



**UNICAMP**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS - FEA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS - DEA**

## **INFLUÊNCIA DOS ADITIVOS NA OBTENÇÃO DE MAMÃO DESIDRATADO OSMOTICAMENTE**

**Autora: Alline Cristina Carpigiani Rodrigues**

**Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Míriam Dupas Hubinger**

### **PARECER**

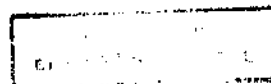
Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por Alline Cristina Carpigiani Rodrigues aprovada pela Comissão Julgadora em 06 de julho de 1999.

Campinas, 06 de julho de 1999

Profa. Dra. Míriam D. Hubinger  
Presidente da Banca

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, para a obtenção de título de **MESTRE EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

Campinas, julho de 1999



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

R618i

Rodrigues, Aline Cristina Carpigiani

Influência dos aditivos na obtenção de mamão desidratado osmoticamente. / Aline Cristina Carpigiani Rodrigues. -- Campinas, SP: [s.n.], 1999.

Orientador: Míriam Dupas Hubinger.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1. Mamão. 2. Alimentos - Desidratação. 3. Cor. 4. Alimentos – Textura. 5. Aditivos. I. Hubinger, Míriam Dupas. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

|              |                                                                                             |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| UNIDADE      | BC                                                                                          |
| N.º CHAMADA: |                                                                                             |
| V.           | Ex                                                                                          |
| TOMBO BC     | 38431                                                                                       |
| PREC.        | 229,99                                                                                      |
| C            | <input type="checkbox"/> 0 <input checked="" type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 |
| PREC.        | 29,00                                                                                       |
| DATA         | 24/08/99                                                                                    |
| N.º CPD      |                                                                                             |

CM-00134289-2

## BANCA EXAMINADORA

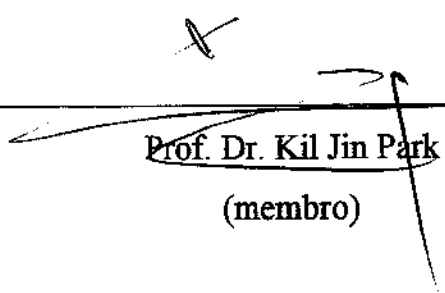


---

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Míriam Dupas Hubinger  
(Orientadora)

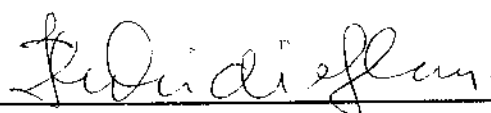
---

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Denise Jardim  
(membro)



---

Prof. Dr. Kil Jin Park  
(membro)



---

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Fernanda X. Murr  
(membro)

Aos meus pais, *Leo Ivan e Orlando*, pelo apoio incondicional, e exemplos de caráter. Toda a minha admiração, respeito e amor.

À minha irmã, *Tati*, por ser mais que uma simples irmã. Meu respeito e minha risadinha.

À *Sabbath e Puppe* pelo carinho. Meu sorriso.

Ao *Renato* pelo companheirismo, idéias, inspiração e muita paciência. Meu amor.

*“ Além disso, não precisamos correr sozinhos o risco da aventura, pois os heróis de todos os tempos a enfrentaram antes de nós. O labirinto é conhecido em toda a sua extensão. Temos apenas de seguir a trilha do herói, e lá, onde temíamos encontrar algo abominável, encontraremos um deus. E lá, onde esperávamos matar alguém, mataremos a nós mesmos. Onde imaginávamos viajar para longe, iremos ao centro da nossa própria existência. E lá, onde pensávamos estar sós, estaremos na companhia do mundo todo.”*

*Joseph Campbell*

## AGRADECIMENTOS

A Deus.

À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Míriam Dupas Hubinger pela orientação, oportunidade, paciência e amizade, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

Aos professores Dr. Kil Jin Park, Dr<sup>a</sup> Denise Jardim e Dr<sup>a</sup> Fernanda X. Murr pela compreensão e valiosas correções que melhoraram o trabalho.

Aos Distribuidores Bandeira S.A. – CEASA/Campinas pela doação dos mamões de excelente qualidade.

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

À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao Departamento de Tecnologia de Alimentos pela concessão do uso do colorímetro.

À professora Bel pelos ensinamentos, presteza e paciência; valorosíssimos para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Ferreroni e Rivana pela confiança e ensinamentos.

Ao casal Bertevello, Luizinho e Aninha, pelo incentivo, apreço, carinho e amizade.

À “Alesinha Fofinha” (técnica do LEP) pela amizade e ajuda “de todas as horas”, imprescindível para a realização do trabalho.

À Aninha (secretária da limpeza) pela paciência, boa vontade e presteza.

