálcio).

ENSAIO	TEMP.	ÁCIDO	SAL	PERDA DE PESO (%)	UMIDADE (%)	AÇÚCARES (%)	SÓLIDOS SOLÚVEIS (°BRIX)	pH	ACIDEZ (g ac.citr./100g)	A <sub>w</sub>
1	-1	-1	-1	14,65	81,09	15,92	14,00	5,01	0,07	0,976
2	1	-1	-1	21,31	76,81	18,18	14,67	4,40	0,10	0,972
3	-1	1	-1	15,53	80,99	16,42	14,83	4,73	0,10	0,974
4	1	1	-1	29,45	72,49	17,65	15,00	3,99	0,13	0,970
5	-1	-1	1	12,93	81,20	15,25	14,50	5,06	0,08	0,980
6	1	-1	1	17,33	77,46	16,47	13,00	4,71	0,07	0,973
7	-1	1	1	14,00	77,93	16,75	13,33	5,02	0,11	0,974
8	1	1	1	23,91	74,95	18,41	15,83	4,25	0,12	0,967
9	-1,68	0	0	12,70	79,87	16,30	14,50	5,00	0,09	0,973
10	1,68	0	0	23,31	75,14	18,31	15,67	4,86	0,12	0,967
11	0	-1,68	0	15,79	79,56	15,66	15,00	5,60	0,04	0,981
12	0	1,68	0	18,36	77,47	16,73	14,50	4,47	0,10	0,974
13	0	0	-1,68	18,47	77,84	17,39	14,33	4,48	0,08	0,975
14	0	0	1,68	16,51	80,41	15,46	15,33	5,08	0,07	0,980
15 (C)	0	0	0	17,57	75,69	18,92	15,00	4,75	0,11	0,971
16 (C)	0	0	0	15,54	76,08	17,62	15,50	4,99	0,11	0,971
17 (C)	0	0	0	17,20	76,57	17,94	15,33	4,95	0,10	0,974

**Tabela 3.5** – Propriedades de transferência para três horas de desidratação osmótica e variações codificadas do planejamento experimental (temperatura de processo, concentração de ácido láctico e de lactato de cálcio).

ENSAIO	TEMP.	ÁCIDO	SAL	PERDA DE PESO (%)	UMIDADE (%)	AÇÚCARES (%)	SÓLIDOS SOLÚVEIS (°BRIX)	pH	ACIDEZ (g ac.citr./100g)	A <sub>w</sub>
1	-1	-1	-1	16,34	78,54	16,45	15,50	5,01	0,07	0,971
2	1	-1	-1	24,33	74,47	18,32	13,25	4,33	0,08	0,971
3	-1	1	-1	18,45	79,66	16,54	15,33	4,62	0,12	0,973
4	1	1	-1	34,65	70,97	19,98	15,50	3,91	0,15	0,967
5	-1	-1	1	16,28	80,76	16,97	16,67	4,98	0,09	0,976
6	1	-1	1	21,84	76,37	17,43	13,33	4,78	0,07	0,972
7	-1	1	1	16,82	75,49	17,34	15,17	4,92	0,12	0,969
8	1	1	1	26,66	74,19	19,93	15,67	4,22	0,14	0,968
9	-1,68	0	0	15,71	78,26	16,93	13,33	5,15	0,09	0,973
10	1,68	0	0	27,94	71,17	22,07	16,67	4,92	0,12	0,963
11	0	-1,68	0	17,90	78,30	17,65	16,17	5,51	0,04	0,978
12	0	1,68	0	21,77	75,18	17,61	14,33	4,07	0,10	0,974
13	0	0	-1,68	25,32	75,07	19,01	15,50	4,09	0,08	0,972
14	0	0	1,68	18,44	80,73	16,59	17,17	5,07	0,08	0,979
15 (C)	0	0	0	22,68	74,14	19,58	16,83	4,80	0,11	0,968
16 (C)	0	0	0	20,20	75,89	18,54	15,75	4,98	0,10	0,971
17 (C)	0	0	0	22,41	74,51	19,51	17,00	4,94	0,09	0,970

**Tabela 3.6** – Parâmetros de qualidade para meia hora de desidratação osmótica e variações codificadas do planejamento experimental (temperatura de processo, concentração de ácido láctico e de lactato de cálcio).

ENSAIO	TEMP.	ÁCIDO	SAL	CROMA	TOM	LUMINOSIDADE	$\sigma_{RUP}$ (Pa/Pa)	$\tau_{REL}$ (s)	$S_R$ (Pa)
1	-1	-1	-1	57,30	0,82	52,33	1,2355	19,96	0,356
2	1	-1	-1	56,28	0,83	51,13	1,5335	22,44	0,360
3	-1	1	-1	57,43	0,84	50,63	1,0982	19,58	0,341
4	1	1	-1	55,48	0,88	52,43	1,4874	22,42	0,347
5	-1	-1	1	56,56	0,83	52,85	0,9203	19,15	0,377
6	1	-1	1	55,06	0,85	55,68	1,1373	20,36	0,378
7	-1	1	1	46,60	0,93	49,64	0,6168	19,96	0,339
8	1	1	1	50,27	0,87	53,09	0,8801	20,46	0,347
9	-1,68	0	0	56,78	0,84	50,62	1,2497	17,00	0,374
10	1,68	0	0	55,16	0,88	52,62	1,3020	23,04	0,382
11	0	-1,68	0	46,90	0,85	56,05	1,5277	19,37	0,360
12	0	1,68	0	56,26	0,91	57,09	1,0873	19,29	0,357
13	0	0	-1,68	52,36	0,95	56,11	0,6735	17,70	0,354
14	0	0	1,68	50,58	0,86	57,18	1,6033	19,42	0,365
15 (C)	0	0	0	43,80	0,96	49,80	0,8154	19,46	0,339
16 (C)	0	0	0	42,64	0,97	45,62	0,8934	19,68	0,329
17 (C)	0	0	0	41,53	0,93	48,70	0,8700	21,80	0,320

**Tabela 3.7** – Parâmetros de qualidade para uma hora de desidratação osmótica e variações codificadas do planejamento experimental (temperatura de processo, concentração de ácido láctico e de lactato de cálcio).

ENSAIO	TEMP.	ÁCIDO	SAL	CROMA	TOM	LUMINOSIDADE	$\sigma_{RUP}$ (Pa/Pa)	$\tau_{REL}$ (s)	$S_R$ (Pa)
1	-1	-1	-1	56,66	0,85	49,37	0,9321	16,99	0,348
2	1	-1	-1	55,03	0,83	49,98	1,4901	23,76	0,383
3	-1	1	-1	56,93	0,87	52,02	1,0340	15,13	0,344
4	1	1	-1	55,86	0,87	49,97	1,2506	22,10	0,343
5	-1	-1	1	57,23	0,83	52,60	1,1220	17,44	0,356
6	1	-1	1	57,13	0,88	56,55	1,2580	26,63	0,393
7	-1	1	1	45,89	0,94	49,28	0,9782	20,05	0,349
8	1	1	1	49,98	0,91	54,38	0,7246	18,69	0,391
9	-1,68	0	0	53,80	0,87	53,57	0,7153	15,45	0,316
10	1,68	0	0	54,06	0,89	53,66	1,5585	25,56	0,385
11	0	-1,68	0	48,89	0,84	56,54	1,2950	14,29	0,334
12	0	1,68	0	54,65	0,96	53,84	0,8738	19,11	0,322
13	0	0	-1,68	54,69	0,94	53,54	0,5820	17,98	0,350
14	0	0	1,68	46,78	0,88	55,97	0,5622	21,81	0,321
15 (C)	0	0	0	42,26	0,87	46,06	0,7538	19,19	0,343
16 (C)	0	0	0	42,54	0,91	46,07	0,7589	19,08	0,322
17 (C)	0	0	0	44,35	0,95	48,47	0,6901	22,33	0,338

**Tabela 3.8** – Parâmetros de qualidade para duas horas de desidratação osmótica e variações codificadas do planejamento experimental (temperatura de processo, concentração de ácido láctico e de lactato de cálcio).

ENSAIO	TEMP.	ÁCIDO	SAL	CROMA	TOM	LUMINOSIDADE	$\sigma_{\text{RUP}}$ (Pa/Pa)	$\tau_{\text{REL}}$ (s)	$S_{\text{R}}$ (Pa)
1	-1	-1	-1	54,64	0,86	54,43	1,6179	19,32	0,366
2	1	-1	-1	53,43	0,90	49,25	1,9711	21,73	0,386
3	-1	1	-1	57,62	0,85	53,49	0,8314	18,48	0,337
4	1	1	-1	57,75	0,89	52,04	1,6309	21,13	0,358
5	-1	-1	1	58,70	0,88	51,07	1,5159	19,40	0,338
6	1	-1	1	56,95	0,94	56,23	2,0887	28,18	0,447
7	-1	1	1	47,18	0,88	51,86	0,6251	22,97	0,321
8	1	1	1	48,51	0,95	54,88	0,9523	23,05	0,415
9	-1,68	0	0	51,43	0,89	49,49	0,9529	20,50	0,358
10	1,68	0	0	53,46	0,95	56,07	1,0719	22,03	0,419
11	0	-1,68	0	47,10	0,85	58,16	1,0448	15,95	0,356
12	0	1,68	0	57,91	0,94	59,22	0,9433	19,93	0,357
13	0	0	-1,68	55,21	0,99	59,34	0,6119	14,42	0,295
14	0	0	1,68	44,50	0,85	58,24	0,9878	20,05	0,355
15 (C)	0	0	0	41,19	0,88	45,29	0,7017	22,00	0,328
16 (C)	0	0	0	42,48	0,92	50,47	0,7762	24,63	0,358
17 (C)	0	0	0	41,39	0,95	49,53	0,6730	24,01	0,344

**Tabela 3.9** – Parâmetros de qualidade para três horas de desidratação osmótica e variações codificadas do planejamento experimental (temperatura de processo, concentração de ácido láctico e de lactato de cálcio).

ENSAIO	TEMP.	ÁCIDO	SAL	CROMA	TOM	LUMINOSIDADE	$\sigma_{\text{RUP}}$ (Pa/Pa)	$\tau_{\text{REL}}$ (s)	$S_{\text{R}}$ (Pa)
1	-1	-1	-1	53,19	0,86	51,13	1,6424	21,58	0,343
2	1	-1	-1	53,06	0,90	50,00	1,9887	20,46	0,386
3	-1	1	-1	56,38	0,86	53,72	0,8677	12,59	0,298
4	1	1	-1	58,22	0,90	49,87	1,6515	22,24	0,369
5	-1	-1	1	57,87	0,87	53,47	1,5783	25,23	0,309
6	1	-1	1	57,93	0,95	56,38	2,8997	21,97	0,331
7	-1	1	1	47,14	0,91	49,15	0,6557	21,73	0,351
8	1	1	1	47,79	0,98	53,78	1,2919	27,01	0,413
9	-1,68	0	0	52,51	0,90	51,99	1,0697	17,16	0,318
10	1,68	0	0	51,30	0,98	56,42	1,2985	27,66	0,416
11	0	-1,68	0	43,34	0,91	58,25	1,6927	14,13	0,375
12	0	1,68	0	56,96	0,94	57,81	1,1058	16,72	0,272
13	0	0	-1,68	54,99	0,94	56,04	0,6137	15,97	0,287
14	0	0	1,68	39,31	0,89	52,52	1,0894	29,80	0,414
15 (C)	0	0	0	37,43	0,95	50,06	0,8154	24,88	0,394
16 (C)	0	0	0	38,23	0,95	50,70	0,8194	23,80	0,388
17 (C)	0	0	0	36,36	0,96	50,00	0,9275	24,72	0,384

A discussão da avaliação estatística dos resultados se dará nos itens subsequentes (3.3.1 a 3.3.8), sendo apresentados no corpo do trabalho a discussão dos resultados mais relevantes para a escolha e avaliação do processo; e os comentários referentes à avaliação das variáveis menos sensíveis ao processo (sólidos solúveis, pH e acidez total) estão apresentados no Apêndice A.

### 3.3.1. Perda de Peso

A perda de peso dos pedaços de mamão desidratados foi avaliada pela diferença de massa das amostras antes e depois do processo osmótico. A Tabela 3.10 mostra os valores dos efeitos da temperatura de processo e concentrações de sal e ácido sobre a perda de peso dos pedaços de mamão desidratados osmoticamente por 30 minutos, 1, 2 e 3 horas. Deve-se notar que, como os resultados foram avaliados em diferentes tempos de processo, é de se esperar que se obtenham erros maiores para as triplicatas tomadas a menores tempos de desidratação osmótica, quando o processo de transferência de massa é regido por gradientes maiores e as alterações ocorrem em menor tempo.

**Tabela 3.10** – Tabela de efeitos lineares de interação e quadráticos para a perda de peso (%) após a desidratação osmótica.

	0,5 h		1 h		2 h		3 h	
	efeito	p	efeito	p	efeito	p	efeito	p
Média	<b>8,76</b>	0,002	<b>11,56</b>	0,003	<b>16,70</b>	0,001	<b>21,71</b>	0,001
Temperatura (T)	<b>2,41</b>	0,027	<b>4,33</b>	0,016	<b>7,72</b>	0,006	<b>8,81</b>	0,007
T <sup>2</sup>	-0,20	0,701	0,56	0,453	1,35	0,171	0,39	0,680
Ácido (A)	0,22	0,645	0,49	0,464	<b>3,07</b>	0,034	<b>3,56</b>	0,040
A <sup>2</sup>	0,12	0,804	0,16	0,812	0,69	0,394	-1,02	0,336
Sal (S)	<b>-2,07</b>	0,036	<b>-1,62</b>	0,098	<b>-2,36</b>	0,057	<b>-3,47</b>	0,042
S <sup>2</sup>	0,23	0,650	0,03	0,960	0,98	0,266	0,43	0,651
T x A	-0,21	0,729	-0,01	0,990	<b>3,19</b>	0,053	<b>3,12</b>	0,083
T x S	-0,94	0,214	-1,31	0,210	-1,57	0,177	-2,20	0,150
A x S	-0,32	0,604	0,23	0,779	-0,34	0,698	-1,76	0,208

Valores em negrito representam os efeitos estatisticamente significativos a 90% de confiança (p<0,10).

Pela análise dos valores dos efeitos, nota-se que a temperatura de processo é o fator que contribui de forma mais intensa para a perda de peso da amostra, apresentando maiores valores de efeito para esta variável. Valores maiores de perda de peso são alcançados quando se aumenta a temperatura de desidratação, devido ao aumento da taxa de transferência de massa.

Durante a desidratação osmótica nota-se que o aumento da concentração de lactato de cálcio dificulta a perda de peso do produto desidratado (efeito negativo). Apesar de se esperar que uma maior concentração de sal na solução desidratante aumente o fluxo osmótico provocando perda de água do tecido da fruta, nota-se neste trabalho o

efeito contrário. Isso pode ser explicado pela reação dos íons de cálcio com a parede celular do tecido vegetal. O aumento da concentração de íons  $\text{Ca}^{2+}$  no tecido vegetal promove a reticulação dos polímeros da parede celular por formação de pontes de cálcio (Chardonnet *et al.*, 2003), mantendo ou aumentando a pressão de turgor da célula (Mignani *et al.*, 1995). Uma parede celular reforçada pela adição de cálcio pode, então, dificultar a transferência de massa e, portanto, dificultar a perda de água.

O aumento da concentração de ácido láctico na solução osmótica promove aumento da perda de água da amostra (Tabela 3.10). Isto também foi constatado por Moy *et al.* (1978) trabalhando com desidratação osmótica de mamão em solução de sacarose contendo ácido láctico. Os autores promoveram a desidratação osmótica de pedaços de manga e mamão em soluções de sacarose com e sem ácido láctico e observaram que, para o mamão, a presença de ácido aumentava a taxa de perda de água, o que não se observou para os pedaços de manga desidratados. Os autores atribuíram o fenômeno ao processo de gelificação das substâncias pécnicas do mamão, o que não pôde ser observado para a manga por esta fruta conter um teor muito inferior de substâncias pécnicas (0,26 a 0,42%) em comparação aos teores do mamão (0,66 a 1,00%) (Handa *et al.*, 1997).

Uma vez feita a avaliação dos efeitos da temperatura, concentração de lactato de cálcio e concentração de ácido láctico sobre a perda de peso do mamão desidratado, pode-se proceder à obtenção de um modelo matemático e de superfícies de respostas que representem a variação da perda de peso após o processo osmótico. Os coeficientes das equações dos modelos empíricos codificados das superfícies de resposta são mostrados na Tabela 3.11 e a validação dos modelos foi feita analisando-se os valores de  $F_{\text{tabelado}}$  e  $F_{\text{calculado}}$  a 90% de confiança ( $p < 0,10$ ) calculados por análise de variância (ANOVA).

**Tabela 3.11** – Tabela de coeficientes dos modelos, teste  $F$  e  $r^2$  para a perda de peso (%) após a desidratação osmótica.

	COEFICIENTES DO MODELO			
	0,5 h	1 h	2 h	3 h
Média	8,76	11,56	16,70	21,71
Temperatura (T)	1,21	2,16	3,86	4,40
$T^2$	---	---	---	---
Ácido (A)	---	---	1,54	1,78
$A^2$	---	---	---	---
Sal (S)	-1,03	-0,81	-1,18	-1,74
$S^2$	---	---	---	---
T x A	---	---	1,60	1,56
T x S	---	---	---	---
A x S	---	---	---	---
$F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$	10,09	20,24	10,46	11,34
$r^2$	0,797	0,887	0,896	0,904

O teste-F consiste numa ferramenta estatística que auxilia na avaliação do modelo aplicado para explicar os fenômenos ocorridos durante o processo em estudo. Neste teste, o valor de  $F$  (média quadrática da regressão / média quadrática dos resíduos) é calculado pela análise de variância (ANOVA) e comparado com o valor tabelado correspondente ao nível de confiança aplicado no modelo (90%, neste trabalho); e quanto maior é o valor de  $F_{\text{calculado}}$  em relação ao valor de  $F_{\text{tabelado}}$  (maior a razão  $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$ ), melhor é o ajuste do modelo matemático aos dados experimentais. Desta forma, observando-se os valores da razão  $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$  e do  $r^2$  na Tabela 3.11, pode-se notar um bom ajuste dos modelos propostos aos dados experimentais determinados, sendo que os melhores ajustes ( $r^2 \geq 0,90$ ) foram obtidos para os maiores tempos de desidratação osmótica.

### 3.3.2. Conteúdo de Umidade

Os efeitos das variáveis estudadas sobre o conteúdo de umidade das amostras desidratadas podem ser avaliados pela Tabela 3.12.

**Tabela 3.12** – Tabela de efeitos lineares de interação e quadráticos para a umidade (%) após a desidratação osmótica.

	0,5 h		1 h		2 h		3 h	
	efeito	p	efeito	p	efeito	p	efeito	p
Média	<b>80,48</b>	0,001	<b>79,50</b>	0,001	<b>76,16</b>	0,001	<b>74,86</b>	0,001
Temperatura (T)	<b>-1,68</b>	0,028	<b>-2,87</b>	0,002	<b>-4,02</b>	0,003	<b>-4,45</b>	0,012
T <sup>2</sup>	<b>1,11</b>	0,073	-0,34	0,154	<b>0,69</b>	0,118	-0,20	0,750
Ácido (A)	<b>-0,96</b>	0,080	<b>-1,28</b>	0,011	<b>-2,01</b>	0,014	<b>-2,21</b>	0,048
A <sup>2</sup>	0,70	0,157	<b>0,73</b>	0,040	<b>1,41</b>	0,033	1,23	0,155
Sal (S)	<b>0,84</b>	0,100	<b>1,50</b>	0,008	<b>0,66</b>	0,110	<b>1,86</b>	0,066
S <sup>2</sup>	0,81	0,125	<b>0,92</b>	0,026	<b>1,84</b>	0,020	<b>2,05</b>	0,065
T x A	-0,61	0,249	-0,20	0,382	<b>-0,87</b>	0,109	-0,38	0,619
T x S	<b>1,02</b>	0,115	<b>1,46</b>	0,015	<b>1,52</b>	0,040	<b>1,77</b>	0,114
A x S	-0,70	0,202	-0,35	0,191	-0,34	0,388	-1,27	0,192

Valores em negrito representam os efeitos estatisticamente significativos a 90% de confiança ( $p \leq 0,10$ ).

Tendo em vista que a umidade da fruta fresca em estudo tem um valor médio de  $87,17 \pm 1,07$  % (base úmida), observa-se na tabela de efeitos que a redução de umidade dos pedaços de mamão se dá de forma mais intensa na primeira hora de processamento osmótico, influenciada mais intensamente pelo aumento da temperatura de processo, e de forma menos intensa (mas estatisticamente significativa) pelo aumento da concentração de ácido láctico.

Observando os valores de umidade na Tabela 3.5, os efeitos podem ser claramente notados ao observarmos os ensaios 1, 2, 4 e 8. No ensaio 1, onde as variáveis se encontram em seu valor mínimo, o valor de umidade atingido depois do processo osmótico é de 78,54%. Aumentando-se apenas a temperatura (ensaio 2), o valor cai para 74,47%. Analogamente, aumentando a concentração de ácido láctico (ensaio 4) o valor de umidade decresce ainda mais chegando a 70,97%. No entanto, mantendo valores altos de temperatura e de concentração de ácido e aumentando a concentração de lactato de cálcio (ensaio 8) o valor da umidade atinge 74,19%, valor superior àquele alcançado com concentração menor do sal. Esta análise confirma as

tendências apresentadas pelo planejamento experimental (Tabela 3.12), que aponta o aumento da temperatura e da concentração de ácido láctico como promotores da queda da umidade do produto (efeitos negativos), assim como o aumento da concentração de lactato de cálcio impedindo a diminuição da umidade do produto (efeito positivo).

A aplicação de sais em soluções osmóticas aumenta a hipertonicidade da solução e tende a promover em consequência um aumento da perda de água do produto desidratado osmoticamente. No entanto, este efeito não se manifesta neste trabalho provavelmente pela natureza umectante do lactato de cálcio, impedindo a perda intensa da umidade do mamão.

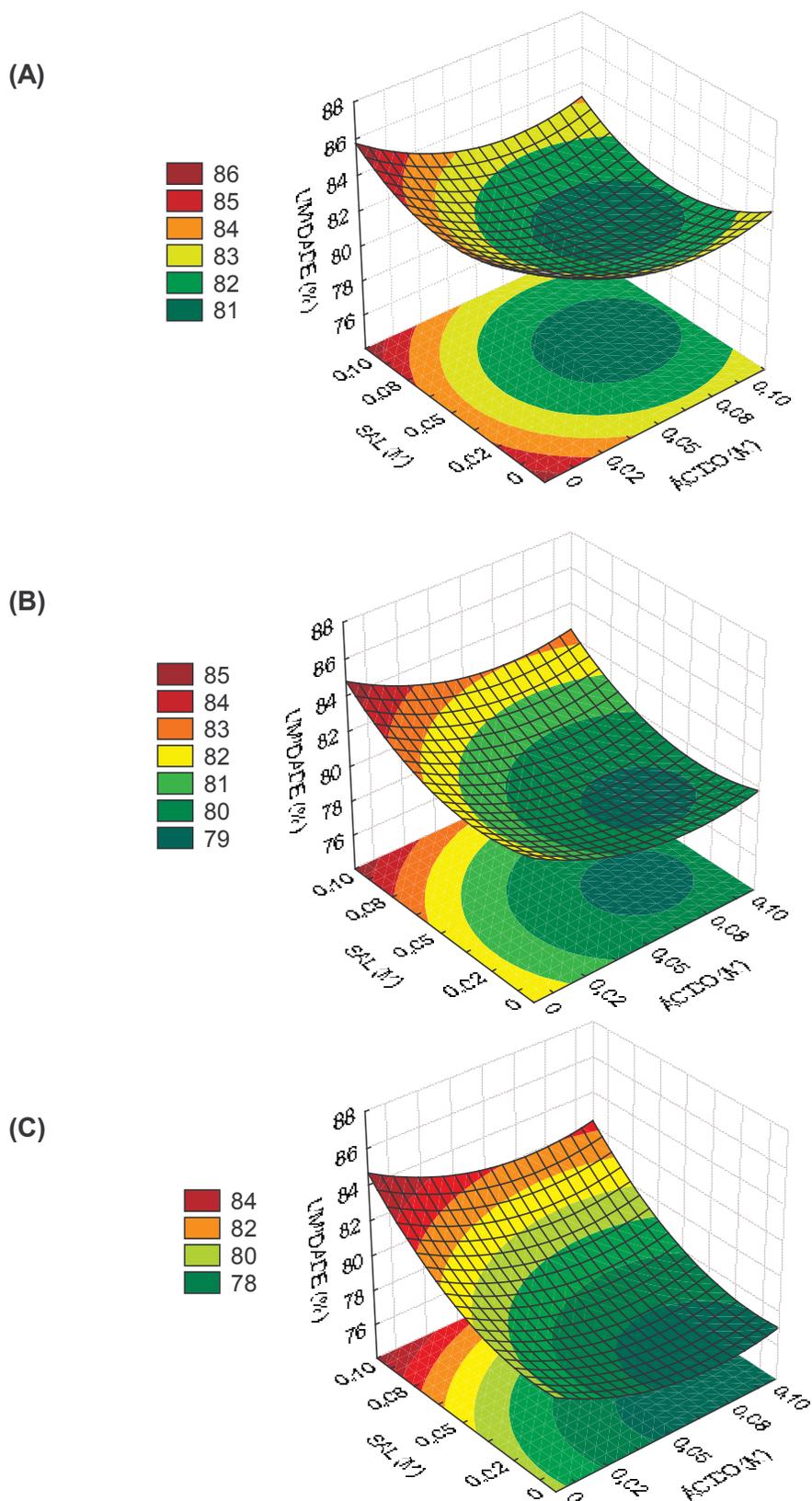
Estruturas biológicas, como polissacarídeos, apresentam tanto grupos carregados quanto hidrofóbicos capazes de gerar incompatibilidade com moléculas de água, promovendo a formação de estruturas de estabilidade e ordem singulares (Wiggins, 1997). Estruturas como estas, quando na presença de pequenas quantidades (concentrações inferiores a 1M) de íons da *Série de Hofmeister* (como sais de cálcio), tendem a se ligar, preferencialmente, a moléculas de água em solução (hidratação), no lugar de se ligarem aos íons do sal em solução (LSBU, 2004). Este efeito é conhecido por *salting in*. Desta forma, pode-se supor que a pectina largamente presente na lamela média tenda a se hidratar na presença de pequenas quantidades de lactato de cálcio em solução, impedindo a perda de água do tecido e provocando o efeito positivo deste sal durante o processo de desidratação osmótica.

**Tabela 3.13** – Tabela de coeficientes dos modelos, teste F e  $r^2$  para a umidade (%) após a desidratação osmótica.

	COEFICIENTES DO MODELO			
	0,5 h	1 h	2 h	3 h
Média	80,48	79,50	76,16	74,86
Temperatura (T)	-0,84	-1,44	-2,01	-2,22
T <sup>2</sup>	0,56	---	0,35	---
Ácido (A)	-0,48	-0,64	-1,00	-1,10
A <sup>2</sup>	---	0,37	0,70	---
Sal (S)	0,42	0,75	0,33	0,93
S <sup>2</sup>	---	0,46	0,92	1,03
T x A	---	---	-0,43	---
T x S	0,51	0,73	0,76	0,88
A x S	---	---	---	---
F <sub>calculado</sub> /F <sub>tabelado</sub>	1,394	10,505	2,880	4,224
r <sup>2</sup>	0,608	0,939	0,882	0,825

Tendo sido realizada a avaliação dos efeitos, fez-se a avaliação dos modelos empíricos gerados pelos coeficientes de regressão (Tabela 3.13) através da análise de variância (ANOVA) para sua validação. Avaliando os valores para o teste F e para o  $r^2$  da Tabela 3.13, nota-se que os modelos ajustados são, estatisticamente, significativos ( $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}} > 2$ ) a partir de 1h de processo, sendo possível a modelagem do processo nos tempos de desidratação de 1, 2 e 3 horas.

A Figura 3.2 mostra as superfícies de variação da umidade do mamão desidratado osmoticamente por uma hora em função das concentrações de ácido láctico e lactato de cálcio mantendo a temperatura fixa nos níveis -1 (30°C), 0 (40°C) e 1 (50°C), respectivamente. Pode-se notar que o efeito da temperatura é intenso, fazendo com que a superfície se aproxime dos valores inferiores de umidade com o aumento a temperatura.



**Figura 3.2** – Superfícies de resposta da variação do teor de umidade (%) para as amostras tratadas osmoticamente por 1 hora em função das concentrações de ácido láctico e lactato de cálcio fixando a temperatura em (A) 30 (-1), (B) 40 (0) e (C) 50°C (+1).

### 3.3.3. Conteúdo de Açúcares Redutores

Os teores de açúcares redutores e totais foram avaliados, entretanto, só foi verificada a penetração de açúcares redutores no tecido osmoticamente desidratado, isto é, não foi encontrada durante as análises traço de sacarose antes ou depois do processamento. Desta forma, estão apresentados a seguir os resultados para os efeitos sobre o conteúdo de açúcares redutores dos pedaços de mamão tratados osmoticamente na Tabela 3.14.

**Tabela 3.14** – Tabela de efeitos lineares de interação e quadráticos para o teor de açúcares redutores (%) após a desidratação osmótica.

	0,5 h		1 h		2 h		3 h	
	efeito	p	efeito	p	efeito	p	efeito	p
Média	<b>15,33</b>	0,001	<b>16,85</b>	0,000	<b>18,14</b>	0,000	<b>19,24</b>	0,000
Temperatura (T)	<b>1,00</b>	0,096	<b>1,50</b>	0,024	<b>1,28</b>	0,073	<b>2,49</b>	0,016
T <sup>2</sup>	-0,63	0,232	<b>-1,00</b>	0,061	-0,51	0,332	0,04	0,927
Ácido (A)	0,41	0,343	0,28	0,360	0,91	0,131	0,66	0,169
A <sup>2</sup>	<b>-1,43</b>	0,061	<b>-1,05</b>	0,056	<b>-1,30</b>	0,085	<b>-1,29</b>	0,065
Sal (S)	-0,17	0,667	-0,20	0,490	-0,52	0,292	-0,54	0,228
S <sup>2</sup>	<b>-1,29</b>	0,073	<b>-1,43</b>	0,031	<b>-1,13</b>	0,107	<b>-1,17</b>	0,077
T x A	-0,55	0,339	-0,42	0,306	0,10	0,851	0,93	0,153
T x S	-0,64	0,282	-0,34	0,378	0,10	0,855	-0,57	0,302
A x S	-0,07	0,895	-0,23	0,539	0,62	0,326	0,28	0,565

Valores em negrito representam os efeitos estatisticamente significativos a 90% de confiança (p<0,10).

O teor de açúcares redutores do mamão fresco apresentou em média o valor de  $11,79 \pm 0,65$  %. Assim, observa-se na tabela de efeitos que o maior ingresso de açúcares redutores se dá na primeira hora de processamento e é influenciado mais intensamente pelo aumento da temperatura.

Pode-se observar na tabela de efeitos (Tabela 3.14) que a temperatura rege o ganho de açúcares redutores durante a desidratação osmótica de pedaços de mamão nas condições avaliadas neste trabalho. Apesar de se notarem influências nos fatores quadráticos de ácido e de sal, seus efeitos lineares diretos não se mostram estatisticamente significativos (com  $p < 0,10$ ) em nenhum momento do processo. Entretanto, estes efeitos quadráticos podem alterar a curvatura da superfície de resposta para o ingresso de açúcares, indicando um ponto de máximo ou mínimo desta resposta.

Estudados os efeitos, faz-se a avaliação dos modelos empíricos gerados pelos coeficientes de regressão e análise de variância (Tabela 3.15) para sua validação.

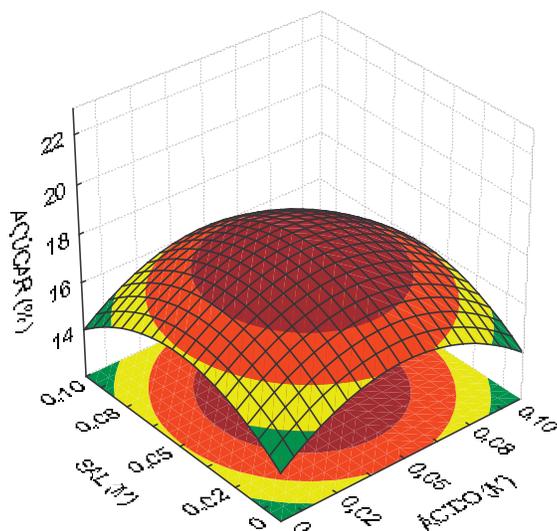
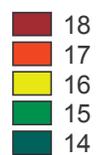
**Tabela 3.15** – Tabela de coeficientes dos modelos, teste F e  $r^2$  para o teor de açúcares redutores (%) após a desidratação osmótica.

	COEFICIENTES DO MODELO			
	0,5 h	1 h	2 h	3 h
Média	15,33	16,85	18,14	19,24
Temperatura (T)	0,50	0,75	0,64	1,24
$T^2$	---	-0,50	---	---
Ácido (A)	---	---	---	---
$A^2$	-0,72	-0,53	-0,65	-0,64
Sal (S)	---	---	---	---
$S^2$	-0,64	-0,71	-0,57	-0,59
T x A	---	---	---	---
T x S	---	---	---	---
A x S	---	---	---	---
$F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$	2,291	8,212	2,121	4,860
$r^2$	0,575	0,872	0,882	0,742

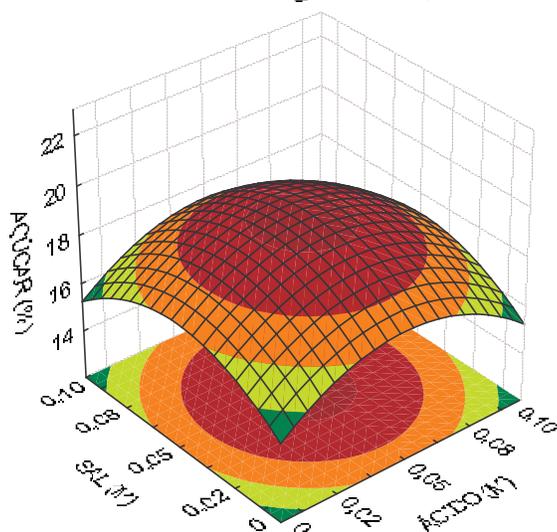
Observando-se os valores do teste F para as tabelas ANOVA nos diferentes tempos de processo, nota-se que para a primeira meia hora de desidratação o valor de  $r^2$  é muito baixo, mostrando que o modelo estatístico não se ajusta bem aos valores experimentais e as superfícies de resposta por ele geradas não são confiáveis. Assim, para 30 minutos de processo apenas a análise dos efeitos e suas tendências são válidas.

A Figura 3.3 representa a variação do conteúdo de açúcares redutores dos pedaços de mamão submetidos à desidratação osmótica por 3 horas, em que se nota novamente a ação das três variáveis independentes, sendo a temperatura o parâmetro mais significativamente influente na impregnação de açúcares durante o processo. Nota-se que as figuras são muito semelhantes, diferindo entre si apenas pela intensidade do efeito da temperatura, onde se nota maior impregnação de açúcares redutores.

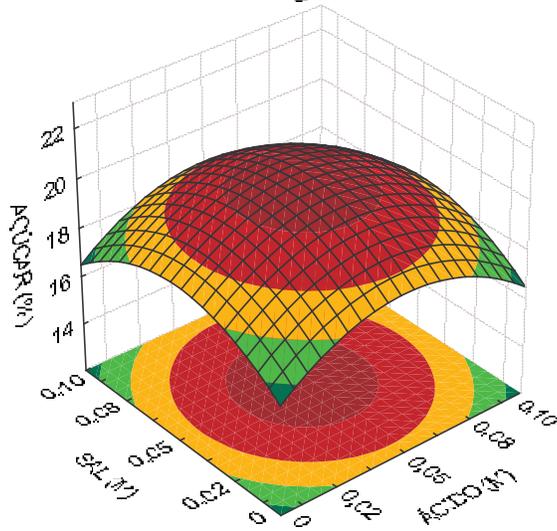
(A)



(B)



(C)



**Figura 3.3** - Superfícies de resposta da variação do teor de açúcares redutores (%) para as amostras tratadas osmoticamente por 3 horas em função das concentrações de ácido láctico e lactato de cálcio fixando a temperatura em (A) 30 (-1), (B) 40 (0) e (C) 50°C (+1).

### 3.3.4. Atividade de Água

A atividade de água das amostras desidratadas pode ser avaliada pelos efeitos da Tabela 3.16.

**Tabela 3.16** – Tabela de efeitos lineares de interação e quadráticos para a atividade de água após a desidratação osmótica.

	0,5 h		1 h		2 h		3 h	
	efeito	p	efeito	p	efeito	p	efeito	p
Média	<b>0,979</b>	0,001	<b>0,976</b>	0,001	<b>0,972</b>	0,001	<b>0,970</b>	0,001
Temperatura (T)	<b>-0,003</b>	0,070	<b>-0,005</b>	0,013	<b>-0,005</b>	0,005	<b>-0,004</b>	0,031
T <sup>2</sup>	-0,002	0,155	<b>-0,003</b>	0,035	-0,002	0,149	-0,002	0,113
Ácido (A)	-0,001	0,251	<b>-0,004</b>	0,020	<b>-0,004</b>	0,010	<b>-0,003</b>	0,056
A <sup>2</sup>	0,001	0,298	<b>0,002</b>	0,071	<b>0,003</b>	0,051	<b>0,003</b>	0,054
Sal (S)	0,001	0,302	0,001	0,288	0,001	0,289	<b>0,002</b>	0,096
S <sup>2</sup>	0,001	0,267	<b>0,002</b>	0,071	<b>0,003</b>	0,039	<b>0,003</b>	0,061
T x A	0,001	0,787	0,001	0,689	0,001	1,000	-0,001	0,613
T x S	0,001	0,892	-0,001	0,205	-0,001	0,355	0,000	0,940
A x S	-0,001	0,600	-0,001	0,173	-0,002	0,228	-0,002	0,190

Valores em negrito representam os efeitos estatisticamente significativos a 90% de confiança ( $p < 0,10$ ).

Conhecendo o valor médio da atividade de água da fruta fresca ( $0,989 \pm 0,002$ ), observa-se pelos valores das médias na tabela de efeitos, que a redução deste parâmetro ocorre de maneira mais pronunciada no início do processo (0,5 hora), sendo o aumento da temperatura de processo o efeito de maior influência.

Ainda na primeira hora de processo osmótico, aparece o efeito da concentração de ácido láctico, contribuindo para a queda da atividade de água da fruta desidratada osmoticamente. Os efeitos da temperatura e do ácido se comportam de forma semelhante em intensidade, ambos contribuindo para a diminuição da atividade de água do produto no decorrer das três horas de processo.

Depois de três horas de desidratação o efeito positivo da concentração de lactato de cálcio mostra que a adição deste sal impede a redução da atividade de água do mamão, provavelmente, devido à sua natureza umectante, como se pôde observar para a perda de peso e teor de umidade avaliados anteriormente.

Tendo sido realizada a avaliação dos efeitos, faz-se a determinação dos modelos empíricos gerados pelos coeficientes de regressão e análise de variância (Tabela 3.17) para sua validação.

**Tabela 3.17** – Tabela de coeficientes dos modelos, teste F e  $r^2$  para a atividade de água após a desidratação osmótica.

	COEFICIENTES DO MODELO			
	0,5 h	1 h	2 h	3 h
Média	0,979	0,976	0,972	0,970
Temperatura (T)	-0,001	-0,002	-0,002	-0,002
T <sup>2</sup>	---	-0,002	---	---
Ácido (A)	---	-0,002	-0,002	-0,002
A <sup>2</sup>	---	0,001	0,002	0,002
Sal (S)	---	---	---	0,001
S <sup>2</sup>	---	0,001	0,002	0,002
T x A	---	---	---	---
T x S	---	---	---	---
A x S	---	---	---	---
F <sub>calculado</sub> /F <sub>tabelado</sub>	0,893	6,355	2,427	2,268
r <sup>2</sup>	0,758	0,876	0,762	0,770

A análise estatística mostra que o modelo proposto para a variação da atividade de água para 0,5 hora de processo não é preditivo ( $F_{\text{calculado}} / F_{\text{tabelado}} < 1$ ). Entretanto, os modelos propostos para 1, 2 e 3 horas de processo se mostraram preditivos ( $F_{\text{calculado}} / F_{\text{tabelado}} > 2$ ), apresentando bom ajuste aos dados experimentais ( $r^2 > 0,750$ ).

### 3.3.5. Cor

Os efeitos das variáveis de processo sobre a intensidade de cor - croma (C\*) - das amostras desidratadas osmoticamente podem ser avaliados pela Tabela 3.18.

**Tabela 3.18** – Tabela de efeitos lineares de interação e quadráticos para o croma após a desidratação osmótica.

	0,5 h		1 h		2 h		3 h	
	efeito	p	efeito	p	efeito	p	efeito	p
Média	<b>42,61</b>	0,001	<b>42,94</b>	0,001	<b>41,55</b>	0,001	<b>37,12</b>	0,001
Temperatura (T)	-0,52	0,489	0,25	0,721	0,28	0,534	0,06	0,921
T <sup>2</sup>	<b>9,74</b>	0,005	<b>8,42</b>	0,006	<b>8,56</b>	0,002	<b>11,83</b>	0,002
Ácido (A)	0,05	0,946	0,13	0,207	0,81	0,165	<b>1,52</b>	0,096
A <sup>2</sup>	<b>6,64</b>	0,010	<b>6,90</b>	0,009	<b>8,60</b>	0,002	<b>10,59</b>	0,003
Sal (S)	-3,07	0,038	<b>-4,04</b>	0,022	<b>-4,41</b>	0,007	<b>-5,34</b>	0,009
S <sup>2</sup>	<b>6,56</b>	0,010	<b>6,16</b>	0,012	<b>6,73</b>	0,004	<b>8,47</b>	0,004
T x A	1,06	0,317	1,19	0,277	1,11	0,154	0,64	0,437
T x S	1,29	0,251	1,67	0,172	0,17	0,769	-0,25	0,742
A x S	<b>-3,52</b>	0,048	<b>-4,90</b>	0,026	<b>-6,82</b>	0,005	<b>-7,31</b>	0,008

Valores em negrito representam os efeitos estatisticamente significativos a 90% de confiança (p<0,10).

Nota-se na Tabela 3.18 que o valor da média de croma, representativo da intensidade de cor (Anexo A) da amostra, diminui em relação à fruta fresca (valor médio de  $53,18 \pm 1,73$ ) logo na primeira meia hora de processo, influenciada por efeitos de interação das concentrações de lactato de cálcio e ácido láctico na solução. No entanto, após esta queda brusca, a intensidade de cor do produto processado apresenta sua tendência de queda estabilizada, voltando a diminuir somente a partir da terceira hora de desidratação osmótica.

Deve-se notar que os valores médios de croma apresentam tendência à queda (Tabela 3.18), mas ao observarmos os valores de croma nas Tabelas 3.6 a 3.9, nota-se que os ensaios 1 a 6 apresentam valores superiores aos da fruta fresca para todos os tempos de desidratação osmótica estudada. Os ensaios 1 a 4 são aqueles contendo concentrações de lactato de cálcio no nível inferior, sugerindo um efeito negativo desta variável sobre o croma do produto. De fato, este efeito negativo pode ser observado na Tabela 3.18 a partir da primeira hora de processo. Os ensaios 5 e 6 mostram as combinações de concentrações pequenas de ácido láctico combinadas a concentrações altas de lactato de cálcio, resultando em valores de croma superiores ao da fruta fresca,

indicando um efeito combinado negativo destes fatores sobre o croma; o que é confirmado pela análise estatística (Tabela 3.18) desde a primeira meia hora de processo osmótico.

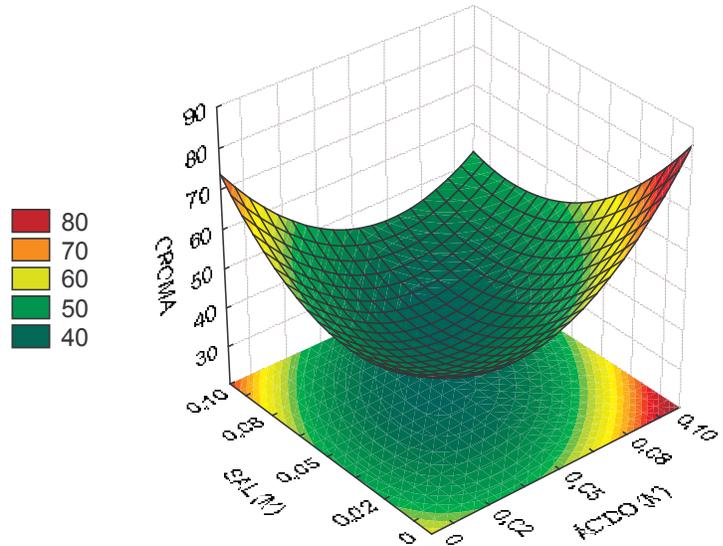
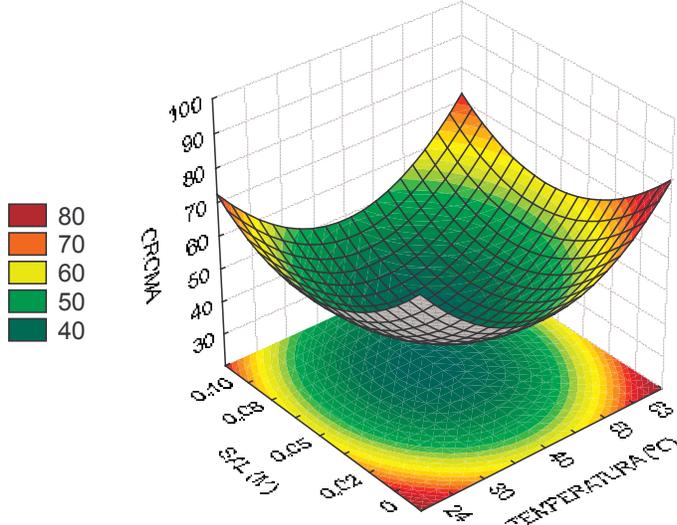
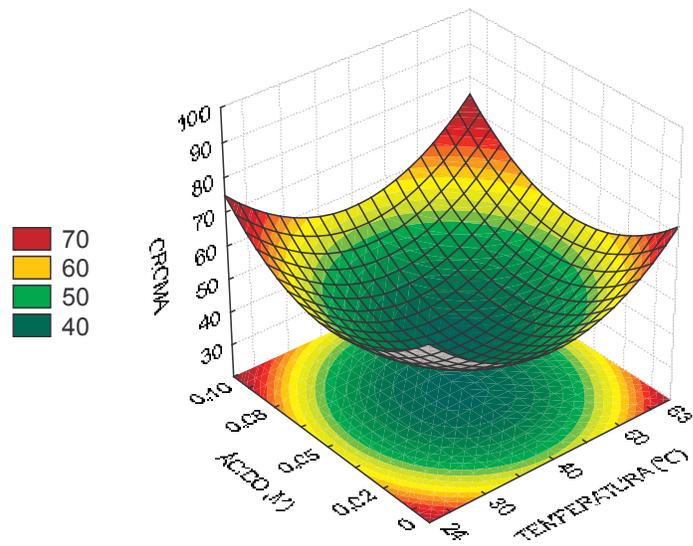
Tendo sido realizada a avaliação dos efeitos, fez-se a determinação dos modelos empíricos gerados pelos coeficientes de regressão e a análise de variância (Tabela 3.19) para sua validação.

**Tabela 3.19** – Tabela de coeficientes dos modelos, teste F e  $r^2$  para o croma após a desidratação osmótica.

	COEFICIENTES DO MODELO			
	0,5 h	1 h	2 h	3 h
Média	42,61	42,94	41,55	37,12
Temperatura (T)	---	---	---	---
$T^2$	4,87	4,21	4,28	5,92
Ácido (A)	---	---	---	0,76
$A^2$	3,32	3,45	4,30	5,30
Sal (S)	---	-2,02	-2,21	-2,67
$S^2$	3,28	3,08	3,36	4,24
T x A	---	---	---	---
T x S	---	---	---	---
A x S	-1,76	-2,45	-3,41	-3,65
$F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$	3,564	4,509	4,177	2,922
$r^2$	0,799	0,834	0,823	0,812

A avaliação estatística para a variação do croma das amostras tratadas mostrou que todos os modelos propostos são estatisticamente significativos, sendo apresentadas as superfícies para 3 horas de processo na Figura 3.4.

À medida que a desidratação osmótica avança (de 1 a 3 horas de processo), existe a tendência de diminuição do croma das amostras tratadas (Tabela 3.18), mas novamente atingem-se valores muito próximos ou superiores aos da fruta fresca, desde que se escolha uma condição de processo (temperatura, concentração de ácido láctico e concentração de lactato de cálcio) favorável.



**Figura 3.4** - Superfícies de resposta da variação do cromagem para as amostras tratadas osmoticamente por 3 horas em função das concentrações de ácido láctico e lactato de cálcio e temperatura.

### 3.3.6. Tensão na Ruptura

A Tabela 3.20 mostra os efeitos para os valores normalizados de tensão máxima na ruptura. Como os dados estão normalizados, deve-se lembrar que a unidade representa um valor de tensão na ruptura igual ao da fruta fresca, sendo os valores menores que a unidade indicadores de tensão na ruptura inferior ao da fruta in natura.

**Tabela 3.20** – Tabela de efeitos lineares de interação e quadráticos para os valores normalizados da tensão máxima na ruptura após a desidratação osmótica.

	0,5 h		1 h		2 h		3 h	
	efeito	p	efeito	p	efeito	p	efeito	p
Média	<b>0,869</b>	0,001	<b>0,724</b>	0,001	<b>0,788</b>	0,002	<b>0,828</b>	0,002
Temperatura (T)	<b>0,184</b>	0,014	<b>0,304</b>	0,005	<b>0,330</b>	0,008	<b>0,509</b>	0,005
T <sup>2</sup>	<b>0,228</b>	0,011	<b>0,354</b>	0,004	<b>0,411</b>	0,006	<b>0,415</b>	0,008
Ácido (A)	<b>-0,217</b>	0,010	<b>-0,223</b>	0,009	<b>-0,487</b>	0,003	<b>-0,678</b>	0,003
A <sup>2</sup>	<b>0,250</b>	0,009	<b>0,317</b>	0,005	<b>0,398</b>	0,006	<b>0,567</b>	0,004
Sal (S)	-0,035	0,251	<b>-0,010</b>	0,043	-0,035	0,351	<b>0,157</b>	0,045
S <sup>2</sup>	<b>0,131</b>	0,032	-0,046	0,184	<b>0,261</b>	0,014	<b>0,180</b>	0,042
T x A	0,034	0,348	<b>-0,183</b>	0,021	0,050	0,315	-0,062	0,302
T x S	-0,052	0,209	<b>-0,223</b>	0,014	-0,063	0,235	<b>0,207</b>	0,044
A x S	<b>-0,094</b>	0,079	<b>-0,135</b>	0,038	<b>-0,225</b>	0,027	-0,355	0,016

Valores em negrito representam os efeitos estatisticamente significativos a 90% de confiança (p<0,10).

Observa-se que logo no início do tratamento há uma queda do valor médio de tensão na ruptura (de 1 para 0,869), acompanhando a tendência da transferência de massa nos primeiros 30 minutos de processo osmótico. A diminuição da tensão na ruptura no início do processo osmótico pode ser atribuída à solubilização de parte das cadeias de pectina de alto teor de metoxilação presentes na lamela média antes de começar a gelificação destas pectinas (o que levaria ao aumento dos valores de tensão na ruptura).

A tabela de efeitos mostra que a resistência do produto desidratado é influenciada por variações na temperatura de processo, na concentração de lactato de cálcio (efeito significativo apenas depois de três horas de processo) e na concentração de ácido láctico.

O efeito positivo da temperatura pode ser explicado pela combinação de dois efeitos: (i) temperaturas elevadas levam a uma maior taxa de transferência de massa e conseqüente intensificação da penetração de cálcio no tecido e (ii) ativação da enzima

pectina esterase, cuja atividade ótima ocorre à temperatura de 65°C (Fayyaz *et al.*, 1995). Sabendo-se que esta enzima no mamão chega a 60% de sua atividade máxima a 50°C (Fayyaz *et al.*, 1995), é razoável concluir que tenha havido ativação desta enzima na faixa de temperatura de trabalho (30 a 50°C) e que isto tenha influenciado os valores de tensão de ruptura do produto processado, aumentando-os (Sajjaanantakul e Pitifer, 1991).

No entanto, o ingresso de ácido na fruta dificulta o enrijecimento do tecido por inibir a ação da enzima pectina esterase, cuja atividade ótima ocorre em valores de pH entre 6 e 9. Deve-se notar que sendo estes mecanismos enzimáticos e de gelificação afetados pelos mesmos fatores (pH, presença de açúcares, presença de cálcio e temperatura), a predominância de um efeito ou outro se dá de acordo com as condições ótimas para desencadear qualquer um deles gerando competição entre si. Como o processo de desidratação osmótica é dinâmico, à medida que se intensifica a transferência de massa, novas condições vão se estabelecendo e favorecendo diferentes mecanismos ao longo de todo o processo. Assim, é possível que a atividade enzimática varie muito ao longo das três horas de processo, intensificada por aumento da temperatura, ou inibida por abaixamento excessivo do pH do sistema.

Como se observa na tabela de efeitos (Tabela 3.20), a presença de maior quantidade de sal de cálcio na solução infusora causa um aumento dos valores de tensão na ruptura do produto desidratado (efeito positivo do sal). Este efeito pode ser observado apenas depois da terceira hora de desidratação, apesar da transferência de massa ocorrer desde o início do processo permitindo a entrada de cálcio, devido à lenta taxa de gelificação das pectinas de baixo teor de metoxilação.

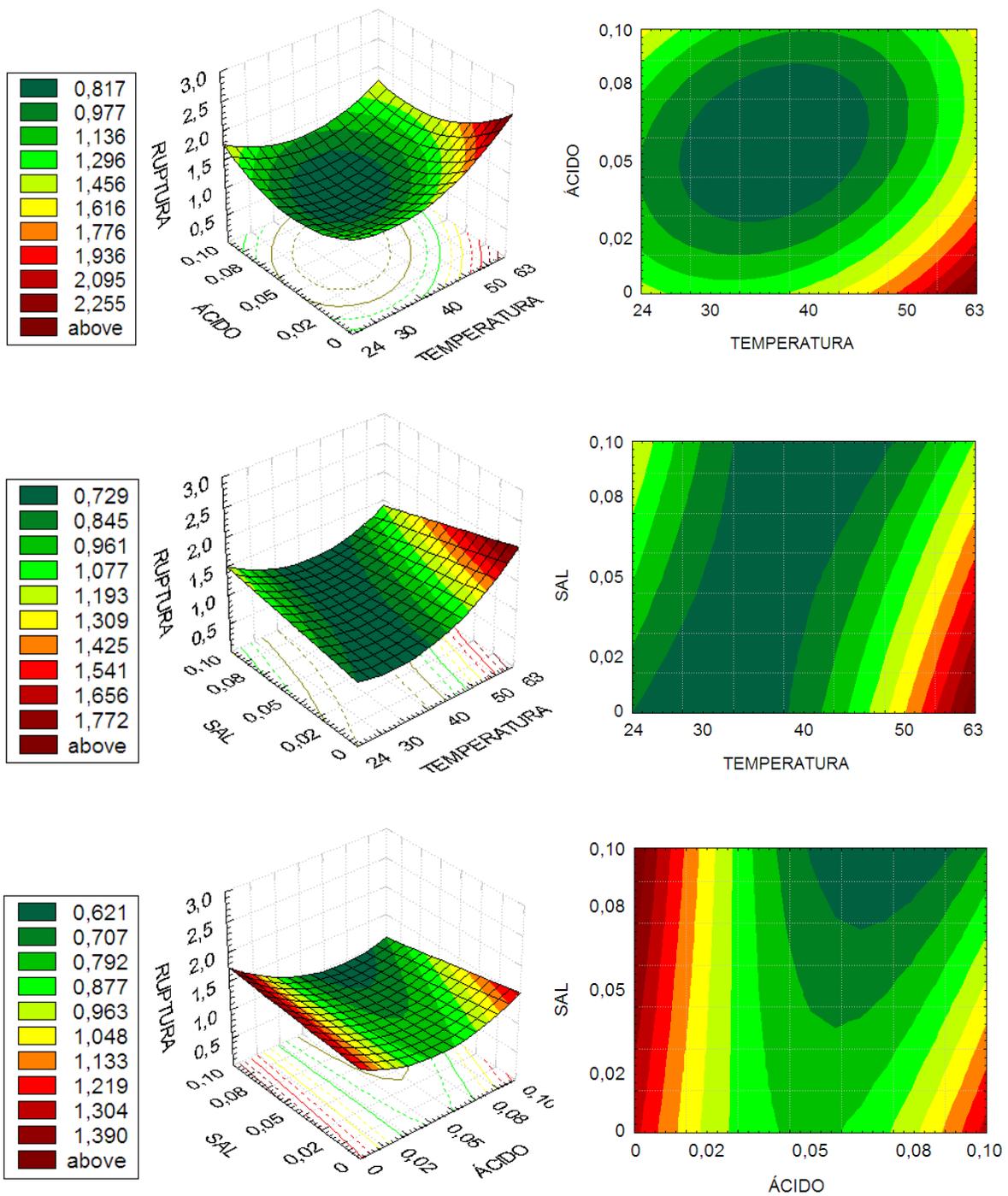
Desta forma, pode-se formular uma hipótese para explicar a alteração deste parâmetro reológico ao longo das três horas de processo osmótico avaliado. No início do tratamento há diminuição da tensão na ruptura por solubilização de parte das pectinas de alto teor de metoxilação. Depois de 2 horas de processo osmótico, o aumento da temperatura tende a aumentar a tensão na ruptura por permitir maior entrada de cálcio no tecido e por ativar a enzima pectina esterase, que desmetoxila pectinas de alto teor de metoxilação e promove a reação das pectinas de baixo teor de metoxilação resultantes com os íons  $\text{Ca}^{2+}$  disponíveis.

Tendo sido realizada a avaliação dos efeitos, fez-se a avaliação dos modelos empíricos gerados pelos coeficientes de regressão (Tabela 3.21) e a análise de variância para sua validação.

**Tabela 3.21** – Tabela de coeficientes dos modelos, teste F e  $r^2$  para os valores normalizados da tensão máxima na ruptura após a desidratação osmótica.

	COEFICIENTES DO MODELO			
	0,5 h	1 h	2 h	3 h
Média	0,869	0,724	0,688	0,828
Temperatura (T)	0,092	0,152	0,165	0,254
$T^2$	0,114	0,177	0,206	0,208
Ácido (A)	-0,109	-0,112	-0,243	-0,339
$A^2$	0,125	0,158	0,199	0,284
Sal (S)	---	-0,048	---	0,079
$S^2$	0,065	---	0,130	0,090
T x A	---	-0,091	---	---
T x S	---	-0,112	---	0,103
A x S	-0,047	-0,067	-0,113	---
$F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$	0,376	2,582	0,906	1,144
$r^2$	0,357	0,870	0,572	0,748

A avaliação estatística aponta como modelos confiáveis ( $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ ) apenas aqueles propostos para 1 hora de processo osmótico, sendo as respectivas superfícies de resposta mostradas na Figura 3.5 representando a variação da tensão na ruptura dos pedaços de mamão submetidos a 1 hora de desidratação osmótica.



**Figura 3.5** – Superfícies de resposta e curvas de nível para o valor normalizado da tensão máxima na ruptura das amostras tratadas osmoticamente por 1 hora.

### 3.3.7. Tempo de Relaxação

O tempo de relaxação (s) pode ser avaliado pelos efeitos apresentados na Tabela 3.21.

**Tabela 3.21** – Tabela de efeitos lineares de interação e quadráticos para o tempo de relaxação após a desidratação osmótica.

	0,5 h		1 h		2 h		3 h	
	efeito	p	efeito	p	efeito	p	efeito	p
Média	<b>20,127</b>	0,001	<b>20,231</b>	0,003	<b>23,336</b>	0,001	<b>24,363</b>	0,001
Temperatura (T)	<b>2,518</b>	0,069	<b>5,648</b>	0,030	<b>2,415</b>	0,083	<b>4,131</b>	0,006
T <sup>2</sup>	0,368	0,680	0,719	0,581	-0,166	0,858	-0,735	0,169
Ácido (A)	0,057	0,943	-0,111	0,922	0,539	0,543	-0,189	0,611
A <sup>2</sup>	-0,120	0,891	-1,969	0,215	<b>-2,520</b>	0,091	<b>-5,676</b>	0,004
Sal (S)	-0,234	0,770	1,649	0,241	<b>3,278</b>	0,048	<b>6,198</b>	0,003
S <sup>2</sup>	-0,666	0,479	0,290	0,817	<b>-3,019</b>	0,066	-0,400	0,370
T x A	-0,087	0,933	-2,592	0,186	-2,115	0,161	<b>4,828</b>	0,007
T x S	-0,903	0,428	-1,477	0,375	0,954	0,429	<b>-1,625</b>	0,059
A x S	0,328	0,754	-0,452	0,762	-0,032	0,977	<b>2,184</b>	0,034

Valores em negrito representam os efeitos estatisticamente significativos a 90% de confiança ( $p < 0,10$ ).

As alterações no comportamento viscoelástico da fruta tratada são influenciadas na primeira hora de processo apenas pela temperatura de processo (sendo o valor para a fruta fresca de  $15,69 \pm 3,86s$ ), podendo indicar que temperaturas mais amenas tendem a preservar o caráter estrutural da fruta.

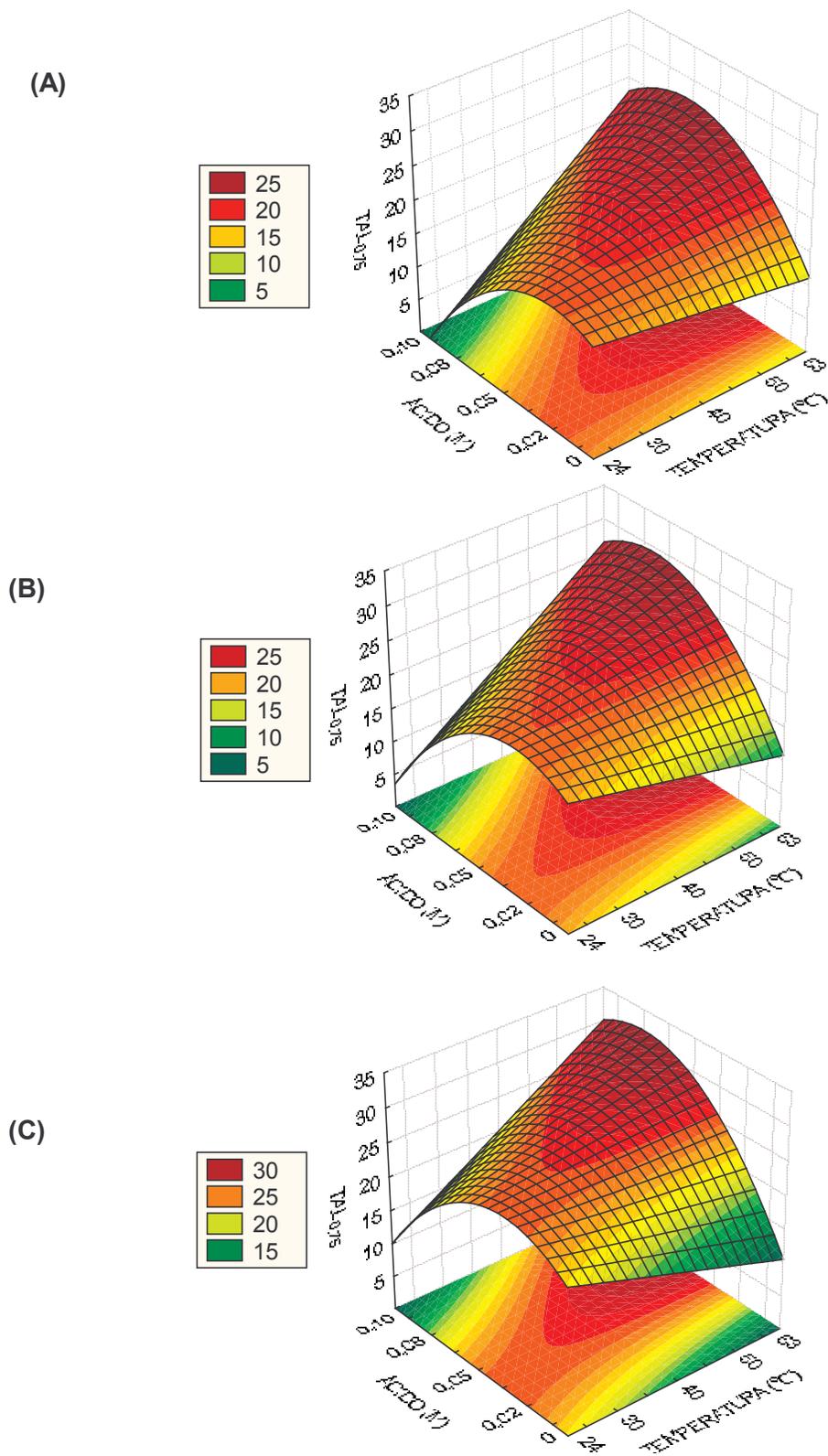
Depois de duas horas de desidratação osmótica, a viscoelasticidade do tecido passa a ser influenciada primordialmente pela temperatura do sistema e pela concentração de lactato de cálcio na solução infusora, sugerindo que o aumento da temperatura e da concentração de lactato de cálcio tende a aumentar o tempo para rearranjos estruturais no tecido tratado.

Tendo sido realizada a avaliação dos efeitos, fez-se a avaliação dos modelos empíricos gerados pelos coeficientes de regressão (Tabela 3.22) e a análise de variância para sua validação.

**Tabela 3.22** – Tabela de coeficientes dos modelos, teste F e  $r^2$  para o tempo de relaxação após a desidratação osmótica.

	COEFICIENTES DO MODELO			
	0,5 h	1 h	2 h	3 h
Média	20,231	20,127	23,336	24,363
Temperatura (T)	1,259	2,824	1,207	2,065
T <sup>2</sup>	---	---	---	---
Ácido (A)	---	---	---	---
A <sup>2</sup>	---	---	-1,260	-2,838
Sal (S)	---	---	1,639	3,099
S <sup>2</sup>	---	---	-1,509	---
T x A	---	---	---	2,414
T x S	---	---	---	-0,813
A x S	---	---	---	1,092
$F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$	5,340	5,730	1,566	5,974
$r^2$	0,522	0,540	0,564	0,898

A análise dos valores para o teste F mostra que apenas o modelo proposto para representar a variação do tempo de relaxação depois de 3 horas de processo é confiável, apresentando  $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}} > 2$  e  $r^2 > 0,750$ . As superfícies de resposta relativas à variação do tempo de relaxação das amostras tratadas por 3 horas estão mostradas na Figura 3.6.



**Figura 3.6** - Superfícies de resposta da variação do tempo de relaxação (s) para as amostras tratadas osmoticamente por 3 horas em função da concentração de ácido láctico e temperatura fixando a concentração de lactato de cálcio em (A) 0,02 (-1), (B) 0,05 (0) e (C) 0,08M (+1).

### 3.3.8. Tensão Residual

A tensão residual pode ser avaliada pelos efeitos apresentados na Tabela 3.23.

**Tabela 3.23** – Tabela de efeitos lineares de interação e quadráticos para a tensão assintótica residual relativa após a desidratação osmótica.

	0,5 h		1 h		2 h		3 h	
	efeito	p	efeito	p	efeito	p	efeito	p
Média	<b>0,330</b>	0,000	<b>0,333</b>	0,000	<b>0,343</b>	0,001	<b>0,388</b>	0,000
Temperatura (T)	0,005	0,456	<b>0,034</b>	0,030	<b>0,051</b>	0,024	<b>0,053</b>	0,003
T <sup>2</sup>	0,029	0,136	<b>0,023</b>	0,074	<b>0,038</b>	0,051	<b>-0,013</b>	0,054
Ácido (A)	-0,015	0,149	-0,011	0,212	-0,015	0,200	<b>-0,016</b>	0,029
A <sup>2</sup>	0,015	0,130	0,007	0,412	0,015	0,231	<b>-0,044</b>	0,005
Sal (S)	0,008	0,256	0,003	0,631	<b>0,026</b>	0,087	<b>0,033</b>	0,007
S <sup>2</sup>	0,016	0,173	0,012	0,210	-0,007	0,508	<b>-0,025</b>	0,016
T x A	0,002	0,775	-0,008	0,415	-0,004	0,768	<b>0,017</b>	0,044
T x S	0,000	0,968	0,011	0,279	<b>0,041</b>	0,062	-0,008	0,176
A x S	-0,010	0,265	0,009	0,378	0,002	0,864	<b>0,047</b>	0,006

Valores em negrito representam os efeitos estatisticamente significativos a 90% de confiança ( $p < 0,10$ ).

A tensão assintótica residual relativa representa a tensão que não é relaxada mesmo após um tempo infinito de relaxação (Lewicki e Lukazuk, 2000). Assim, maiores valores de tensão residual indicam maior caráter elástico.

Sabe-se que o valor inicial da tensão residual para a fruta sem tratamento foi de  $0,330 \pm 0,062$ , mostrando que há um aumento deste parâmetro principalmente depois da segunda hora de processo osmótico, influenciado pelo aumento da temperatura de processo e da concentração de lactato de cálcio na solução desidratante.

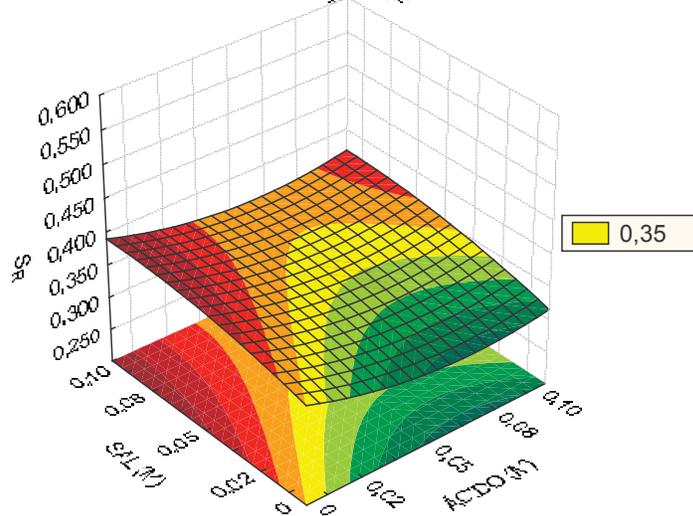
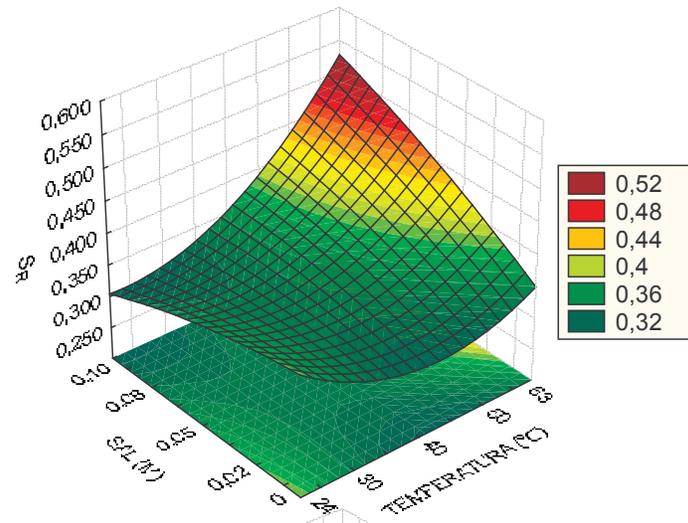
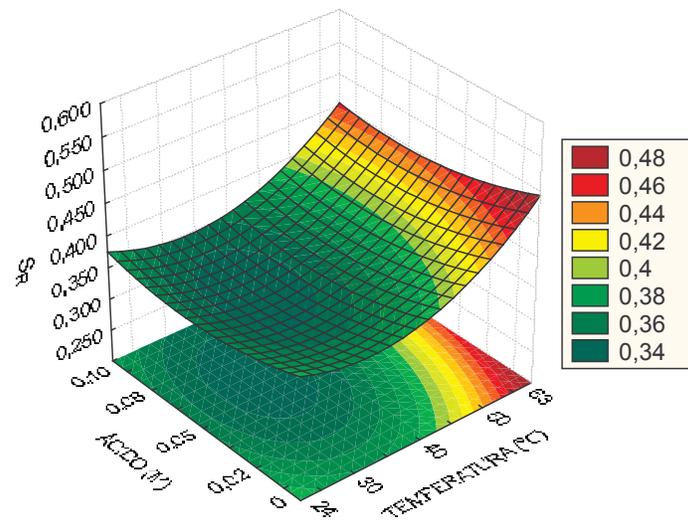
Se os valores de tensão residual para o ensaio sem cálcio (ensaio 13, Tabelas 3.6 a 3.9) forem observados, nota-se que permanecem praticamente estáveis até a primeira hora de processo e a partir da segunda hora tendem a cair ( $S_r$ /tempo: 0,330/0; 0,354/0,5; 0,350/1; 0,295/2; 0,287/3), indicando que a adição de cálcio previne a queda do valor deste parâmetro reológico, mantendo-o próximo ao da fruta fresca, mesmo depois de um tempo relativamente longo de desidratação osmótica. De fato, o efeito positivo do sal pode ser notado (Tabela 3.23) a partir da segunda hora de desidratação, confirmando a tendência para o tempo de relaxação (Tabela 3.21), quando este aditivo passa a exercer influência na viscoelasticidade da fruta de forma mais pronunciada.

Tendo sido realizada a avaliação dos efeitos, fez-se a avaliação dos modelos empíricos gerados pelos coeficientes de regressão (Tabela 3.24) e a análise de variância para sua validação.

**Tabela 3.24** – Tabela de coeficientes dos modelos, teste F e  $r^2$  para a tensão assintótica residual relativa após a desidratação osmótica.

	COEFICIENTES DO MODELO			
	0,5 h	1 h	2 h	3 h
Média	---	0,333	0,343	0,388
Temperatura (T)	---	0,017	0,025	0,027
T <sup>2</sup>	---	0,011	0,019	-0,006
Ácido (A)	---	---	---	-0,008
A <sup>2</sup>	---	---	---	-0,022
Sal (S)	---	---	0,013	0,016
S <sup>2</sup>	---	---	---	-0,012
T x A	---	---	---	0,009
T x S	---	---	0,020	---
A x S	---	---	---	0,023
$F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$	---	2,525	5,200	1,321
$r^2$	---	0,498	0,811	0,720

A avaliação estatística dos modelos propostos (Tabela 3.24) mostrou que os modelos para 2 e 3 horas de processo são confiáveis e assim a superfície de resposta mostrada na Figura 3.7 representa a variação da tensão residual dos pedaços de mamão submetidos a 2 horas de desidratação osmótica.



**Figura 3.7** - Superfícies de resposta da variação da tensão residual assintótica para as amostras tratadas osmoticamente por 2 horas em função das concentrações de ácido láctico e lactato de cálcio e temperatura.

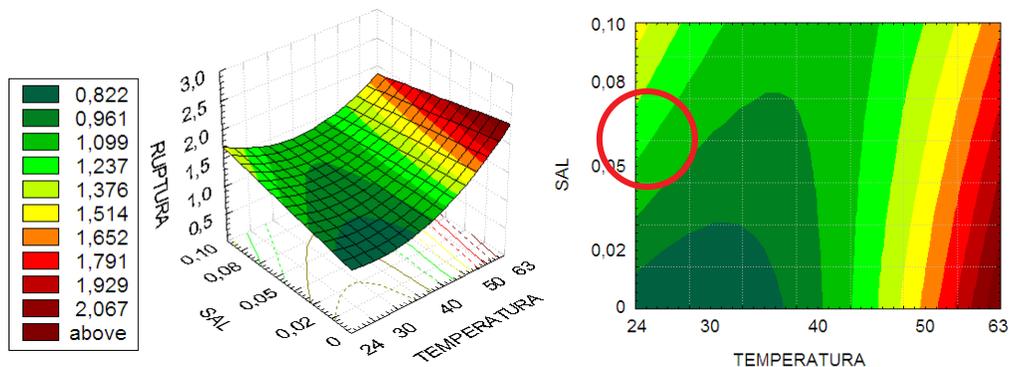
### 3.3.9. Escolha da condição de processo

Tendo em vista o estudo dos efeitos da desidratação osmótica com aditivos sobre os pedaços de mamão, procedeu-se à escolha das condições de processo adequadas com o objetivo de se obter um produto levemente processado com maior vida de prateleira.

Como a textura e a cor da fruta processada são atributos de importância fundamental para a aceitação do produto, optou-se por definir uma condição de processo que gerasse um produto com textura e cor mais próximas aos da fruta fresca.

O estudo mostrou que para as faixas de temperatura e concentrações de sal e ácido estudadas não houve depreciação da cor do produto final, evidenciando a manutenção deste atributo durante a desidratação osmótica branda, fato de grande importância comercial que confere ao processo osmótico uma grande vantagem sobre os processos convencionais de conservação, como a secagem convectiva, por exemplo. Desta forma, a escolha de uma condição de desidratação osmótica dependeria principalmente da avaliação da textura do produto.

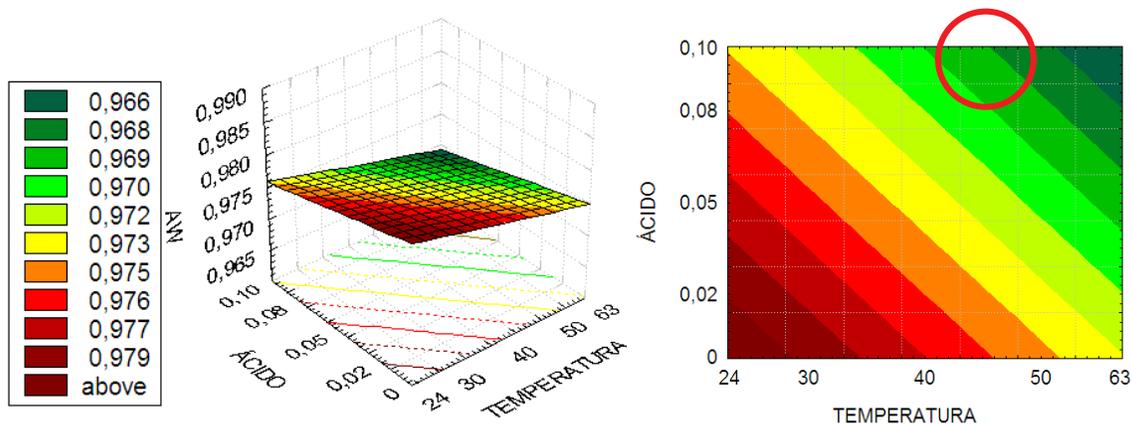
Da mesma maneira, o atributo reológico que varia de forma mais intensa é a tensão máxima na ruptura devido à adição de lactato de cálcio na fruta. Durante a avaliação deste parâmetro notou-se que a presença de ácido na solução osmótica mostrou uma tendência ao amaciamento do tecido, deixando o produto final muitas vezes mais macio que a fruta fresca. Decidiu-se então construir as superfícies de resposta fixando o valor do ácido no nível inferior (-1) para uma hora de processo (Figura 3.8).



**Figura 3.8** – Superfície de resposta e curva de nível para o valor normalizado da tensão a tensão máxima na ruptura das amostras tratadas osmoticamente por 1 hora com a concentração de ácido fixa em 0,02M (nível -1).

Como observado na Figura 3.8, o valor de tensão na ruptura mais próximo ao valor da fruta fresca e que não sofreu amaciamento (valor menor que a unidade) é representado na figura com a cor verde-clara de valor 1,099. Observando a curva de nível da mesma figura vê-se que esta faixa de tensão é alcançada numa faixa de temperatura de 24 a 30°C e numa faixa de concentração de sal superior a 0,05 M, lembrando que a concentração de ácido foi fixada no nível mínimo correspondente a 0,02M de ácido láctico. Desta forma, por motivos econômicos (menor temperatura e menor gasto de ácido láctico e lactato de cálcio), escolheu-se trabalhar no extremo da faixa que resulta em valor de tensão na ruptura igual a 1,099 (Pa/Pa) correspondente à região dentro do anel vermelho sobre a curva de nível da Figura 3.8: temperatura de processo de 24°C, concentração de ácido láctico de 0,02M, concentração de lactato de cálcio de 0,05M para uma hora de desidratação osmótica (menor tempo necessário para que maior parte da transferência de massa ocorra, garantindo a entrada de sal).

Outro atributo importante para a obtenção de um produto osmoticamente desidratado, com maior estabilidade, é a atividade de água. Assim, analisando-se o item 3.3.4, verifica-se que os menores valores de  $a_w$  são atingidos a partir de duas horas de tratamento osmótico, quando a concentração de sal é fixada em 0,05M (nível 0) – região verde mais escura da Figura 3.9 correspondente a valores de  $a_w$  entre 0,966 e 0,970. Fixou-se, então, o valor de concentração de sal em 0,05M e construiu-se a superfície da variação da  $a_w$  em função da temperatura e concentração de ácido láctico (Figura 3.9).



**Figura 3.9** – Superfície de resposta e curva de nível para a atividade de água das amostras tratadas osmoticamente por 2 horas com a concentração de sal fixa em 0,05M (nível 0).

O anel vermelho na Figura 3.9 mostra a região em que se obtém valores de atividade de água iguais a 0,968 com a menor temperatura (por motivos econômicos) e a maior concentração de ácido na solução infusora. Desta forma, a condição que fornece a menor atividade de água com a menor temperatura é: concentração de ácido de 0,10M, concentração de sal de 0,05M, temperatura de 47°C por duas horas de tratamento osmótico.

As duas condições escolhidas foram testadas em relação à vida de prateleira e avaliação sensorial na fase de escolha de embalagem (capítulo 5).

### 3.4. Conclusões

Tendo sido realizada a avaliação estatística dos resultados obtidos, a partir dos ensaios de desidratação osmótica com aditivos, pode-se concluir:

1. A temperatura de processo foi o fator que mais influenciou a perda de peso, a umidade, o ingresso de açúcares redutores e a tensão de ruptura do mamão osmoticamente desidratado.
2. A atividade de água do mamão tratado osmoticamente caiu com o aumento da temperatura e com a concentração de ácido láctico, mas não diminuiu com o aumento da concentração de lactato de cálcio.

3. Para obter uma textura próxima à da fruta fresca, escolheu-se a condição de desidratação osmótica com temperatura de processo de 24°C, concentração de ácido láctico de 0,02M, concentração de lactato de cálcio de 0,05M para uma hora de processo.
4. Visando obter pedaços de mamão com baixos valores de atividade de água para futuros ensaios de embalagem sob atmosfera modificada, outra condição de processo foi escolhida: concentração de ácido láctico de 0,10M, concentração de lactato de cálcio de 0,05M, temperatura de 47°C por duas horas de tratamento osmótico.

### 3.5. Referências Bibliográficas

1. A.O.A.C. Official Methods of Analysis, 14th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, 1990.
2. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução 23, de 15 de março de 2000. <http://www.anvisa.gov.br>, 2002.
3. ALZAMORA, S.M.; TAPIA, M.S.; ARGÁIZ, A.; WELTI, J. Application of Combined Methods Technology in Minimally Processed Fruits. **Food Research International**, 26, 125-130, 1993.
4. BARTOLOME, L.G.; HOFF., J.E. Firming of Potatoes: Biochemical Effect of Preheating. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 20, 2, 266-270, 1972.
5. BRUL. S.; COOTE, P. Preservative agents in Foods. Mode of action and Microbial resistance mechanisms. **International Journal of Food Microbiology**, 50, 1-17, 1999.
6. CHARDONET, C.O.; CHARRON, C.S.; SAMS, C.E.; CONWAY, W.S. Chemical changes in the cortical tissue and cell walls of calcium-infiltrated 'Golden Delicious' apples during storage. **Postharvest Biology and Technology**, 28, 97-111, 2003.
7. CHIRALT, A.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; TALENS, P.; MORAGA, G.; AYALA A.; FITO, P. Changes in Mechanical Properties Throughout

- Osmotic Processes. Cryoprotectant Effect. **Journal of Food Engineering**, 49, 129-135, 2001.
8. FAYYAZ, A.; ASBI, B.A.; GHAZALI, H.M.; CHE-MAN, Y.B.; JINAP, S. Kinetics of Papaya Pectinesterase. **Food Chemistry**, 53, 2, 129-135, 1995.
  9. HANDA, A.K; GAFFE, J.; TIZNADO, M.E. Characterization and Functional Expression of a Ubiquitously Expressed Tomato Pectin Methyltransferase. **Plant Physiology**, 114, 1547 – 1556, 1997.
  10. HANDPRINT, [www.handprint.com](http://www.handprint.com) (visitado em 04/05/2004), 2004.
  11. KARAKURT, Y.; HUBER, D.J. Activities of several membrane and cell-wall hydrolases, ethylene biosynthetic enzymes, and cell wall polyuronide degradation during low-temperature storage of intact and fresh-cut papaya (*Carica papaya*) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, 28, 219-229, 2003.
  12. LEE, F.A. Basic Food Chemistry, 2th ed., Westport, Connecticut, The Avi Publishing Company, 1983.
  13. LEWICKI, P.P.; LUKASZUK, A. Effect of Osmotic Dewatering on Rheological Properties of Apple Subjected to Convective Drying. **Journal of Food Engineering**, 45(3), 119-126, 2000.
  14. LSBU, London South Bank University, 2004. Water structure and behavior: The Hofmeister Series. <http://www.lsbu.ac.uk/water> (visitado em 04/10/2004).
  15. LUNA-GUZMÁN, I.; BARRETT, D.M. Comparison of Calcium Chloride and Calcium Lactate Effectiveness in Maintaining Shelf Stability and Quality of Fresh-cut Cantaloupes. **Postharvest Biology and Technology**, 19, 61-72, 2000.
  16. LUNA-GUZMÁN, I.; CANTWELL, M.; BARRETT, D.M. Fresh-cut Cantaloupe: Effects of CaCl<sub>2</sub> Dips and Heat Treatments on Firmness and Metabolic Activity. **Postharvest Biology and Technology**, 17, 201-213, 1999.
  17. 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**, 80, 6, 769-776, 2000.
  18. MIGNANI, I.; GREVE, L. C.; BEN-ARIE, R.; STOTZ, H. U.; LI, C.; SHACKEL, K. A.; LABAVITCH, J. M. The effects of GA<sub>3</sub> and divalent cations on aspects of pectin

- metabolism and tissue softening in ripening tomato pericarp. **Physiologia Plantarum**, 93, 108–115, 1995.
19. MONSALVE-GONZÁLEZ, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.; CAVALIERI, R.P. Mass Transfer and Textural Changes during Processing of Apples by Combined Methods. **Journal of Food Science**, 58, 5, 1118-1123, 1993.
  20. MORTON, J. 1987 <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton> (visitado em 18/02/2004).
  21. MOY, J.H.; LAU, N.B.H.; DOLLAR, A.M. Effects of sucrose and acids on osmotic dehydration of tropical fruits. **Journal of Food Processing and Preservation**, 2, 131 – 135, 1978.
  22. PELEG, M. Characterization of the Stress Relaxation Curves of Solid Foods. **Journal of Food Science**, 44(1), 621-626, 635, 1979.
  23. PICCHIONI, G.A.; WATADA, A.E.; CONWAY, W.S.; WHITAKER, B.D.; SAMS, C.E.. Phospholipid, Galactolipid and Steryl Lipid Composition of Apple Fruit Cortical Tissue Following Postharvest CaCl<sub>2</sub> Infiltration. **Phytochemistry**, 39(4), 763-769, 1995.
  24. RANGANA, S. Manual of Analysis of Fruit and Vegetable Products. Central Food Technological Research Institute, Mysore. Mc Graw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, India, 1977.
  25. RODRIGUES, A.C.C. Influência dos Aditivos na Obtenção de Mamão Desidratados Osmoticamente . Universidade Estadual de Campinas, Dissertação (Mestrado). 1999. 98p.
  26. SAJJAANANTAKUL, T.; PITIFER, L.A. Pectinesterase. In: WALTER, R.H. The Chemistry and Technology of Pectin. Geneva, New York, Academic Press Inc., Harcourt Brace Jovanovich Publishers, 1991, cap. 8.
  27. SUUTARINEN, J.; HEISKA, K.; MOSS, P.; AUTIO, K. The Effects of Calcium Chloride and Sucrose Prefreezing Treatments on the Structure of Strawberry Tissues. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, 33, 89-102, 2000.
  28. TAPIA DE DAZA, M.S., ALZAMORA, S.M.; WELTI-CHANES, J. Combination of Preservation Factors Applied to Minimal Processing of Foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 36, 629-659, 1996.