À Belzinha, Eliana, Biba, Alfredo, Mari, Rosi e aos demais companheiros do laboratório pelas incansáveis risadas e valiosas dicas durante a fase experimental do trabalho.

Ao meu irmãozinho André Luis pela compreensão, companherismo, atenção, dicas, palpites, sugestões, colo, risadas, choros, conselhos e tudo mais a que um grande amigo tem direito.

Aos meus grandes amigos Denise e Jean por compartilharem o sol que trazem em seus olhares, a alegria de seus sorrisos e a leveza de suas almas.

Ao Daniel “Buda” por me aguentar muito mais do que um amigo comum conseguiria.

Aos meus colegas de turma Iuri, Oswaldinho, Fabião, Luci, Luciana, Janaína, Nicolas, Dani, Mariana, pela colaboração nos estudos e momentos descontraídos de sempre.

Aos “casais 20” Flávio e Kity, Mauro e Alê pelas risadas, dicas e amizade incomum.

Aos amigos do coral por compartilharem o sublime ato de “fazer música”.

À tia Ivani & cia., pelo “auxílio moradia” e todo o carinho que veio junto. Aos meus avós pelo amor. À toda a minha família pelo apoio e interesse de sempre.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para o meu crescimento com tanto amor.

## ÍNDICE

|                                                 |            |
|-------------------------------------------------|------------|
| <b>RESUMO</b>                                   | <b>i</b>   |
| <b>ABSTRACT</b>                                 | <b>iii</b> |
| <b>NOMENCLATURA</b>                             | <b>v</b>   |
| <b>1. INTRODUÇÃO</b>                            | <b>1</b>   |
| <b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>                 | <b>4</b>   |
| <b>2.1. MAMÃO</b>                               | <b>4</b>   |
| <b>2.2. DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA</b>               | <b>7</b>   |
| <b>2.2.1. Variáveis do Processo</b>             | <b>10</b>  |
| <b>Agente Desidratante</b>                      | <b>10</b>  |
| <b>Temperatura</b>                              | <b>12</b>  |
| <b>Tempo de Processo</b>                        | <b>14</b>  |
| <b>Concentração da Solução Infusora</b>         | <b>15</b>  |
| <b>2.3. TRATAMENTOS E ADITIVOS</b>              | <b>17</b>  |
| <b>2.4. QUALIDADE</b>                           | <b>23</b>  |
| <b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b>                    | <b>29</b>  |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>               | <b>38</b>  |
| <b>4.1. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO MAMÃO FORMOSA</b> | <b>38</b>  |
| <b>4.2. AVALIAÇÃO DOS EFEITOS</b>               | <b>39</b>  |

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.1. Efeito Sobre a Atividade de Água no Interior da Amostra .....                                         | 41 |
| 4.2.2. Efeito Sobre a Atividade de Água da Superfície .....                                                  | 43 |
| 4.2.3. Efeito Sobre a Incorporação de Açúcares .....                                                         | 47 |
| 4.2.4. Efeito Sobre a Umidade no Interior e na Superfície da Amostra ..                                      | 49 |
| 4.2.5. Efeito Sobre a Cor .....                                                                              | 54 |
| 4.2.6. Efeito Sobre a Textura .....                                                                          | 56 |
| 4.3. VARIAÇÃO DA PERDA DE PESO, ATIVIDADE DE ÁGUA, UMIDADE, COR,<br>TEXTURA E INCORPORAÇÃO DE AÇÚCARES ..... | 64 |
| 4.3.1. Variação da Perda de Peso .....                                                                       | 64 |
| 4.3.2. Variação da Atividade de Água .....                                                                   | 66 |
| 4.3.3. Variação da Umidade e Incorporação de Açúcares .....                                                  | 68 |
| 4.3.4. Variação da Cor .....                                                                                 | 71 |
| 4.3.5. Variação da Textura .....                                                                             | 72 |
| 5. CONCLUSÕES .....                                                                                          | 76 |
| 6. REFERÊNCIAS .....                                                                                         | 78 |
| APÊNDICE A .....                                                                                             | 87 |
| APÊNDICE B .....                                                                                             | 92 |