29. TEIXEIRA, G.H.A.; DURIGAN, J.F.; MATTIUZ, B.H.; JUNIOR, O.D.R. Processamento mínimo de mamão 'Formosa'. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 21, 47 – 50, 2001.
30. VAN BUREN, J.P. The Chemistry of Texture in Fruits and Vegetables. **Journal of Texture Studies**, 10(1), 1-23, 1979.
31. WIGGINS, P.M. Hydrophobic hydration, hydrophobic forces and protein folding. **Physica A**, 238, 113-128, 1997.

## CAPÍTULO IV

### EFEITO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA BRANDA SOBRE PARÂMETROS REOLÓGICOS INSTRUMENTAIS, MICROESTRUTURA E TEXTURA SENSORIAL DOS PEDAÇOS DE MAMÃO *FORMOSA*

#### Resumo

Pedaços de mamão da variedade *Formosa* foram desidratados osmoticamente em duas condições: (1) 0,02M de ácido láctico e 0,05M de lactato de cálcio em solução de sacarose de 50°Brix a 24°C por 1 hora e (2) 0,10M de ácido láctico e 0,05M de lactato de cálcio em solução aquosa de sacarose a 50°Brix a 47°C por 2 horas. As cinéticas de perda de água, ganho de açúcares e atividade de água foram avaliadas e calculados os coeficientes de difusão aparente para a perda de água e para o ganho de açúcares. Foram avaliados os efeitos do processo sobre a textura (instrumental e sensorial), a microestrutura do tecido da fruta, o teor de açúcar, pH, acidez, cor, atividade de água e teor de cálcio do produto desidratado. A desidratação osmótica utilizada proporcionou abaixamento da atividade de água, aumento da acidez total, intensificação da cor e manutenção do tom do mamão tratado. Os coeficientes de difusividade calculados indicaram que a utilização de maiores temperaturas durante o processo osmótico implicaram maiores taxas de transferência de massa, intensificando a perda de água, o ganho de açúcares e a redução da atividade de água. Não houve diferenças significativas entre as amostras antes e depois do tratamento em relação aos parâmetros viscoelásticos (tempo de relaxação e pela tensão assintótica residual), mas a tensão na ruptura apresentou valores maiores, acompanhando o ingresso de lactato de cálcio no tecido. As micrografias do tecido da fruta tratada osmoticamente mostraram que a adição de lactato de cálcio à solução de desidratação mantém a integridade estrutural do tecido da fruta. A condição 1 de desidratação osmótica se mostrou mais adequada ao processamento, gerando um produto final com sua microestrutura preservada e com boa aceitação sensorial de textura e sabor.

#### 4.1. Introdução

A desidratação osmótica constitui um processo brando de retirada parcial de água do material celular, como frutas e hortaliças, sem a necessidade de mudança de fase, o que o torna um método economicamente eficaz de concentração de alimentos (Bolin *et al.*, 1983). A imersão do alimento em uma solução hipertônica contendo açúcares, sais e ácidos causa gradientes osmóticos ativos entre o tecido do alimento a ser tratado e a solução em que está imerso (Medina-Vivanco *et al.*, 2002; Heng *et al.*, 1990; Lericci *et al.*, 1985; Corzo e Gomez, 2003; Park *et al.*, 2002; Raoult-Wack, 1994). A estrutura complexa da parede celular dos tecidos vegetais age como uma membrana semipermeável parcialmente seletiva gerando fluxos, dos quais os principais são a difusão de água do tecido para a solução e a difusão de solutos da solução para o tecido tratado (Kowalska e Lenart, 2001). Como a membrana responsável pelo transporte osmótico não é perfeitamente seletiva, outros solutos presentes nas células podem ser arrastados para a solução infusora durante o processo (Rastogi *et al.*, 2002).

A taxa de transferência de água dos tecidos vegetais depende de fatores como temperatura e concentração da solução osmótica, razão de massa entre amostra e solução desidratante, nível de agitação, geometria e tamanho da amostra. Deve-se notar que estas variáveis podem ser manipuladas dentro de certos limites, fora dos quais a qualidade sensorial do produto final pode ser comprometida (Rastogi *et al.*, 2002; Sereno *et al.*, 2001).

A textura é um dos principais atributos sensoriais das frutas e hortaliças processadas e pode ser comprometida durante processamentos térmicos. Os procedimentos industriais de preservação de alimentos de origem vegetal freqüentemente acarretam perda de qualidade do atributo de textura do produto final em relação ao alimento não tratado. A maioria dos processos em alimentos envolve aquecimento e transferência de massa em um sistema multifásico, gerando alterações físicas, microestruturais e macroestruturais. Os mecanismos de transferência de massa em frutas e hortaliças são particularmente de difícil compreensão devido à complexidade da morfologia do tecido vegetal (Nieto *et al.*, 2004). Assim, estudos a nível celular são de grande importância na avaliação dos fenômenos envolvendo propriedades de transporte e modificações estruturais.

Muitos aspectos da estrutura celular são alterados durante o processo de desidratação osmótica de frutas, acarretando queda na firmeza do tecido vegetal, causada em grande parte por extensa ruptura celular, perda da integridade estrutural das paredes celulares, lamela média e membranas celulares, modificando a compartimentação celular, a matriz das paredes e a permeabilidade das membranas (Gerschenson *et al.*, 2001; Nieto *et al.*, 2004).

Uma forma de preservar a estrutura celular do tecido tratado osmoticamente, evitando a perda de qualidade da textura, é o emprego de sais de cálcio na solução infusora durante o processo de desidratação osmótica, como verificado por vários pesquisadores (Mastrángelo *et al.*, 2000; Suutarinen *et al.*, 2000; Rodrigues *et al.*, 2003). Mesmo ao se mergulhar frutas em soluções contendo sais de cálcio por alguns minutos, o efeito desse aditivo sobre a textura do tecido vegetal pode ser observado (Luna-Guzmán e Barrett, 2000; Luna-Guzmán *et al.*, 1999). Íons  $\text{Ca}^{2+}$  complexam com a parede celular vegetal e a pectina da lamela média mantendo a integridade estrutural das células e conseqüentemente sua pressão de turgor. A ativação por calor da enzima pectinaesterase pode auxiliar também na preservação da firmeza do tecido vegetal. Esta enzima cliva grupos metoxílicos da pectina da fruta, produzindo grupos carboxílicos livres, que complexam com os íons divalentes livres para reticular as cadeias de poliuronida, aumentando a firmeza do tecido (Bartolome e Hoff, 1972; Fayyaz *et al.*, 1995; Lee, 1983).

Apesar de muitos autores terem estudado a desidratação osmótica de mamão (Argaiz *et al.*, 1994; Heng *et al.*, 1990; Palou *et al.*, 1993; Tapia *et al.*, 1999; Rodrigues *et al.*, 2003), nenhum dado relacionando propriedades reológicas, alterações microestruturais e sensoriais após o tratamento osmótico pode ser encontrado na literatura. Assim, neste capítulo teve-se por objetivo estudar os processos de desidratação osmótica nas condições escolhidas por meio da metodologia de superfície de resposta descrita no capítulo 3. As cinéticas de perda de água e de ganho de açúcares foram avaliadas com o objetivo de se determinar os coeficientes de difusão aparente para a perda de água e o ganho de açúcar. Uma vez caracterizado o processo, avaliaram-se seus efeitos sobre alguns parâmetros de qualidade, como a textura (instrumental e sensorial), microscopia da parede celular, o teor de açúcar final, pH e acidez, cor, atividade de água e teor de cálcio do produto desidratado.

## **4.2. Material e Métodos**

### **4.2.1. Material**

Os mamões, a sacarose e os aditivos foram utilizados de acordo como descrito no capítulo 3 (item 3.2.1).

### **4.2.2. Métodos**

Para avaliar os efeitos da desidratação osmótica sobre o mamão, segundo as condições escolhidas no estudo do processo osmótico para esta fruta (capítulo 3), ensaios a tempos prolongados (0, 2, 4, 6, 8, 10, 24, 34, 48 e 60 horas de processamento) foram realizados com a finalidade de se estudar o mecanismo de transferência de massa pela avaliação dos coeficientes de difusividade relativos à perda de água e ganho de açúcares do tecido. Durante estes ensaios a tempos prolongados a atividade de água do tecido tratado foi medida nos mesmos intervalos com o objetivo de avaliar seu comportamento durante o processo osmótico.

Pedaços de mamão frescos e desidratados de acordo com os tratamentos 1 e 2 (condições: (1) 0,02M de ácido láctico e 0,05M de lactato de cálcio em solução de sacarose de 50°Brix a 24°C por 1 hora e (2) 0,10M de ácido láctico e 0,05M de lactato de cálcio em solução aquosa de sacarose a 50°Brix a 47°C por 2 horas) foram avaliados em relação aos parâmetros reológicos instrumentais e à textura sensorial. Estes resultados foram correlacionados às micrografias dos tecidos tratados osmoticamente com e sem lactato de cálcio.

As determinações dos parâmetros de cor (croma e tom), pH, atividade de água, acidez total titulável, teor de açúcares redutores e umidade base úmida foram feitas nas amostras frescas e tratadas osmoticamente nas condições 1 e 2 com o objetivo de avaliar o efeito da desidratação osmótica sobre estes atributos de qualidade.

O preparo das amostras e das soluções de desidratação osmótica foi realizado conforme descrito no capítulo 3 (item 3.2.2).

## **Análise sensorial**

A análise sensorial, para os atributos de sabor e textura, foi de aceitação, utilizando escala hedônica não estruturada de 9 pontos, tendo como limites: desgostei muitíssimo e gostei muitíssimo (fichas no Apêndice B) para um painel não treinado de 30 consumidores de mamão. As amostras foram dispostas em pires brancos codificados com três dígitos aleatórios e servidas de forma monádica a cada provador situado em uma cabine individual. Os resultados da avaliação sensorial foram analisados estatisticamente por meio de análise de variância e teste de Tuckey ao nível de 5% de significância.

## **ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICAS**

As avaliações de umidade, açúcares, pH, acidez total titulável, atividade de água, cor e parâmetros reológicos das amostras desidratadas osmoticamente foram realizadas de acordo com o descrito no capítulo 3 (item 3.2.2).

### **Teor de Cálcio**

Determinado por espectrofotometria de emissão atômica (plasma) segundo metodologia recomendada (métodos 985.35 e 984.27) pela AOAC (2000).

### **Modelagem Matemática da Transferência de Massa – Coeficientes de Difusividade**

Os dados experimentais foram ajustados a um modelo analítico de difusão de Fick para perda de água e ganho de açúcares utilizando uma solução para um paralelepípedo retangular de lados 2a, 2b e 2c (Crank, 1975); iguais a 40, 30 e 15mm, respectivamente. A concentração inicial (t = 0) e a concentração da solução osmótica foram usadas como condições de contorno para resolver a segunda lei de Fick (equação 4.1).

$$M_r \text{ or } S_r = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^{l+m+n}}{(2l+1)(2m+1)(2n+1)} \exp \left\{ -t \frac{\pi^2 D_{ef}}{4} \left[ \left( \frac{2l+1}{a} \right)^2 + \left( \frac{2m+1}{b} \right)^2 + \left( \frac{2n+1}{c} \right)^2 \right] \right\}$$

equação 4.1, onde:

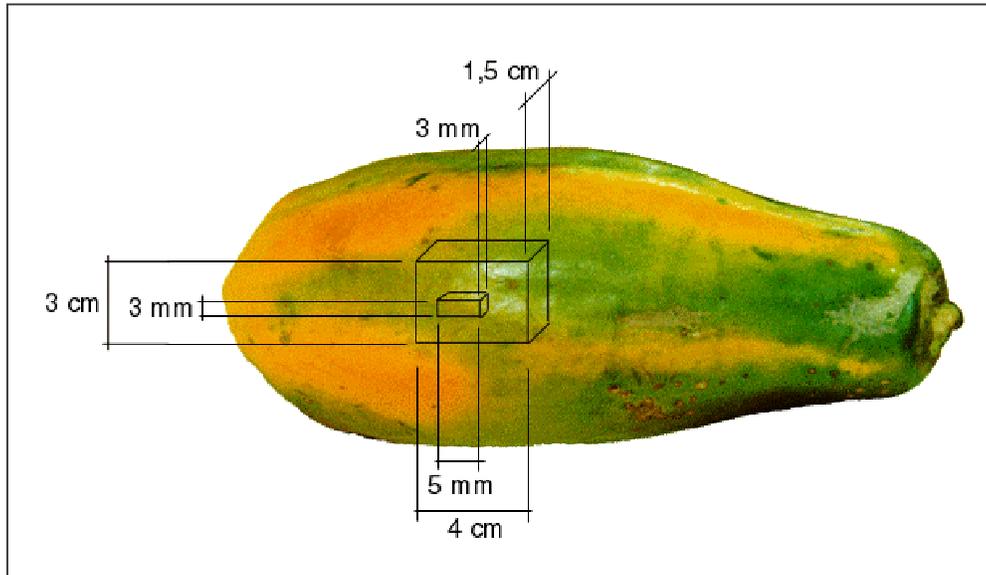
$$M_r = \frac{m_t - m_\infty}{m_0 - m_\infty} \quad \text{e} \quad S_r = \frac{s_t - s_\infty}{s_0 - s_\infty}$$

onde  $M_r$  e  $S_r$  são as razões de umidade e açúcares (g/g);  $m_t$  é o teor de umidade no tempo  $t=t$  (g/g);  $m_\infty$  é o teor de umidade no tempo  $t=\infty$  (g/g);  $m_0$  é o teor de umidade no tempo  $t=0$  (g/g);  $s_t$  é o teor de açúcares no tempo  $t=t$  (g/g);  $s_\infty$  é o teor de açúcares no tempo  $t=\infty$  (g/g);  $s_0$  é o teor de açúcares no tempo  $t=0$  (g/g);  $D_{ef}$  é o coeficiente de difusividade efetiva da perda de água ou do ganho de açúcares ( $m^2s^{-1}$ );  $l$ ,  $m$  e  $n$  são os números dos termos da série;  $a$ ,  $b$  e  $c$  são os comprimentos característicos, meia espessura da amostra (m);  $t$  é o tempo (s).

Como o número de Fourier ( $D_{ef}t/A^2$  onde  $A$  é obtido a partir de  $\frac{1}{A^2} = \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2}$ ) é maior que 0,1 para todos os casos, apenas o primeiro termo da equação 4.1 é significativo e os outros termos podem ser desconsiderados (Rastogi *et al.*, 2002) para o cálculo dos coeficientes de difusividade.

## Microscopia

Foram então retiradas, de um mesmo mamão, paralelepípedos de dimensões 40X30X15mm, dos quais um terço foi desidratado osmoticamente na condição 1, um terço desidratado osmoticamente na condição 2 e um terço foi deixado fresco. Dos pedaços de mamão frescos e osmoticamente desidratados foram retiradas as amostras retangulares da porção média do mesocarpo nas dimensões 3x3mm no plano transversal e 5mm no plano longitudinal, na região de maior diâmetro (Figura 4.1), para a análise de microscopia.



**Figura 4.1** – Ilustração do corte feito na fruta para as análises de microscopia.

As amostras (frescas e desidratadas osmoticamente) foram fixadas em solução contendo 4% de glutaraldeído, 0,2M de fosfato de potássio, 0,1M ácido cítrico monohidratado e 4% de sacarose a pH 7,0 (Luza *et al.*, 1992) e submetidas a vácuo para retirada do ar dos tecidos. Em seguida, foram realizadas a lavagem na solução tampão (à temperatura ambiente) e desidratação em série alcoólica-etílica, com a adição de 4% de sacarose até álcool 50% e posteriormente em série alcoólica-etílica sem aditivos de 70% até 98% (Bron, 2001).

As amostras desidratadas foram infiltradas com resina glicol metacrilato e montadas em resina sintética. Os blocos de resina contendo amostras fixadas foram seccionados transversalmente a  $5\mu\text{m}$  de espessura com o auxílio de um micrótomo Microtom Zeiss da American Optical Corporation, modelo 820 Spencer Microtome, para a montagem das lâminas. As lâminas montadas foram então coradas com azul de toluidina 0,05% em tampão fosfato e ácido cítrico (Sakai, 1973) e observadas em microscópio óptico Olympus, modelo BX 51, utilizando aumento de 20 vezes.

## **Tratamento Estatístico**

O tratamento estatístico visou quantificar as diferenças entre amostras tratadas de forma distinta. Para tanto se realizou análise de variância aplicando teste de Duncan a 95% de confiança, com o auxílio do programa STATISTICA 5.0 (Statsoft, Co).

O ajuste dos dados de perda de água e ganho de açúcares, assim como o cálculo dos respectivos coeficientes de difusão foram realizados com o auxílio do programa Microsoft Excell, versão XP.

## **4.3. Resultados**

Nesta fase do estudo foram avaliados os efeitos da desidratação osmótica sobre os principais atributos de qualidade dos pedaços de mamão processados, assim como a textura instrumental e sensorial e sua relação com a microestrutura do tecido da fruta. Foi também estudado o processo de transferência de massa durante a desidratação osmótica

### **4.3.1. Estudo do processo de transferência de massa na desidratação osmótica**

Os efeitos da desidratação osmótica sobre algumas propriedades e parâmetros de qualidade do mamão podem ser verificados na Tabela 4.1.

Nota-se na tabela uma diminuição clara no teor de umidade simultaneamente ao aumento do teor de açúcares redutores das amostras tratadas osmoticamente, como esperado. Devido à adição de ácido láctico à solução infusora, houve incorporação deste soluto ao tecido, evidenciada pelo aumento estatisticamente significativo do valor de acidez total titulável das amostras tratadas. Entretanto, o valor do pH das amostras não variou significativamente em resposta ao processo de desidratação osmótica. A perda de água do tecido causou diminuição dos valores de atividade de água e a concentração de pigmentos, acarretando um incremento no valor da intensidade de cor – croma – das amostras desidratadas. O ângulo de tom (que determina a cor característica do produto, ou seja, a faixa de comprimento de onda do estímulo luminoso) não se alterou, indicando que o processo osmótico preserva a cor característica do mamão quando desidratado.

De forma geral, pode-se dizer que os efeitos verificados sobre características físico-químicas e os parâmetros de qualidade das condições de desidratação osmótica escolhidas durante o estudo da otimização do processo coincidem com os resultados obtidos no capítulo 3, demonstrando a reprodutibilidade do planejamento experimental empregado anteriormente.

**Tabela 4.1** – Efeito da desidratação osmótica sobre características físico-químicas e atributos de qualidade do mamão.

Composição ou Propriedade	Fruta fresca	Tratamento 1	Tratamento 2
Umidade base úmida (%)	88,28±0,75 <sup>A</sup>	84,15±0,84 <sup>B</sup>	81,62±0,46 <sup>C</sup>
Teor de açúcares redutores (%)	9,44±0,20 <sup>A</sup>	12,96±0,21 <sup>B</sup>	15,98±0,30 <sup>C</sup>
Acidez total titulável (g ác. cítrico/g amostra)	0,036±0,014 <sup>A</sup>	0,063±0,012 <sup>B</sup>	0,102±0,019 <sup>C</sup>
pH	5,07±0,40 <sup>A</sup>	4,93±0,25 <sup>A</sup>	4,54±0,39 <sup>A</sup>
a <sub>w</sub>	0,982±0,001 <sup>A</sup>	0,979±0,003 <sup>B</sup>	0,968±0,002 <sup>C</sup>
Croma (C*)	42,68±4,56 <sup>A</sup>	56,08±5,77 <sup>B</sup>	56,66±5,65 <sup>B</sup>
Tom (H*)	0,82±0,01 <sup>A</sup>	0,89±0,03 <sup>A</sup>	0,85±0,02 <sup>A</sup>

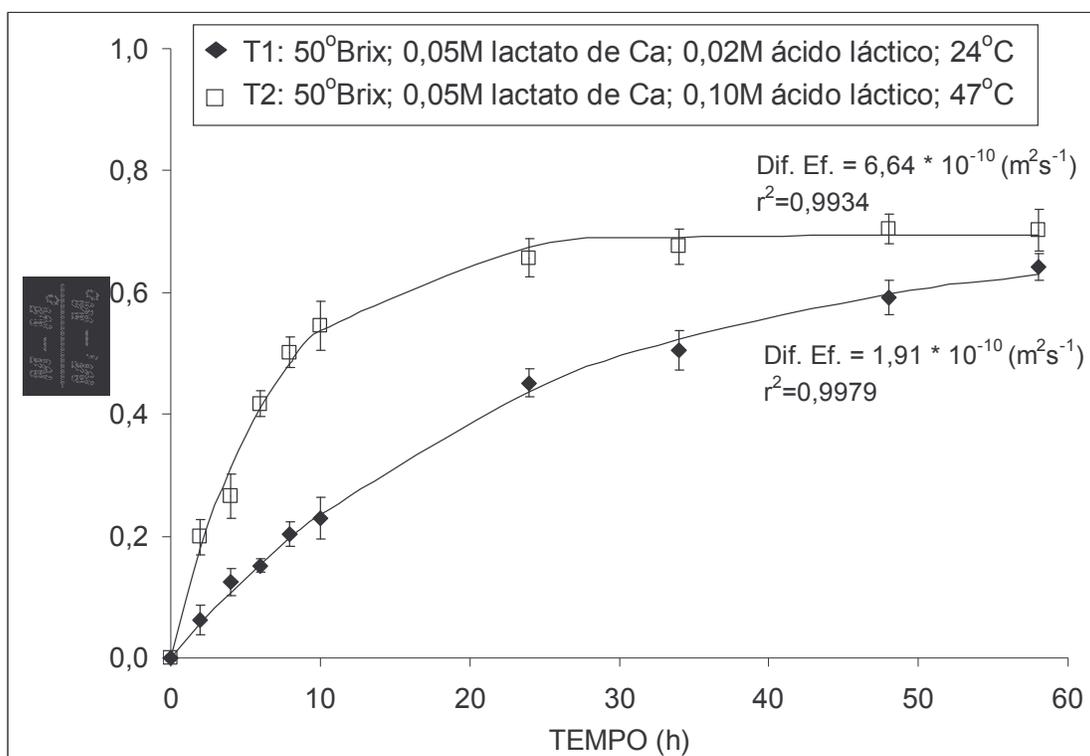
Letras iguais na mesma linha indicam resultados iguais a 5% de significância.

Apesar da quantidade de cálcio presente nos alimentos ser importante sob o ponto de vista nutricional, deve-se observar a biodisponibilidade deste mineral quando se adiciona um sal de cálcio ao tecido, de modo que se possa afirmar o enriquecimento do alimento. A biodisponibilidade dos sais de cálcio dependem do seu peso molecular e do seu grau de solubilidade, sendo mais disponíveis ao organismo humano os sais de cálcio de menor peso molecular e maior solubilidade. Como o lactato de cálcio é considerado um sal de baixo peso molecular e alta solubilidade, em comparação a outros sais de cálcio alimentares, pode-se considerar que este apresenta boa biodisponibilidade, quando adicionado a algum alimento (Weaver, 1998).

O mamão é uma fruta rica em cálcio, com teores muito superiores aos de frutas como abacate, maçã, laranja lima, uva, manga, melão, abacaxi e ameixa. Algumas hortaliças, como o brócolis e a couve-flor constituem fontes alternativas deste mineral,

atingindo teores de 44 e 33mg de cálcio/100g (Sanchez-Castillo *et al.*, 1998). Assim, nota-se que os teores de cálcio do mamão podem ser aumentados com o tratamento osmótico com aditivos, atingindo valores próximos às frutas e hortaliças mais ricas neste mineral.

Os ensaios conduzidos a tempos prolongados permitiram a caracterização da transferência de massa por meio do cálculo dos coeficientes de difusividade da perda de água e do ganho de açúcares, observados nas Figuras 4.2 e 4.3, respectivamente. Estas figuras indicam um bom ajuste da equação 4.1 proposta para o cálculo dos coeficientes de difusividade, evidenciado pelos valores do coeficiente de regressão ( $R^2$ ), que apresentaram valores superiores a 0,993 para todos os ajustes realizados.



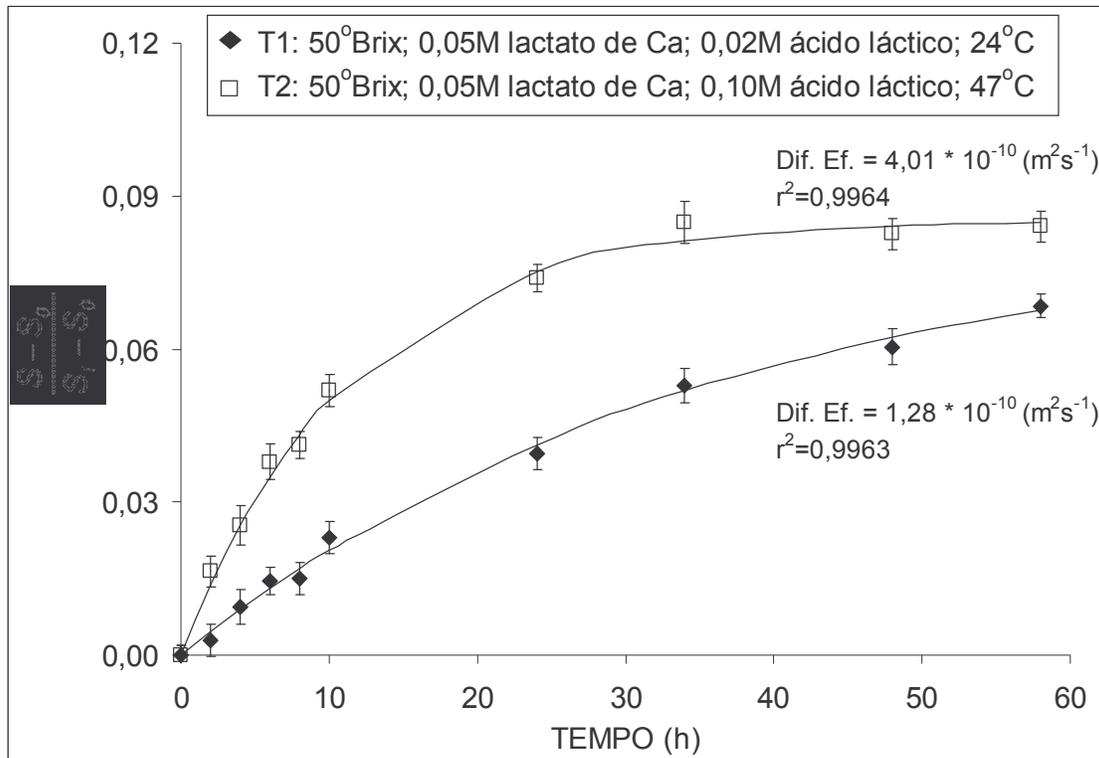
**Figura 4.2** – Cinética de perda de água dos pedaços de mamão desidratados.

A Figura 4.2 mostra que o valor do coeficiente de difusividade para a perda de água das amostras submetidas ao tratamento 1 é  $1,91 \times 10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ , valor 3,5 vezes inferior àquele obtido para as frutas desidratadas de acordo com o tratamento 2, que chegou a  $6,64 \times 10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ . Esta diferença de comportamento em relação à transferência de massa se deve principalmente à temperatura empregada nos diferentes processos, sendo a

maior temperatura responsável pelas maiores taxas de perda de água do tecido, como relatado por outros autores trabalhando com desidratação osmótica de frutas (Rastogi *et al.*, 2002; Park *et al.*, 2002; Sereno *et al.*, 2001; Sacchetti *et al.*, 2001).

Apesar de quantitativamente mais modesta, a transferência de massa em relação ao ganho de açúcares (Figura 4.3) seguiu a mesma tendência que para a perda de água, atingindo valores de coeficientes de difusividade de  $1,28 \times 10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  para as amostras desidratadas segundo o tratamento 1 e de  $4,01 \times 10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  para as amostras submetidas ao tratamento 2.

Outro parâmetro que deve ser considerado é a presença de ácido na solução infusora. De acordo com Monsalve-González *et al.* (1993) ao trabalharem com maçãs desidratadas osmoticamente, a presença de ácido na solução infusora é capaz de promover um aumento na perda de água e no ganho de solutos, mas o efeito da temperatura é muito mais significativo. Assim, é de se esperar que o tratamento 2, tendo sido utilizadas a maior temperatura de processo e maior concentração de ácido na solução infusora, apresente maiores coeficientes de difusividade em relação à perda de água e ao ganho de açúcares.



**Figura 4.3** – Cinética de ganho de açúcares dos pedaços de mamão desidratados.

As diferenças observadas entre as difusividades da água e dos açúcares no tecido do mamão ao longo da desidratação osmótica também foram verificadas por Lazarides *et al.* (1997), trabalhando com processos osmóticos em tecidos vegetais. Os autores atribuem a diferença nos coeficientes de transferência de massa da água ( $4,44 \times 10^{-10} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ) e açúcares ( $1,77 \times 10^{-10} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ), para maçãs desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose, a diferentes mecanismos de transporte para os açúcares e para a água na estrutura celular. Enquanto que a água permeia as membranas celulares através de paredes fosfolipídicas e protéicas, o transporte de açúcares é controlado pelas cadeias protéicas, que sofrem alterações consideráveis a temperaturas de processamento acima de 40°C.

Resultados semelhantes foram obtidos por Rodrigues *et al.* (2003), trabalhando com pedaços de mamão osmoticamente desidratados utilizando quatro tipos de soluções contendo concentrações diferentes de sacarose, ácidos cítrico ou láctico, e lactato de sódio ou cloreto de cálcio como aditivos. Os autores apontaram diferenças entre os coeficientes de difusividade da perda de água e do ganho de açúcares, sendo que o aumento da temperatura e da concentração da solução infusora foram os principais fatores influenciando a intensificação da transferência de massa durante o processo osmótico.

Assim, um dano celular mais intenso é esperado para o tratamento 2, ocorrido a 47°C, facilitando o ingresso de açúcares e a saída de água do tecido tratado osmoticamente.

O comportamento da atividade de água dos pedaços de mamão ao longo da desidratação osmótica pode ser observado na Figura 4.4, onde se observa a semelhança da queda de seu valor com o aumento da perda de água e ganho de açúcares da Figura 4.2 e 4.3, refletindo a relação entre estes parâmetros.

Amostras submetidas ao tratamento 2 apresentaram queda muito acentuada no seu valor de atividade de água nas primeiras 24 horas de processo, tendendo à estabilização após este período. Por outro lado, as frutas submetidas ao tratamento 1 apresentaram decréscimo do valor de atividade de água ao longo de todo o processo osmótico, não alcançando o equilíbrio, mesmo depois de 60 horas de processamento, provavelmente devido à natureza branda deste tratamento.

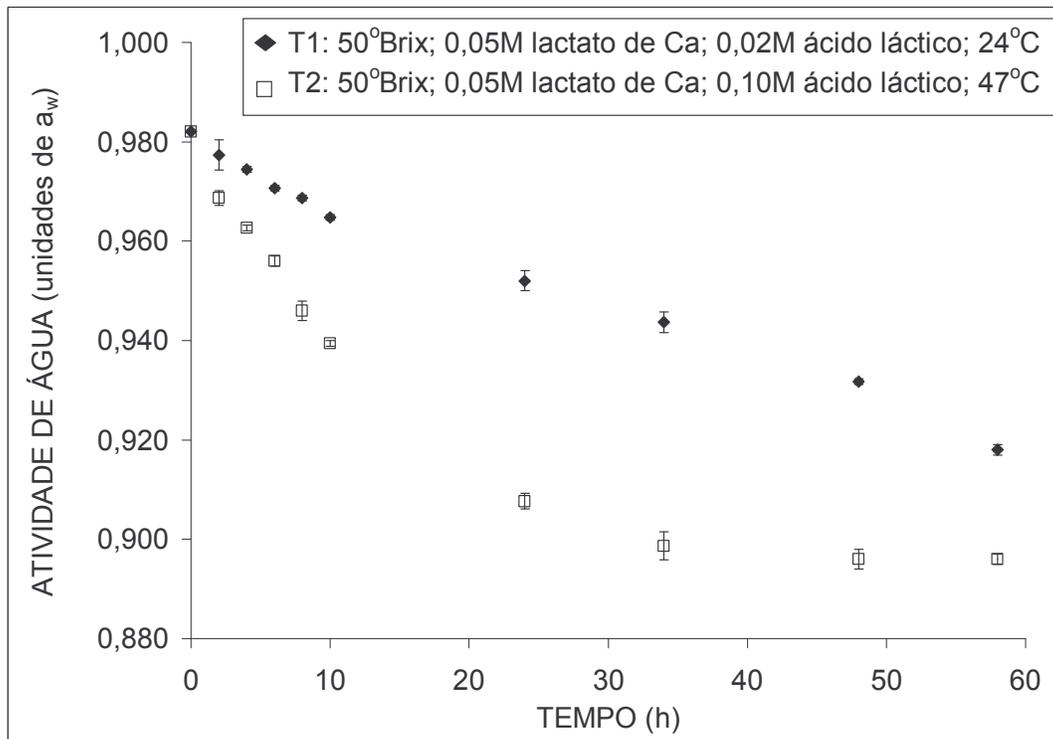


Figura 4.4 –Atividade de água dos pedaços de mamão durante a desidratação osmótica.

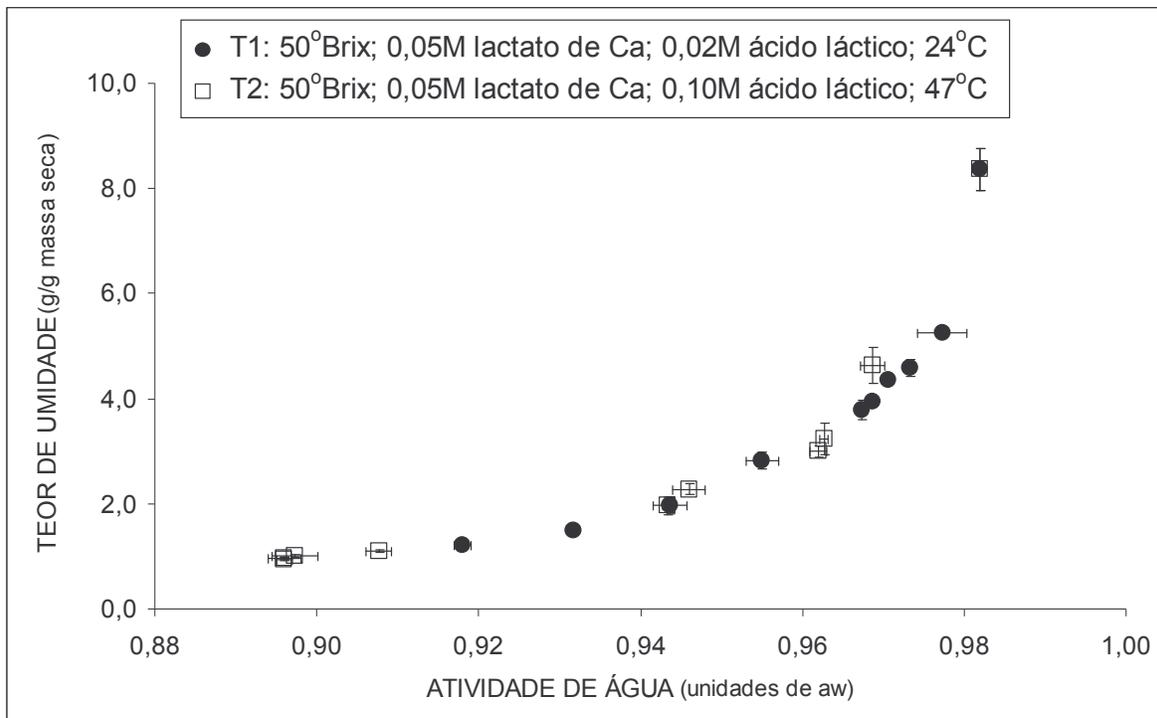


Figura 4.5 – Teor de umidade em base seca em função atividade de água dos pedaços de mamão durante a desidratação osmótica.

A Figura 4.5 mostra o comportamento do teor de umidade em função da atividade de água das amostras tratadas osmoticamente nas condições 1 e 2. Pode-se observar nesta figura, que as amostras tratadas nas diferentes condições apresentam o mesmo comportamento quanto ao teor de umidade base seca final atingido. Embora as Figuras 4.4 e 4.2 mostrem que a temperatura é um fator muito influente na quantidade de água que a fruta perde ao longo do processo osmótico, o comportamento da umidade em função da depressão da atividade de água é semelhante para as duas condições estudadas. Pode-se dizer que a dependência dessas curvas, que caracterizam uma isoterma de sorção na região de alta atividade de água, em relação à temperatura é pequena e, nesta faixa de trabalho (a altas umidades e atividades de água), indistinguível.

Resultados semelhantes foram obtidos por Hubinger et al. (1992), ao determinarem as Isotermas de sorção de mangas, goiabas e abacaxis a 25 e a 50°C por método higrométrico. Os autores constataram a não-dependência da temperatura entre as isotermas realizadas para estas frutas.

#### **4.3.2. Avaliação da textura instrumental e sensorial e da microestrutura**

As Tabelas 4.2 e 4.3 apresentam os valores dos parâmetros reológicos obtidos a baixas (tempo de relaxação e tensão assintótica residual) e a altas deformações (tensão máxima na ruptura) para os pedaços de mamão tratados osmoticamente segundo as condições 1 e 2.

Em relação ao tempo de relaxação e à tensão assintótica residual, nota-se na Tabela 4.2 que ambos os tratamentos osmóticos provocaram modificação de seus valores em relação à fruta fresca, embora a avaliação estatística não aponte diferenças entre estes valores.

**Tabela 4.2** – Valores dos parâmetros reológicos obtidos a baixas deformações (tempo de relaxação e tensão residual).

Parâmetro reológico	Fruta fresca	Tratamento 1	Tratamento 2
Tempo de relaxação - $\sigma_{0,75}$ (s)	15,626 ± 5,944 <sup>A</sup>	16,759 ± 1,775 <sup>A</sup>	17,060 ± 3,774 <sup>A</sup>
Tensão residual - $S_R$	0,386 ± 0,144 <sup>A</sup>	0,239 ± 0,056 <sup>A</sup>	0,265 ± 0,067 <sup>A</sup>

Letras iguais na mesma linha indicam resultados iguais a 95% de significância.

Os valores de tensão máxima na ruptura são afetados de forma estatisticamente significativa pelo processo de desidratação osmótica (Tabela 4.3), acompanhando o ingresso de cálcio no tecido da fruta.

Pode-se observar pelos dados de teor de  $Ca^{2+}$  no tecido, que há ingresso significativo de lactato de cálcio nos dois processos estudados e que este incremento de  $Ca^{2+}$  acompanha o aumento da tensão máxima de ruptura do tecido tratado (Tabela 4.3).

**Tabela 4.3** – Valores dos parâmetros reológicos obtidos a altas deformações (tensão máxima na ruptura) e teor de íons cálcio.

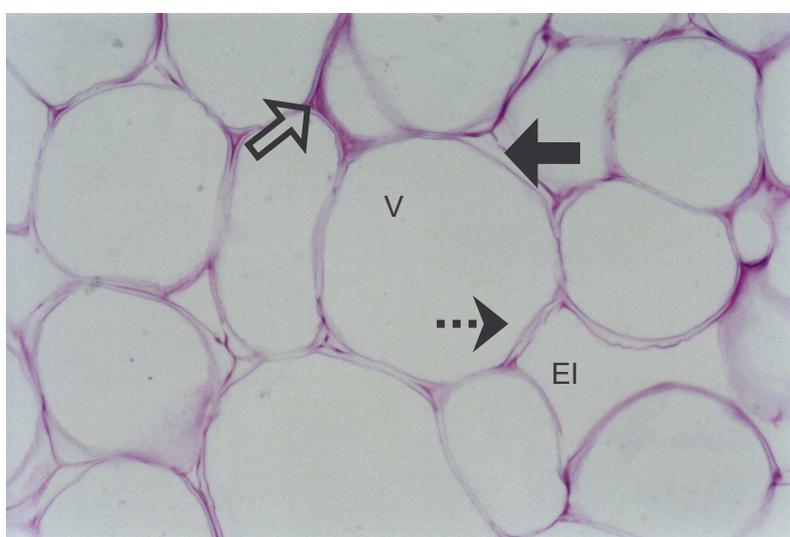
Parâmetro reológico	Fruta fresca	Tratamento 1	Tratamento 2
Tensão na ruptura (kPa)	14,932 ± 3,759 <sup>A</sup>	17,261 ± 3,904 <sup>B</sup>	22,444 ± 1,989 <sup>C</sup>
Tensão normalizada (Pa/Pa)	1,00 <sup>A</sup>	1,16 <sup>B</sup>	1,50 <sup>C</sup>
Teor de $Ca^{2+}$ (mg/100g)	18,7 ± 0,4 <sup>A</sup>	28,2 ± 0,4 <sup>B</sup>	51,4 ± 0,5 <sup>C</sup>

Letras iguais na mesma linha indicam resultados iguais a 95% de significância.

O aumento da tensão máxima na ruptura durante o tratamento com aditivos pode ser explicado por dois motivos: (i) gelificação da pectina da lamela média por íons  $Ca^{2+}$ , e (ii) ação da pectinaesterase desmetilando algumas cadeias de pectina de alto teor de metoxilação e causando sua conseqüente gelificação na presença de íons cálcio. Isto se deve primordialmente à temperatura de desidratação osmótica, já que maiores temperaturas provocam maior taxa de transferência de massa e conseqüente ingresso de sal de cálcio, disponível para reagir com as pectinas, gelificando-as e aumentando a resistência do tecido à deformação, refletida no incremento da tensão de ruptura.

Além de influenciar a transferência de massa durante o processo osmótico, temperaturas elevadas também podem ativar a enzima pectina esterase, que apresenta 60% de sua atividade máxima a 50°C. Como o tratamento 2 foi realizado a 47°C, pode-se presumir a ação da enzima sobre cadeias de polissacarídeo desmetilando-as e tornando-as susceptíveis à polimerização por vinculação iônica via pontes de cálcio entre grupos carboxílicos de cadeias diferentes de pectina.

Os efeitos da desidratação osmótica com e sem a adição de lactato de cálcio sobre a microestrutura do tecido tratado podem ser verificados por meio das figuras 4.6 a 4.10.