## ÍNDICE DE TABELAS

|                                                                                                                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tabela 2.1 - Relação dos principais componentes do mamão.....</b>                                                                                           | <b>04</b> |
| <b>Tabela 2.2 - Conteúdo vitamínico do mamão.....</b>                                                                                                          | <b>05</b> |
| <b>Tabela 2.3 - Efeito do grau de maturação no rendimento e qualidade do mamão fresco.....</b>                                                                 | <b>06</b> |
| <b>Tabela 3.1 - Planejamento fatorial completo com 6 repetições no ponto central.....</b>                                                                      | <b>36</b> |
| <b>Tabela 4.1 - Composição química centesimal do mamão variedade Formosa..</b>                                                                                 | <b>39</b> |
| <b>Tabela 4.2 - Planilha do planejamento completo 2<sup>4</sup> para a obtenção dos dados estatísticos.....</b>                                                | <b>40</b> |
| <b>Tabela 4.3 - Tabela de efeitos estimados para a atividade de água no interior da amostra.....</b>                                                           | <b>41</b> |
| <b>Tabela 4.4 - Tabela de efeitos estimados para a atividade de água da superfície da amostra.....</b>                                                         | <b>44</b> |
| <b>Tabela 4.5 - Tabela de efeitos estimados para a incorporação de açúcares.....</b>                                                                           | <b>48</b> |
| <b>Tabela 4.6 - Tabela de efeitos estimados para a umidade do interior da amostra.....</b>                                                                     | <b>49</b> |
| <b>Tabela 4.7 - Tabela de efeitos estimados para a umidade na superfície da amostra.....</b>                                                                   | <b>51</b> |
| <b>Tabela 4.8 - Tabela de efeitos estimados para a cor da amostra.....</b>                                                                                     | <b>54</b> |
| <b>Tabela 4.9 - Tabela de efeitos estimados para a força de ruptura da amostra....</b>                                                                         | <b>58</b> |
| <b>Tabela 4.10 - Tabela das melhores condições de desidratação osmótica escolhidas.....</b>                                                                    | <b>61</b> |
| <b>Tabela 1b – Resultados de um planejamento fatorial 2<sup>2</sup> para estudar o efeito da temperatura e do catalisador no rendimento de uma reação.....</b> | <b>93</b> |
| <b>Tabela 2b – Efeitos calculados para o planejamento experimental fatorial 2<sup>2</sup>.....</b>                                                             | <b>96</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                        |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Figura 2.1 - Desenho esquemático da transferência de massa durante processos de imersão.....</b>                                                                                                    | <b>09</b> |
| <b>Figura 3.1 –Fotografia do mamão variedade Formosa utilizado nos experimentos deste trabalho.....</b>                                                                                                | <b>30</b> |
| <b>Figura 4.1 - Gráfico de barras dos valores dos efeitos sobre a atividade de água do interior da amostra, para cada variável e suas combinações.....</b>                                             | <b>42</b> |
| <b>Figura 4.2 - Gráfico de barras dos valores dos efeitos sobre a atividade de água da superfície da amostra, para cada variável e suas combinações.....</b>                                           | <b>44</b> |
| <b>Figura 4.3 - Superfície de resposta para a atividade de água da superfície da amostra Segundo a influência do tipo de sal e da temperatura.....</b>                                                 | <b>46</b> |
| <b>Figura 4.4 - Curvas de nível correspondentes à superfície de resposta para a atividade de água da amostra segundo a influência do tipo de sal e da temperatura.....</b>                             | <b>47</b> |
| <b>Figura 4.5 - Gráfico de barras dos valores dos efeitos sobre a incorporação de açúcares, para cada variável e suas combinações.....</b>                                                             | <b>49</b> |
| <b>Figura 4.6 - Gráfico de barras dos valores dos efeitos sobre a umidade do interior da amostra, para cada variável e suas combinações.....</b>                                                       | <b>50</b> |
| <b>Figura 4.7 - Gráfico de barras dos valores dos efeitos sobre a umidade da superfície da amostra, para cada variável e suas combinações.....</b>                                                     | <b>51</b> |
| <b>Figura 4.8 - Superfície de resposta para a umidade da superfície da amostra segundo a influência da concentração de açúcares da solução e da temperatura</b>                                        | <b>52</b> |
| <b>Figura 4.9 - Curvas de nível correspondentes à superfície de resposta para a umidade da superfície da amostra segundo a influência da concentração de açúcares da solução e da temperatura.....</b> | <b>53</b> |
| <b>Figura 4.10 - Gráfico de barras dos valores dos efeitos sobre a cor da amostra, para cada variável e suas combinações.....</b>                                                                      | <b>55</b> |