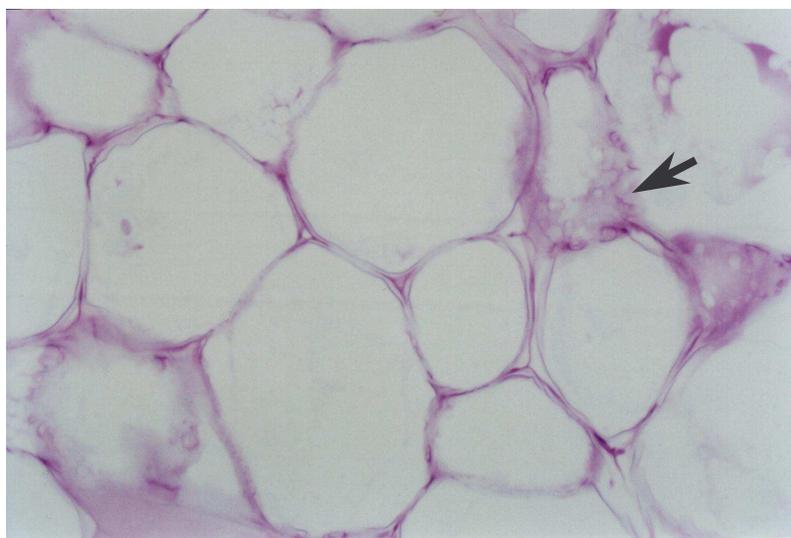


**Figura 4.6** – Microscopia do tecido fresco com aumento de 20 vezes. A seta cheia indica a lamela média, a seta tracejada indica a parede celular, a seta vazia mostra o acúmulo de pectina entre as células. V: vacúolo, EI: espaço intercelular.

A Figura 4.6 mostra um corte transversal do mesocarpo do mamão fresco, onde se observam claramente as paredes celulares e a lamela média (setas tracejada e cheia menores, respectivamente), o vacúolo (V) e o espaço intercelular (EI). A parede celular e a lamela média podem ser observadas como uma região marcada pela intensa coloração do azul de toluidina (corante específico para substâncias pécnicas da parede celular), indicadas pelas setas tracejada e cheia, respectivamente. Coloração mais intensa pode indicar acúmulo de substâncias pécnicas (seta vazia); assim como observado por Suutarinen *et al.* (2000) em um trabalho com morangos, em que os autores mergulharam a fruta em soluções contendo  $\text{CaCl}_2$  previamente ao congelamento e observaram as

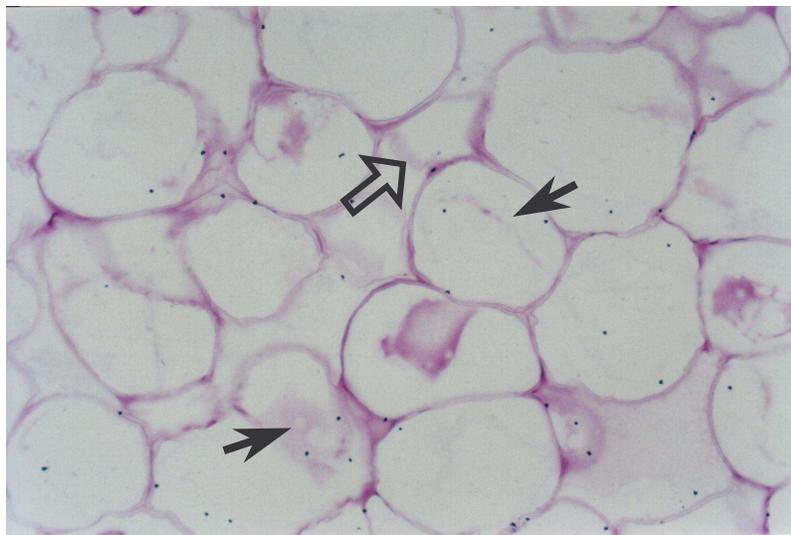
alterações estruturais do tecido da fruta. Pode-se notar também o turgor das células do tecido fresco, identificado pelo formato arredondado das mesmas e a dificuldade de identificação da membrana plasmática. A pressão de turgor força a membrana plasmática contra a parede celular vegetal. A maior porção do volume celular é ocupada pelo vacúolo, envolto pelo tonoplasto, onde se encontra a maior porção de água da célula. Como o tecido fresco contém grande quantidade de água, o vacúolo ocupa grande volume da célula, forçando o citoplasma contra a membrana plasmática e esta contra a parede celular vegetal, dificultando sua visualização.

Após o processo osmótico sem aditivos (Figuras 4.7 e 4.8), algumas alterações podem ser observadas no tecido vegetal, como plasmólise do citoplasma e lise de algumas células do tecido tratado. A Figura 4.7 mostra um corte transversal do tecido de mamão tratado osmoticamente pela condição 1 sem a utilização de lactato de cálcio, onde se observa claramente o dano à parede celular (indicado pela seta), mas a lamela média ainda se mostra íntegra na maior parte da região observada e o tamanho das células se conservou, em relação às células do tecido fresco. Este dano observado na parede celular pode ser atribuído à dissolução e arraste das pectinas nela presentes durante o processo osmótico, fazendo com que esta parede celular perca sua estrutura, desfazendo-se. Entretanto, devido ao caráter brando deste processo, apenas algumas células são afetadas e aquelas que se conservam, parecem manter seu turgor mostrado por seu formato arredondado.



**Figura 4.7** – Microscopia do tecido tratado osmoticamente na condição 1, sem lactato de cálcio. A seta indica uma parede celular danificada; lise celular.

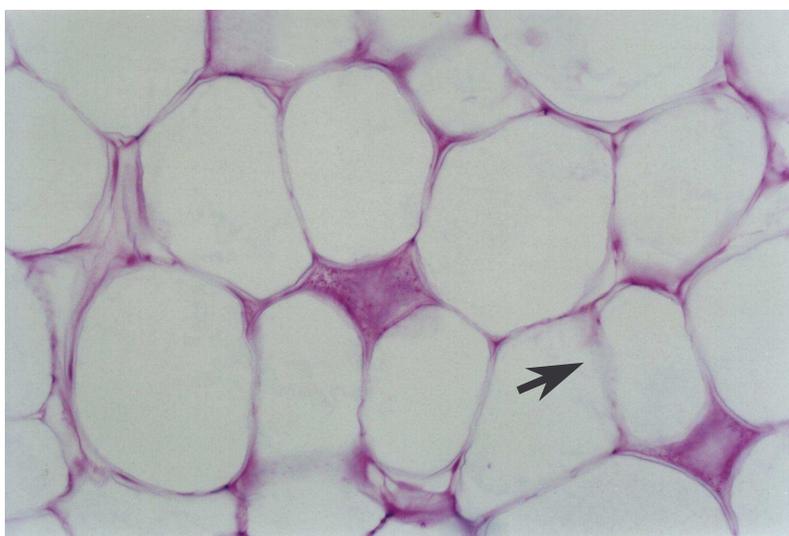
Em contrapartida, o tecido tratado na condição 2 sem a adição do sal de cálcio (Figura 4.8) mostra claramente a diminuição das células em relação ao tecido fresco, o dano à parede celular e a plasmólise do citoplasma. Analogamente ao tecido tratado na condição 1 sem cálcio, o dano causado à parede celular do tecido tratado na condição 2 sem cálcio (seta vazia) pode ser atribuído à dissolução e ao arraste de grande parte das pectinas solúveis durante o processo de desidratação osmótica, levando à perda de coesão dos componentes da parede celular e à conseqüente desestruturação do tecido tratado. Pode-se observar também a plasmólise do citoplasma provavelmente causada pela intensa perda de água do tecido (setas cheias), o que pode também ter provocado a contração das células (células menores em relação ao tecido não tratado) e sua perda de turgor, evidenciada pelo contorno mais rugoso da parede. Neste caso nota-se maior intensidade de danos à estrutura celular, provavelmente atribuído à natureza menos branda do processo osmótico aplicado. Há maior número de células apresentando plasmólise, maior número de paredes celulares desintegradas com conseqüente aumento dos espaços intercelulares e maior dificuldade de visualização da lamela média.



**Figura 4.8** – Microscopia do tecido tratado osmoticamente na condição 2, sem lactato de cálcio. Setas cheias: plasmólise; seta vazia: parede celular se desfazendo.

Uma vez que se procede à desidratação osmótica adicionando-se lactato de cálcio à solução infusora, grande parte dos danos observados à estrutura celular do tecido

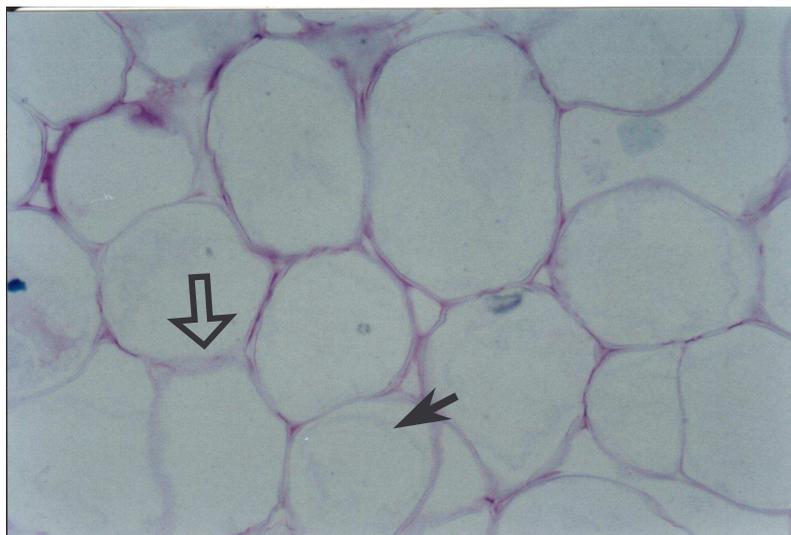
tratado pode ser evitada. A Figura 4.9 mostra um corte transversal do tecido de mamão tratado na condição 1 com a utilização de lactato de cálcio como aditivo durante o processo osmótico. Nesta figura, apesar de poucos pontos de dano à parede celular (seta), observa-se menor impacto da desidratação osmótica à parede celular, provavelmente por evitar a dissolução desta por conservação de seus componentes pécnicos e, por conseqüência, mantendo sua integridade. Outro indício positivo do processo osmótico com cálcio é a manutenção das substâncias pécnicas da lamela média, indicada pela coloração intensa desta região. Pode-se observar também que o turgor celular é mantido, sendo mostradas células arredondadas e de tamanho semelhante ao das células do tecido fresco.



**Figura 4.9** – Microscopia do tecido tratado osmoticamente na condição 1. A seta indica o dano a uma parede celular.

Já para o caso do tecido de mamão tratado na condição 2 (0,10M de ácido láctico e 0,05M de lactato de cálcio em solução de sacarose de 50°Brix a 47°C por 2 horas) com a utilização do lactato de cálcio como aditivo (Figura 4.10), a natureza menos branda desta condição de processo parece superar em parte o efeito conservante do sal, como pode ser visto pela seta vazia, que indica uma parede fracamente corada, evidenciando a perda de substâncias pécnicas e dissolução da parede celular. A plasmólise do citoplasma não pôde ser evitada (seta cheia), mas ocorre em menor intensidade (membrana plasmática menos contraída) que no mesmo tratamento sem a adição de sal de cálcio

(Figura 4.8). Entretanto, a utilização de lactato de cálcio parece manter o turgor das células e evitar sua contração. Apesar da estrutura do tecido parecer relativamente conservada, nota-se a perda de substâncias pécnicas da lamela média, sendo esta dificilmente observada.



**Figura 4.10** – Microscopia do tecido tratado osmoticamente na condição 2. A seta cheia indica a plasmólise do citoplasma; a seta vazia indica dano à parede celular.

Uma vez estudados os parâmetros reológicos e a microestrutura do tecido da fruta tratada osmoticamente, procedeu-se à avaliação sensorial da textura e sabor dos pedaços de mamão desidratados osmoticamente com aditivos.

Os valores de aceitação para os atributos sensoriais de sabor e textura dos pedaços de mamão osmoticamente desidratados e frescos estão listados na Tabela 4.4. Nela pode-se notar que, em relação à textura, os dois tratamentos aplicados mantiveram as características de textura sensorial, sob o ponto de vista estatístico, mostrando que mesmo havendo diferenças estatisticamente significativas entre valores de tensão na ruptura, estas não são percebidas pelo consumidor numa avaliação sensorial.

De forma oposta, o sabor dos pedaços de mamão tratados osmoticamente pela condição 2 apresentou um valor baixo de aceitação (abaixo do limite aceitável – 4,5), tendo sido apontado um gosto amargo como razão para este resultado. Este amargor residual é provavelmente resultado da intensa impregnação de lactato de cálcio no tecido tratado, causando sabor desagradável. Luna-Guzmán e Barret (2000), num trabalho com

melões minimamente processados tratados com sais de cálcio (cloreto ou lactato), verificaram o desenvolvimento de gosto amargo nas frutas mergulhadas em soluções de lactato de cálcio a partir da concentração de 2,5% p/p, apesar da textura ter sido mantida nestas concentrações de trabalho.

**Tabela 4.4** – Valores dos atributos sensoriais para as amostras frescas e desidratadas.

Atributo sensorial	Fruta fresca	Tratamento 1 (1h)	Tratamento 2 (2h)
Textura	6,1 <sup>A</sup>	5,8 <sup>A</sup>	6,0 <sup>A</sup>
Sabor	6,0 <sup>A</sup>	6,4 <sup>A</sup>	4,4 <sup>B</sup>

Letras iguais na mesma linha indicam resultados iguais a 5% de significância.

Desta forma, pela análise dos parâmetros reológicos das frutas tratadas e suas respectivas micrografias, pode-se afirmar que a aplicação de lactato de cálcio promove a manutenção da textura instrumental e sensorial dos pedaços de mamão *Formosa* desidratados osmoticamente por preservar a integridade estrutural do tecido após o processamento. Entretanto, a taxa de ingresso de lactato de cálcio no tecido da fruta tratada na condição 2 se mostrou excessiva, implicando o desenvolvimento de sabor desagradável do produto final.

Pôde-se notar que a avaliação da microestrutura mostrou que o ingresso de sais de cálcio é eficaz na manutenção da integridade celular do tecido tratado osmoticamente, diminuindo os danos à parede celular. Apesar da análise estatística apontar aumento significativo da tensão na ruptura e dos teores de cálcio dos pedaços de mamão osmoticamente desidratados comparados aos frescos, os provadores não puderam perceber a diferença entre a textura das frutas tratadas em relação à fresca, indicando o caráter brando do processamento utilizado.

#### 4.4 Conclusões

A partir dos resultados obtidos experimentalmente e avaliados neste capítulo, pode-se concluir:

1. O processo de desidratação osmótica branda proporciona abaixamento da atividade de água, aumento da acidez total, leve intensificação da cor e manutenção do tom do mamão desidratado.
2. Os coeficientes de difusividade calculados para a perda de água e para o ganho de açúcares indicaram que a utilização de maiores temperaturas durante o processo osmótico acarretaram maiores taxas de transferência de massa aumentando a perda de água, o ganho de sólidos e diminuindo os valores de atividade de água do produto desidratado.
3. A avaliação reológica dos pedaços de mamão mostrou que não houve diferenças significativas entre as amostras antes e depois do tratamento em relação aos parâmetros viscoelásticos (tempo de relaxação e pela tensão assintótica residual). A tensão máxima na ruptura apresentou valores maiores acompanhando o ingresso de lactato de cálcio no tecido e evitando o amolecimento da fruta durante o processo.
4. As micrografias do tecido da fruta fresca e desidratada osmoticamente, com e sem o lactato de cálcio, mostraram que a adição deste sal à solução infusora, durante o processo, foi eficaz na manutenção da microestrutura do tecido tratado. O uso de lactato de cálcio nas amostras tratadas pela condição 2 manteve em grande parte a integridade estrutural do tecido, mas não foi capaz de evitar completamente a plasmólise do citoplasma.
5. O estudo da aceitação sensorial não apontou diferenças perceptíveis na textura dos mamões tratados em relação à fruta fresca. Entretanto, o atributo de sabor apontou as amostras tratadas pela condição 2 como inaceitáveis sensorialmente por apresentarem gosto residual amargo.
6. Pela avaliação da textura como parâmetro de qualidade, pode-se afirmar que a condição 2 de desidratação osmótica não se mostrou adequada ao processamento por tornar o sabor do produto final inaceitável, apesar de ser capaz de manter a textura sensorial estatisticamente igual à da fruta não processada. Desta forma, a condição 1 de desidratação osmótica se mostrou mais adequada ao processamento por sua natureza branda, gerando um produto final com sua microestrutura preservada e com boa aceitação sensorial de textura e sabor.

#### 4.5. Referências Bibliográficas

1. A.O.A.C. Official Methods of Analysis, 18th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, 2000.
2. ARGAIZ, A.; LÓPEZ-MALO, A.; PALOU, E.; WELTI, J. Osmotic Dehydration of Papaya with Corn Syrup Solids Solutions. **Drying Technology**, 12, 7, 1709-1725, 1994.
3. BARTOLOME, L.G.; HOFF., J.E. Firming of Potatoes: Biochemical Effect of Preheating. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 20, 2, 266-270, 1972.
4. BOLIN, H.R.; HUXOLL, C.C.; JACKSON, R.; NG, K.C. Effect of Osmotic Agent and Concentration on Food Quality. **Journal of Food Science**, 48, 202-205, 1983.
5. BRON, I. U. Alterações Anatômicas e Físico-Químicas Associadas ao Armazenamento Refrigerado de Pêssego. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Dissertação (Mestrado). 2001. 66p.
6. CORZO, O. e GOMEZ, E.R. Optimization of Osmotic Dehydration of Cantaloupe using Desired Function Methodology. **Journal of Food Engineering**, 64, 213-219, 2004.
7. CRANK, J. The Mathematics of Diffusion. Clarendon Press, Oxford, segunda edição, 1975.
8. FAYYAZ, A.; ASBI, B.A.; GHAZALI, H.M.; CHE-MAN, Y.B.; JINAP, S. Kinetics of Papaya Pectinesterase. **Food Chemistry**, 53, 2, 129-135, 1995.
9. GERSCHENSON, L.N.; ROJAS, A.M.; MARANGONI, A.G. Effects of Processing on Kiwi Fruit Dynamic Rheological Behaviour and Tissue Structure. **Food Research International**, 34, 1-6, 2001.
10. HANDPRINT, 2004. [www.handprint.com](http://www.handprint.com) (visitado em 04/05/2002).
11. HENG, K.; GUILBERT, S.; CUQ, J.L. Osmotic Dehydration of Papaya: Influence of Process Variables on the Product Quality. **Sciences des Aliments**, 10, 4, 831-848, 1990.

12. HUBINGER, M.D.; MANEGALLI, F.C.; AGUERRE, R.J.; SUAREZ, C. Water Vapor Adsorption Isotherme of Guava, Mango and Pineapple. *Journal of Food Science*, 57, 1405-1407, 1992.
13. KOWALSKA, H.; LENART, A. Mass Exchange during Osmotic Pretreatment of Vegetables. ***Journal of Food Engineering***, 49, 137-140, 2001.
14. LAZARIDES, H.N.; GEKAS, V.; MAVROUDIS, N. Apparent Mass Diffusivities in Fruit and Vegetable Tissues Undergoing Osmotic Processing. ***Journal of Food Engineering***, 31, 315-324, 1997.
15. LEE, F.A. *Basic Food Chemistry*, 2th ed., Westport, Connecticut, The Avi Publishing Company, 1983.
16. LERICI, C.R.; PINNAVAIA, G.; DALLA ROSA, M.; BARTOLUCCI, L. Osmotic Dehydration of Fruit: Influence of Osmotic Agents on Drying Behavior and Product Quality. ***Journal of Food Science***, 50, 1217-1219, 1985.
17. LUNA-GUZMÁN, I.; BARRETT, D.M. Comparison of Calcium Chloride and Calcium Lactate Effectiveness in Maintaining Shelf Stability and Quality of Fresh-cut Cantaloupes. ***Postharvest Biology and Technology***, 19, 61-72, 2000.
18. LUNA-GUZMÁN, I.; CANTWELL, M.; BARRETT, D.M. Fresh-cut Cantaloupe: Effects of CaCl<sub>2</sub> Dips and Heat Treatments on Firmness and Metabolic Activity. ***Postharvest Biology and Technology***, 17, 201-213, 1999.
19. LUZA, J. G.; VAN GORSEL, R.; POLITO, V.S.; KADER, A. A. Chilling Injury in Peaches: A Cytochemical and Ultrastructural Cell Wall Study. ***Journal of the American Society for Horticultural Science***, v.117, n.1, p. 114-118, 1992.
20. 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***, 80, 6, 769-776, 2000.
21. MEDINA-VIVANCO, M.; SOBRAL, P.J.A.; HUBINGER, M.D. Osmotic Dehydration of Tilapia Fillets in Limited Volume of Ternary Solutions. ***Chemical Engineering Journal***, 86, 199-205, 2002.
22. MONSALVE-GONZÁLEZ, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.; CAVALIERI, R.P. Mass Transfer and Textural Changes during Processing of Apples by Combined Methods. ***Journal of Food Science***, 58, 5, 1118-1123, 1993.

23. NIETO, A.B.; SALVATORI, D.M.; CASTRO, M.A.; ALZAMORA, S.M. Structural Changes in Apple Tissue during Glucose and Sucrose Osmotic Dehydration: Shrinkage, Porosity, Density and Microscopic Features. **Journal of Food Engineering**, 61, 269-278, 2004.
24. PALOU, E.; LÓPEZ-MALO, A.; ARGÁIZ, A.; WELTI, J. Osmotic Dehydration of Papaya. Effect of Syrup Concentration. **Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos**, 33, 6, 621-630, 1993.
25. PARK, K.J.; BIN, A.; BROD, F.P.R. e PARK, T.H.K.B. Osmotic Dehydration Kinetics of Pear D'anjou (*Pyrus communis* L.). **Journal of Food Engineering**, 52, 293-298, 2002.
26. RAOULT-WACK, A.L. Recent Advances in the Osmotic Dehydration of Foods. **Trends in Food Science & Technology**, 5, 255-260, 1994.
27. RASTOGI, N.K.; RAGHAVARAO, K.S.M.S.; NIRANJAN, K.; KNORR, D. Recent Developments in Osmotic Dehydration: Methods to Enhance Mass Transfer. **Trends in Food Science and Technology**, 13, 48-59, 2002.
28. RODRIGUES, A.C.C.; CUNHA, R.L.; HUBINGER, M.D. Rheological Properties and Colour Evaluation of Papaya during Osmotic Dehydration Processing. **Journal of Food Engineering**, 59, 129-135, 2003.
29. SACCHETTI, G.; GIANOTTI, A.; ROSA, M.D. Sucrose-Salt Combined Effects on Mass Transfer and Product Acceptability. Study on Apple Osmotic Treatments. **Journal of Food Engineering**, 49, 163-173, 2001.
30. SAKAI, W. S. Simple Method for Differential Staining of Paraffin Embedded Plant Material Using Toluidine Blue. **Stain Technology**, v. 48, n. 5, p. 247-249, 1973.
31. SANCHEZ-CASTILLO, C.P.; DEWEY, P.J.S.; AGUIRRE, A.; LARA, J.J., VACA, R.; BARRA, P. L.; ORTIZ, M.; ESCAMILLA, I.; JAMES, W.P.T. The Mineral Content of Mexican Fruits and Vegetables. **Journal of Food Composition and Analysis**, 11, 340-356, 1998.
32. SERENO, A.M.; MOREIRA, R.; MARTINEZ, E. Mass Transfer Coefficients during Osmotic Dehydration of Apple in Single and Combined Aqueous Solutions of Sugar and Salt. **Journal of Food Engineering**, 47, 43-49, 2001.

33. SUUTARINEN, J.; HEISKA, K.; MOSS, P.; AUTIO, K. The Effects of Calcium Chloride and Sucrose Prefreezing Treatments on the Structure of Strawberry Tissues. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, 33, 89-102, 2000.
34. TAPIA, M.S.; LÓPEZ-MALO, A.; CONSUEGRA, R.; CORTE, P.; WELTI-CHANES, J. Minimally Processed Papaya by Vacuum Osmotic Dehydration (VOD) Techniques. **Food Science and Technology International**, 5, 1, 41-49, 1999.
35. WEAVER, C.M. Calcium in Food Fortification Strategies. **International Dairy Journal**, 8, 443-449, 1998.

## CAPÍTULO V

### VIDA DE PRATELEIRA DAS AMOSTRAS TRATADAS POR DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COM ADITIVOS E ARMAZENADAS SOB ATMOSFERA MODIFICADA PASSIVA

#### Resumo

Pedaços de mamão da variedade *Formosa* foram desidratados osmoticamente em duas condições: (1) 0,02M de ácido láctico e 0,05M de lactato de cálcio em solução de sacarose de 50°Brix a 24°C por 1 hora e (2) 0,10M de ácido láctico e 0,05M de lactato de cálcio em solução aquosa de sacarose a 50°Brix a 47°C por 2 horas. As taxas respiratórias e as taxas de permeabilidade ao oxigênio e ao dióxido de carbono das amostras desidratadas osmoticamente nas duas condições foram determinadas, possibilitando a escolha de quatro tipos de embalagem: (1) bandeja de PS expandido envolta com filme PD 961, (2) bandeja de PS expandido envolta com filme PVC de 11 $\mu$ m, (3) bandeja de PS expandido envolta com filme PEBD de 80 $\mu$ m e (4) embalagens PET com tampa acoplada. Procedeu-se a um teste piloto de armazenamento dos pedaços de mamão desidratados osmoticamente nas embalagens escolhidas por avaliação da composição gasosa (%O<sub>2</sub> e %CO<sub>2</sub>) do interior da embalagem, perda de peso da embalagem e avaliação sensorial de aceitação de sabor e textura. Amostras desidratadas osmoticamente na condição 1 e embaladas em PET apresentaram a melhor aceitação sensorial e promoveram a maior modificação da atmosfera interna da embalagem, e foram escolhidas para o estudo durante a vida de prateleira. Estas amostras foram armazenadas a 5°C por 15 dias, quando foram avaliados a perda de peso da embalagem, aceitação sensorial, contagem microbiológica, teores de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> dentro das embalagens, cor e propriedades mecânicas. Amostras frescas foram armazenadas em embalagens PET e sob ar atmosférico como controle. A adição de lactato de cálcio foi efetiva na manutenção da textura da fruta. O uso de atmosfera modificada passiva combinada com refrigeração foi adequado na preservação da fruta osmoticamente

desidratada por 15 dias, mostrando segurança microbiológica e boa aceitação pelos consumidores durante o período de armazenamento.

## 5.1. Introdução

A vida moderna aliada ao interesse por uma dieta saudável vem provocando crescente procura do consumidor por alimentos com características de frescos, prontos para o consumo, com praticidade e conveniência. Em resposta a esta demanda do mercado, a indústria de alimentos vem desenvolvendo tecnologias que utilizam processamentos brandos de conservação, visando à manutenção da qualidade do produto natural simultaneamente ao aumento da sua resistência à degradação.

A desidratação osmótica é um processo brando alternativo para a conservação de alimentos de estrutura celular, como frutas e hortaliças, que consiste na imersão do tecido a ser tratado em uma solução hipertônica agitada. O processo permite a retirada parcial de água da fruta, simultaneamente à sua formulação direta por incorporação de solutos da solução infusora de interesse na preservação do produto final (Torreggiani e Bertolo, 2001; Krokida et al., 2000).

O produto vegetal osmoticamente desidratado, isto é, parcialmente desidratado e impregnado de sais, açúcares e ácidos com propriedades preservantes requer a aplicação de um sistema de embalagem apropriado com o objetivo de prolongar sua vida de prateleira. A embalagem sob atmosfera modificada passiva pode ser um meio de prolongar a vida de prateleira da fruta desidratada, por promover alteração da composição gasosa da atmosfera interna da embalagem, diminuindo as taxas respiratórias do tecido da fruta, retardando sua senescência e a deterioração por proliferação da microbiota presente (Fonseca et al., 2002). A aplicação da tecnologia de atmosfera modificada envolve, geralmente, a redução dos níveis de oxigênio ( $O_2$ ) e a elevação dos níveis de dióxido de carbono ( $CO_2$ ), reduzindo a respiração oxidativa do tecido vegetal. Paralelamente ao efeito sobre a respiração, a energia necessária para viabilizar outros processos metabólicos é afetada (Hertog *et al.*, 2003; Deshpande et al., 2002). Desta forma, as mudanças nos atributos de qualidade decorrentes do processo natural de amadurecimento são evitadas, prolongando a vida de prateleira do produto embalado.

Assim, neste capítulo objetivou-se o desenvolvimento de um sistema de embalagem sob atmosfera modificada passiva que preserve os pedaços de mamão osmoticamente desidratados com aditivos nas condições escolhidas no capítulo 3.

Esta fase do trabalho objetivou o estudo do acondicionamento sob atmosfera modificada passiva e a aceitação pelo consumidor dos pedaços de mamão tratados por desidratação osmótica nas duas condições escolhidas no planejamento experimental (condição 1: 0,02M de ácido láctico e 0,05M de lactato de cálcio em solução de sacarose de 50°Brix a 25°C por 1 hora e condição 2: 0,10M de ácido láctico e 0,05M de lactato de cálcio em solução de sacarose de 50°Brix a 47°C por 2 horas) com a intenção de aumentar a vida de prateleira da fruta processada.

Escolhida a embalagem mais adequada ao armazenamento, partiu-se para o estudo da vida de prateleira, quando foram avaliados: cor, atividade de água, umidade, teor de açúcares, perda de peso, textura, acidez, teor de açúcares, avaliação microbiológica e testes sensoriais de aceitação do produto armazenado.

## **5.2. Material e Métodos**

### **5.2.1. Material**

Os mamões, a sacarose e os aditivos foram utilizados de acordo como descrito no capítulo 3 (item 3.2.1).

#### **Agente Sanitizante**

Como agente sanitizante foi utilizado o Desinfetante Clorado para Verduras e Frutas – Sumaveg, da Diversey Lever, nas concentrações de 0,66 (p/v), cujo princípio ativo consistia de Dicloro S. Triazinatriona Sódica Dihidratada com 3% de cloro ativo.

#### **Embalagens**

Os pedaços de mamão foram embalados utilizando uma bandeja envolta por um filme plástico, ou utilizando uma bandeja plástica com tampa acoplada; todos eles com

permeabilidade seletiva ao oxigênio, dióxido de carbono e vapor de água. O material das embalagens está relacionado a seguir.

- Bandejas de poliestireno expandido de 110x110x30mm, marca Meiva, modelo M 57, da Jim Embalagens (Campinas, SP);
- Pote hermético redondo de 250ml de polietileno tereftalato (PET) com tampa acoplada, marca Rotlen, da Treviplast (Avellaneda, Buenos Aires);
- Filme poliolefínico coextrusado PD 961 da Cryovac (São Paulo, SP);
- Filme de policloreto de vinila esticável (PVC) de 11 $\mu$ m da Goodyear (Americana, SP);
- Filme de polietileno de baixa densidade (PEBD) de 80 $\mu$ m da Gil Plásticos (Campinas SP).

### **5.2.2. Métodos**

Tendo sido realizada a escolha das melhores condições de desidratação osmótica com auxílio do planejamento experimental, houve a necessidade de se adaptar este processo de desidratação às boas práticas de fabricação com a intenção de prevenir prejuízos ao armazenamento causados por contaminação microbológica durante a manipulação da fruta e também visando à adequação do processamento em larga escala na indústria.

#### **Preparo da Amostra**

Os mamões, depois de selecionados e sanitizados, foram cortados e os pedaços tratados por desidratação osmótica em solução de sacarose com aditivos, enxaguados e centrifugados. Avaliou-se então a taxa de respiração da fruta tratada para a escolha dos filmes e embalagens de acondicionamento.

Uma vez escolhidos os filmes e embalagens mais adequados, por meio de modelo matemático, os pedaços de mamão tratados osmoticamente foram embalados e armazenados a 5°C. Durante a escolha da embalagem foram avaliados atributos sensoriais, composição gasosa no interior da embalagem e perda de peso.

Pedaços de mamão in natura foram armazenados para o estudo da vida de prateleira utilizando embalagem sob atmosfera modificada passiva (em PET) e sob ar atmosférico (em bandejas de PS envoltas em PVC perfurado) como controle.

### **Preparo das Soluções**

Inicialmente, notou-se a necessidade da utilização de um agente sanitizante que diminuísse a contaminação microbiológica durante o processo de corte da fruta, previamente à desidratação. Optou-se, então, pelo emprego do desinfetante Clorado para Verduras e Frutas – Sumaveg nos frutos selecionados ainda inteiros e com casca. Entretanto, após o processo de desidratação osmótica há a necessidade de enxágüe para a retirada da solução desidratante da superfície do alimento. Este enxágüe, se efetuado com água comum, poderia contaminar a fruta desidratada, motivo pelo qual decidiu-se aplicar o sanitizante também no enxágüe após o tratamento osmótico. Durante o teste prévio, verificou-se que a utilização do agente sanitizante na água de enxágüe do produto desidratado não atribuiu ao produto final sabor residual, sendo que as concentrações empregadas de sanitizante foram: solução a 0,66% (p/v) para a fruta com casca e a 0,20% (p/v) para o mamão osmoticamente desidratado.

Tendo sido estabelecido um método de sanitização das frutas, antes e após o processamento osmótico, ainda constatou-se a necessidade de uso de máscaras, luvas e toucas descartáveis, assim como a sanitização dos instrumentos empregados durante o preparo da amostra para a desidratação, minimizando assim a contaminação microbiológica durante o processamento.

Na etapa posterior ao processo osmótico, o excesso de solução de enxágüe da fruta deveria ser removida de forma a evitar nova contaminação. Na indústria o processo mais comum de retirada do excesso de água de lavagem é a centrifugação, realizada com centrífugas adaptadas ao uso com hortaliças e que se mostram eficientes no combate à contaminação, já que prescindem de manipulação do alimento. Utilizou-se para esta etapa uma centrífuga manual para hortaliças (Salad Spinner, modelo K-136, marca Salad Land, Japão), e foi estabelecida a metodologia de uso consistindo em dez giros completos, número que mostrou a retirada do excesso de solução sem danos aparentes no tecido da fruta tratada.

## **Desidratação Osmótica**

Foram efetuados os tratamentos osmóticos utilizando as soluções desidratantes (condição 1: 0,02M de ácido láctico e 0,05M de lactato de cálcio em solução de sacarose de 50°Brix e condição 2: 0,10M de ácido láctico e 0,05M de lactato de cálcio em solução aquosa de sacarose a 50°Brix) como descrito no capítulo 3.

## **Ensaio Referentes à Etapa de Embalagem**

### **TAXA DE RESPIRAÇÃO**

Para a determinação da taxa respiratória da fruta fresca e desidratada sob as duas condições de trabalho, as amostras foram acondicionadas em frascos herméticos e foi coletada uma alíquota gasosa de 0,3 ml do espaço livre do frasco, com o auxílio de seringa hermética inserida através de septos de silicone nas tampas dos frascos. A coleta foi realizada depois dos frascos terem sido armazenados a três temperaturas: 5, 10 e 25°C (temperaturas de 5 e 10°C previstas para o armazenamento e 25°C para temperatura ambiente como referência), sendo medidas a produção de etileno e dióxido de carbono, assim como o consumo de oxigênio das amostras. Estes gases foram quantificados em cromatógrafo gasoso Shimadzu modelo CGS 14A, operando com detector de condutividade térmica a 150°C, coluna Porapak N a 50°C e injetor a 70°C; e os resultados obtidos da análise avaliados por um integrador Shimadzu, modelo C-R4A, baseado em curvas padrão feitas com os gases de calibração (Manolopoulou e Papadopoulou, 1998).

### **PERMEABILIDADE DOS FILMES E EMBALAGEM**

As permeabilidades dos filmes das embalagens disponíveis foram estimadas por meio das equações 5.1 e 5.2, de acordo com Cameron *et al.* (1995) e Oliveira *et al.* (1996).

$$\frac{P_{O_2} \cdot A}{\Delta x} = \frac{RR_{O_2} \cdot W}{[O_2]_{atm} - [O_2]_{pkg}} \quad 5.1$$

$$P = \frac{TP}{\Delta p} \cdot \Delta x \quad 5.2$$

onde

$P_{O_2}$  – coeficiente de permeabilidade do filme ao oxigênio ( $\text{cm}^3 \text{ mm m}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ atm}^{-1}$ )

$A$  – área de superfície do filme ( $\text{m}^2$ )

$\Delta x$  – espessura do filme (mm)

$RR_{O_2}$  – taxa respiratória do produto ( $\text{O}_2$  consumido) ( $\text{cm}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )

$[O_2]_{atm}$  – pressão parcial de oxigênio fora da embalagem (atm)

$[O_2]_{pkg}$  – pressão parcial de oxigênio dentro da embalagem (atm)

$W$  – massa do produto (kg)

$P$  – coeficiente de permeabilidade ( $\text{cm}^3 \text{ mm m}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ atm}^{-1}$ )

$TP$  – taxa de permeabilidade ( $\text{cm}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ )

$\Delta p$  – gradiente de pressão parcial de gás permeante (atm)

Com os resultados das taxas de respiração do produto e das permeabilidades requeridas pôde-se selecionar alguns filmes de embalagem disponíveis no mercado para o teste piloto de embalagem. Entretanto, os fabricantes fornecem dados de permeabilidade a uma temperatura diferente daquela a ser utilizada nos testes; e como a permeabilidade varia com a temperatura, houve a necessidade de se calcular a permeabilidade dos filmes disponíveis nas temperaturas desejadas. Para tanto, utilizou-se o modelo de Arrhenius (equação 5.3), que proporcionou o cálculo da permeabilidade do filme nas temperaturas de trabalho.

$$TP_{O_2} = P_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad 5.3$$

onde

$TP_{O_2}$  – taxa de permeabilidade ao oxigênio (mol/h Pa)

$P_0$  – fator pré exponencial de permeabilidade (mol/h Pa)

$E_a$  – energia de ativação ( $\text{m}^2 \text{ kg/h}^2 \text{ mol}$ )

$R$  – constante universal dos gases ( $\text{m}^2 \text{kg}/\text{h}^2 \text{mol K}$ )

$T$  – temperatura absoluta (K)

As taxas de permeabilidade ao oxigênio dos filmes testados foram medidas experimentalmente com o auxílio do equipamento Oxygen Permeability, modelo OX-TRAN 2/20, marca Mocon (Oliveira *et al.*, 1996).

## ESCOLHA DA EMBALAGEM

A escolha da melhor embalagem para o acondicionamento dos pedaços de mamão osmoticamente desidratados foi realizada de acordo com a seqüência abaixo e será detalhada posteriormente.

1. Determinação da taxa respiratória dos pedaços de mamão desidratados osmoticamente nas duas condições ótimas de trabalho;
2. Estimativa da permeabilidade do filme requerida pela fruta por meio da aplicação do modelo matemático;
3. Determinação experimental da permeabilidade dos filmes disponíveis no mercado;
4. Comparação entre a permeabilidade requerida pela fruta e a permeabilidade dos filmes disponíveis;
5. Seleção de quatro tipos de embalagem para o teste piloto;
6. Teste piloto: armazenamento e avaliação da qualidade dos pedaços de mamão desidratados por perda de peso, composição gasosa no interior da embalagem e análise sensorial;
7. Escolha da melhor embalagem para o acondicionamento e teste de vida de prateleira.

Uma vez selecionados quatro tipos de embalagem (PD 961, PEBD 80 $\mu\text{m}$ , PVC 11 $\mu\text{m}$  e potes PET), partiu-se para o teste piloto de escolha da melhor embalagem para o acondicionamento dos pedaços de mamão desidratados osmoticamente.

Os pedaços de mamão foram desidratados osmoticamente de acordo com as duas condições de processo referidas no item 5.2, dispostos em bandejas de poliestireno expandido e envoltas pelos filmes selecionados anteriormente. Potes herméticos de PET também foram usados para a escolha da embalagem por sua disponibilidade no mercado nacional, praticidade no processo do embalo e custo reduzido em relação a alguns filmes importados. A termoselagem das embalagens com filme de PVC foi realizada em uma seladora Ipcal, equipada com chapa aquecida; e dos filmes PD 961 e polietileno em seladora Hamamura.

As embalagens contendo pedaços do mamão desidratado (aproximadamente 45g) foram armazenadas por 15 dias a 5°C em estufas BOD (Biologic Oxigen Demand) de temperatura controlada marca Tecnal, modelo TE-391. Ao longo deste período (nos tempos 0, 3, 6, 8, 10, 13 e 15 dias) foram avaliados perda de peso da embalagem, composição gasosa do interior da embalagem, sabor e textura sensoriais.

A composição gasosa do espaço livre no interior da embalagem foi determinada com o auxílio de um analisador de gases Dual Head Space Analyser, marca Mocon, modelo 650.

A avaliação sensorial (sabor e textura) foi realizada com painel não treinado de 30 pessoas utilizando escala hedônica não estruturada para a atribuição das notas.

O tempo e a temperatura de armazenamento foram escolhidos fazendo-se um teste prévio com pedaços de mamão desidratados osmoticamente na condição mais branda e acondicionados em bandejas de poliestireno expandido envolto com filme de PVC de 11 $\mu$ m de espessura e levado a BOD a 5 e a 10°C até que se notassem visualmente pontos de contaminação microbiológica. Estas temperaturas se encontram dentro da faixa sugerida para o mamão inteiro da variedade Sunsire Solo (Kader, 2000) e foram usadas como referência para o teste prévio, de onde se concluiu que 5°C foi a mais adequada para a preservação dos pedaços de mamão desidratados.

## **VIDA DE PRATELEIRA**

Os pedaços de mamão frescos e osmoticamente desidratados (condição: 0,02M de ácido láctico e 0,05M de lactato de cálcio em solução de sacarose de 50°Brix a 24°C por 1 hora) foram acondicionados em embalagens PET (escolhidas no teste piloto de

escolha da embalagem) e armazenados por 15 dias a 5°C. Amostras frescas foram embaladas em bandejas de poliestireno expandido envoltas com PVC de 11µm perfurado (7 furos de 0,7mm de diâmetro), como controle, com o objetivo de manter a concentração gasosa do ar atmosférico no interior da embalagem.

As amostras desidratadas acondicionadas em PET sob atmosfera modificada (DO AM), frescas acondicionadas em PET sob atmosfera modificada (FRESCA AM) e frescas acondicionadas sob ar atmosférico (FRESCA AR) foram avaliadas periodicamente (0, 3, 5, 7, 9, 11, 13 e 15 dias) quanto a cor e textura instrumentais, perda de peso, contaminação microbiológica, atributos sensoriais (sabor, textura, cor, aparência, impressão global e intenção de compra), pH, acidez, atividade de água, umidade e açúcares redutores.

### **Análise Sensorial**

A análise sensorial aplicada foi de aceitação, utilizando escala hedônica não estruturada de 9 pontos, tendo como limites: desgostei muitíssimo e gostei muitíssimo para um painel não treinado de 30 consumidores de mamão (Apêndice B). As amostras foram dispostas em pires brancos codificados com três dígitos aleatórios e servidas de forma monádica a cada provador situado em uma cabine individual. A avaliação sensorial foi feita ao longo da vida de prateleira e seus resultados analisados estatisticamente por meio de análise de variância e teste de Tuckey ao nível de 5% de significância, com o auxílio do programa SAS. Cada atributo foi submetido à análise de correlação com o objetivo de se determinar seu comportamento em função do tempo de armazenamento (Meilgaard *et al.*, 1998; Stone e Sidel, 1993).

### **Análises Físico-Químicas**

As avaliações de cor, atividade de água, umidade, teor de açúcares, perda de peso, textura, acidez e teor de açúcares foram realizadas como descrito no capítulo 3 (item 3.2.2).

### **Análises Microbiológicas**

As amostras foram analisadas quanto ao desenvolvimento de *Salmonella*, Coliformes, Bolores, Leveduras e Bactérias Lácteas segundo a metodologia de Vanderzant e Splittstoesser (1992). De acordo com a resolução RCD nº 12 de 02 de janeiro de 2001 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária para frutas, produtos de frutas e similares, frutas desidratadas com ou sem adição de açúcar é necessária a ausência de *Salmonella* em 25g e o máximo  $10^2$ NMP/g de Coliformes.