|                                                                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 4.11</b> - Gráfico de barras dos valores dos efeitos sobre a textura da amostra, para cada variável e suas combinações.....                                                                     | 58 |
| <b>Figura 4.12</b> - Superfície de resposta para a força máxima de ruptura da amostra segundo a influência da concentração de açúcares da solução e do tipo de sal.....                                   | 59 |
| <b>Figura 4.13</b> - Curvas de nível correspondentes à superfície de resposta para a força máxima de ruptura da amostra segundo a influência da concentração de açúcares da solução e do tipo de sal..... | 59 |
| <b>Figura 4.14</b> - Superfície de resposta para a força máxima de ruptura da amostra segundo a influência do tipo de ácido e do tipo de sal.....                                                         | 60 |
| <b>Figura 4.15</b> - Curvas de nível correspondentes à superfície de resposta para a força máxima de ruptura da amostra segundo a influência do tipo de ácido e do tipo de sal.....                       | 60 |
| <b>Figura 4.16</b> – Foto do mamão desidratado por duas horas na condição do ensaio 01 (70°Brix, 50°C, ácido láctico e lactato de sódio) da Tabela 5.10.....                                              | 61 |
| <b>Figura 4.17</b> – Foto do mamão desidratado por duas horas na condição do ensaio 02 (50°Brix, 50°C, ácido láctico e cloreto de cálcio) da Tabela 5.10.....                                             | 62 |
| <b>Figura 4.18</b> – Foto do mamão desidratado por duas horas na condição do ensaio 03 (70°Brix, 30°C, ácido láctico e lactato de sódio) da Tabela 5.10.....                                              | 62 |
| <b>Figura 4.19</b> – Foto do mamão desidratado por duas horas na condição do ensaio 04 (70°Brix, 30°C, ácido cítrico e lactato de sódio) da Tabela 5.10.....                                              | 63 |
| <b>Figura 4.20</b> – Foto do mamão fresco preparado para desidratação.....                                                                                                                                | 63 |
| <b>Figura 4.21</b> - Variação da perda de peso para 7 horas de desidratação.....                                                                                                                          | 65 |
| <b>Figura 4.22</b> - Variação da atividade de água no interior da amostra para 7 horas de desidratação.....                                                                                               | 67 |
| <b>Figura 4.23</b> - Variação da atividade de água na superfície da amostra para 7 horas de desidratação.....                                                                                             | 67 |
| <b>Figura 4.24</b> - Variação da umidade base úmida no interior da amostra para 7                                                                                                                         |    |

|                                                                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| horas de desidratação.....                                                                                     | 68        |
| <b>Figura 4.25 - Variação da umidade base úmida na superfície da amostra para 7 horas de desidratação.....</b> | <b>69</b> |
| <b>Figura 4.26 - Variação da incorporação de açúcares para 7 horas de desidratação.....</b>                    | <b>70</b> |
| <b>Figura 4.27 - Variação da cor (dE) para 7 horas de desidratação.....</b>                                    | <b>72</b> |
| <b>Figura 4.28 - Variação da força máxima de ruptura para 7 horas de desidratação.....</b>                     | <b>74</b> |

## RESUMO

Interesse crescente vem se manifestando quanto aos alimentos submetidos a processamentos brandos, assegurando uma qualidade sensorial próxima à do produto “*in natura*”, assim como uma resistência maior à degradação. Um processo que possibilita a obtenção de um produto levemente transformado é a desidratação osmótica, permitindo a realização concomitante da desidratação e da formulação direta do alimento pelo acréscimo de aditivos à solução infusora. Além disso, a desidratação osmótica apresenta vantagens como maior qualidade sensorial do produto final por usar temperaturas amenas, baixo custo energético e a possibilidade de reaproveitamento das soluções desidratantes, se comparada à secagem convencional.

Os aditivos empregados durante o processo de desidratação têm como objetivo a melhoria da textura, inativação enzimática e microbiológica, ação antioxidante, preservação da cor e indiretamente, o aumento da taxa osmótica do processo, aumentando sua eficácia e melhorando a qualidade do produto final.

O presente trabalho pretende estudar a influência dos tratamentos e aditivos na obtenção de pedaços de mamão a minimamente processados pela imersão da fruta em solução concentrada de sacarose.

Fatias de mamão foram imersas em solução de sacarose às concentrações de 50, 60 e 70 ° Brix, a 30, 40 e 50° C. Como aditivos foram usadas combinações de ácido cítrico e láctico, assim como lactato de sódio e cloreto de cálcio. Perda de água e ganho de soluto no fruto foram determinados em função do tempo de tratamento,

da temperatura e da concentração da solução. O produto final foi avaliado quanto ao teor de açúcares redutores, atividade de água, umidade, cor e textura instrumental.

Planejamento experimental e metodologia de superfície de resposta foram aplicados na obtenção das melhores condições de processo, buscando um produto final com qualidades sensoriais semelhantes aos do fruto fresco e com maior estabilidade.

## ABSTRACT

A growing interest has been manifested in relation to some fruits and vegetables submitted to soft processing, assuring a sensorial quality closer to the fresh food, as well as a greater resistance to degradation. The osmotic dehydration is a process that provides a good sensorial quality final product due to the use of low temperatures and also allows a simultaneous accomplishment of a partial dewatering and a direct formulation of food pieces obtained by immersion in concentrated solutions.

Some acids or salts can be added to the soaking solution during the dehydration process in order to improve texture, preserve color, enzymatic and microbiological partial inhibition, anti oxidizer action, and indirectly, the increase of the process osmotic rate, increasing the dehydrated products final quality, without modifying the food integrity.

This work has as objective the evaluation of the final quality of minimally processed papaya pieces by influence of the addition of different kinds of salts and acids to the concentrated aqueous sucrose soaking solution.

Pieces of papaya were immersed for two hours in a concentrated (50, 60 and 70°Brix) aqueous sucrose solution at 30, 40 and 50°C. Addictive combinations of citric and lactic acids, and the salts calcium chloride and sodium lactate were used. Water loss and gain of solute were determined as a function of processing time, temperature and solutions concentration. The final product was evaluated for sugar incorporation, water activity, humidity, color and texture.

Factorial experimental design and response surface methodology were used to get the best processes condition, in order to obtain a final product with sensorial qualities close to the fresh product and more stable microbiologically.

## NOMENCLATURA

|          |   |                                                              |
|----------|---|--------------------------------------------------------------|
| $\gamma$ | = | coeficiente de atividade                                     |
| $a_i$    | = | atividade de água do componente i                            |
| $AR$     | = | açúcares redutores totais do produto (%)                     |
| $a_w$    | = | atividade de água                                            |
| $dE$     | = | diferença média quadrática dos parâmetros de cor             |
| $GS$     | = | incorporação de sólidos com base na massa inicial do produto |
| $L$      | = | calor latente de fusão                                       |
| $a$      | = | parâmetro de cor vermelho/verde                              |
| $a_0$    | = | parâmetro de cor vermelho/verde para a fruta fresca          |
| $b$      | = | parâmetro de cor amarelo/azul                                |
| $b_0$    | = | parâmetro de cor amarelo/azul para a fruta fresca            |
| $L$      | = | parâmetro de luminosidade preto/branco                       |
| $L_0$    | = | parâmetro de luminosidade preto/branco para a fruta fresca   |
| $m$      | = | massa total de produto (g)                                   |
| $m$      | = | molalidade                                                   |
| $M$      | = | peso molecular                                               |
| $n$      | = | número de moles                                              |

$p$  = pressão parcial de um componente da solução

$PP$  = perda de peso do produto desidratado (%)

$p_w$  = pressão de vapor da água na solução

$R$  = constante universal dos gases

$T$  = temperatura (°C)

$t$  = tempo (s)

$x$  = concentração (kg sólidos/kg solução)

$X$  = fração molar

**Sub- índices:**

$_0$  = relativo ao componente puro

$_f$  = final

$_i$  = inicial

$_s$  = relativo à solução

$_w$  = relativo à água

## 1. INTRODUÇÃO

Frutas tropicais e subtropicais como o mamão, manga e banana, têm se mostrado muito populares mundialmente há muitos anos. No entanto, apenas uma quantidade e variedade limitadas das frutas tropicais são produzidas para o mercado de exportação (PALOU *et al.*, 1993; HENG *et al.*, 1990). Perdas de frutos em muitos países em desenvolvimento alcançam entre 10 e 40% devido à falta de facilidades de preservação das frutas *in situ*. Uma grande mudança nos padrões de consumo ocorreu aproximadamente na última década: frutas frescas e as denominadas minimamente processadas tiveram sua popularidade aumentada, enquanto caiu o consumo de produtos em conserva (SHEWFELT, 1987). Além disto, frutas tropicais a umidade intermediária podem abrir novas possibilidades para uma melhor utilização da fruta e parecem mostrar mercados potenciais (LEVI *et al.*, 1983).

As frutas a umidade intermediária, formulações largamente aplicadas a algumas frutas tropicais da Índia e outros países asiáticos, baseiam sua estabilidade primordialmente no controle da atividade de água ( $a_w=0,60-0,90$ ), incluindo muitas vezes em sua formulação, conservantes e algum outro fator adicional, que evite a deterioração por fungos e leveduras (ALZAMORA, 1997). Uma alternativa às frutas de umidade intermediária, são as frutas de alta umidade, estabilizadas com  $a_w > 0,92$ , cujo processo de fabricação está baseado na utilização de mais de dois fatores para ativar os mecanismos homeostáticos dos microorganismos.

Uma técnica de produção de alimentos a alta umidade é o processo de desidratação osmótica em que pedaços do alimento sólido fresco são imersos em uma solução hipertônica, com o intuito de se obter as características desejadas no

produto final. Além da desidratação osmótica proporcionar a remoção de água do produto simultaneamente à sua formulação direta, trata-se de um processo de baixo custo energético com a possibilidade de reaproveitamento das soluções desidratantes resultando em um produto de alta qualidade sensorial.