### **Tratamento Estatístico**

O tratamento estatístico visou quantificar as diferenças entre amostras tratadas para um tempo fixo de armazenamento, e também a alteração de cada amostra ao longo da sua vida de prateleira. Para tanto se realizou análise de variância aplicando teste de Duncan a 95% de confiança, com o auxílio do programa STATISTICA 5.0.

### **5.3. Resultados e Discussão**

Como visto nos capítulos anteriores, uma vez que a fruta em estudo foi caracterizada, dois processos de desidratação osmótica branda foram escolhidos (capítulo 3) e seus efeitos sobre a composição da fruta avaliados (capítulo 4), a seleção de uma embalagem que mantenha as características da fruta processada durante seu transporte e comercialização constitui o item final para completar a avaliação inicialmente proposta. Desta forma, os resultados da fase final deste estudo visam a obtenção de um método de acondicionamento dos pedaços de mamão *Formosa* desidratados osmoticamente utilizando tecnologia de atmosfera modificada passiva. Para tanto, o estudo da embalagem foi dividido em duas partes. A primeira parte trata da escolha da embalagem mais adequada à armazenagem do produto desidratado por dois tratamentos osmóticos; a saber: (i) tratamento 1: 0,02M de ácido láctico e 0,05M de lactato de cálcio em solução de sacarose de 50°Brix a 24°C por 1 hora e (ii) tratamento 2: 0,10M de ácido láctico e 0,05M de lactato de cálcio em solução de sacarose de 50°Brix a 47°C por 2 horas. Em uma segunda fase, depois de escolhida a melhor embalagem, a vida de prateleira do produto armazenado foi avaliada.

### 5.3.1. Escolha da Embalagem

#### Taxa Respiratória

As taxas respiratórias (no tempo 0 de armazenamento) dos pedaços de mamão tratados osmoticamente e dos frescos foram determinadas e estão apresentadas na Tabela 5.1.

**Tabela 5.1** - Taxa de respiração ( $\text{CO}_2$  produzido em ml de gás·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> a 711mmHg) do mamão fresco e desidratado (tratamentos 1 e 2) em função da temperatura.

	5°C	10°C	25°C
FRESCA	17 ± 2 a A	9 ± 1 a B	7 ± 1 a C
TRATAMENTO 1	11 ± 1 b A	15 ± 1 b B	11 ± 1 b A
TRATAMENTO 2	9 ± 1 b A	11 ± 1 c B	9 ± 1 c A

Letras iguais indicam resultados iguais a 5% de significância (letras minúsculas para uma temperatura fixa e maiúsculas para um tratamento fixo).

Observando-se os valores da produção de gás carbônico (Tabela 5.1) para diferentes tratamentos a uma temperatura fixa, nota-se que a 10 e 25°C, tanto as amostras desidratadas na condição 1 quanto aquelas tratadas na condição 2 sofrem aumento da taxa respiratória. Este efeito pode ser atribuído à entrada de açúcares no tecido da fruta em decorrência do processo osmótico, aumentando a disponibilidade deste substrato para a atividade respiratória, intensificando-a.

Efeito semelhante foi observado por Lewicki et al. (2001) ao desidratar osmoticamente fatias de maçã em soluções de sacarose de 61,5°Brix a 20°C por uma e duas horas. Os autores observaram aumento da respiração da fruta tratada, atribuindo este fenômeno ao aumento da disponibilidade de substrato para o processo respiratório pelo ingresso de açúcar durante o processamento.

De 10 para 5°C nota-se que as taxas respiratórias decrescem para as amostras desidratadas osmoticamente, indicando o benefício da refrigeração no retardamento deste processo metabólico, o que não ocorre para as amostras frescas, que mostram aumento da produção de dióxido de carbono, provavelmente em decorrência de injúria pelo frio.

A Tabela 5.2 apresenta a produção de etileno para cada tratamento, onde se observa que a desidratação osmótica aplicada ao mamão diminui a sua produção, para os dois tratamentos. O etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) é um hormônio vegetal que influencia no crescimento das plantas, desenvolvimento e vida de prateleira de muitas frutas em concentrações da ordem de partes por milhão ou partes por bilhão. A presença de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> pode estimular o amadurecimento, a síntese de pigmentos, a destruição de clorofila e amarelecimento, a respiração, a senescência, entre outros processos metabólicos (Salveit, 1999). Como o etileno é um dos responsáveis pelo processo de amadurecimento das frutas (Vermeiren *et al.*, 1999) e o mamão em particular é um produtor moderado deste gás e ainda apresenta sensibilidade à sua presença (Kader, 2000), este efeito de diminuição da produção deste gás, depois da desidratação osmótica, pode ser de grande importância na etapa de armazenagem, prolongando a vida de prateleira por atenuar o metabolismo da fruta. Pode-se notar também, que a intensificação do tratamento osmótico (tratamento 1: 24°C por 1 hora e tratamento 2: 47°C por 2 horas) tende a restringir ainda mais a produção de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, sendo que os níveis de produção deste gás para o tratamento 2 se mostraram abaixo do limite de detecção do cromatógrafo utilizado.

**Tabela 5.2** – Taxa de produção de etileno (ml de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>) a 25°C e 711mmHg para a fruta fresca e cada tratamento osmótico.

Amostra	Etileno a 25°C
FRESCA	0,037 ± 0,005
TRATAMENTO 1	0,015 ± 0,004
TRATAMENTO 2	não detectado

Desta forma, percebe-se o efeito da desidratação osmótica branda aplicada aos pedaços de mamão sobre a taxa de respiração do tecido a diversas temperaturas, podendo-se sugerir que (i) parece proteger o tecido contra injúrias ao frio, permitindo um acondicionamento refrigerado a menores temperaturas (já que as amostras frescas acondicionadas a 5°C mostram considerável aumento da taxa respiratória) e (ii) diminui a produção de etileno retardando o amadurecimento do tecido. Assim, a desidratação

osmótica se mostra como um pré-tratamento potencialmente favorável ao acondicionamento refrigerado sob atmosfera modificada passiva.

### Permeabilidade dos Filmes

Para a estimativa da permeabilidade do filme de embalagem requerida pelo mamão tomou-se como referência a faixa de concentração ótima de O<sub>2</sub> (3 a 5%) sugerida por Kader (2000). Desta forma, obtiveram-se faixas de taxas de permeabilidade para cada temperatura de respiração determinada por meio das equações 5.1 e 5.2 do modelo matemático proposto.

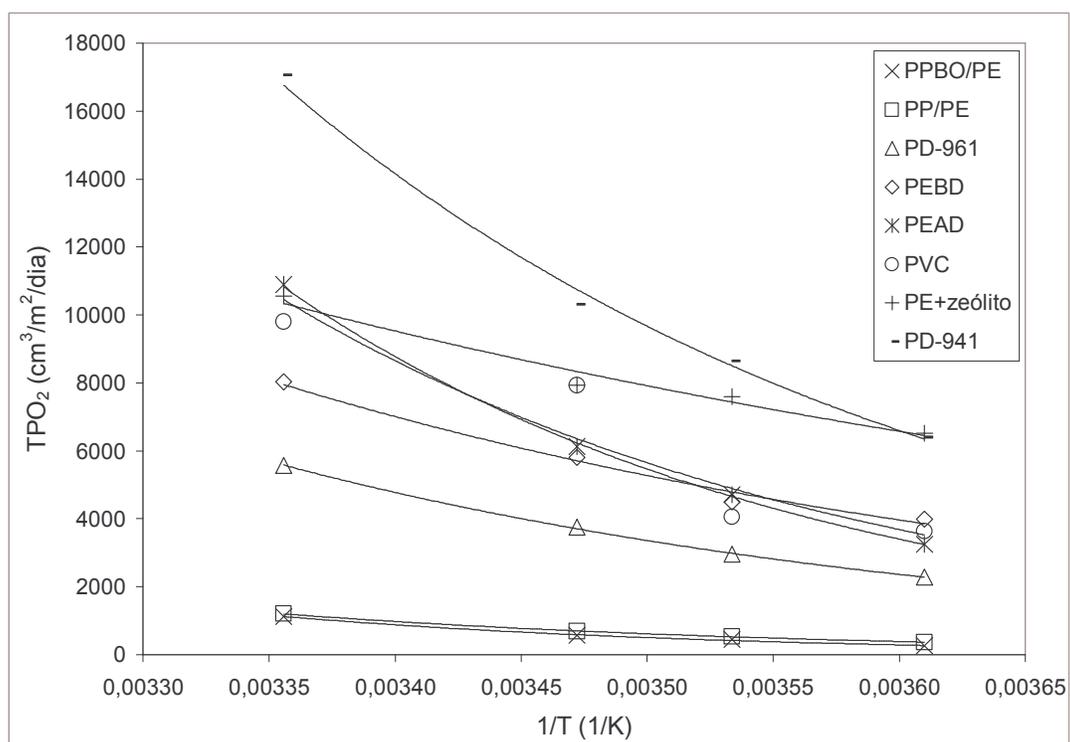
As taxas de permeabilidade requeridas pelas frutas frescas e desidratadas calculadas pelos modelos matemáticos (equações 5.1 e 5.2) estão apresentadas na Tabela 5.3.

**Tabela 5.3** – Taxas de permeabilidades requeridas estimadas para as amostras frescas e desidratadas (tratamentos 1 e 2).

Amostra	Taxa de permeabilidade ao O <sub>2</sub> (cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia)		
	5°C	10°C	25°C
Fresca	4668 a 5252	1359 a 1529	1000 a 1125
Tratamento 1	1602 a 1802	2189 a 2463	1464 a 1647
Tratamento 2	1280 a 1440	1545 a 1738	1240 a 1395

De acordo com as faixas de permeabilidade requeridas calculadas, alguns filmes disponíveis no mercado foram tomados para avaliação. Como os fabricantes destes filmes não fornecem sua taxa de permeabilidade nas temperaturas de trabalho (5 e 10°C) e como o equipamento de medição tem um limite de temperatura mínimo para a realização das medições (10°C), foi necessária a determinação experimental da taxa de permeabilidade a várias temperaturas para que se pudesse construir uma curva relacionando-a a temperatura, de forma a extrapolar (por meio da equação de Arrhenius; equação 5.3) o valor da permeabilidade a 5°C. Deve-se lembrar que estes valores de permeabilidade calculados por extrapolação geram dados não totalmente confiáveis do

ponto de vista matemático, mas revelam uma tendência que pode ser considerada para a escolha preliminar dos filmes comerciais a serem testados. A Figura 5.1 mostra os valores das taxas de permeabilidade ao O<sub>2</sub> medidas (acima de 10°C) e as calculadas por Arrhenius (a 5°C), evidenciando a forte dependência da permeabilidade em relação à temperatura (na faixa de 5 a 25°C) com exceção das blends de polipropileno e polietileno (PPBO/PE e PP/PE) que pouco se alteram com a variação da temperatura.



**Figura 5.1** – Taxas de permeabilidade dos filmes disponíveis no mercado em função da temperatura.

Comparando as taxas de permeabilidade dos filmes e as requeridas pelas amostras, pôde-se escolher quatro embalagens para o teste piloto de armazenamento: (i) PD 961 da Cryovac, (ii) PVC de 11µm e (iii) PEBD de 80µm. Embalagens PET com tampa acoplada foram também escolhidas para avaliação por sua disponibilidade e ampla utilização no mercado. As taxas de permeabilidade ao O<sub>2</sub> e ao vapor de água dos filmes escolhidos para o teste de embalagem estão listadas na Tabela 5.4.

**Tabela 5.4** – Taxa de permeabilidade ao oxigênio (TPO<sub>2</sub>) e ao vapor de água (TPVA) das embalagens previamente escolhidas para o teste piloto.

embalagem	TPO <sub>2</sub>	TPVA
PVC 11µm	14622 cm <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> a 25°C a seco	482 g H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> a 38°C e 90%UR
PEBD 80µm	1287 cm <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> a 25°C a seco	5 g H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> a 38°C e 90%UR
PD 961	5556 cm <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> a 25°C a seco	9,79 g H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> a 38°C e 90%UR
PET	4 cm <sup>3</sup> embalagem <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> a 23°C a 0,21atm	0,243 g H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> a 38°C e 90%UR

Um teste preliminar foi realizado para se testar as temperaturas escolhidas de 5 e 10°C (Kader,2000), embalando-se amostras desidratadas em filme de PVC de 11µm e armazenando-as nas temperaturas de teste. Notou-se que as amostras armazenadas a 10°C apresentaram formações de colônias de bolores na primeira semana de armazenagem, enquanto que as amostras mantidas à temperatura inferior tiveram sua qualidade preservada no mesmo período. Assim, descartou-se a possibilidade de uso da temperatura de 10°C para a armazenagem dos pedaços de mamão frescos e osmoticamente desidratados. Neste mesmo teste notou-se que as amostras mantidas a 5°C duraram 10 dias sem o aparecimento de colônias ou aroma indesejável, fazendo com que fosse escolhido um tempo de armazenagem de 15 dias para o teste piloto.

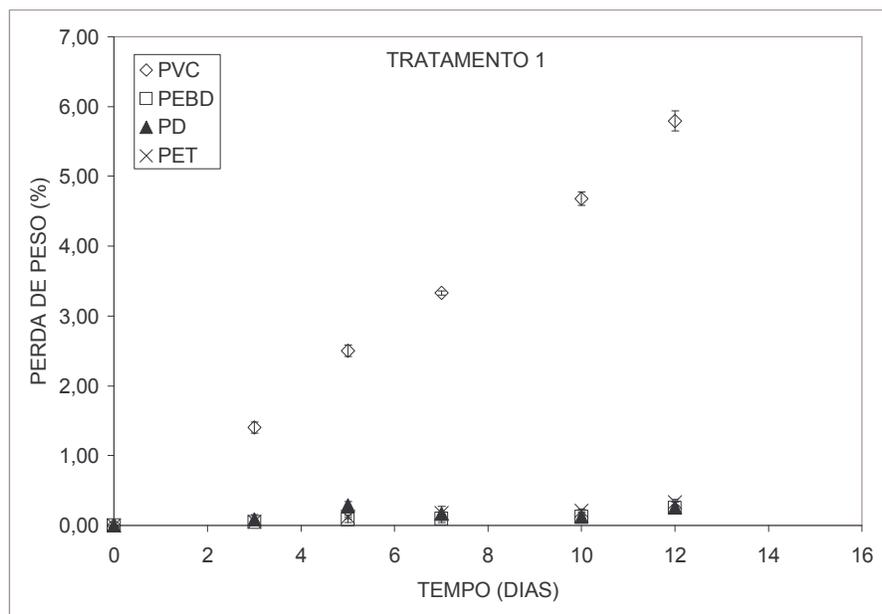
### **Escolha da Embalagem**

As amostras osmoticamente desidratadas nas condições 1 e 2 foram acondicionadas nos potes PET e nas bandejas de poliestireno expandido envoltos com os filmes de PVC de 11µm, PEBD 80µm e PD 961 e armazenados a 5°C por 15 dias. Foram avaliadas periodicamente a composição gasosa no interior da embalagem, a perda de peso da embalagem e as características sensoriais do produto.

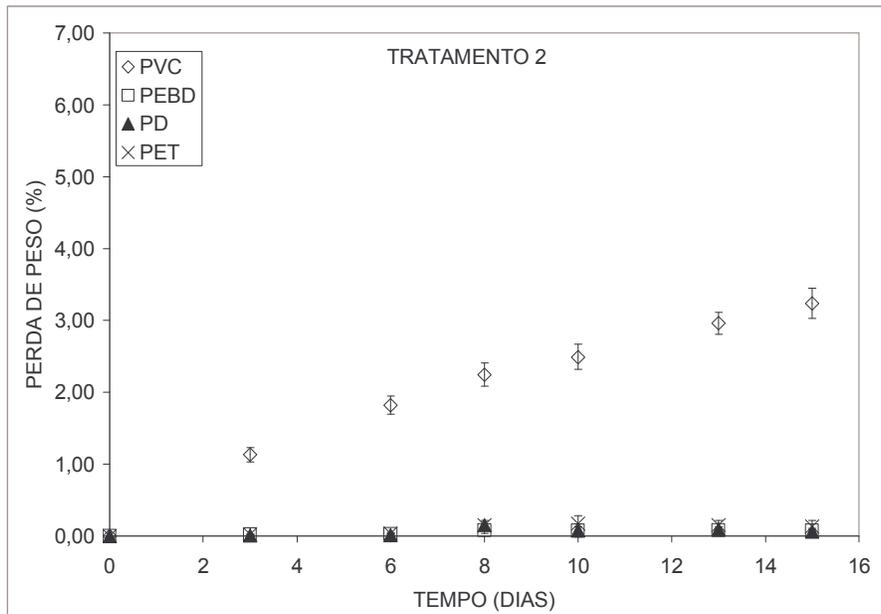
## PERDA DE PESO

A perda de peso das embalagens contendo pedaços de mamão desidratados e armazenadas a 5°C foi avaliada e está apresentada nas Figuras 5.2 e 5.3. Pela observação dos dados pode-se notar que a embalagem de PVC de 11 $\mu$ m apresentou a maior perda de peso, chegando a 6% de perda para o tratamento 1 e 3% de perda para o tratamento 2 depois de 12 dias de armazenagem, evidenciando a fraca barreira ao vapor de água que este filme oferece (alta  $TPVA_{PVC} = 482 \text{ g H}_2\text{O m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  - na Tabela 5.4). A diferença de perda de peso entre os tratamentos se deve provavelmente à natureza do produto embalado, já que pedaços de mamão submetidos ao tratamento 1 (mais brando) perdem menos água durante o processo de desidratação e possuem, portanto, mais água livre em seu tecido, sendo potencialmente mais suscetíveis à perda de peso durante o armazenamento.

As demais embalagens testadas (PEBD, PD e PET) tiveram perda de peso inferior a 0,5%, mesmo depois de 15 dias de armazenamento a 5°C, mostrando-se mais adequadas na manutenção do frescor do produto.



**Figura 5.2** – Perda de peso das embalagens armazenadas a 5°C contendo pedaços de mamão desidratados pelo tratamento 1.



**Figura 5.3** – Perda de peso das embalagens armazenadas a 5°C contendo pedaços de mamão desidratados pelo tratamento 2.

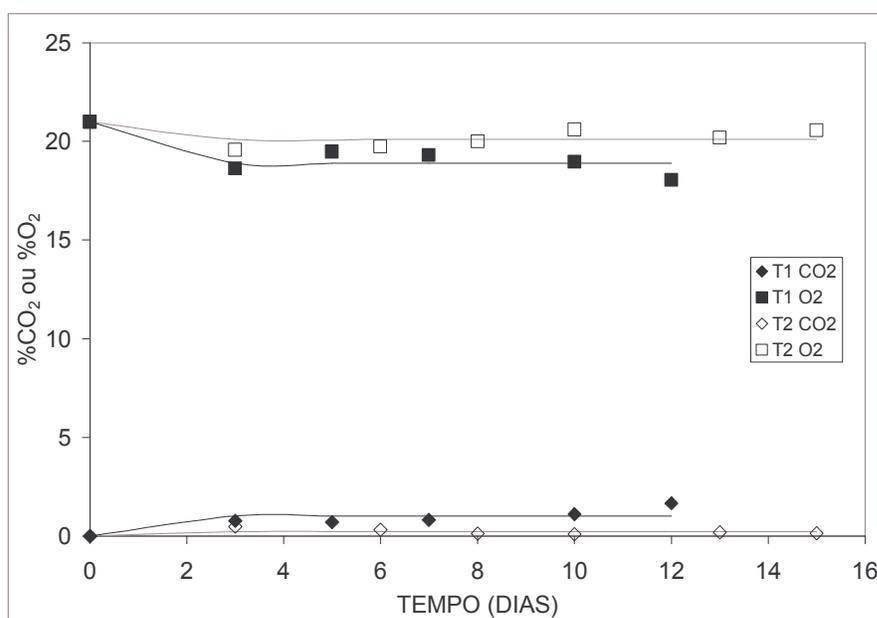
### COMPOSIÇÃO GASOSA

As Figuras 5.4 a 5.7 mostram os teores de dióxido de carbono e de oxigênio no interior das embalagens armazenadas a 5°C contendo pedaços de mamão osmoticamente desidratados pelos tratamentos 1 e 2. Cinéticas de primeira ordem foram utilizadas para ajustar os dados experimentais para se avaliar quando o equilíbrio gasoso foi atingido e qual embalagem proporcionou a modificação da atmosfera interna em menor período.

Em todos os casos nota-se que todas as amostras desidratadas osmoticamente pelo tratamento 2 (0,10M de ácido láctico e 0,05M de lactato de cálcio em solução de sacarose de 50°Brix a 47°C por 2 horas) promoveram modificação débil da atmosfera interna de todas as embalagens utilizadas devido à severidade deste tratamento ao tecido e conseqüente efeito sobre os processos metabólicos, dificultando a formação de uma atmosfera modificada de forma passiva.

De acordo com a Figura 5.4, nota-se que o filme de PVC foi insuficiente para promover a modificação da atmosfera interna da embalagem. Assim, conclui-se que o

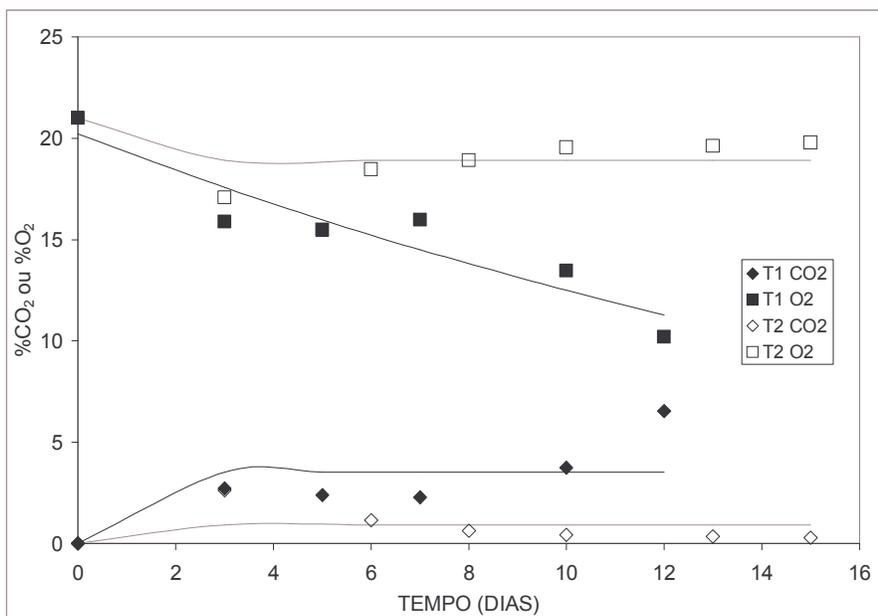
filme de PVC não conseguiu manter um equilíbrio entre permeabilidade do filme ao  $\text{CO}_2$  e ao  $\text{O}_2$  e as taxas de respiração da fruta desidratada, resultando em uma composição final dentro da embalagem muito similar à composição gasosa da atmosfera fora da embalagem. Mesmo assim, nota-se uma pequena diminuição nos níveis de  $\text{O}_2$  e um pequeno aumento nos de  $\text{CO}_2$  para as embalagens contendo mamão osmoticamente desidratado pelo tratamento 1, provavelmente devido à preservação das funções metabólicas de forma mais integral por este tratamento mais brando, permitindo que o tecido da fruta respirasse mais, modificando mais acentuadamente a atmosfera interna da embalagem.



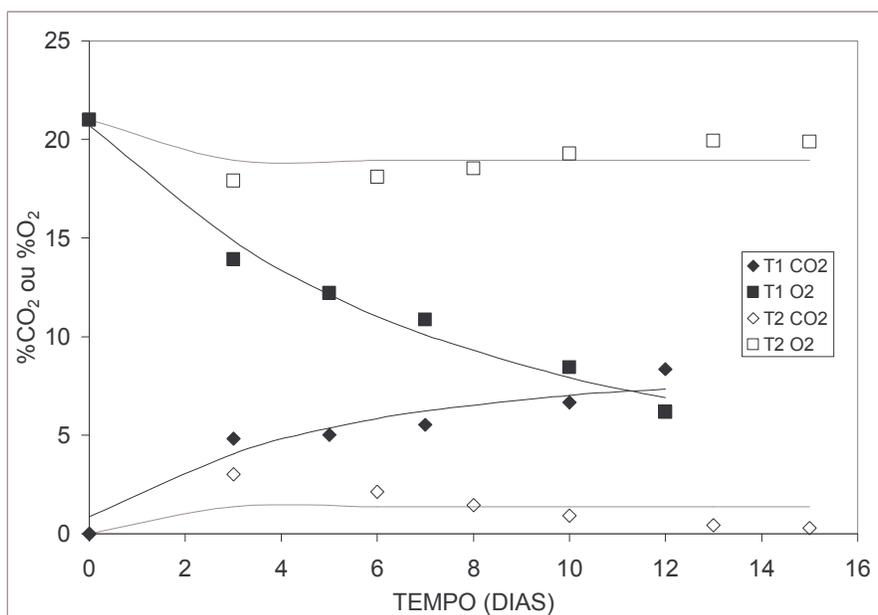
**Figura 5.4** - Teores de  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  no interior das embalagens de PVC armazenadas a  $5^\circ\text{C}$  por 15 dias.

A Figura 5.5 mostra a ação do filme de polietileno de baixa densidade (PEBD) sobre a atmosfera interna da embalagem durante o armazenamento dos mamões osmoticamente desidratados. A atmosfera interna das embalagens contendo as frutas desidratadas pelo tratamento 1 respondem melhor ao processo de armazenagem, modificando a atmosfera interna, mesmo sem atingir uma composição de equilíbrio gasoso no tempo analisado. Como o tratamento osmótico 1 era mais brando, o metabolismo do tecido foi diminuído, mas de forma que sua atividade ainda conseguisse uma respiração suficiente para a modificação da atmosfera dentro da embalagem,

atingindo teores de 10,19% de O<sub>2</sub> e 6,53% de CO<sub>2</sub> ao final de 12 dias de armazenamento refrigerado.



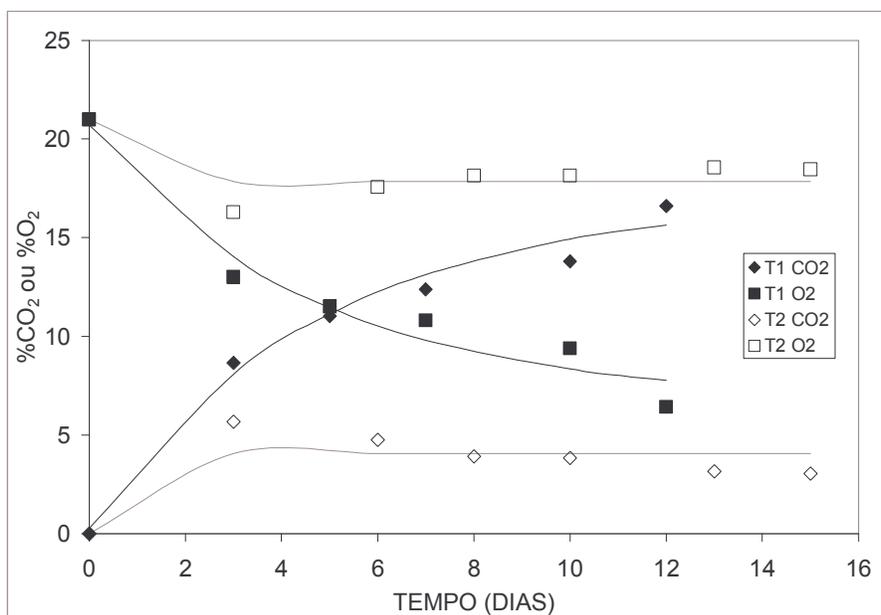
**Figura 5.5** - Teores de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> no interior das embalagens de PEBD armazenadas a 5°C por 15 dias.



**Figura 5.6** - Teores de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> no interior das embalagens de PD 961 armazenadas a 5°C por 15 dias.

A modificação da atmosfera causada pela embalagem de amostras desidratadas com filme PD 961 foi mais intensa e pode ser observada na Figura 5.6. As amostras que receberam o tratamento osmótico 1 e foram embaladas com o filme PD 961 responderam melhor ao armazenamento refrigerado, modificando a atmosfera interna e atingindo teores de 6,18% de O<sub>2</sub> e 8,35% de CO<sub>2</sub> ao final de 12 dias.

As amostras desidratadas acondicionadas em potes de PET promoveram a maior modificação da atmosfera interna das embalagens, como visto na Figura 5.7. As amostras tratadas na condição 1 e acondicionadas em potes PET promoveram a maior modificação da atmosfera interna, chegando muito próximo do equilíbrio gasoso com teores de 6,42% de O<sub>2</sub> e 16,6% de CO<sub>2</sub> ao final de 12 dias de armazenamento.



**Figura 5.7** - Teores de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> no interior das embalagens de PET armazenadas a 5°C por 15 dias.

Com isso, pode-se concluir que todas as amostras desidratadas osmoticamente pelo tratamento 2 (0,10M de ácido láctico e 0,05M de lactato de cálcio em solução de sacarose de 50°Brix a 47°C por 2 horas) sofreram dano mais intenso ao tecido, restringindo demasiadamente o metabolismo da fruta e a conseqüente contribuição na obtenção da modificação da atmosfera interna da embalagem.

No entanto, as amostras tratadas osmoticamente pela condição 1 (0,02M de ácido láctico e 0,05M de lactato de cálcio em solução de sacarose de 50°Brix a 24°C por 1 hora)

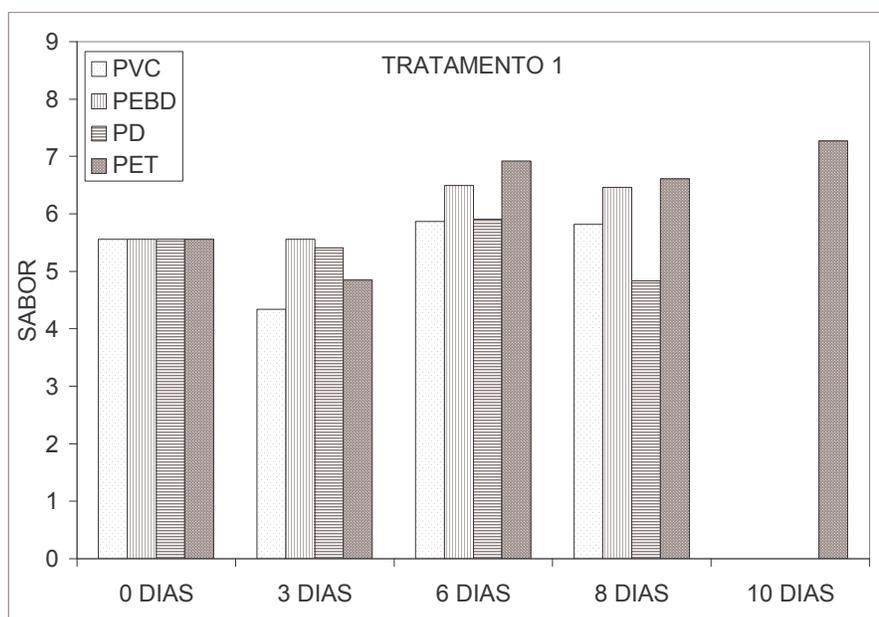
se mostraram adequadas a este tipo de acondicionamento, respondendo de forma mais adequada (em relação às amostras tratadas segundo a condição 2) quando acondicionadas em potes PET, onde houve rápida formação de atmosfera modificada passiva.

## ANÁLISES SENSORIAIS

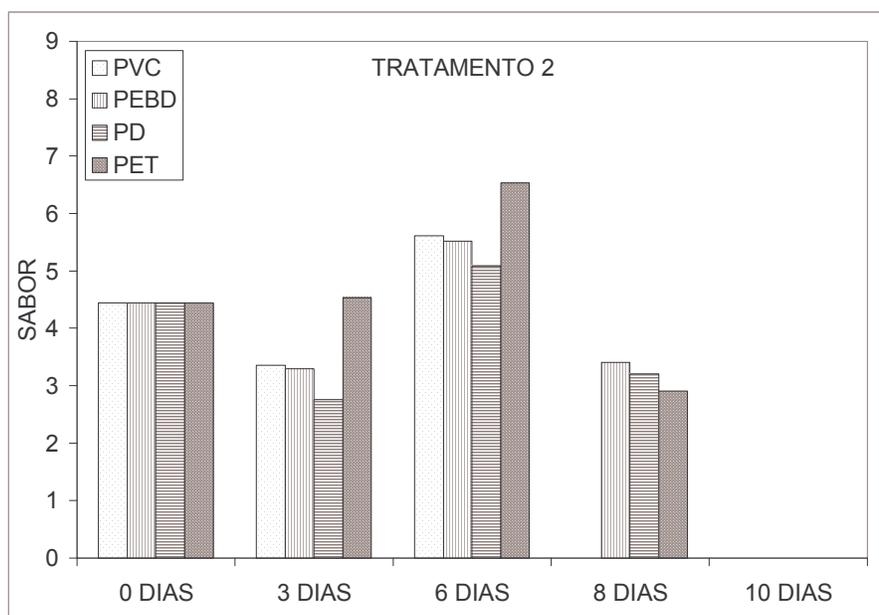
As Figuras 5.8 a 5.11 mostram as notas da escala hedônica dos atributos sensoriais de sabor e textura para as amostras de mamão desidratadas pelos tratamentos 1 e 2 e armazenadas a 5°C.

Pela observação das Figuras 5.8 e 5.9, pode-se notar maior preferência dos consumidores pelo sabor da amostra submetida ao tratamento 1 e armazenada sob refrigeração mesmo ao final do período de avaliação.

A Figura 5.8 mostra que todas as embalagens empregadas conseguiram preservar o sabor das amostras submetidas ao tratamento 1 até 8 dias, mas depois desse período, as amostras embaladas em PVC, PEBD e PD apresentaram pontos de bolores e foram excluídas da avaliação sensorial no 10º dia de armazenamento. Já as amostras submetidas ao mesmo tratamento e acondicionadas em potes PET mostraram as melhores notas para este atributo ao longo de quase todo o período de avaliação, atingindo nota igual a 7,3 ao final de 10 dias.



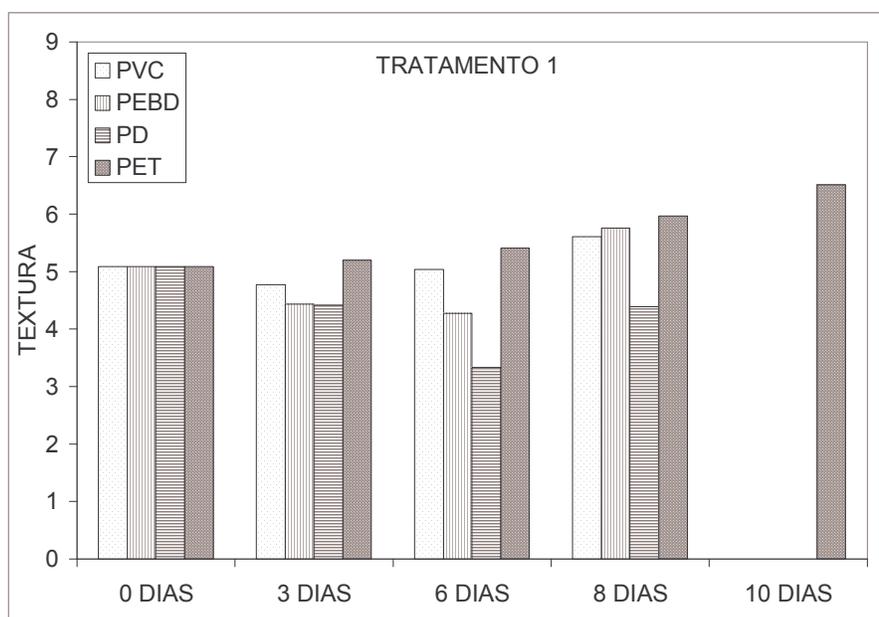
**Figura 5.8** – Notas em escala hedônica para o sabor dos pedaços de mamão desidratados pelo tratamento 1 e armazenados a 5°C.



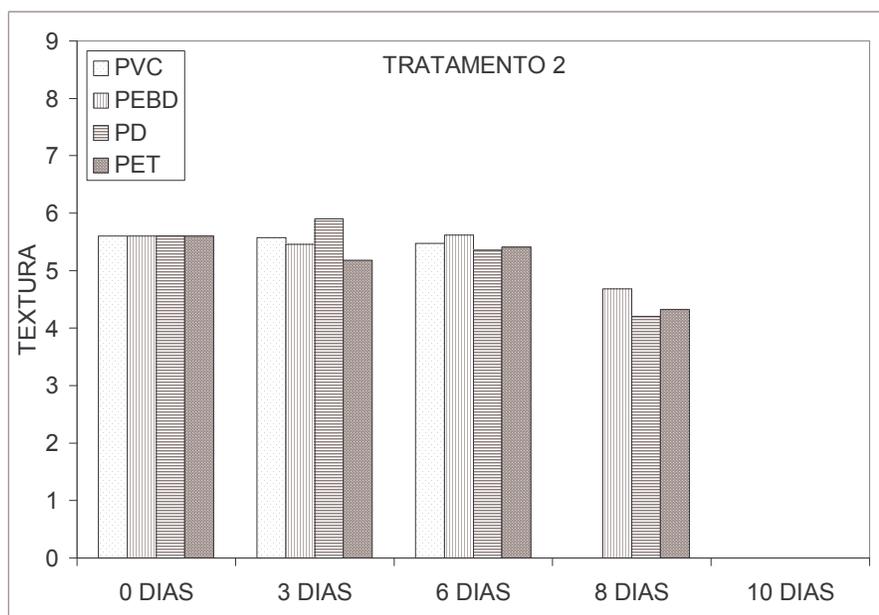
**Figura 5.9** – Notas em escala hedônica para o sabor dos pedaços de mamão desidratados pelo tratamento 2 e armazenados a 5°C.

Por outro lado, os pedaços de mamão tratados osmoticamente pela condição 2 e armazenados a 5°C (Figura 5.19) apresentaram notas inferiores, mesmo no tempo zero de avaliação, evidenciando que a baixa aceitação deste produto se deveu principalmente ao tratamento osmótico mais intenso previamente aplicado à fruta. Como o tratamento 2 foi realizado à maior temperatura e por mais tempo, a impregnação dos solutos da solução infusora foi mais pronunciada, levando a um produto final com sabor menos aceito pelos consumidores. Durante o período de armazenamento estas amostras continuaram apresentando sabor pouco aceitável, indicando que mesmo o acondicionamento refrigerado, aliado ao uso de filmes específicos, não foi capaz de preservar as características sensoriais das amostras por um período prolongado. Os pedaços de mamão acondicionados em PVC apresentaram pontos de contaminação microbiológica após 6 dias de armazenamento, tendo sido excluídos das avaliações posteriores. As demais amostras apresentaram este mesmo comportamento depois de 8 dias de armazenamento e também foram excluídas do teste sensorial.

A textura sensorial avaliada para as amostras armazenadas (Figuras 5.10 e 5.11) mostrou comportamento bem distinto do sabor, tendo apresentado melhor aceitação para as amostras tratadas segundo a condição 2 de desidratação, exceto para as amostras acondicionadas em PET (tratadas pela condição 1). Apesar das notas para textura das amostras tratadas segundo a condição 2 (Figura 5.11) serem maiores, ao longo do armazenamento os provadores indicaram um decréscimo da aceitação deste atributo, diferentemente do ocorrido com as amostras desidratadas pelo tratamento 1 e acondicionadas em PET, que apresentaram nota inicial semelhante, mas ao longo do armazenamento a textura foi melhor aceita que todas as outras amostras, atingindo o valor de 6,51 depois de 10 dias a 5°C. A melhor aceitação da amostra submetida ao tratamento 1 e acondicionada em PET pode ser causada pela combinação de dois fatores: (i) o tratamento 1, por ser mais brando, preservou melhor a textura da fruta a ser armazenada e (ii) a embalagem PET aliada à taxa respiratória da fruta foi capaz de promover a formação de atmosfera modificada passiva retardando o processo de amadurecimento e senescência do tecido, conservando os atributos de textura e sabor do produto por um tempo mais prolongado que os outros tratamentos e embalagens testados.



**Figura 5.10** – Notas em escala hedônica para a textura dos pedaços de mamão desidratados pelo tratamento 1 e armazenados a 5°C.



**Figura 5.11** – Notas em escala hedônica para a textura dos pedaços de mamão desidratados pelo tratamento 2 e armazenados a 5°C.

Desta forma, verificou-se a dependência entre os atributos sensoriais e os resultados de perda de peso e composição gasosa no interior das embalagens armazenadas a 5°C.

Os resultados mostraram que apesar do filme do PVC de 11µm ser muito utilizado comercialmente, ele oferece as condições menos apropriadas ao armazenamento dos pedaços de mamão desidratados osmoticamente, sendo incapaz de evitar a perda de peso do produto e de manter os atributos sensoriais, provavelmente por não modificar a atmosfera interna da embalagem.

As demais embalagens utilizadas (PEBD, PD e PET) foram eficazes ao evitar a perda de peso das amostras, mas apresentaram resultados distintos na modificação da atmosfera interna da embalagem, gerando produtos de aceitação sensorial desiguais.

De forma geral, todas as amostras tratadas osmoticamente pela condição 2 se apresentaram menos adequadas por sua aceitação sensorial baixa. Entre as amostras submetidas ao tratamento 1, aquelas embaladas em PEBD e PD se mostraram adequadas, mas apresentaram contaminação microbiológica antes dos 10 dias de

armazenamento. Com isso, a amostra que mostrou menor perda de peso, maior modificação da atmosfera interna e melhores atributos sensoriais (sabor e textura) ao longo de todo o tempo de armazenamento avaliado foi a amostra desidratada pelo tratamento 1 (0,02M de ácido láctico e 0,05M de lactato de cálcio em solução de sacarose de 50°Brix a 24°C por 1 hora) e armazenada por 10 dias em embalagens PET a 5°C, e por isso foi a condição escolhida para os testes de vida de prateleira.

### **5.3.2. Vida de Prateleira**

Uma vez escolhida a embalagem mais adequada ao armazenamento dos pedaços de mamão desidratados osmoticamente na condição 1, procedeu-se ao estudo da vida de prateleira deste produto. Como o teste de embalagem durou 10 dias sem que a amostra armazenada mostrasse sinais de deterioração, o estudo da vida de prateleira foi estipulado para durar um tempo 50% maior, totalizando 15 dias de estudo, com a intenção de se determinar o tempo máximo de armazenamento quando o consumidor deixa de aceitar o produto ou quando a contaminação microbiológica atinge níveis impróprios ao consumo.

Os mamões foram então sanitizados, cortados, desidratados osmoticamente pela condição 1, acondicionados nas embalagens PET e armazenadas a 5°C por 15 dias. Pedaços de mamão fresco foram acondicionados em PET e sob ar atmosférico (PVC perfurado) para efeito de comparação. As amostras desidratadas acondicionadas sob atmosfera modificada passiva foram codificadas como DO AM; as amostras frescas acondicionadas sob atmosfera modificada passiva foram codificadas como FR AM; e as amostras acondicionadas sob ar atmosférico em PVC perfurado foram codificadas como FR AR.

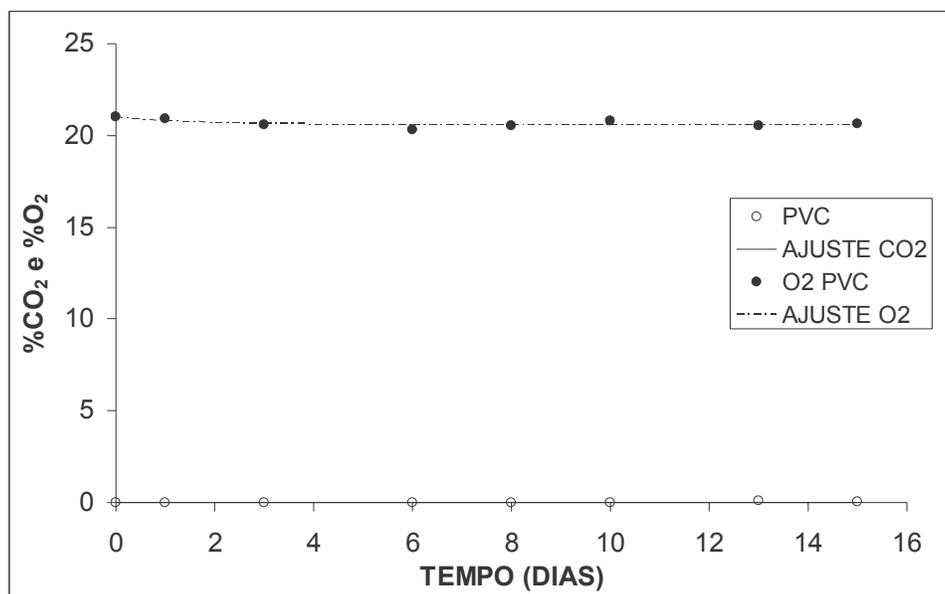
As amostras armazenadas foram avaliadas periodicamente quanto a suas características físicas e químicas, atributos sensoriais e grau de contaminação microbiológica. A composição gasosa (CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>) do espaço livre do interior das embalagens também foi medida ao longo do estudo de vida de prateleira.

O teor de açúcares redutores, umidade e os valores de atividade de água foram avaliados ao longo da vida de prateleira, mas não apresentaram nenhuma alteração durante o armazenamento (Apêndice C).

## Composição Gasosa

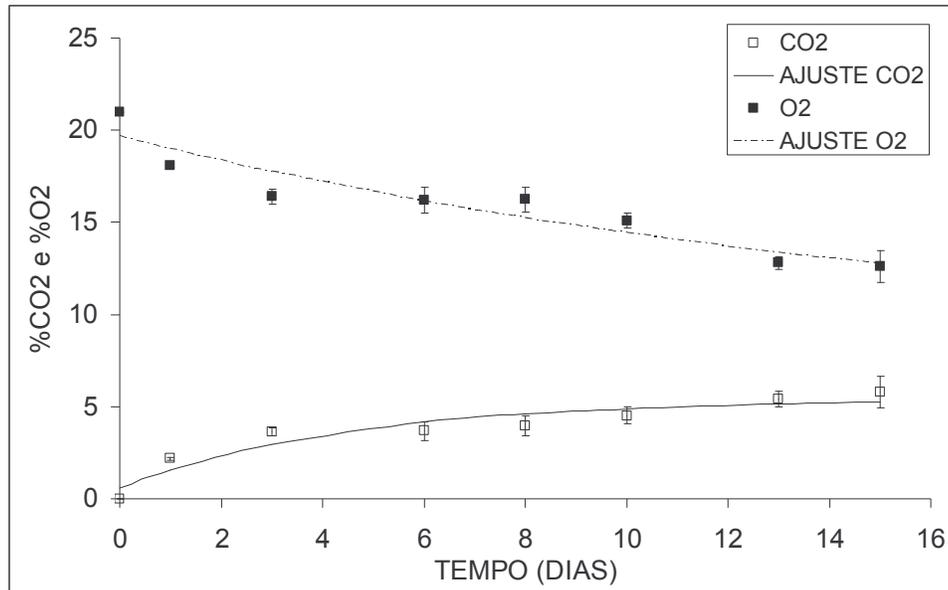
As Figuras 5.12 a 5.14 mostram a composição gasosa do interior das embalagens contendo pedaços de mamão fresco ou desidratado osmoticamente, armazenadas a 5°C ao longo da vida de prateleira.

A Figura 5.12 evidencia a incapacidade de modificação da atmosfera interna pelos pedaços de mamão embalados em PVC perfurado, resultando em composição gasosa igual à atmosférica (20,57% de O<sub>2</sub> e 0,03% de CO<sub>2</sub>) ao longo de toda a vida de prateleira do produto, uma vez que não havia barreira para que a atmosfera modificada passiva ocorresse.



**Figura 5.12** - Composição gasosa (teores de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>) do interior das embalagens de PVC perfurado contendo pedaços de mamão fresco durante a vida de prateleira.

As amostras frescas acondicionadas em PET (Figura 5.13) proporcionam modificação passiva da atmosfera interna da embalagem pelo equilíbrio gerado entre a taxa respiratória do produto (consumo de oxigênio e produção de dióxido de carbono) e a taxa de permeabilidade da embalagem, atingindo teores de 12,91% de O<sub>2</sub> e 5,35% de CO<sub>2</sub>. Entretanto, nota-se na figura que o equilíbrio gasoso foi atingido apenas ao final dos 15 dias de armazenamento, chegando-se a uma queda do teor de oxigênio de 40% em relação ao valor inicial.

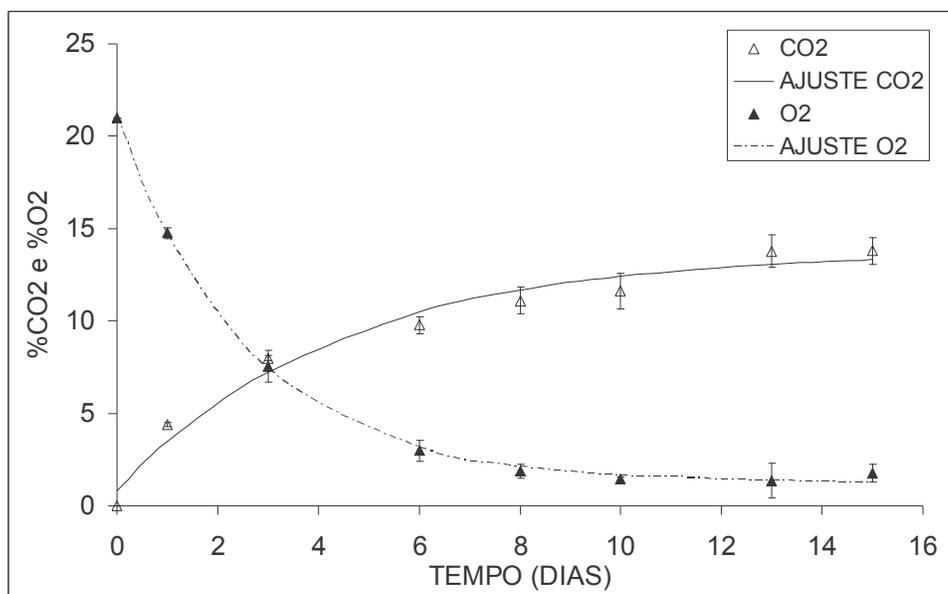


**Figura 5.13** - Composição gasosa (teores de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>) do interior das embalagens de PET contendo pedaços de mamão fresco durante a vida de prateleira.

O comportamento das amostras desidratadas osmoticamente e embaladas em potes PET (Figura 5.14), em relação à modificação da atmosfera interna da embalagem, foi semelhante ao das amostras frescas acondicionadas em PET (mostradas na figura 5.18), mas com uma alteração da atmosfera interna mais intensa, atingindo teores de 0,80% de O<sub>2</sub> e 13,62% de CO<sub>2</sub> ao final da vida de prateleira.

O equilíbrio gasoso parece ter sido atingido depois de 10 dias de armazenamento, quando não há mais diferenças estatisticamente significativas entre as últimas três medidas efetuadas e a queda do teor de oxigênio chegou a 96% do valor inicial. Desta forma, pode-se dizer que a alteração da atmosfera interna da embalagem é mais benéfica à medida que se diminui o teor de oxigênio e se aumenta o teor de dióxido de carbono com a finalidade de retardar ao máximo a respiração e os processos metabólicos do tecido vegetal (Mohamed *et al.*, 1996; Kader *et al.*, 1989). Entretanto, há de se considerar pontos importantes na preservação de alimentos por atmosfera modificada. Um deles é evitar a queda nos níveis de oxigênio de forma a dar início a situações de anaerobiose, provocando a fermentação do produto embalado (Brecht *et al.*, 2003). Outro, mais específico, é o aumento excessivo dos teores de dióxido de carbono, capaz de provocar gosto amargo em algumas variedades de mamão (Kader, 2000). As análises de acidez,

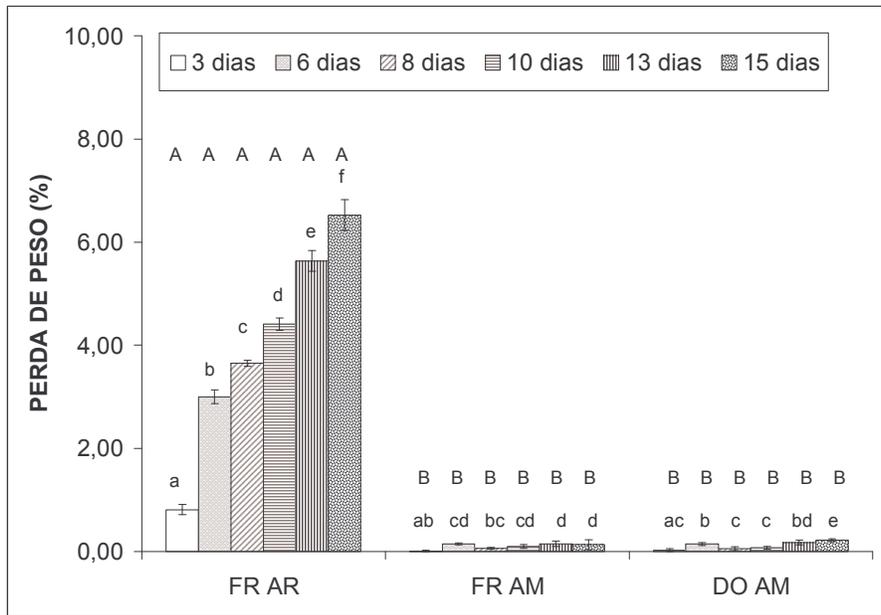
contaminação microbiológica e avaliação sensorial foram realizadas para o controle e verificação destas alterações potenciais.



**Figura 5.14** - Composição gasosa (teores de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>) do interior das embalagens de PET contendo pedaços de mamão desidratados durante a vida de prateleira.

### Perda de Peso

A perda de peso dos pedaços de mamão fresco e desidratado, armazenados a 5°C por 15 dias, está apresentada na Figura 5.15.



**Figura 5.15** – Perda de peso dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira.

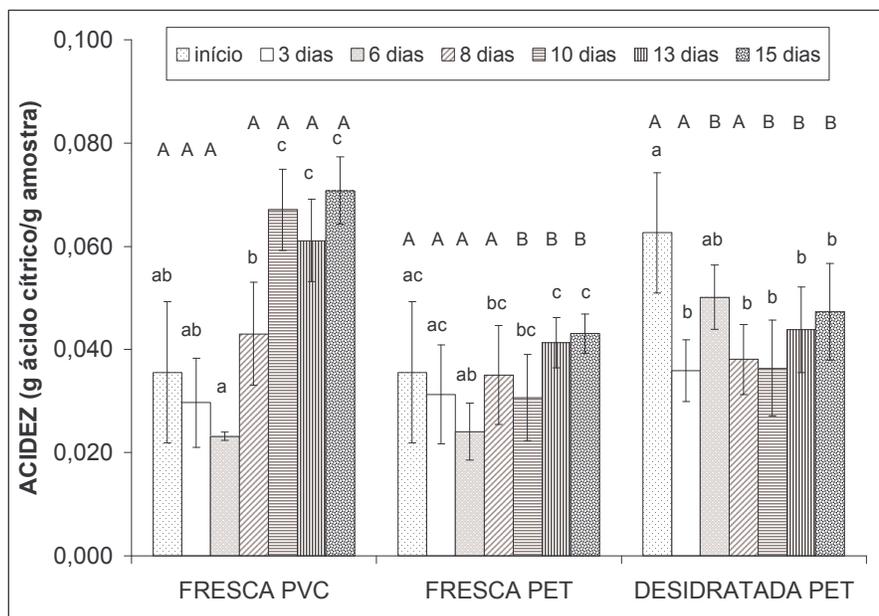
Letras diferentes (minúsculas: entre tempos diferentes para uma mesma amostra; maiúsculas: entre diferentes amostras para um tempo fixo) indicam diferenças significativas a  $p < 0,05$ .

Pode-se notar pela figura que as amostras acondicionadas em PET apresentaram perda de peso inferior a 0,5%, evidenciando a eficácia deste tipo de embalagem na manutenção do frescor das amostras armazenadas por sua boa barreira ao vapor de água, como determinado e mostrado anteriormente (Tabela 5.4). De forma oposta, as amostras embaladas em filme de PVC perfurado mostraram perda de peso acentuada desde a primeira verificação efetuada após 3 dias de armazenamento refrigerado, representando os efeitos da ausência de uma embalagem adequada ao armazenamento de frutas e hortaliças.

## Acidez

A acidez dos produtos embalados está apresentada na Figura 5.16. Pode-se observar que as amostras frescas embaladas em filme de PVC perfurado foram as que apresentaram um nível de acidez mais elevado ao final da vida de prateleira, provavelmente por proliferação microbológica, acarretando desenvolvimento de sabor indesejável no décimo dia de armazenamento (Tabela 5.6). No entanto, o pH de todas as

amostras armazenadas permaneceu constante ao longo de toda a vida de prateleira apresentando valores de  $5,07 \pm 0,40$  para as amostras frescas e  $4,93 \pm 0,25$  para as amostras desidratadas osmoticamente.



**Figura 5.16** – Acidez dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira.

Letras diferentes (minúsculas: entre tempos diferentes para uma mesma amostra; maiúsculas: entre diferentes amostras para um tempo fixo) indicam diferenças significativas a  $p < 0,05$ .

As amostras frescas acondicionadas em PET mostraram comportamento estável em relação ao valor de acidez, denotando um atributo positivo de qualidade do produto armazenado. Da mesma forma, as amostras desidratadas mantiveram constante seu grau de acidez, a partir do terceiro dia de armazenamento refrigerado. No início do armazenamento, as amostras desidratadas apresentam maior acidez mostrando uma queda do primeiro para o terceiro dia, provavelmente, em consequência do amadurecimento do tecido uma vez que os efeitos da modificação da atmosfera interna não foram intensos o suficiente para frear os processos metabólicos da fruta. Depois de 3 dias a alteração da atmosfera interna se mostra mais evidente e eficiente no retardamento dos processos metabólicos, mantendo a acidez da fruta constante durante o restante da vida de prateleira.

Em um trabalho com mamões da variedade *Sunset*, Paull e Chen (1997) estudaram os efeitos do processamento mínimo (corte longitudinal e remoção manual das sementes) sobre o metabolismo da fruta. Os autores constataram um aumento da

produção de etileno por consequência do processamento mínimo, acelerando seu amadurecimento. Entretanto, o armazenamento destas frutas a temperaturas próximas a 4°C reduziu a produção deste hormônio vegetal, retardando os efeitos do amadurecimento.

Moraga *et al.* (2003) também verificaram queda na acidez de grapefruit desidratados osmoticamente e armazenados a 10°C em embalagens PET. A queda da acidez de uma fruta é um indicativo do seu amadurecimento, como reportado por Pesis *et al.* (2003) em um estudo com lichias. Os autores avaliaram a razão entre o teor de sólidos solúveis e a acidez das frutas, notando a característica mais ácida da fruta menos madura e novo aumento da acidez, quando se inicia o processo fermentativo do tecido.

### **Contaminação Microbiológica**

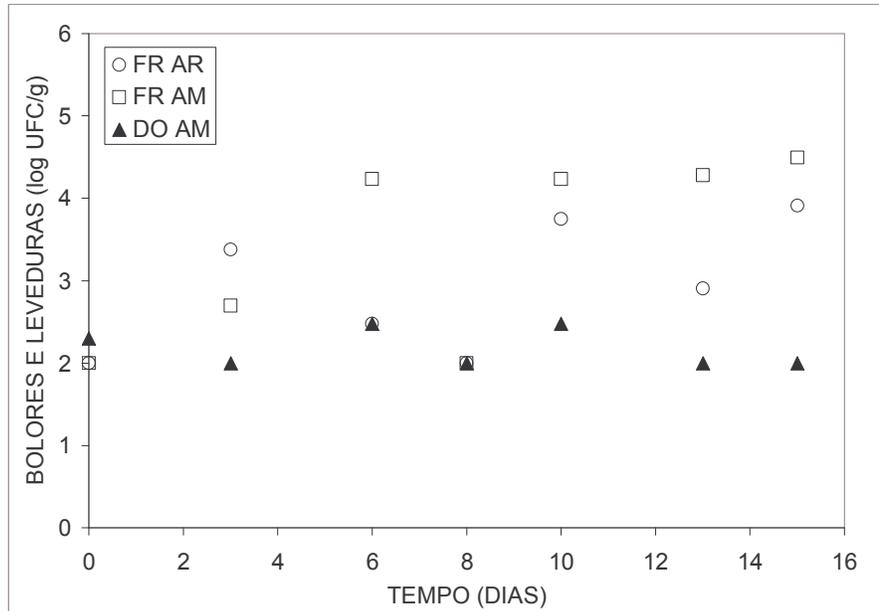
A Tabela 5.5 mostra os valores máximos para a contagem microbiológica dos mamões armazenados durante a vida de prateleira.

Observa-se que os níveis de *Salmonella* e coliformes estão abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução RCD nº12, de 2 de janeiro de 2001, da ANVISA. A Agência não determina padrões para o tipo de produto estudado em relação a bolores, leveduras e bactérias lácticas, sendo que os valores encontrados não representam uma limitação para a vida de prateleira, mas podem explicar possíveis alterações sensoriais do produto.

**Tabela 5.5** – Valores máximos encontrados para a contagem microbiológica durante a vida de prateleira a 5°C.

	Tempo (dias)						
	0	3	6	8	10	13	15
<b>TODAS</b>							
<i>Salmonella</i> (em 25 g)	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Coliformes (NMP/g)	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
<b>FRESCA AR</b>							
Bolores e Leveduras (UFC/g)	$1,0 \cdot 10^2$	$2,4 \cdot 10^3$	$3,0 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^2$	$5,6 \cdot 10^3$	$8,0 \cdot 10^2$	$8,1 \cdot 10^3$
Bactérias Lácticas (UFC/g)	$< 1,0 \cdot 10^1$	$2,8 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^5$	$6,8 \cdot 10^4$	$5,2 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^5$	$7,0 \cdot 10^4$
<b>FRESCA AM</b>							
Bolores e Leveduras (UFC/g)	$1,0 \cdot 10^2$	$5,0 \cdot 10^2$	$1,7 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^2$	$1,7 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^4$	$3,1 \cdot 10^4$
Bactérias Lácticas (UFC/g)	$< 1,0 \cdot 10^1$	$8,8 \cdot 10^4$	$3,8 \cdot 10^6$	$3,4 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^5$	$6,5 \cdot 10^5$
<b>DESIDRATADA AM</b>							
Bolores e Leveduras (UFC/g)	$2,0 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^2$	$3,0 \cdot 10^2$	$< 1,0 \cdot 10^2$	$3,0 \cdot 10^2$	$< 1,0 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^2$
Bactérias Lácticas (UFC/g)	$< 1,0 \cdot 10^1$	$4,0 \cdot 10^2$	$8,0 \cdot 10^2$	$8,6 \cdot 10^2$	$9,3 \cdot 10^2$	$5,7 \cdot 10^2$	$8,0 \cdot 10^1$

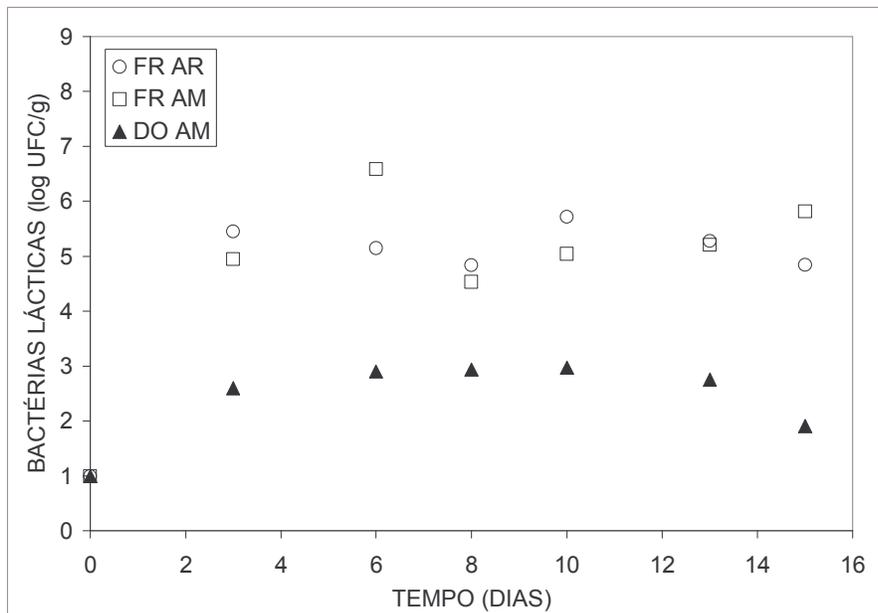
As Figuras 5.17 e 5.18 estão apresentadas com a intenção de facilitar a visualização do comportamento da proliferação dos microrganismos ao longo da vida de prateleira dos pedaços de mamão armazenados.



**Figura 5.17** – Valores máximos encontrados para a contagem de bolores e leveduras durante o armazenamento de pedaços de mamão a 5°C.

Pela análise da Figura 5.17 nota-se que as amostras desidratadas apresentam maior estabilidade microbiológica evidenciada pelos níveis menores de bolores e leveduras, principalmente a partir do décimo dia de armazenamento. Apesar da aplicação da tecnologia de atmosfera modificada ser conhecida como inibidora do crescimento microbiano (Artés *et al.*, 1999; Mohd-Som *et al.*, 1994), neste estudo a inibição da proliferação de bolores e leveduras parece ter sido superada pela retirada de água e incorporação de solutos promovida pela desidratação osmótica antes do armazenamento, já que as amostras osmoticamente desidratadas apresentam menor contagem de bolores e leveduras que as amostras frescas.

Bai *et al.* (2003) estudaram o comportamento microbiológico de cubos de melões da variedade *Honeydew* depois de sanitizados, embalados sob atmosfera modificada passiva e sob ar atmosférico (filme perfurado), e acondicionados a 5°C. Os autores concluíram que o uso de atmosfera modificada passiva foi capaz de retardar a deterioração da fruta, tendo promovido menor crescimento microbiológico que os cubos acondicionados sob ar atmosférico, e gerando um produto de melhor qualidade e maior vida de prateleira.



**Figura 5.18** - Valores máximos encontrados para a contagem de bactérias lácticas durante o armazenamento de pedaços de mamão a 5°C.

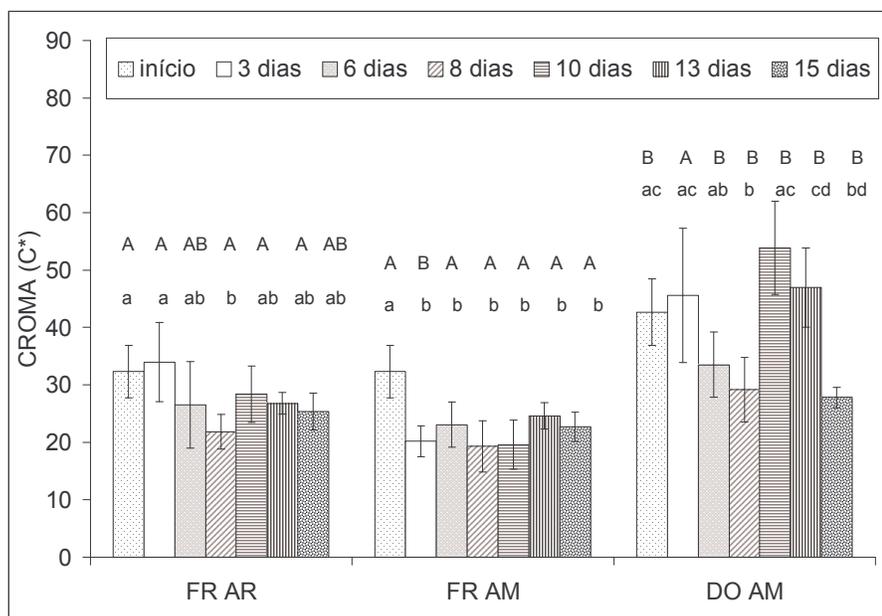
De forma análoga, a proliferação de bactérias lácticas (Figura 5.18) nas amostras previamente submetidas ao processo de desidratação osmótica é inferior à apresentada pelas amostras frescas armazenadas nas mesmas condições. Nota-se também que tanto para a contagem de bolores e leveduras, quanto para as bactérias lácticas, as amostras frescas atingem valor máximo igual ao dobro do valor máximo atingido pelas amostras desidratadas, evidenciando a eficácia do processo de desidratação na estabilidade microbiológica do produto armazenado.

## Cor

As Figuras 5.19 a 5.20 mostram a variação dos atributos de cor – croma, tom e luminosidade, respectivamente – para os pedaços de mamão armazenados durante a vida de prateleira.

Observando-se a variação da intensidade da cor – croma – ao longo da vida de prateleira da fruta armazenada (Figura 5.19), pode-se notar que os pedaços de mamão frescos armazenados sob condições atmosféricas (FR AR) mostraram uma leve queda

estatisticamente significativa nos valores de croma, provavelmente resultado de degradação de licopenos e carotenóides presentes no tecido desta fruta. Em um trabalho com melões minimamente processados e armazenados a 4°C, Lamikanra *et al.* (2000) também observaram uma queda dos valores de croma no início do armazenamento, atribuída à intensificação das atividades bioquímica e fisiológica da fruta como resultado do processo de corte e descascamento.

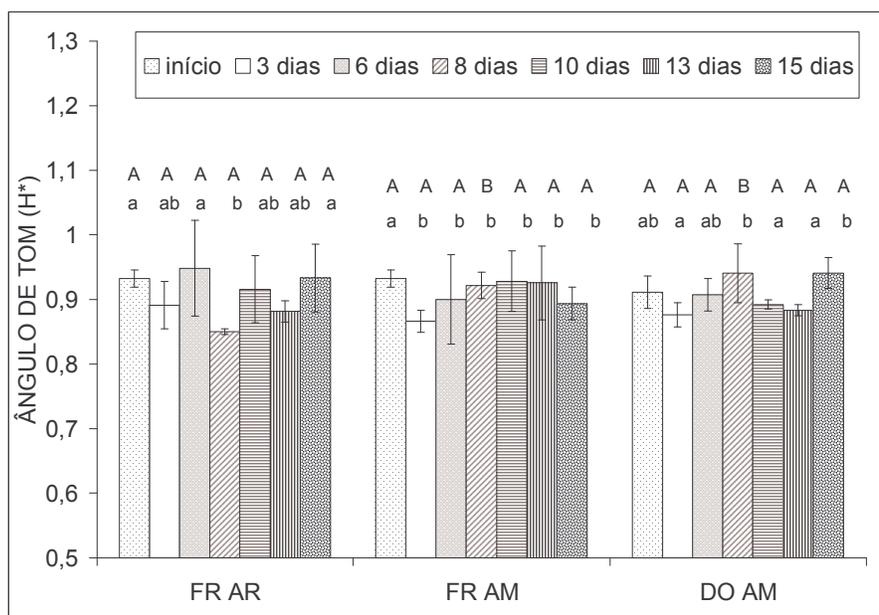


**Figura 5.19** – Valores de croma dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira.

Letras diferentes (minúsculas: entre tempos diferentes para uma mesma amostra; maiúsculas: entre diferentes amostras para um tempo fixo) indicam diferenças significativas a  $p < 0,05$ .

A mesma queda nos valores de croma pode ser observada para as frutas frescas armazenadas sob atmosfera modificada (FR AM); entretanto, no caso dessas frutas, a queda da intensidade de cor é observada apenas nos três primeiros dias de armazenamento e depois desse período, este atributo de cor é mantido até o final dos 15 dias de vida de prateleira. Essa queda inicial, analogamente ao ocorrido com a amostra FR AR, também pode ser atribuída às atividades metabólicas do tecido da fruta, como ação das enzimas liberadas durante o processo de descascamento e corte, mas depois do terceiro dia de armazenamento o valor do croma se estabiliza, provavelmente resultado dos efeitos inibitórios da atmosfera modificada sobre a atividade enzimática e sobre o metabolismo do mamão.

As frutas tratadas osmoticamente e embaladas sob atmosfera modificada (DO AM) mostram valores de croma maiores no início da vida de prateleira por concentração dos pigmentos devido à retirada de água durante a desidratação. Ao longo do armazenamento os valores de croma demonstram queda visual (Figura 5.19), mas a análise estatística mostra ausência de diferenças significativas, com ligeira queda no oitavo dia, porém com a recuperação dos níveis de pigmentos ao final do décimo quinto dia, mas mantendo valores de croma sempre superiores aos das frutas frescas. Esta estabilidade dos pigmentos da fruta desidratada osmoticamente também foi observada por Torreggiani e Bertolo (2001) em um trabalho com damascos e foi atribuída a um efeito protetor dos açúcares sobre os pigmentos e vitaminas das frutas tratadas osmoticamente e armazenadas sob refrigeração.



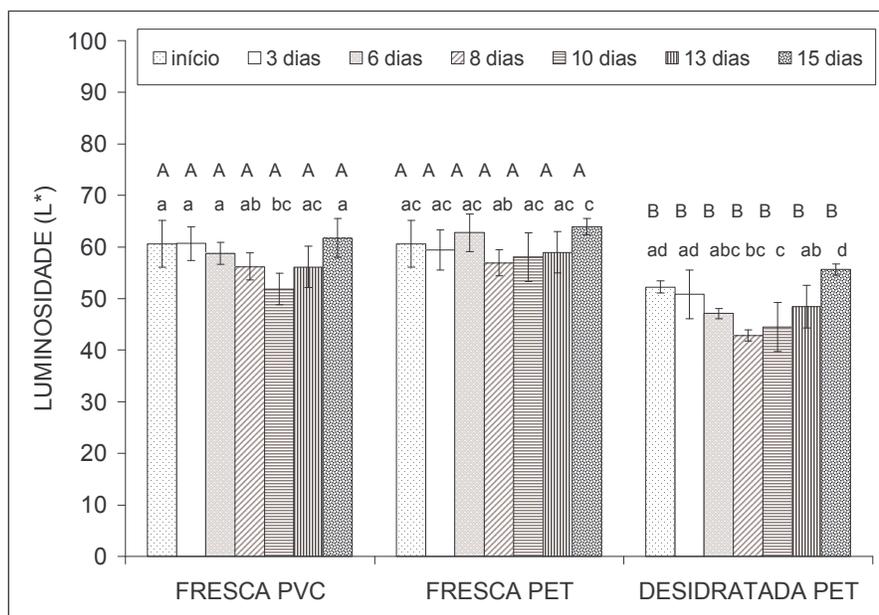
**Figura 5.20** – Valores do ângulo de tom dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira.

Letras diferentes (minúsculas: entre tempos diferentes para uma mesma amostra; maiúsculas: entre diferentes amostras para um tempo fixo) indicam diferenças significativas a  $p < 0,05$ .

A variação do ângulo de tom pode ser observada na Figura 5.20, onde se nota uma estabilidade deste atributo de cor ao longo de toda a vida de prateleira para todas as amostras avaliadas. Isso ocorre devido à forma como a fruta estudada perde cor. Como o ângulo de tom avalia mudanças de uma cor para outra (verde para amarelo, verde para vermelho, por exemplo) e como a perda de cor do mamão se dá dentro do mesmo tom,

variando sua intensidade (laranja intenso para laranja claro), é de se esperar que o ângulo de tom permaneça constante durante todo o armazenamento.

A Figura 5.21 mostra a variação da luminosidade das amostras de mamão armazenadas. Nota-se pela figura a estabilidade deste parâmetro para as frutas frescas durante o armazenamento. Por outro lado, as frutas tratadas osmoticamente apresentam valores inferiores de luminosidade desde o início do armazenamento, indicando que o tratamento osmótico é o responsável pela diminuição deste atributo de cor, provavelmente devido aos danos físicos causados à superfície do tecido durante o processamento, aumentando sua rugosidade e conseqüentemente o grau de refração da luz, resultando em valores menores de luminosidade.



**Figura 5.21** – Valores de luminosidade dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira.

Letras diferentes (minúsculas: entre tempos diferentes para uma mesma amostra; maiúsculas: entre diferentes amostras para um tempo fixo) indicam diferenças significativas a  $p < 0,05$ .

A avaliação estatística mostrou estabilidade dos valores de croma, tom e luminosidade a partir do terceiro dia de armazenamento para os produtos armazenados sob atmosfera modificada, indicando a eficácia dessa tecnologia na manutenção da cor da fruta durante sua vida de prateleira.

## Textura

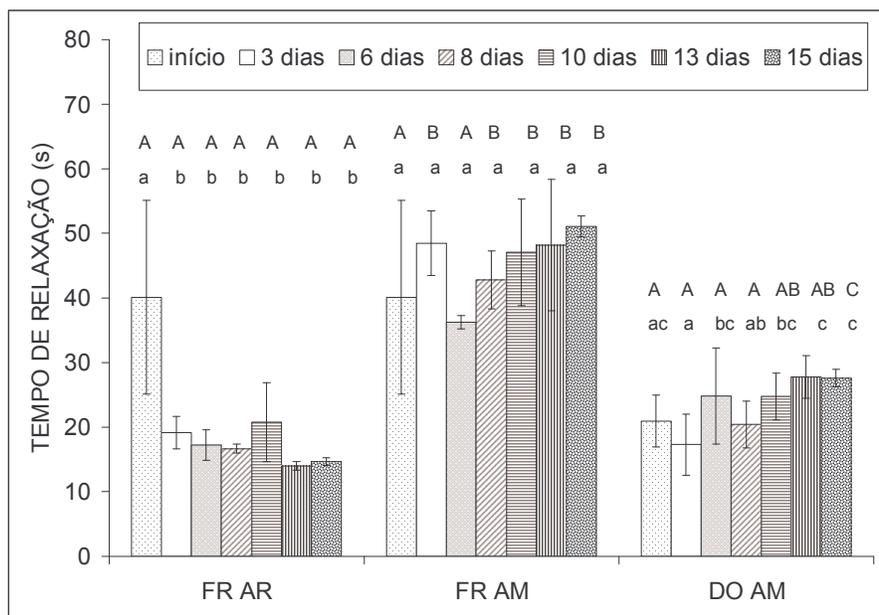
As Figuras 5.22 a 5.24 apresentam os valores dos parâmetros viscoelásticos (tempo de relaxação e tensão residual) e mecânicos (tensão na ruptura) para as amostras de mamão armazenadas durante o estudo de vida de prateleira.

A Figura 5.22 mostra a variação do tempo de relaxação ao longo do armazenamento refrigerado, onde se observa que para as amostras frescas armazenadas sob ar atmosférico (FR AR) há queda no valor do tempo de relaxação nos primeiros três dias de armazenamento, provavelmente como resultado do amadurecimento da fruta neste período. Paull e Chen (1997), trabalhando com mamão, notaram, por meio de medidas de atividade enzimática e de textura instrumental das amostras, que o amadurecimento da fruta causa amaciamento do tecido por ação enzimática de poligalacturonases e xilases, depolimerizando as pectinas da lamela média, responsáveis pela coesão entre as células. Karakurt e Huber (2003) armazenaram pedaços de mamão a 5°C por 8 dias e verificaram que uma perda de firmeza se deu pela atividade de várias hidrolases, como a poligalacturonase (que aumenta em resposta ao aumento de etileno), resultando em rápido amaciamento e deterioração dos pedaços de mamão.

A acentuada produção de etileno para as amostras FR AR (Tabela 5.2) no início do armazenamento pode ter aumentado a atividade de hidrolases (como a poligalacturonase, característica desta fruta) sobre as pectinas da lamela média, causando uma falta de coesão entre as células e provavelmente conferindo aos pedaços de mamão um caráter mais viscoso, diminuindo o tempo de relaxação e a tensão residual (Figura 5.23). Depois do terceiro dia de armazenamento os valores de tempo de relaxação e tensão residual para estas amostras estabilizam, provavelmente pelo efeito combinado da acentuada perda de peso sofrida por esta amostra, e da inibição da produção de etileno na temperatura de trabalho, equilibrando o efeito da perda de estrutura, mantendo os atributos viscoelásticos da amostra durante o restante da vida de prateleira.

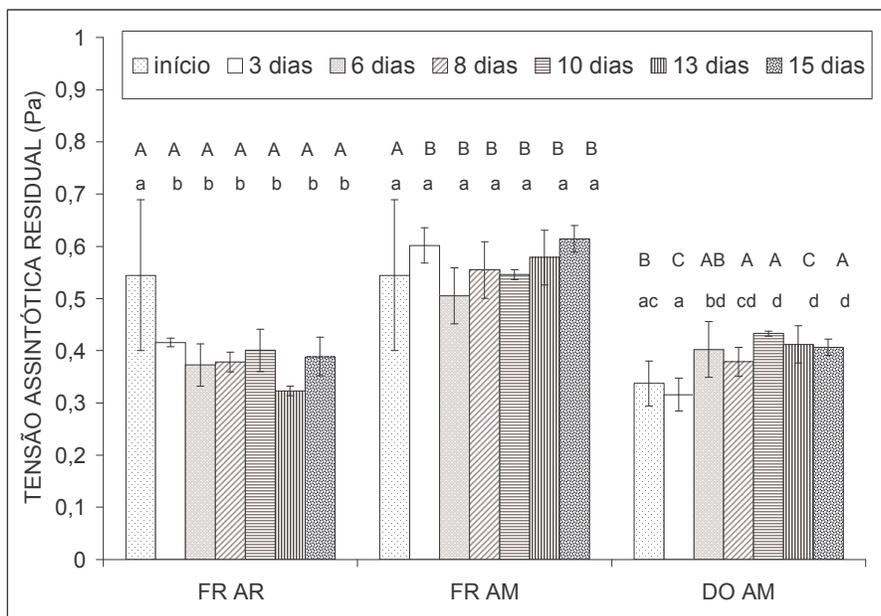
Observando-se o comportamento viscoelástico das amostras frescas acondicionadas sob atmosfera modificada (FR AM) nas Figuras 5.22 e 5.23, nota-se que não há alteração significativa deste atributo reológico durante todo o período de armazenamento. Como a perda de coesão celular se dá por ação enzimática iniciada pelo

aumento no teor de etileno, e como a tecnologia de atmosfera modificada aliada a baixas temperaturas inibe a produção deste gás, pode-se sugerir que a embalagem sob atmosfera modificada contribuiu para a inibição da atividade enzimática, contribuindo para a preservação dos parâmetros viscoelásticos do tecido.



**Figura 5.22** - Valores para o tempo de relaxação dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira.

Letras diferentes (minúsculas: entre tempos diferentes para uma mesma amostra; maiúsculas: entre diferentes amostras para um tempo fixo) indicam diferenças significativas a  $p < 0,05$ .

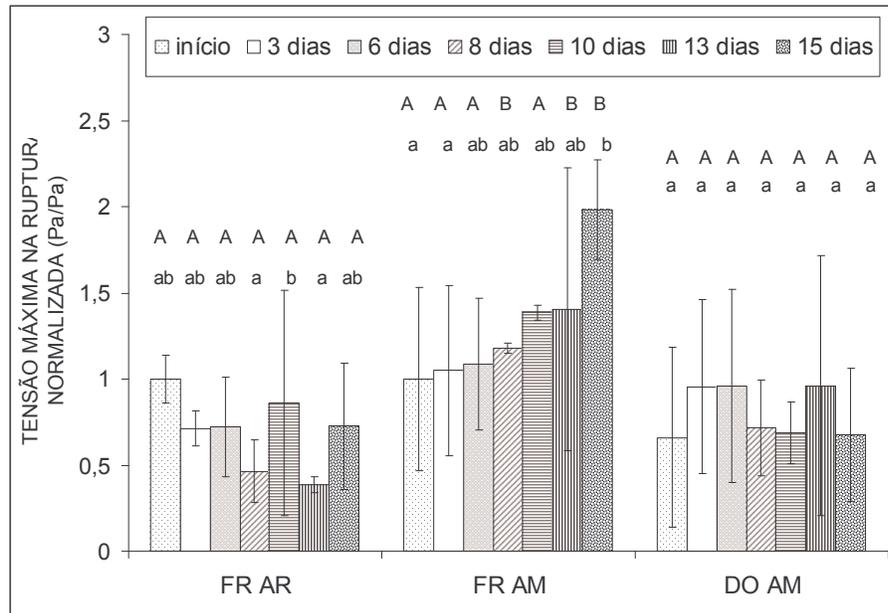


**Figura 5.23** - Valores para a tensão assintótica residual dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira.

Letras diferentes (minúsculas: entre tempos diferentes para uma mesma amostra; maiúsculas: entre diferentes amostras para um tempo fixo) indicam diferenças significativas a  $p < 0,05$ .

As amostras desidratadas osmoticamente previamente ao armazenamento refrigerado sob atmosfera modificada (OD AM), apresentam comportamento diferenciado, exibindo um pequeno aumento nos valores de tempo de relaxação e tensão residual (Figuras 5.22 e 5.23), provavelmente como resultado da presença de íons  $\text{Ca}^{2+}$  livres no tecido celular (incorporados no processo de desidratação osmótica), que reagiriam ao longo da vida de prateleira com as pectinas do tecido da fruta para a formação de pectato de cálcio, contribuindo para a formação de uma estrutura mais elástica. Estas amostras tratadas osmoticamente apresentam valor inicial de tensão assintótica e tempo de relaxação inferior ao das amostras frescas em consequência do processo de desidratação osmótica, assim como verificado nos capítulos 3 e 4.

A Figura 5.24 apresenta os valores normalizados da tensão máxima na ruptura para as amostras armazenadas durante a vida de prateleira.



**Figura 5.24** - Valores para a tensão máxima na ruptura normalizada dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira.

Letras diferentes (minúsculas: entre tempos diferentes para uma mesma amostra; maiúsculas: entre diferentes amostras para um tempo fixo) indicam diferenças significativas a  $p < 0,05$ .

Pela observação da Figura 5.24, pode-se notar que a avaliação estatística aponta poucas diferenças nos valores medidos durante a vida de prateleira para todas as amostras, devido a uma oscilação dos valores medidos e do grande erro associado à medida. Entretanto, pode-se notar uma tendência relativamente estável para os valores da tensão na ruptura das amostras frescas armazenadas sob condições atmosféricas (FR AR) durante a vida de prateleira.

As amostras frescas acondicionadas sob atmosfera modificada (FR AM) mostraram uma leve tendência ao aumento de tensão máxima na ruptura ao longo do armazenamento refrigerado. Este resultado pode ser atribuído à ativação da enzima pectinesterase. Esta enzima presente no mamão age nas pectinas da fruta gerando grupos carboxílicos livres capazes de reagirem com íons divalentes de cálcio, reticulando cadeias poliuronidas e aumentando a rigidez do tecido vegetal (Fayyaz *et al.*, 1995; Sajjaanantakul e Pitifer, 1991). Diferentemente das outras enzimas presentes no mamão, a pectinesterase mantém sua atividade mesmo a temperaturas baixas, como 5°C (mais de 15%, segundo Fayyaz *et al.*, 1995), na presença de água disponível para a sua atividade. Como a amostra perde muito pouco peso durante a vida de prateleira, é

razoável atribuir à atividade desta enzima o aumento da tensão na ruptura, mesmo que modesto, das amostras frescas embaladas sob atmosfera modificada.

Amostras desidratadas osmoticamente antes do armazenamento sob atmosfera modificada (DO AM) não apresentaram diferenças significativas nos valores de tensão de ruptura durante a vida de prateleira, indicando que a utilização destas duas tecnologias resultam em uma maior estabilidade da textura do alimento processado, garantindo a preservação deste parâmetro de qualidade. Sabendo-se que a enzima pectinesterase continua ativa na temperatura de armazenamento, deve-se buscar uma razão para que sua atividade não altere a tensão na ruptura das amostras DO AM durante a vida de prateleira. Um motivo pode ser a inibição da pectinesterase pela presença de sacarose no tecido. De acordo com Lin *et al.* (1989), a interação da sacarose com a pectina do tecido vegetal pode alterar o empacotamento hidrofóbico e mudar a acessibilidade desta estrutura à enzima, inibindo sua atividade. Além disso, alguns autores atribuem o amaciamento do tecido vegetal durante o armazenamento de frutas e hortaliças sob atmosfera modificada à troca gasosa ocorrida na intenção de suprir as energias necessárias para o metabolismo da fruta (Hertog *et al.*, 2003).