A taxa de remoção de água depende de algumas variáveis e parâmetros de processamento. De forma geral, sabe-se que a perda de peso da fruta tratada osmoticamente é maior com o aumento da concentração da solução osmótica, tempo de imersão, temperatura, razão solução: produto e agitação.

O crescimento relativamente recente do desenvolvimento e comercialização de produtos de frutas tropicais a umidade intermediária e de frutas minimamente processadas está baseado no fato de que abaixo de certos valores de atividade de água, e com a adição de alguns conservantes, diminui-se o crescimento microbiano, multiplicação, contaminação e recontaminação, além da significativa diminuição da atividade enzimática, assegurando a qualidade do produto final (LEVI *et al.*, 1983; ALZAMORA, 1997). A quantidade de água removida durante o processo osmótico de algumas frutas tropicais aumenta com o aumento da concentração da solução de imersão e aumenta mais depois da acidificação do meio relativamente concentrado (60%) de sacarose (MOY *et al.*, 1978). De acordo com os autores, a combinação de ácidos com a sacarose aumentou a remoção de umidade e a penetração de açúcares no mamão, pela inibição da gelatinização das pectinas da fruta.

Outro tipo de aditivo aplicado durante o processo de desidratação osmótica são os sais de cálcio, que melhoram a textura do produto obtido, além de aumentar as taxas osmóticas do processo acelerando a remoção de água (LENART, 1996). De acordo com HENG *et al.* (1990), a adição de cálcio permite um decréscimo do

ganho de açúcares enquanto aumenta lentamente a perda de água.

Desta forma, os objetivos principais deste trabalho são o estudo da influência dos pré- tratamentos e aditivos no processo de desidratação osmótica de pedaços de mamão com relação à cor e textura do produto final, assim como o processo de desidratação visando a obtenção de uma fruta levemente processada de qualidade tecnológica próxima à do fruto fresco.

Como objetivo geral, o presente trabalho pretende contribuir para a obtenção de uma formulação racional de pedaços de mamão a alta umidade, preservando características semelhantes às da fruta fresca.

O emprego de vários fatores simultâneos pode ter um papel promissor e importante na segurança alimentar e qualidade de muitos produtos disponíveis atualmente, permitindo que sejam formulados por combinação de fatores ou barreiras e com tratamentos térmicos mais brandos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. MAMÃO

O mamão, classificado como *Carica papaya*, é uma fruta climatérica, crescendo em climas tropicais (MENEZES *et al.*, 1980; PELEG, 1979). A composição da fruta difere com a variedade, mas pode-se citar como idéia a composição abaixo:

Tabela 2.1 - Relação dos principais componentes do mamão.

| Componentes                 | Teores (%)     |
|-----------------------------|----------------|
| Água                        | 88,33          |
| Proteína                    | 0,50           |
| Lipídeos                    | 0,17           |
| Açúcares Totais             | 6,26           |
| Açúcares Redutores          | 5,00           |
| Sacarose                    | 1,14           |
| Celulose Bruta              | 1,05           |
| Cinzas                      | 0,56           |
| Ácidos (como ácido cítrico) | 0,04           |
| Valor Calórico              | 34,38 cal/100g |

MENEZES *et al.*, 1980

Contém ainda traços de fósforo, cálcio, magnésio e ferro, além de vitaminas, estas nas seguintes quantidades mostradas na Tabela 2.2.

Dos carotenóides, o principal é a criptoxantina, mas existem também criptoflavina e os oxicarotenóides, dos quais 29,5% na forma de caroteno. O licopeno está presente na variedade vermelha, mas não na amarela do mamão.

**Tabela 2.2** - Conteúdo vitamínico do mamão.

| Vitamina                | Quantidade (mg %)           |
|-------------------------|-----------------------------|
| Ácido Ascórbico         | 30 – 130                    |
| Vitamina B <sub>1</sub> | 40 – 45                     |
| Vitamina B <sub>2</sub> | 40 – 50                     |
| Vitamina PP             | 0.2 - 0.8                   |
| Vitamina P              | 1200 – 1650 (unidades/100g) |

MENEZES *et al.*, 1980.

Durante a maturação, a cor do mamão transforma-se de verde para amarelo, devido à destruição da clorofila nos tecidos epidermiais e ao desenvolvimento dos carotenóides. A velocidade de respiração aumenta durante essa fase, atingindo um máximo no ponto de maturação. A sacarose transforma-se em açúcares redutores e o látex subepitelial é destruído. A hemicelulose e a pectina das paredes das células transformam-se em componentes solúveis (PELEG, 1979; LEVI *et al.*, 1983).