Desta forma, pode-se atribuir a estabilidade da tensão máxima na ruptura dos pedaços de mamão osmoticamente desidratados acondicionados sob atmosfera modificada a três fatores principais: (i) a modificação da atmosfera interna da embalagem é significativa, inibindo a ação das enzimas presentes no tecido da fruta responsáveis pela solubilização da rede de pectinas, amaciando o tecido; (ii) a presença de sacarose no tecido da fruta, alterando a conformação da cadeia de pectina, impedindo o acesso da pectinesterase a esta cadeia, inibindo a ação desta enzima.

## **Sensorial**

A verificação da aceitação sensorial das amostras armazenadas ao longo da vida de prateleira foi realizada com o objetivo de determinar diferenças perceptíveis entre amostras para cada tempo (Tabelas 5.6 a 5.10) por meio de análise de variância; e entre cada tempo de armazenamento para uma mesma amostra (Figuras 5.25 a 5.30) por meio de análise de correlação das notas com o tempo de armazenamento.

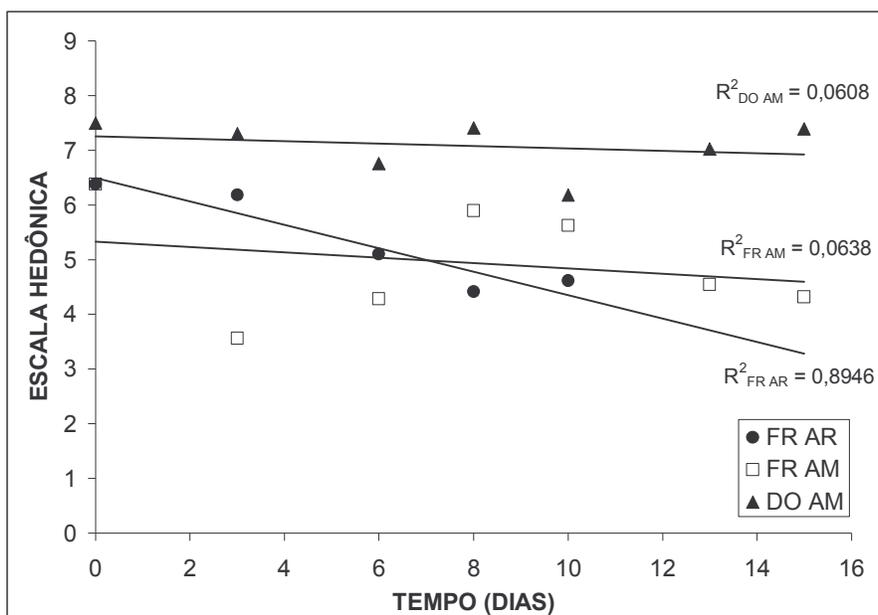
A análise de variância do atributo de cor das amostras armazenadas (Tabela 5.6) mostra superioridade da aceitação deste parâmetro para as frutas desidratadas osmoticamente e acondicionadas sob atmosfera modificada, provavelmente devido ao aspecto mais atraente da cor intensificada dos pedaços de mamão, gerada pelo processo de desidratação osmótica.

Notou-se na Figura 5.25 uma diminuição significativa (89,46%) na aceitação da cor das amostras armazenadas sob condições atmosféricas, influenciada pelo tempo de armazenamento do produto.

**Tabela 5.6** – Avaliação sensorial da cor dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira.

Tempo	FR AR	FR AM	DO AM
0	6,4 <sup>B</sup>	6,4 <sup>B</sup>	7,5 <sup>A</sup>
3	6,2 <sup>B</sup>	3,6 <sup>C</sup>	7,3 <sup>A</sup>
6	5,1 <sup>B</sup>	4,3 <sup>B</sup>	6,8 <sup>A</sup>
8	4,4 <sup>C</sup>	5,9 <sup>B</sup>	7,4 <sup>A</sup>
10	4,6 <sup>B</sup>	5,6 <sup>AB</sup>	6,2 <sup>A</sup>
13	...	4,5 <sup>B</sup>	7,0 <sup>A</sup>
15	...	4,3 <sup>B</sup>	7,4 <sup>A</sup>

Médias seguiu pela mesma letra em um tempo fixo indicam valores iguais para  $p < 0,05$ .



**Figura 5.25** – Influência do tempo de armazenamento sobre a cor dos pedaços de mamão.

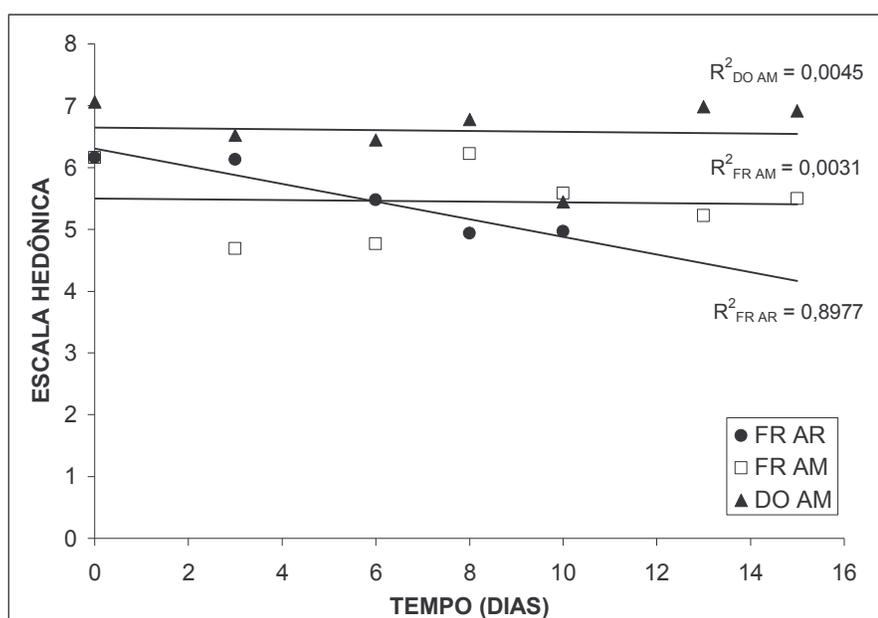
A aparência das amostras desidratadas mostra aceitação superior em relação às amostras restantes na maioria dos tempos de vida de prateleira avaliados, como se pode verificar na Tabela 5.7, onde se observa que a amostra FR AR apresenta uma aparência aceitável, mesmo ao final do décimo dia de armazenamento, quando seu sabor não mais é aceito pelo consumidor.

Esta queda na aceitação da aparência dos pedaços de mamão acondicionados sob condições atmosféricas (FR AR) pode ser observada na Figura 5.26, onde se verifica que 89,77% da redução deste atributo é influenciado pelo tempo de armazenamento.

**Tabela 5.7** – Avaliação sensorial da aparência dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira.

Tempo	FR AR	FR AM	DO AM
0	6,2 <sup>B</sup>	6,2 <sup>B</sup>	7,1 <sup>A</sup>
3	6,1 <sup>A</sup>	4,7 <sup>B</sup>	6,5 <sup>A</sup>
6	5,5 <sup>AB</sup>	4,8 <sup>B</sup>	6,4 <sup>A</sup>
8	4,9 <sup>B</sup>	6,2 <sup>A</sup>	6,8 <sup>A</sup>
10	4,9 <sup>A</sup>	5,6 <sup>A</sup>	5,4 <sup>A</sup>
13	...	5,2 <sup>B</sup>	7,0 <sup>A</sup>
15	...	5,5 <sup>B</sup>	6,9 <sup>A</sup>

Médias seguiu pela mesma letra em um tempo fixo indicam valores iguais para  $p < 0,05$ .



**Figura 5.26** – Influência do tempo de armazenamento sobre a aparência dos pedaços de mamão.

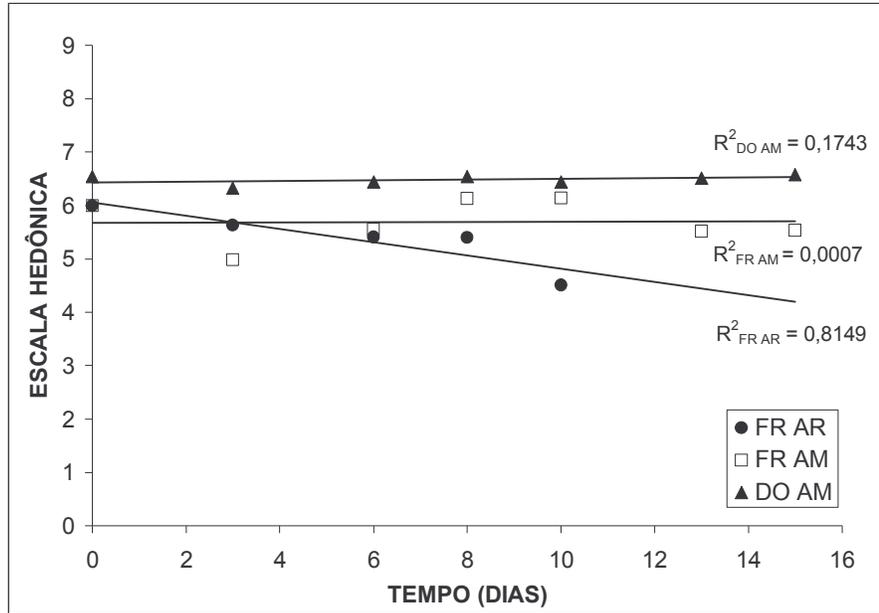
Em relação ao sabor das amostras durante a vida de prateleira (Tabela 5.8), pode-se dizer que as notas mais baixas foram apresentadas pelas amostras de mamão armazenadas sob ar atmosférico (FR AR), utilizadas como controle. Isso pode ser atribuído ao armazenamento inadequado destas amostras, já que a Figura 5.27 indica que 81,49% da redução da aceitação do sabor desta amostra se deveu ao tempo de armazenamento.

As amostras desidratadas osmoticamente e embaladas sob atmosfera modificada apresentaram as maiores notas em relação ao atributo sensorial de sabor, mesmo ao final dos 15 dias de armazenamento refrigerado; indicando que o processo utilizado previamente à estocagem foi efetivo na manutenção do sabor da fruta durante toda a vida de prateleira. Isto não foi observado para as amostras frescas embaladas sob atmosfera modificada (FR AM), que, apesar de aceitas, apresentaram muita oscilação das notas para seu sabor ao longo da vida de prateleira.

**Tabela 5.8** – Avaliação sensorial do sabor dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira.

Tempo	FR AR	FR AM	DO AM
0	6,0 <sup>A</sup>	6,0 <sup>A</sup>	6,5 <sup>A</sup>
3	5,6 <sup>AB</sup>	5,0 <sup>B</sup>	6,3 <sup>A</sup>
6	5,4 <sup>A</sup>	5,6 <sup>A</sup>	6,4 <sup>A</sup>
8	5,4 <sup>B</sup>	6,1 <sup>A</sup>	6,5 <sup>A</sup>
10	4,4 <sup>B</sup>	6,1 <sup>A</sup>	6,4 <sup>A</sup>
13	...	5,5 <sup>B</sup>	6,5 <sup>A</sup>
15	...	5,5 <sup>B</sup>	6,6 <sup>A</sup>

Médias seguidas pela mesma letra em um tempo fixo indicam valores iguais para  $p < 0,05$ .



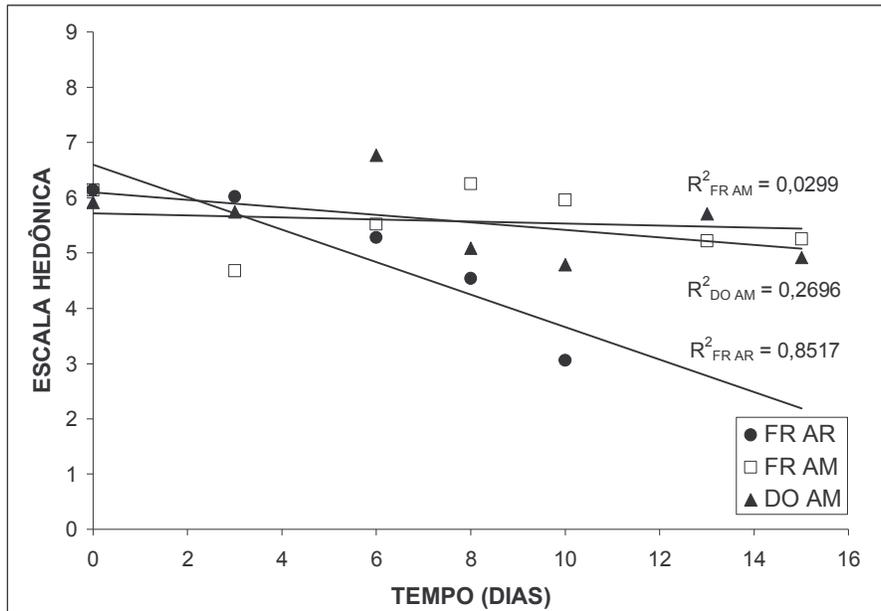
**Figura 5.27** – Influência do tempo de armazenamento sobre o sabor dos pedaços de mamão.

Os resultados para a textura sensorial dos pedaços de mamão (Tabela 5.9) indicaram que este atributo não se altera muito durante o armazenamento apenas para as amostras acondicionadas sob atmosfera modificada (FR AM e DO AM), cujas notas só diferem entre si no sexto dia avaliado, sendo estatisticamente iguais entre si ao longo de toda a vida de prateleira. As amostras armazenadas sob condições atmosféricas apresentaram queda na aceitação de 85,17% (Figura 5.28) em relação à textura em decorrência da inadequação das condições de acondicionamento.

**Tabela 5.9** – Avaliação sensorial da textura dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira.

Tempo	FR AR	FR AM	DO AM
0	6,1 <sup>A</sup>	6,1 <sup>A</sup>	5,9 <sup>A</sup>
3	6,0 <sup>A</sup>	4,7 <sup>B</sup>	5,8 <sup>AB</sup>
6	5,3 <sup>B</sup>	5,5 <sup>B</sup>	6,8 <sup>A</sup>
8	4,5 <sup>B</sup>	6,3 <sup>A</sup>	5,1 <sup>A</sup>
10	3,1 <sup>B</sup>	6,0 <sup>A</sup>	4,8 <sup>A</sup>
13	...	5,2 <sup>A</sup>	5,7 <sup>A</sup>
15	...	5,3 <sup>A</sup>	4,9 <sup>A</sup>

Médias seguidas pela mesma letra em um tempo fixo indicam valores iguais para  $p < 0,05$ .



**Figura 5.28** – Influência do tempo de armazenamento sobre a textura dos pedaços de mamão.

A análise de variância para a impressão global das amostras (Tabela 5.10) mostrou que as frutas tratadas osmoticamente mostraram as melhores notas para este atributo durante toda a vida de prateleira, mesmo depois de 15 dias de armazenamento.

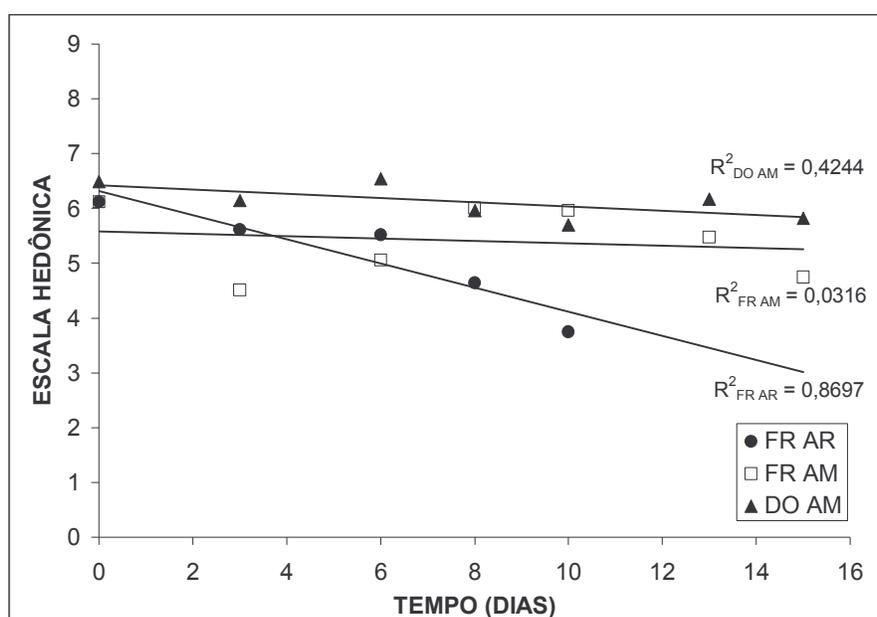
A análise de correlação (Figura 5.29) mostrou 86,97% de queda na aceitação deste atributo para as amostras FR AR, apontando o aumento do tempo de armazenamento do produto como o responsável por esta queda.

Apesar das amostras frescas embaladas sob atmosfera modificada (FR AM) apresentarem valores aceitáveis para a impressão global, nota-se uma flutuação destas notas muito mais intensa que para as amostras osmoticamente desidratadas (DO AM), comprometendo a qualidade das frutas frescas mesmo quando embaladas sob atmosfera modificada.

**Tabela 5.10** – Avaliação sensorial da impressão global dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira.

Tempo	FR AR	FR AM	DO AM
0	6,1 <sup>A</sup>	6,1 <sup>A</sup>	6,5 <sup>A</sup>
3	5,6 <sup>AB</sup>	4,5 <sup>B</sup>	6,1 <sup>A</sup>
6	5,5 <sup>B</sup>	5,1 <sup>B</sup>	6,5 <sup>A</sup>
8	4,6 <sup>B</sup>	6,0 <sup>A</sup>	6,0 <sup>A</sup>
10	3,8 <sup>B</sup>	5,9 <sup>A</sup>	5,7 <sup>A</sup>
13	...	5,5 <sup>B</sup>	6,2 <sup>A</sup>
15	...	4,7 <sup>B</sup>	5,8 <sup>A</sup>

Médias seguidas pela mesma letra em um tempo fixo indicam valores iguais para  $p < 0,05$ .



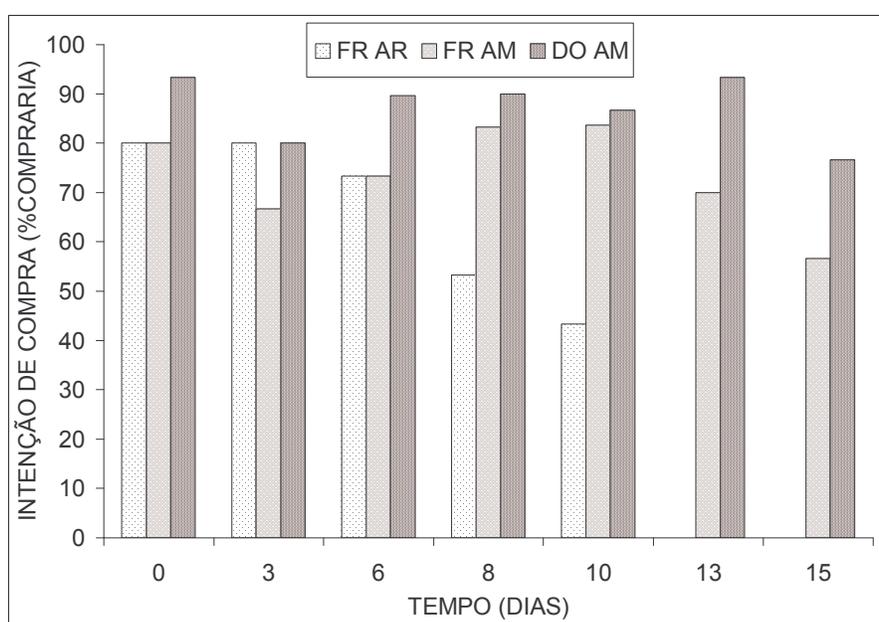
**Figura 5.29** – Influência do tempo de armazenamento sobre a impressão global dos pedaços de mamão.

A intenção do consumidor em comprar os pedaços de mamão ao longo da vida de prateleira, assim como a influência do tempo de armazenamento sobre este parâmetro podem ser avaliadas pelas Figuras 5.30 e 5.31, respectivamente.

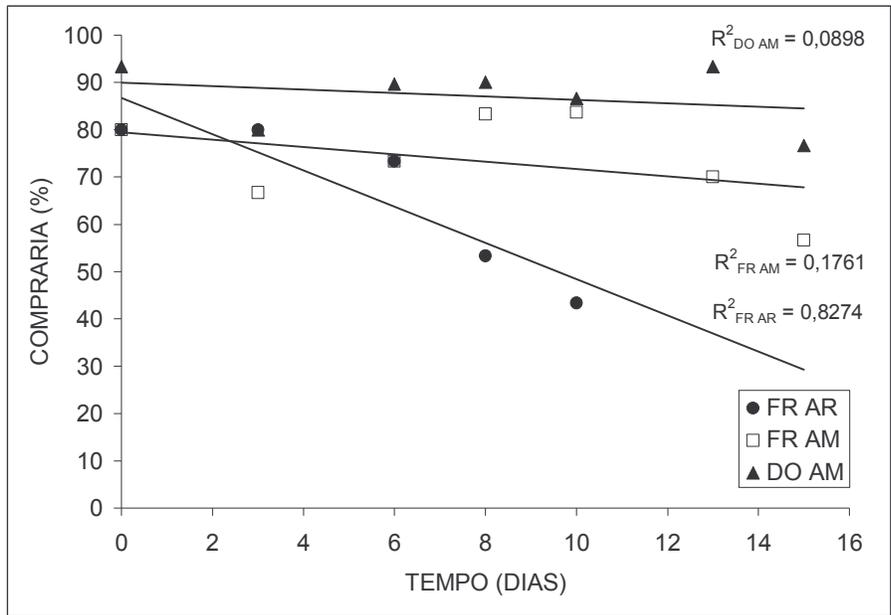
Nota-se que o produto, tanto fresco quanto desidratado, é bem avaliado de forma geral (Figura 5.30) no início do estudo da vida de prateleira, atingindo valores próximos a 80% para as frutas frescas e a 93% para o produto osmoticamente desidratado. A intenção de compra do produto desidratado flutua na faixa de 80 a 93% durante o armazenamento e chega a 77% no décimo quinto dia da vida de prateleira. As amostras

frescas acondicionadas sob atmosfera modificada (FR AM) apresentam maior flutuação na intenção de compra, fluando entre 67 e 84% e chegando a 57% de aceitação ao final do estudo.

A queda de aceitação observada em relação aos demais parâmetros sensoriais para os pedaços de mamão frescos armazenados sob ar atmosférico (FR AR) foi refletida na intenção de compra do consumidor, mostrando queda significativa de 82,74% deste parâmetro em relação ao valor inicial de 80%, atingindo uma intenção de compra final de 43%, influenciada pelo aumento do tempo de armazenamento deste produto.

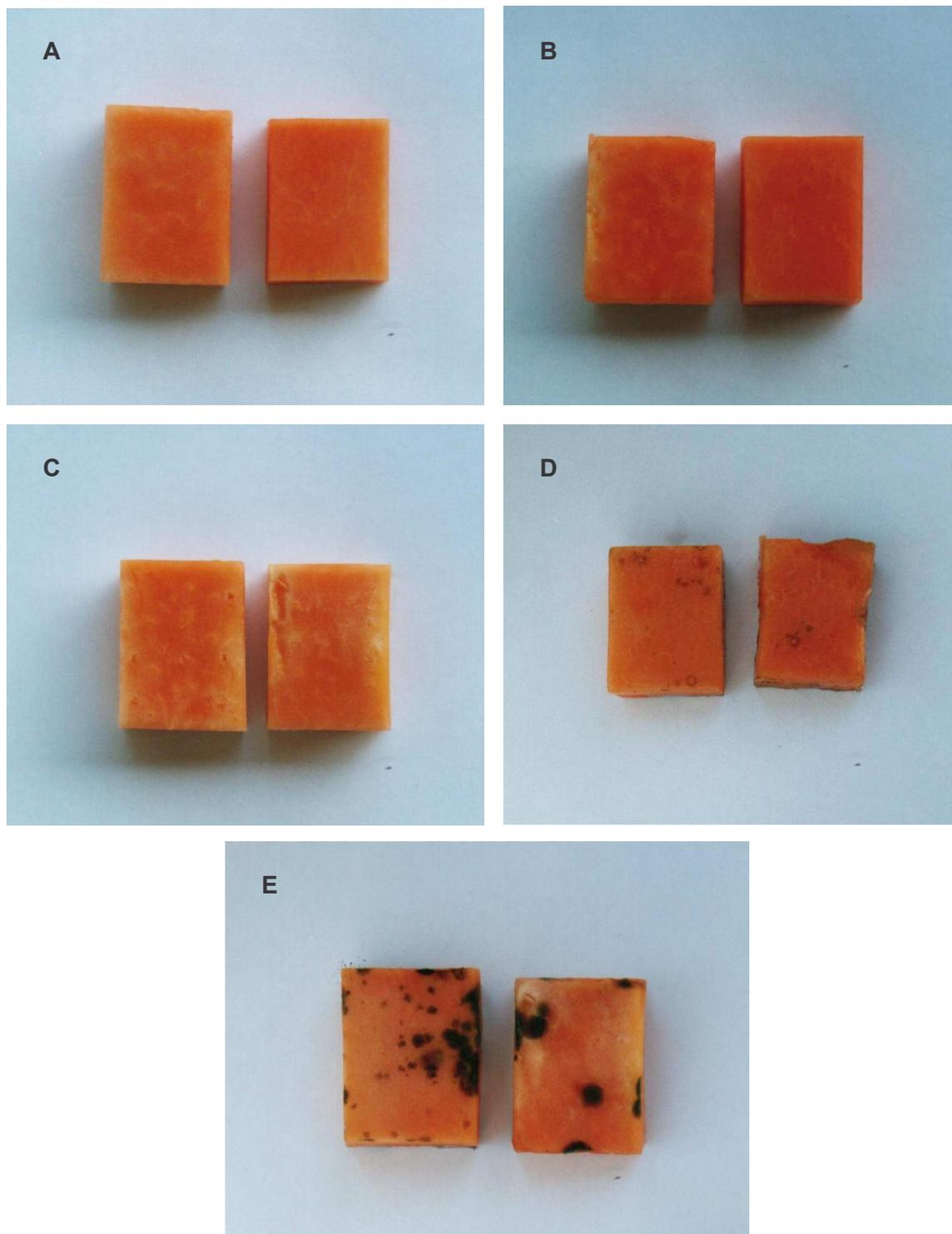


**Figura 5.30** – Intenção do consumidor de comprar os mamões avaliados sensorialmente durante a vida de prateleira.

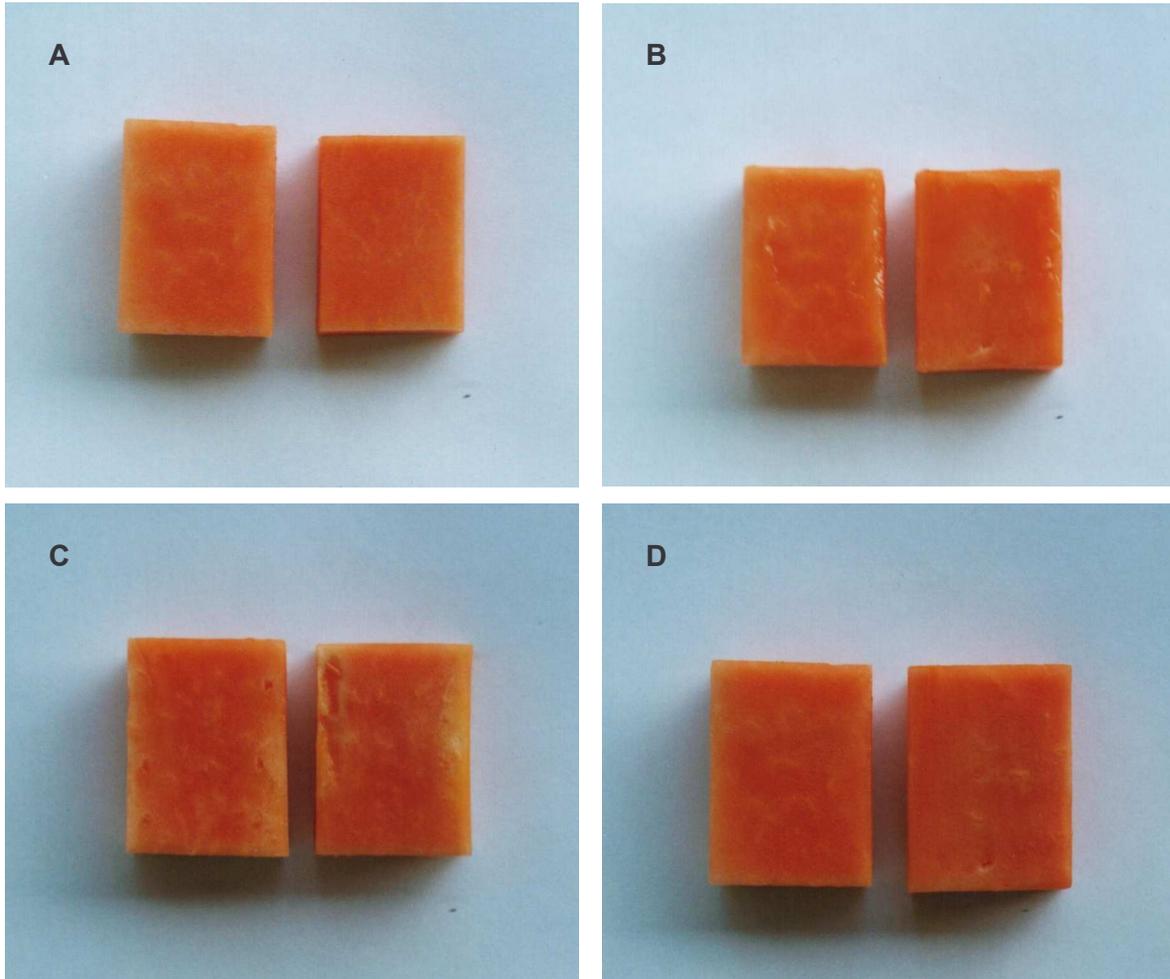


**Figura 5.31** – Influência do tempo de armazenamento sobre a intenção de compra dos consumidores.

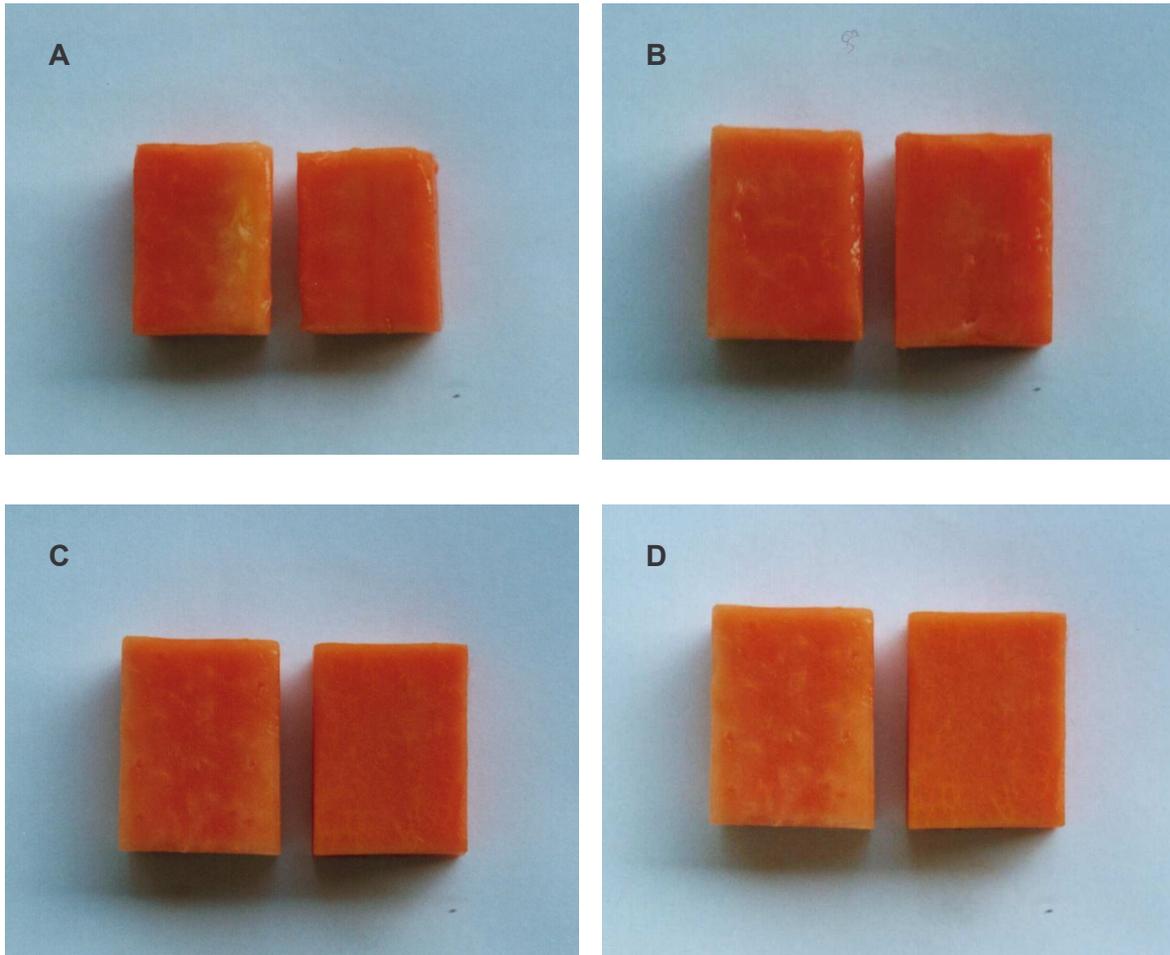
Nas Figuras 5.32 a 5.34 são mostrados os pedaços de mamão frescos e osmoticamente desidratados acondicionados sob atmosfera modificada (FR AM e DO AM, respectivamente) e os pedaços de mamão frescos armazenados sob condições atmosféricas (FR AR) em alguns dias da vida de prateleira.



**Figura 5.32** – Mamão fresco armazenado sob ar atmosférico (FR AR) após 0 (A), 6 (B), 10 (C), 13 (D) e 15 (E) dias de armazenamento.



**Figura 5.33** – Mamão fresco armazenado sob atmosfera modificada (FR AM) após 0 (A), 6 (B), 10 (C) e 15 (D) dias de armazenamento.



**Figura 5.34** – Mamão osmoticamente desidratado armazenado sob atmosfera modificada (DO AM) após 0 (A), 6 (B), 10 (C) e 15 (D) dias de armazenamento.

## 5.4. Conclusões

O trabalho realizado permite concluir:

1. A aplicação de desidratação osmótica no mamão é capaz de reduzir sua taxa respiratória e sua produção de etileno. A desidratação osmótica confere às frutas tratadas maior estabilidade em relação às alterações de temperatura de armazenamento.
2. As amostras tratadas na condição osmótica 1 (0,02M de ácido láctico e 0,05M de lactato de cálcio em solução de sacarose de 50°Brix a 24°C por 1 hora) causaram modificação da atmosfera interna das embalagens de PEBD, PD 961 e PET. As amostras embaladas em PEBD e PD961 se mostraram adequadas sensorialmente, mas apresentaram contaminação microbiológica no décimo dia de armazenamento. As amostras acondicionadas em potes PET apresentaram a melhor aceitação sensorial e foram escolhidas para o estudo da vida de prateleira.
3. As amostras submetidas ao tratamento osmótico 2 (0,10M de ácido láctico e 0,05M de lactato de cálcio em solução de sacarose de 50°Brix a 47°C por 2 horas) modificaram pouco a atmosfera interna das embalagens e mostraram baixa aceitação sensorial por apresentarem sabor residual.
4. As amostras frescas armazenadas sob atmosfera modificada foram capazes de modificar a atmosfera interna das embalagens PET, mas sua aceitação oscilou muito, provocando flutuação da intenção de compra durante a vida de prateleira.
5. As amostras desidratadas osmoticamente na condição 1 e embaladas sob atmosfera modificada em potes PET proporcionaram maior modificação da atmosfera interna em comparação às amostras frescas, atingindo intenção de compra de 77% ao final de 15 dias de armazenamento.
6. As amostras desidratadas osmoticamente acondicionadas sob atmosfera modificada mostraram tendência à maior estabilidade microbiológica comparada à amostras fresca armazenada nas mesmas condições.

7. Os pedaços de mamão frescos e desidratados embalados sob atmosfera modificada apresentaram valores de cor, tom, luminosidade, perda de peso e acidez constantes ao longo da vida de prateleira.

## 5.5. Referências Bibliográficas

1. ARTÉS, F.; CONESA, M.A.; HERNÁNDEZ, S.; GIL, M.I. Keeping quality of fresh cut tomato. **Postharvest Biology and Technology**, 17, 153 – 162, 1999.
2. BRECHT, J.K.; CHAU, K.V.; FONSECA, S.C.; OLIVEIRA, F.A.R.; SILVA, F.M.; NUNES, M.C.N.; BENDER, R.J. Maintaining optimal atmosphere conditions for fruits and vegetables throughout the postharvest handling chain. **Postharvest Biology and Technology**, 27, 97-101, 2003.
3. CAMERON, A.C.; TALASILA, P.C.; JOLES, D.W. Predicting Film Permeability Needs for Modified Atmosphere Packaging of Lightly Processed Fruits and Vegetables. **Hortscience**, 30, 25-34, 1995.
4. FAYYAZ, A.; ASBI, B.A.; GHAZALI, H.M.; CHE-MAN, Y.B.; JINAP, S. Kinetics of Papaya Pectinesterase. **Food Chemistry**, 53, 2, 129-135, 1995.
5. KADER, A. A. Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. <http://postharvest.ucdavis.edu>. 2000.
6. KADER, A.A.; ZAGORY, D.; KERBEL, E.L. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.28, n.1, 1989.
7. KARAKURT, Y.; HUBER, D.J. Activities of Several Membrane and Cell-wall Hydrolases, Ethylene Biosynthetic Enzymes, and Cell Wall Polyuronide Degradation during Low-temperature Storage of Intact and Fresh-cut Papaya (*Carica papaya*) Fruit. **Postharvest Biology and Technology**, 28, 219-229, 2003.
8. LAMIKANRA, O.; CHEN, J.C.; BANKS, D.; HUNTER, P.A. Biochemical and Microbial Changes during the Storage of Minimally Processed Cantaloupe. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, 48, 5955-5961, 2000.
9. LEWICKI, P.P.; GONDEK, E.; WITROWA-RAJCHERT, D.; NOWAK, D. Effect of Drying on Respiration of Apple Slices. **Journal of Food Engineering**, 49, 333-337, 2001.

10. LEWICKI, P.P.; LUKASZUK, A. Effect of Osmotic Dewatering on Rheological Properties of Apple Subjected to Convective Drying. **Journal of Food Engineering**, 45(3), 119-126, 2000.
11. MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V.; CARR, B.T. Sensory Evaluation Techniques, 2a ed., Florida: Ed. CRC Press, Inc., 1998.
12. MOHAMED, S.; TAUFIK, B.; KARIM, M.N.A. Effects of modified atmosphere packaging on the physicochemical characteristics of ciku (*Achras sapota* L) at various storage temperatures. **Journal of Science of Food Agriculture**, v.70, 1996.
13. MOHD-SOM, F.; KERBEL, E.; MARTIN, S.E.; SCHIMIDT, S.J. Microflora Changes in modified-atmosphere-packaged broccoli florets stored at refrigerated temperature. **Journal of Food Quality**, v.17, 347-360, 1994.
14. MONSALVE-GONZÁLEZ, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.; CAVALIERI, R.P. Mass Transfer and Textural Changes during Processing of Apples by Combined Methods. **Journal of Food Science**, 58, 5, 1118-1123, 1993.
15. OLIVEIRA, L.M.; ALVES, R.M.; SARANTÓPOULOS, C.I.G.L.; PADULA, M.; GARCIA, E.E.C.; COLTRO, L. Ensaios para Avaliação de Embalagens Plásticas Flexíveis. Campinas: Ed. Centro de Tecnologia de Embalagem – ITAL, 1996. 219 p.
16. PAULL, R.E.; CHEN, W. Minimal Processing of Papaya (*Carica papaya* L.) and the Physiology of the Halved Fruit. **Postharvest Biology and Technology**, 12, 93-99, 1997.
17. PELEG, M. Characterization of the Stress Relaxation Curves of Solid Foods. **Journal of Food Science**, 44(1), 621-626, 635, 1979.
18. STONE, H.; SIDEL, J.L. Sensory Evaluation on Practices, 2a.ed., California: Ed. Academic Press, Inc., 1993.
19. TORREGGIANI, D.; BERTOLO, G. Osmotic Pre-Treatments in Fruit Processing: Chemical, Physical and Structural Effects. **Journal of Food Engineering**, 49, 247-253, 2001.

20. VANDERZANT, C.; SPLITTSTOESSER, D.F. Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods, 3a ed., Washington: Ed. American Public Health Association, 1992.
21. VERMEIREN, L.; DEVLIEGHERE, F.; VAN BEEST, M.; KUIJF, N.; DEBEVERE, J. Developments in the Active Packaging of Foods. **Trends in Food Science and Technology**, 10, 77-86, 1999.
22. HANDPRINT, 2004. [www.handprint.com](http://www.handprint.com) (visitado em 04/05/2002).
23. KROKIDA, M.K.; KARATHANOS, V.T.; MAROULIS, Z.B. Effect of osmotic dehydration on color and sorption characteristics of apple and banana. **Drying Technology**, 18, 937, 950, 2000.
24. FONSECA, S.C.; OLIVEIRA, J.M. e BRECHT, J.K. Modelling Respiration Rate of Fresh Fruit and Vegetables for Modified Atmosphere Packages: A Review. **Journal of Food Engineering**, v.52, p.99-119, 2002.
25. DESHPANDE, S. D.; SOKHANSANJ, S.; IRUDAYARAJ J. Effect of moisture content and storage temperature on rate of respiration of alfalfa. **Byosystems Engineering**, 51, 1-8, 2002.
26. PESIS, E.; AHARONI, D.; AHARON, Z.; BEN-AIRE, R.; AARÓN, N. e FUCHS, Y. Modified Atmosphere and Modified Humidity Packaging Alleviates Chilling Injury Symptoms in Mango Fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v.19, p.93-101, 2000.
27. BAI, J.; SAFTNER, R.A. e WATADA, A.E. Characteristics of Fresh-Cut Honeydew (*Cucumis x melo* L.) Available to Processors in Winter and Summer and Its Quality Maintenance by Modified Atmosphere Packaging. **Postharvest Biology and Technology**, v.28, p.349-359, 2003.
28. SAJJAANANTAKUL, T.; PITIFER, L.A. Pectinesterase. The Chemistry and Technology of Pectin, chap.8, 135-164, Academic Press Inc., Harcourt Brace Jovanovich Publishers, 1991.
29. LIN, T.; LIU, C.; CHEN, S.; WANG, W. Purification and Characterization of Pectinmethylesterase from *Ficus awkeotsang* Makino Achenes. **Plant Physiology**, 91, 1445-1453, 1989.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados obtidos no desenvolvimento deste trabalho permitem concluir:

- O estudo da desidratação osmótica de pedaços de mamão *Formosa* em soluções de sacarose com lactato de cálcio e ácido láctico permitiu a escolha de duas condições de processo (tratamento 1: 0,02M de ácido láctico e 0,05M de lactato de cálcio em solução de sacarose de 50°Brix a 24°C por 1 hora e tratamento 2: 0,10M de ácido láctico e 0,05M de lactato de cálcio em solução de sacarose de 50°Brix a 47°C por 2 horas) que asseguraram a qualidade do produto processado (textura e cor semelhante ao fresco; e menor atividade de água).
- O estudo da transferência de massa indicou que a desidratação osmótica proporcionou redução da atividade de água, aumento da acidez total e intensificação da cor dos pedaços de mamão. Os coeficientes de difusividade para a perda de água e para o ganho de açúcares foram influenciados principalmente pela de temperatura de processo.
- A avaliação da microestrutura mostrou que a adição de lactato de cálcio à solução de desidratação manteve a integridade do tecido tratado. As avaliações reológica e sensorial não apontaram diferenças significativas entre as texturas das amostras antes e depois do tratamento osmótico nas condições 1 e 2.
- As amostras tratadas segundo a condição 2 apresentaram gosto residual amargo, sendo inadequadas ao estudo de armazenamento. As amostras tratadas na condição osmótica 1 modificaram a atmosfera interna das embalagens PET, apresentando boa aceitação sensorial e atingindo intenção de compra de 77% ao final de 15 dias de armazenamento, em comparação a 55% para as amostras frescas embaladas também sob atmosfera modificada passiva.

# APÊNDICE A

## 1. Teor de Sólidos Solúveis Totais

O teor de sólidos solúveis totais das amostras desidratadas pode ser avaliado pelos efeitos apresentados na Tabela 1.1.

**Tabela 1.1**– Tabela de efeitos lineares e suas interações para o teor de sólidos solúveis totais (°Brix) depois da desidratação osmótica.

Fatores	0,5 hora		1 hora		2 horas		3 horas	
	efeito	p	efeito	p	efeito	p	efeito	p
Média	* <b>13,60</b>	0,001	* <b>13,26</b>	<0,001	* <b>15,31</b>	<0,001	* <b>16,55</b>	<0,001
Temperatura (1)	* <b>-0,98</b>	0,078	* <b>-0,51</b>	0,065	* <b>0,56</b>	0,056	0,10	0,809
Ácido (2)	-0,43	0,276	* <b>-0,56</b>	0,055	0,29	0,168	-0,02	0,953
Sal (3)	* <b>-1,18</b>	0,056	0,22	0,249	-0,02	0,887	0,59	0,247
1 x 2	-0,21	0,638	* <b>-0,63</b>	0,074	* <b>0,88</b>	0,040	* <b>1,56</b>	0,083
1 x 3	-0,79	0,172	0,21	0,367	0,04	0,838	-0,19	0,734
2 x 3	0,71	0,202	* <b>0,88</b>	0,040	0,13	0,559	-0,31	0,582

\* efeito estatisticamente significativo a 90% de confiança.

Sabendo-se que o teor de sólidos solúveis totais do mamão fresco mostrou valor médio de 10,75°Brix, conclui-se que houve aumento dos sólidos solúveis ao longo de todo o processo por ingresso dos solutos da solução hipertônica de desidratação no tecido vegetal. Entretanto, pode-se observar que o efeito da temperatura é negativo até a primeira hora, indicando que neste período menores temperaturas de processo podem contribuir mais para o aumento deste parâmetro do que temperaturas elevadas. Depois da primeira hora, a temperatura passa a contribuir positivamente para o aumento do conteúdo de sólidos solúveis da fruta por intensificação da transferência de massa e conseqüente incorporação dos constituintes da solução infusora.

Após a avaliação dos efeitos, fez-se a avaliação dos modelos empíricos gerados pelos coeficientes de regressão (tabela 1.2) através das tabelas ANOVA (tabelas 1.3 a 1.6) para sua validação. As equações 1.1 a 1.4 representam os modelos empíricos ajustados para o teor de sólidos solúveis totais nos tempos 0,5, 1, 2 e 3 horas de desidratação osmótica.

$$\text{Teor de sólidos solúveis (°Brix)} = 13,515 - 0,490T - 0,555T^2 - 0,589S \quad 1.1$$

$$\begin{aligned} \text{Teor de sólidos solúveis (°Brix)} = 13,484 - 0,256T - 0,282A + 0,386S^2 - 0,313TA \\ + 0,438AS \quad 1.2 \end{aligned}$$

$$\text{Teor de sólidos solúveis (°Brix)} = 15,308 + 0,278T + 0,438TA \quad 1.3$$

Teor de sólidos solúveis (°Brix) = 16,555+0,781TA

1.4

**Tabela 1.2** – Coeficientes de regressão estimados para o teor de sólidos solúveis (°Brix)

Fatores	0,5 hora		1 hora		2 horas		3 horas	
	coeficiente	p	coeficiente	p	coeficiente	p	coeficiente	p
Média	13,515	<0,001	13,484	<0,001	15,308	<0,001	16,555	<0,001
Temperatura (T)	-0,490	0,078	-0,256	0,065	0,278	0,056	--	--
T <sup>2</sup>	-0,555	0,065	--	--	--	--	--	--
Ácido (A)	--	--	-0,282	0,055	--	--	--	--
Sal (S)	-0,589	0,056	--	--	--	--	--	--
S <sup>2</sup>	--	--	0,386	0,032	--	--	--	--
T X A	--	--	-0,313	0,074	0,438	0,040	0,781	0,083
A X S	--	--	0,438	0,040	--	--	--	--

**Tabela 1.3** – Tabela ANOVA para o teor de sólidos solúveis das amostras tratadas por 0,5 hora.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub> *
Regressão	12,031	3	4,010	4,78	2,56
Resíduos	10,917	13	0,840		
Total	22,948	16			

\* R<sup>2</sup> = 0,524

Coeficiente de correlação: 0,414

**Tabela 1.4** – Tabela ANOVA para o teor de sólidos solúveis das amostras tratadas por 1 hora.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>
Regressão	6,233	5	1,247	4,72	2,45
Resíduos	2,908	11	0,264		
Total	9,141	16			

\* R<sup>2</sup> = 0,682

Coeficiente de correlação: 0,537

**Tabela 1.5** – Tabela ANOVA para o teor de sólidos solúveis das amostras tratadas por 2 horas.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>
Regressão	2,586	2	1,293	2,64	2,73
Resíduos	6,855	14	0,490		
Total	9,441	16			

\* R<sup>2</sup> = 0,274

Coeficiente de correlação: 0,170

**Tabela 1.6** – Tabela ANOVA para o teor de sólidos solúveis das amostras tratadas por 3 horas.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>
Regressão	12,620	9	1,402	0,73	2,72
Resíduos	13,387	7	1,912		
Total	26,007	16			

\* R<sup>2</sup> = 0,485

Coeficiente de correlação: <0,001

Pela análise dos valores do teste F das tabelas 1.3 a 1.6 nota-se que os modelos gerados para os tempos de 2 e 3 horas de desidratação não representam os dados experimentais e portanto, apenas as superfícies de resposta para 0,5 e 1 hora de processo são válidas.

## 2. Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH das amostras desidratadas pode ser avaliado pelos efeitos apresentados na Tabela 2.1.

**Tabela 2.1** – Tabela de efeitos lineares e suas interações para o pH das amostras depois da desidratação osmótica.

Fatores	0,5 hora		1 hora		2 horas		3 horas	
	efeito	p	Efeito	p	efeito	p	efeito	p
Média	* <b>5,12</b>	<0,001	* <b>5,06</b>	<0,001	* <b>4,91</b>	<0,001	* <b>4,92</b>	<0,001
Temperatura (1)	* <b>-0,39</b>	0,024	* <b>-0,38</b>	0,019	* <b>-0,39</b>	0,029	* <b>-0,39</b>	0,016
Ácido (2)	* <b>-0,32</b>	0,034	* <b>-0,37</b>	0,020	* <b>-0,45</b>	0,022	* <b>-0,56</b>	0,008
Sal (3)	* <b>0,27</b>	0,050	* <b>0,33</b>	0,025	* <b>0,28</b>	0,053	* <b>0,39</b>	0,016
1 x 2	-0,01	0,883	-0,03	0,685	-0,14	0,256	-0,13	0,188
1 x 3	0,08	0,415	0,07	0,442	0,06	0,579	0,13	0,195
2 x 3	* <b>0,32</b>	0,056	0,08	0,364	0,05	0,641	0,05	0,549

\* efeito estatisticamente significativo a 90% de confiança.

Tendo o valor de pH da fruta fresca apresentado valores em torno de 5,2, pode-se afirmar que houve um abaixamento moderado do pH das amostras tratadas osmoticamente. A tabela de efeitos mostra que temperaturas elevadas e altas concentrações de ácido na solução de desidratação promovem a redução do pH do mamão tratado.

Ao contrário, o efeito do sal de cálcio é positivo, mostrando que maiores concentrações deste sal na solução infusora retardam o abaixamento do pH da fruta durante todo o processo. Como o lactato de cálcio utilizado tinha grau de pureza USP (pureza de grau farmacológico e alimentício), a relação de contaminantes do sal não aparece especificada no rótulo do frasco, já que são atóxicos e inofensivos do ponto de vista do consumo humano. Houve, então a necessidade de se medir o pH de uma solução aquosa saturada de lactato de cálcio para que se tivesse idéia da quantidade de substâncias contaminantes e em que grau isto poderia afetar a avaliação dos resultados. Através de medida direta constatou-se que uma solução saturada de lactato de cálcio USP atinge valores de pH de 12, revelando uma natureza muito básica do sal utilizado.

Desta forma, pode-se atribuir o efeito positivo da adição de lactato de cálcio sobre o pH à presença de impurezas de natureza básica (como o hidróxido de cálcio) no sal utilizado.

Tendo sido realizada a avaliação dos efeitos, faz-se a avaliação dos modelos empíricos gerados pelos coeficientes de regressão (tabela 2.2) através das tabelas ANOVA (tabelas 2.3 a 2.6) para sua validação. As equações 2.1 a 2.4 representam os modelos empíricos ajustados para o pH nos tempos 0,5, 1, 2 e 3 horas de desidratação osmótica.

$$\text{pH} = 5,055 - 0,195T - 0,162A + 0,133S - 0,123S^2 + 0,162AS \quad 2.1$$

$$\text{pH} = 5,020 - 0,188T - 0,183A - 0,079A^2 + 0,164S - 0,125S^2 \quad 2.2$$

$$\text{pH} = 4,784 - 0,197T - 0,227A + 0,141S \quad 2.3$$

$$\text{pH} = 4,919 - 0,196T - 0,281A - 0,085A^2 + 0,196S - 0,159S^2 \quad 2.4$$

**Tabela 2.2** – Coeficientes de regressão estimados para o pH

Fatores	0,5 hora		1 hora		2 horas		3 horas	
	coeficiente	p	coeficiente	p	coeficiente	p	coeficiente	p
Média	5,055	<0,001	5,020	<0,001	4,784	<0,001	4,919	<0,001
Temperatura (T)	-0,195	0,024	-0,188	0,019	-0,197	0,029	-0,196	0,016
Ácido (A)	-0,162	0,034	-0,183	0,020	-0,227	0,022	-0,281	0,008
A <sup>2</sup>	--	--	-0,079	0,105	--	--	-0,085	0,086
Sal (S)	0,133	0,050	0,164	0,025	0,141	0,053	0,196	0,016
S <sup>2</sup>	-0,123	0,060	-0,125	0,046	--	--	-0,159	0,027
A X S	0,162	0,056	--	--	--	--	--	--

**Tabela 2.3** – Tabela ANOVA para o pH das amostras tratadas por 0,5 hora.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub> *
Regressão	1,519	5	0,304	4,74	2,45
Resíduos	0,706	11	0,064		
Total	2,225	16			

\* R<sup>2</sup> = 0,683

Coefficiente de correlação: 0,539

**Tabela 2.4** – Tabela ANOVA para o pH das amostras tratadas por 1 hora.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>
Regressão	1,528	5	0,306	5,20	2,45
Resíduos	0,647	11	0,059		
Total	2,175	16			

\* R<sup>2</sup> = 0,703

Coefficiente de correlação: 0,568

**Tabela 2.5**– Tabela ANOVA para o pH das amostras tratadas por 2 horas.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>
Regressão	1,503	3	0,501	7,96	2,56
Resíduos	0,818	13	0,063		
Total	2,322	16			

\* R<sup>2</sup> = 0,648

Coeficiente de correlação: 0,566

**Tabela 2.6** – Tabela ANOVA para o pH das amostras tratadas por 3 horas.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>
Regressão	2,468	5	0,494	7,83	2,45
Resíduos	0,693	11	0,063		
Total	3,161	16			

\* R<sup>2</sup> = 0,781

Coeficiente de correlação: 0,681

O teste F das tabelas ANOVA mostram que, para todos os tempos de processo avaliados, os modelos estatísticos se ajustam bem permitindo que se construam as superfícies de resposta representando a variação do pH dos pedaços de mamão submetidos à desidratação osmótica.

### 3. Acidez Total

A acidez total titulável das amostras desidratadas está representada pelos efeitos na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1** – Tabela de efeitos lineares e suas interações para a acidez total das amostras depois da desidratação osmótica.

Fatores	0,5 hora		1 hora		2 horas		3 horas	
	efeito	p	efeito	p	efeito	p	efeito	p
Média	* <b>0,08</b>	0,005	* <b>0,08</b>	0,001	* <b>0,10</b>	0,002	* <b>0,10</b>	0,002
Temperatura (1)	0,01	0,340	* <b>0,01</b>	0,033	* <b>0,01</b>	0,094	0,01	0,114
Ácido (2)	* <b>0,02</b>	0,063	* <b>0,02</b>	0,009	* <b>0,03</b>	0,020	* <b>0,05</b>	0,009
Sal (3)	0,00	0,784	0,00	0,130	-0,01	0,330	0,00	0,994
1 x 2	0,00	0,824	-0,01	0,115	0,00	0,561	0,01	0,159
1 x 3	-0,01	0,376	0,00	0,755	-0,02	0,136	-0,01	0,221
2 x 3	0,00	0,699	* <b>0,01</b>	0,026	0,01	0,494	-0,01	0,340

\* efeito estatisticamente significativo a 90% de confiança.

Considerando-se que o valor médio da acidez total para a fruta fresca é de 0,08, nota-se que há um leve aumento da acidez da fruta principalmente de depois de duas horas de desidratação osmótica.

A tabela de efeitos mostra que a concentração de ácido láctico na solução infusora é o fator que mais contribui para o aumento da acidez do produto, seguido pelo aumento

da temperatura, provavelmente por altas temperaturas promoverem maiores taxas de transferência de massa, permitindo maior entrada do ácido da solução no tecido.

Tendo sido realizada a avaliação dos efeitos, faz-se a avaliação dos modelos empíricos gerados pelos coeficientes de regressão (tabela 3.2) através das tabelas ANOVA (tabelas 3.3 a 3.6) para sua validação. As equações 3.1 a 3.4 representam os modelos empíricos ajustados para a acidez nos tempos 0,5, 1, 2 e 3 horas de desidratação osmótica.

$$\text{Acidez (\%)} = 0,079 + 0,010A \quad 3.1$$

$$\text{Acidez (\%)} = 0,084 + 0,005T + 0,003T^2 + 0,009A - 0,004A^2 + 0,004S^2 + 0,007AS \quad 3.2$$

$$\text{Acidez (\%)} = 0,100 + 0,007T + 0,017A - 0,007A^2 \quad 3.3$$

$$\text{Acidez (\%)} = 0,097 + 0,023A \quad 3.4$$

**Tabela 3.2** – Coeficientes de regressão estimados para a acidez total (%)

Fatores	0,5 hora		1 hora		2 horas		3 horas	
	coeficiente	p	coeficiente	p	coeficiente	p	coeficiente	p
Média	0,079	0,001	0,084	0,001	0,100	0,001	0,097	<0,001
Temperatura (T)	--	--	0,005	0,033	0,007	0,094	--	--
T <sup>2</sup>	--	--	0,003	0,086	--	--	--	--
Ácido (A)	0,010	0,063	0,009	0,009	0,017	0,020	0,023	0,009
A <sup>2</sup>	--	--	-0,004	0,050	-0,007	0,099	--	--
S <sup>2</sup>	--	--	-0,004	0,048	--	--	--	--
A X S	--	--	0,007	0,026	--	--	--	--

**Tabela 3.3** – Tabela ANOVA para a acidez das amostras tratadas por 0,5 hora.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub> *
Regressão	0,001	1	0,001	10,03	3,07
Resíduos	0,002	15	<0,001		
Total	0,004	16			

\* R<sup>2</sup> = 0,401

Coeficiente de correlação: 0,361

**Tabela 3.4** – Tabela ANOVA para a acidez das amostras tratadas por 1 hora.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>
Regressão	0,003	6	<0,001	7,05	2,46
Resíduos	0,001	10	<0,001		
Total	0,003	16			

\* R<sup>2</sup> = 0,809

Coeficiente de correlação: 0,694

**Tabela 3.5** – Tabela ANOVA para a acidez das amostras tratadas por 2 horas.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>
Regressão	0,005	3	0,002	8,62	2,56
Resíduos	0,003	13	<0,001		
Total	0,008	16			

\* R<sup>2</sup> = 0,665

Coeficiente de correlação: 0,588

**Tabela 3.6** – Tabela ANOVA para a acidez das amostras tratadas por 3 horas.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>
Regressão	0,007	1	0,007	24,25	3,07
Resíduos	0,005	15	<0,001		
Total	0,012	16			

\* R<sup>2</sup> = 0,618

Coeficiente de correlação: 0,592

Como todos os valores dos testes F foram maiores que os valores tabelados, pode-se afirmar que as superfícies de resposta geradas pelos respectivos modelos são confiáveis.

#### 4. Cor

##### 4.1. Tom

O valor de tom das amostras desidratadas pode ser avaliado pelos efeitos apresentados na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1** – Tabela de efeitos lineares e suas interações para o tom (H\*) das amostras depois da desidratação osmótica.

Fatores	0,5 hora		1 hora		2 horas		3 horas	
	efeito	p	efeito	p	efeito	p	efeito	p
Média	* <b>0,95</b>	<0,001	* <b>0,91</b>	0,001	* <b>0,92</b>	0,001	* <b>0,95</b>	<0,001
Temperatura (1)	0,01	0,469	0,00	0,933	0,05	0,135	* <b>0,05</b>	0,007
Ácido (2)	* <b>0,04</b>	0,063	0,06	0,128	0,02	0,420	* <b>0,02</b>	0,051
Sal (3)	-0,01	0,624	0,01	0,806	-0,01	0,603	0,01	0,119
1 x 2	-0,01	0,511	-0,02	0,633	0,00	0,990	0,00	0,691
1 x 3	-0,02	0,231	0,01	0,751	0,01	0,745	* <b>0,02</b>	0,065
2 x 3	0,01	0,522	0,02	0,656	0,01	0,814	0,02	0,119

\* efeito estatisticamente significativo a 90% de confiança.

Lembrando o valor de tom da fruta fresca (0,82), observa-se na tabela 4.1 um aumento no valor médio do tom, por aumento do parâmetro b\* (teor de amarelo) no início do processo osmótico influenciado primordialmente pela concentração de ácido láctico da solução infusora. Entretanto, os valores de tom pouco se alteram ao longo das três horas

de desidratação, sendo que ao final deste período apenas a temperatura e a concentração de ácido mostram alguma importância na mudança deste parâmetro.

Tendo sido realizada a avaliação dos efeitos, faz-se a avaliação dos modelos empíricos gerados pelos coeficientes de regressão (tabela 4.2) através das tabelas ANOVA (tabelas 4.3 a 4.6) para sua validação. As equações 4.1 a 4.4 representam os modelos empíricos ajustados para o tom nos tempos 0,5, 1, 2 e 3 horas de desidratação osmótica.

$$\text{Tom} = 0,954 - 0,037T^2 + 0,021A - 0,030A^2 - 0,022S^2 \quad 4.1$$

$$\text{Tom} = 0,911 \quad 4.2$$

$$\text{Tom} = 0,915 \quad 4.3$$

$$\text{Tom} = 0,955 + 0,026T - 0,010T^2 + 0,010A - 0,015A^2 - 0,018S^2 + 0,011TS \quad 4.4$$

**Tabela 4.2** – Coeficientes de regressão estimados para o tom

Fatores	0,5 hora		1 hora		2 horas		3 horas	
	coeficiente	p	coeficiente	p	coeficiente	p	coeficiente	p
Média	0,954	<0,001	0,911	<0,001	0,915	<0,001	0,955	<0,001
Temperatura (T)	--	--	--	--	--	--	0,026	0,007
T <sup>2</sup>	-0,037	0,026	--	--	--	--	-0,010	0,055
Ácido (A)	0,021	0,063	--	--	--	--	0,010	0,051
A <sup>2</sup>	-0,030	0,039	--	--	--	--	-0,015	0,027
S <sup>2</sup>	-0,022	0,071	--	--	--	--	-0,018	0,018
T X S	--	--	--	--	--	--	0,011	0,065

**Tabela 4.3** – Tabela ANOVA para o tom das amostras tratadas por 0,5 hora.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub> *
Regressão	0,027	4	0,007	7,34	2,48
Resíduos	0,011	12	0,001		
Total	0,038	16			

\* R<sup>2</sup> = 0,710

Coefficiente de correlação: 0,613

**Tabela 4.4** – Tabela ANOVA para o tom das amostras tratadas por 1 hora.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>
Regressão	0,015	9	0,002	1,02	2,72
Resíduos	0,012	7	0,002		
Total	0,027	16			

\* R<sup>2</sup> = 0,567

Coefficiente de correlação: 0,011

**Tabela 4.5** – Tabela ANOVA para o tom das amostras tratadas por 2 horas.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>
Regressão	0,011	9	0,001	0,51	2,72
Resíduos	0,018	7	0,003		
Total	0,029	16			

\* R<sup>2</sup> = 0,394

Coeficiente de correlação: &lt;0,001

**Tabela 4.6** – Tabela ANOVA para o tom das amostras tratadas por 3 horas.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>
Regressão	0,017	6	0,003	3,43	2,46
Resíduos	0,008	10	0,001		
Total	0,025	16			

\* R<sup>2</sup> = 0,673

Coeficiente de correlação: 0,477

A análise das tabelas ANOVA geradas mostra que os modelos obtidos para 1 e 2 horas de processo não se mostram estatisticamente confiáveis. Assim, apenas as representações gráficas do tom dos pedaços de mamão submetidos à desidratação osmótica por 0,5 e 3 horas são válidas.

#### 4.2. Luminosidade

O valor de luminosidade das amostras desidratadas pode ser avaliado pelos efeitos apresentados na Tabela 4.7.

**Tabela 4.7** – Tabela de efeitos lineares e suas interações para a luminosidade (L\*) das amostras depois da desidratação osmótica.

Fatores	0,5 hora		1 hora		2 horas		3 horas	
	efeito	p	efeito	p	efeito	p	efeito	p
Média	* <b>48,24</b>	0,001	* <b>47,07</b>	<0,001	* <b>48,71</b>	0,001	* <b>50,49</b>	<0,001
Temperatura (1)	1,50	0,330	1,14	0,270	1,85	0,341	* <b>1,47</b>	0,020
Ácido (2)	-0,65	0,635	-1,08	0,287	0,45	0,792	* <b>-0,76</b>	0,067
Sal (3)	0,96	0,501	* <b>2,28</b>	0,094	0,44	0,798	0,31	0,270
1 x 2	0,91	0,614	-0,38	0,739	0,40	0,857	-0,25	0,459
1 x 3	1,42	0,452	2,62	0,116	3,70	0,198	* <b>3,13</b>	0,007
2 x 3	-1,35	0,472	-2,03	0,175	-0,60	0,788	* <b>-2,34</b>	0,013

\* efeito estatisticamente significativo a 90% de confiança.

As variações da luminosidade podem ser observadas na tabela 4.7, onde se observa uma queda em seu valor comparado com o valor médio da fruta fresca (56,16), mas sem evidências deste fenômeno ter sido causado por qualquer uma das variáveis estudadas. Apenas depois de três horas de tratamento osmótico pode-se notar a influência da temperatura e do ácido empregados. O efeito positivo da temperatura pode ser explicado pelo aumento da transferência de massa, intensificando o ingresso de açúcares e conseqüente aumento do brilho da amostra. Outros autores reportaram o

efeito do ganho de açúcares no aumento da luminosidade de frutas tratadas por desidratação osmótica.

O efeito da concentração de ácido láctico, apesar de significativo é de intensidade muito menor quando comparado aos outros efeitos no mesmo tempo de processo.

Tendo sido realizada a avaliação dos efeitos, faz-se a avaliação dos modelos empíricos gerados pelos coeficientes de regressão (tabela 4.8) através das tabelas ANOVA (tabelas 4.9 a 4.12) para sua validação. As equações 4.5 a 4.8 representam os modelos empíricos ajustados para a umidade nos tempos 0,5, 1, 2 e 3 horas de desidratação osmótica.

$$\text{Luminosidade} = 48,970 + 2,150A^2 + 2,178S^2 \quad 4.5$$

$$\text{Luminosidade} = 47,075 + 1,672T^2 + 2,229A^2 + 1,139S + 2,075S^2 \quad 4.6$$

$$\text{Luminosidade} = 49,441 + 2,493A^2 + 2,528S^2 \quad 4.7$$

$$\text{Luminosidade} = 10,486 + 0,733T + 0,591T^2 - 0,381A + 1,943A^2 + 0,617S^2 + 1,565TS - 1,171AS \quad 4.8$$

**Tabela 4.8** – Coeficientes de regressão estimados para a luminosidade

Fatores	0,5 hora		1 hora		2 horas		3 horas	
	coeficiente	p	coeficiente	p	coeficiente	p	coeficiente	p
Média	48,970	<0,001	47,075	<0,001	49,441	0,001	50,486	<0,001
Temperatura (T)	--	--	--	--	--	--	0,733	0,020
T <sup>2</sup>	--	--	1,672	0,056	--	--	0,591	0,036
Ácido (A)	--	--	--	--	--	--	-0,381	0,067
A <sup>2</sup>	2,150	0,073	2,229	0,033	2,493	0,086	1,943	0,003
Sal (S)	--	--	1,139	0,094	--	--	--	--
S <sup>2</sup>	2,178	0,072	2,075	0,038	2,528	0,084	0,617	0,033
T X S	--	--	--	--	--	--	1,565	0,007
A X S	--	--	--	--	--	--	-1,171	0,013

**Tabela 4.9** – Tabela ANOVA para a luminosidade das amostras tratadas por 0,5 hora.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub> *
Regressão	94,196	2	47,098	9,27	2,73
Resíduos	71,139	14	5,081		
Total	165,335	16			

\* R<sup>2</sup> = 0,570

Coefficiente de correlação: 0,508

**Tabela 4.10** – Tabela ANOVA para a luminosidade das amostras tratadas por 1 hora.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>
Regressão	135,443	9	15,049	2,41	2,72
Resíduos	43,757	7	6,251		
Total	179,200	16			

\*  $R^2 = 0,756$ 

Coeficiente de correlação: 0,442

**Tabela 4.11** – Tabela ANOVA para a luminosidade das amostras tratadas por 2 horas.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>
Regressão	126,793	2	63,396	6,42	2,73
Resíduos	138,337	14	9,881		
Total	265,130	16			

\*  $R^2 = 0,478$ 

Coeficiente de correlação: 0,404

**Tabela 4.12** – Tabela ANOVA para a luminosidade das amostras tratadas por 3 horas.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub>
Regressão	82,464	7	11,781	1,68	2,51
Resíduos	63,196	9	7,022		
Total	145,660	16			

\*  $R^2 = 0,566$ 

Coeficiente de correlação: 0,229

A avaliação do teste F (tabelas 4.9 a 4.12) mostrou que os modelos gerados para os tempos de 1 e 3 horas de processo não são confiáveis e portanto, apenas a representação gráfica da variação da luminosidade dos pedaços de mamão submetidos à desidratação osmótica por 0,5 e 2 horas é válida.

## APÊNDICE B

As Figuras 1 a 3 apresentam os modelos das fichas utilizadas nas avaliações sensoriais na escolha da embalagem e no estudo do acondicionamento durante a vida de prateleira.

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

AMOSTRA NÚMERO: \_\_\_\_\_

Em relação ao **sabor**:

Desgostei muitíssimo |-----| Gostei muitíssimo

Em relação à **textura**:

Desgostei muitíssimo |-----| Gostei muitíssimo

Observações:

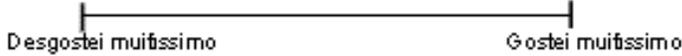
**Figura 1** – Modelo da ficha para avaliação do sabor e da textura de pedaços de mamão distribuídas na etapa de escolha da embalagem.

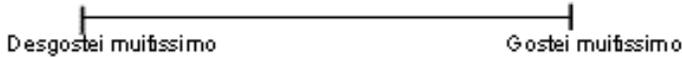
Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

Amostra nº: \_\_\_\_\_

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

- Em relação ao sabor:
 


- Em relação à textura:
 


- Em relação à impressão global:
 



Comentários: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

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

( ) 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.

Justificativa:  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Figura 2** – Modelo da ficha para avaliação do sabor, textura e impressão global de pedaços de mamão distribuídas na etapa de estudo da vida de prateleira.

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

Observe as amostras de mamão e marque na escala o quanto você gostou ou desgostou da amostra:

- Em relação à aparência:

Nº da amostra	Desgostei muitíssimo	Gostei muitíssimo
_____	-----	-----
_____	-----	-----
_____	-----	-----

- Em relação à cor:

Nº da amostra	Desgostei muitíssimo	Gostei muitíssimo
_____	-----	-----
_____	-----	-----
_____	-----	-----

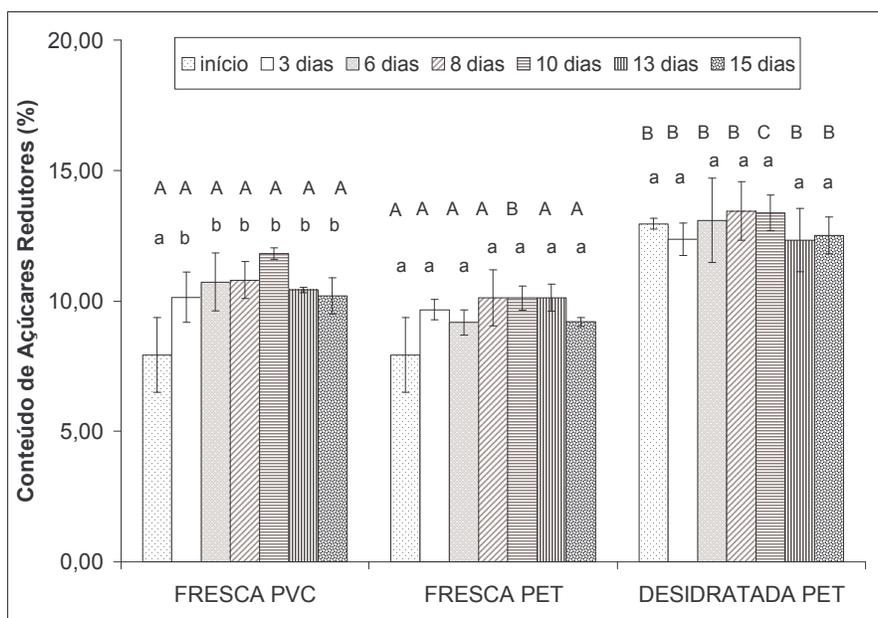
Comentários: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

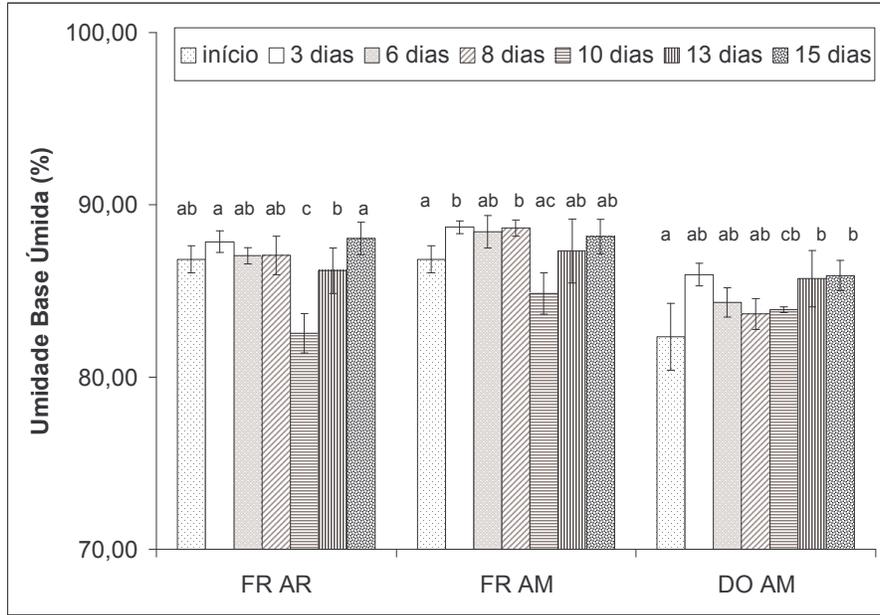
**Figura 3** – Modelo da ficha para avaliação da aparência e da cor de pedaços de mamão distribuídas na etapa de estudo da vida de prateleira.

## APÊNDICE C

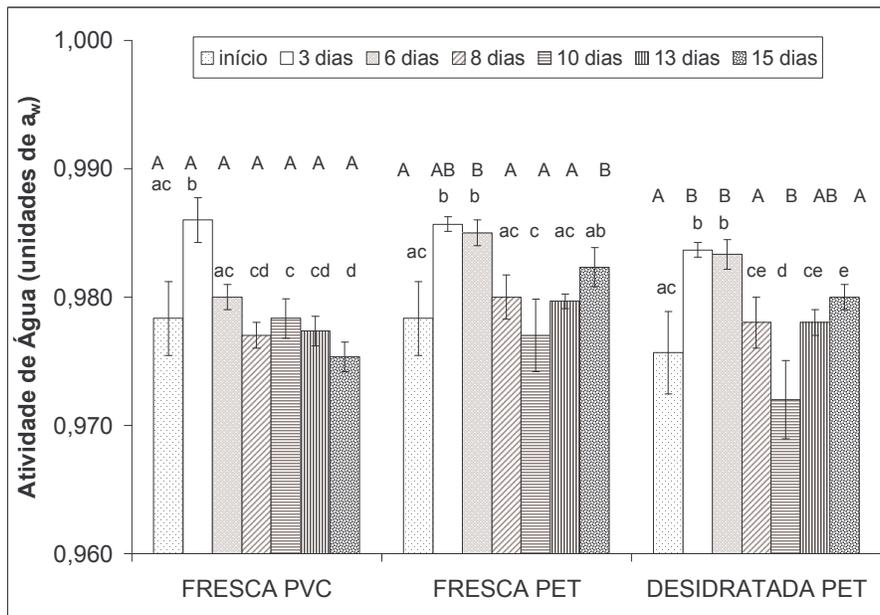
Estão apresentados a seguir os gráficos da variação do teor de açúcares, umidade e atividade de água para os pedaços de mamão frescos e osmoticamente desidratados armazenados sob atmosfera modificada, indicando a estabilidade destes parâmetros ao longo da vida de prateleira.



**Figura 1** - Valores para o teor de açúcares dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira.



**Figura 2** - Valores para o teor de umidade dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira.



**Figura 3** - Valores para a atividade de água dos pedaços de mamão durante a vida de prateleira.

# ANEXO A

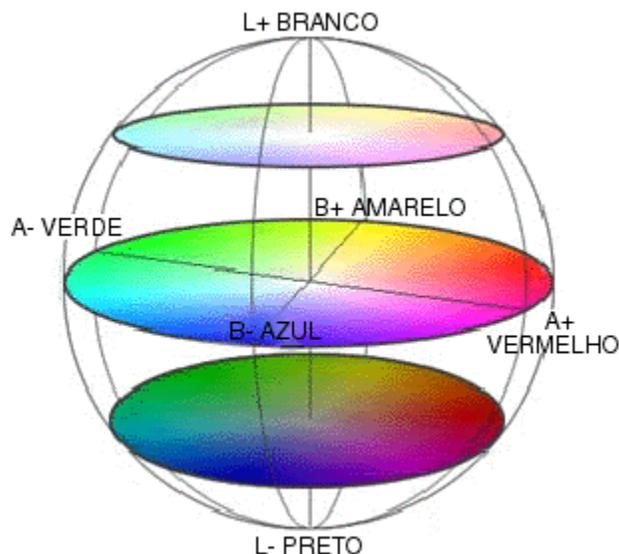
## O SISTEMA DE COR CIELAB

Desde a década de 20 uma meta significativa foi atingida no sentido de especificar a resposta humana à cor de modo que pudesse ser implementado em equipamentos de medida eletrônica – colorímetros. Iniciando em 1931, muito deste trabalho foi feito sob auspícia da Commission Internationale de l'Éclairage (CIE), um centro de pesquisa internacional para estudos da cor. Todos os modelos CIE e modelos correlatos são baseados em respostas tricromáticas de cones RGB (red – vermelho, green – verde e blue – azul). Este sistema permite a modelagem matemática precisa da visão da cor usando medidas espectrofotométricas computadorizadas. Um marco recente neste esforço é o sistema de cor CIE  $L^*a^*b^*$  (CIELAB como abreviação), publicado pela primeira vez em 1976.

O modelo CIELAB representa um grande avanço em relação a outros modelos existentes. O iluminante no contexto local pode ser especificado, como uma referência de *branco*. Isto é, o modelo trata todas as cores como uma combinação de cores superficiais e cor iluminante, permitindo que o modelo seja aplicado em uma ampla faixa de condições de visão. Em segundo lugar, CIELAB é baseado em uma estrutura de luzes imaginárias primárias, escolhidas especificamente para tornar o espaço da cor de percepção uniforme. Isto significa que uma diferença de 10 unidades na dimensão da luminosidade tem o mesmo impacto perceptível que 10 unidades de diferença na dimensão do croma. Em terceiro lugar, os valores do sistema tricromático primário XYZ são transformados matematicamente para representar as dimensões opostas amarelo / azul e vermelho / verde associado à luminosidade ou dimensão branco / preto, que permite que o modelo reproduza a estrutura básica da experiência da cor. Isto faz do sistema CIELAB um modelo simples, mas suficiente de representação da aparência da cor.

As três letras no nome do sistema CIELAB se referem às dimensões opostas:  $a^*$  é o contraste vermelho – verde ( $a^+$  é vermelho e  $a^-$  é verde);  $b^*$  é o contraste amarelo – azul ( $b^+$  é amarelo e  $b^-$  é azul) e  $L^*$  é a dimensão da luminosidade variando de 0 (preto puro) a 100 (branco de referência). Estas três dimensões geraram o sólido de cor  $L^*a^*b^*$

(Figura 1). Qualquer medida espectrofotométrica pode ser localizada neste sólido como valores específicos de L, a e b.



**Figura 1** – O sistema de cor CIELAB criado em 1976.

Quando os olhos mandam informações de cor para o cérebro, as respostas dos cones receptores são transformadas em três dimensões opostas: vermelho-verde, amarelo-azul e preto-branco. Não se sabe exatamente como a mente interpreta ou transforma estas informações de cor; entretanto, em meados do século XIX, cientistas no ramo da cor concluíram que três atributos de cor (tom, croma e luminosidade) serviam extremamente bem para descrever e predizer julgamentos conscientes de cor – o estágio final da visão da cor – através de uma faixa ampla de estímulos e situações visuais.

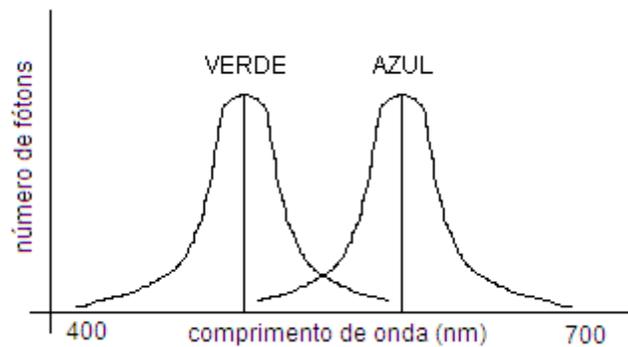
## **TOM**

O tom é o atributo de cor mais familiar: a qualidade que se identifica como **o nome da cor** como vermelho, verde, amarelo ou azul (Figura 2).



**Figura 2** – Diferenças no tom com luminosidade e croma constantes.

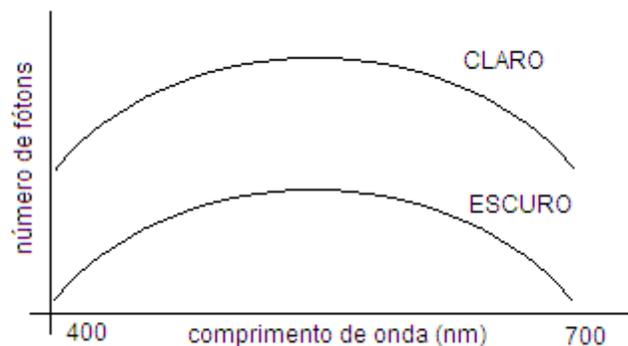
Nossa percepção de tom é usualmente determinada pela média ou comprimento de onda dominante da luz visível (Figura 3) relativa aos comprimentos de onda presentes no estímulo.



**Figura 3** – O atributo de cor de tom.

## LUMINOSIDADE

Outro atributo de cor muito familiar é a **qualidade de claro ou escuro** de uma fonte de luz emitida ou refletida. Luminosidade é o valor representativo da quantidade de luz que chega aos olhos de todas as partes do espectro visível: quanto mais luz, mais clara é a cor (Figuras 4 e 5).



**Figura 4** – Atributo de cor luminosidade.



**Figura 5** – Diferenças de luminosidade com tom e croma constantes.

Claro ou escuro pode ser relacionado com o julgamento da cor. O brilho se refere à quantidade total de luz emitida ou refletida por uma superfície, enquanto que a luminosidade se refere à quantidade de luz refletida por uma superfície em comparação a uma superfície branca sob as mesmas condições de iluminação. Assim, pode-se dizer que a luminosidade é um valor relacionado a um julgamento de cor.

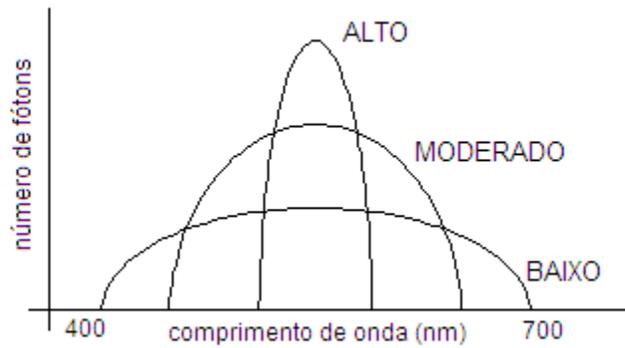
### **CROMA**

O terceiro atributo de cor é o croma é a **intensidade ou pureza do tom**, independente de quão clara ou escura é esta cor. Uma cor intensa ou altamente cromática parece luminosa ou concentrada, enquanto que uma cor de baixo croma parece acinzentada, fraca ou diluída (Figura 6).



**Figura 6** – Diferenças de croma com tom e luminosidade constantes.

Saturação é um termo comumente usado para se referir ao croma, representando a pureza espectral de uma cor, a variedade de diferentes comprimentos de onda que formam uma cor (Figura 7). Comprimentos de onda únicos ou luzes monoespectrais são sempre cores saturadas ao máximo. De fato, são o estímulo físico mais saturado possível para qualquer tom (como a cor de um laser vermelho). Qualquer comprimento de onda adicional fará a aparência da cor final menos pura, diminuindo sua saturação.



**Figura 7** – Cromo ou saturação de uma cor.

No diagrama da Figura 7, uma saturação baixa está espalhada sobre todo o espectro. A luz mais saturada emite a mesma quantidade de energia, mas a energia ou a luz está concentrada em uma faixa mais restrita do espectro, resultando em maior intensidade de cor.

Informações retiradas do manual do equipamento e do site [www.handprint.com](http://www.handprint.com).