O efeito do grau de maturação no rendimento e características de qualidade do mamão fresco pode ser observado segundo a Tabela 2.3 a seguir apresentada por LEVI *et al.* (1983).

O etileno é um dos gases liberados pelos tecidos vegetais que provoca seu envelhecimento (HONÓRIO, 1998). Quando o etileno se acumula no interior do produto ou no ambiente onde este se encontra, promove o aumento da respiração, estimula as atividades metabólicas e conseqüentemente, reduz a vida útil do fruto. O mamão é considerado um fruto com alta taxa de produção de etileno, variando de 10 a 100 mm<sup>3</sup> etileno/kg-h à temperatura de 20°C.

**Tabela 2.3 - Efeito do grau de maturação no rendimento e qualidade do mamão fresco.**

| Coloração |                      | SST<br>(°Brix) | Ácido<br>Ascórbico<br>(mg/100g) | Perdas no<br>descascamento<br>(%) | Parte<br>comestível<br>(%) | Aroma (fresco) |
|-----------|----------------------|----------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------------|
| Pele (%)  | Polpa                |                |                                 |                                   |                            |                |
| 0-10      | Esverdeado           | 7.1-9.2        | 30-45                           | 28-32                             | 40-50                      | Pobre          |
| 10-25     | Esverdeado           | 10.7-11.4      |                                 | 18-20                             | 50-52                      | Pobre          |
| 25-50     | Amarelo              | 11.2-12.5      | 72-101                          | 20-22                             | 50-55                      | Regular        |
| 50-75     | Amarelo-<br>laranja  | 12.0-12.5      |                                 | 18-21                             | 50-55                      | Regular        |
| 80-90     | Laranja              | 12.5-13.5      | 110-123                         | 15-17                             | 60-62                      | Bom            |
| 100       | Laranja<br>(intenso) | 12.5-14.0      | 110-150                         | 15-18                             | 54-65                      | Excelente      |

SST – Conteúdo de sólidos solúveis totais.

LEVI *et al.*, 1983

Os frutos de mamão são distintos não apenas por sua variedade genética, mas também pelo sexo de suas plantas e flores. O tipo preferido pelo consumidor é a fruta da planta hermafrodita de formato mais alongado, uma espessura maior da parte comestível e uma cavidade interna menor do que a da fruta da planta fêmea (PELEG, 1979).

De acordo com dados do IBGE relativos aos anos de 1994 e 1995, o mamão está em oitavo lugar entre os frutos produzidos no Brasil, sendo o Espírito Santo o segundo maior produtor da fruta no país, e a Bahia o primeiro (IBGE, 1996).

Segundo ALBERTO (1998), o Brasil começou em de março de 1998 a exportação de duas mil toneladas de mamão produzidos no estado do Espírito Santo para os Estados Unidos. As exportações de mamão renderam ao Brasil US\$ 4,7 milhões em 1997, para países da Europa e do Mercosul. O potencial brasileiro de vendas de frutas no exterior é de 20 milhões de toneladas por ano.

Um mercado que consolidará a tendência de alimentos de alta qualidade é o de fornecimento de alimentos minimamente processados (HONÓRIO, citado por OLIVEIRA, 1998). Tendo isso em vista, produtores de mamão da região de Linhares no Espírito Santo vêm utilizando embalagens padronizadas, reduzindo as perdas no transporte da fruta, recorrendo a estratégias de parceria com os produtores, chegam ao mercado consumidor alimentos de maior qualidade, pelo estímulo da garantia do escoamento de toda a produção (OLIVEIRA, 1998).

## 2.2. DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

A umidade é um dos parâmetros predominantes envolvidos na maioria das reações de deterioração de alimentos frescos e também de alimentos conservados (MANNHEIM *et al.*, 1994). Assim, o controle do conteúdo de umidade dos alimentos é um eficiente método de preservação. O princípio do processo de controle da quantidade de água do alimento é a remoção de água ou a combinação da mesma, de forma que o alimento se torne estável à deterioração química e microbiana (LABUZA, 1980).

A base físico-química para o entendimento destes processos reside no conceito de atividade de água ( $a_w$ ). A atividade de água é a razão entre a pressão de vapor da água no alimento e a pressão de vapor da água pura na mesma temperatura e varia de 0 a 1. Um alimento com  $a_w$  abaixo de 0,6 é estável quanto ao crescimento microbiano e é classificado como alimento desidratado (LABUZA, 1980).

A baixos valores de atividade de água, a água está fortemente ligada à superfície de sítios polares, indisponibilizando-a para a solvatação de reagentes e, desta forma, impedindo uma série de transformações no alimento (NELSON & LABUZA, 1994).

Muitas carnes, frutas, vegetais e laticínios são preservados pela redução de  $a_w$  através do uso de sais ou açúcares, algumas vezes acompanhado por pequenas mudanças de pH resultando em alimentos de umidade intermediária ( $0,6 < a_w < 0,97 - 0,99$ ) (AGUILERA & CHIRIFE, 1994).

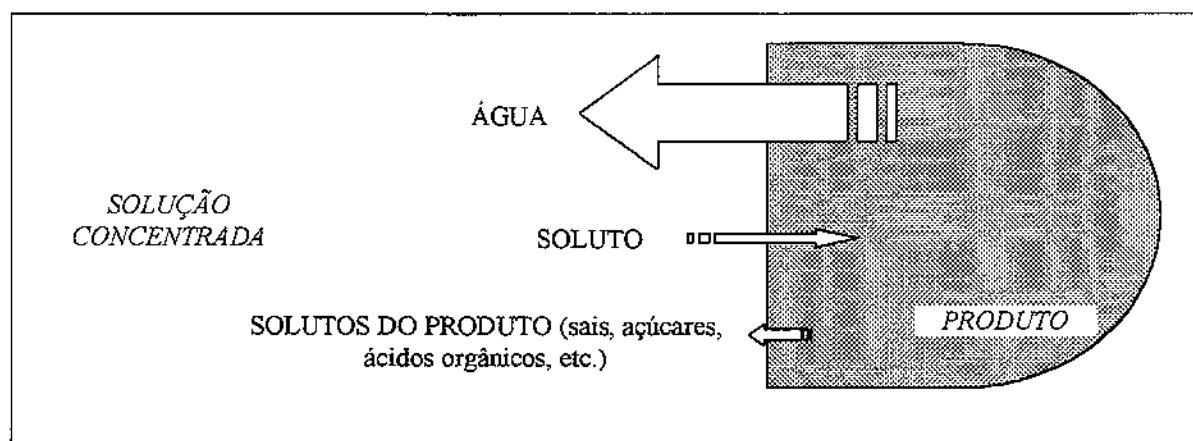
Desidratação osmótica é um processo de concentração de alimentos em que pedaços de frutas ou vegetais são imersos numa solução hipertônica de desidratação, envolvendo três tipos de correntes de transferência de massa:

- uma saída de água do produto para a solução;
- uma transferência de soluto da solução para o produto; possibilitando assim a introdução de uma quantidade desejada de um princípio ativo, um soluto de interesse nutricional, ou algo que melhore a qualidade sensorial do produto;
- uma lixiviação de solutos de baixo peso molecular do próprio produto (açúcares, ácidos orgânicos, minerais, vitaminas, etc.) que é quantitativamente desprezível se comparada às duas outras correntes de transferência de massa, mas de importância essencial à composição final do produto.

Desta forma, o processo de desidratação osmótica realiza simultaneamente a retirada de água e a formulação direta do produto (RAOULT-WACK, 1994).

A Figura 2.1 mostra um desenho esquemático das correntes de transferência de massa durante o processo de desidratação osmótica.

Tanto em soluções de sal ou de açúcar, a perda de água é considerada como um fenômeno osmótico através da membrana semi-permeável da célula. Esta é a razão pela qual o processo vem sendo chamado de desidratação osmótica (RAOULT- WACK *et al.*, 1992).



**Figura 2.1** - Desenho esquemático da transferência de massa durante processos de imersão.

Processos incluindo tal método têm sido notavelmente revisados por PONTING (1966), RAOULT-WACK *et al.* (1992), TORREGGIANI (1993), RAOULT-WACK (1994), LENART (1996) e são agora considerados particularmente interessantes como um novo desenvolvimento no processamento de alimentos (MOY *et al.*, 1978; HAWKES & FLINK, 1978; BOLIN *et al.*, 1983; LENART & FLINK, 1984; LERICI *et al.*, 1985; GIANGIACOMO *et al.*, 1987; GARROTE & BERTONE, 1989; ADESINA & AINA, 1990; HENG *et al.*, 1990; BISWAL *et al.*, 1991; BISWAL & BOZORGMEHR, 1991; PALOU *et al.*, 1993;

AGUILERA & CHIRIFE, 1994; RASTOGI & RAGHAVARAO, 1994; ARGAIZ *et al.*, 1994; LAZARIDES & MAVROUDIS, 1995; GUILBERT *et al.*, 1995).

Um processo de desidratação osmótica não necessariamente resulta em um produto estável, podendo ser usado como um pré- processamento do alimento antes de um processamento complementar como secagem, congelamento, pasteurização, acondicionamento, fritura e/ou adição de agentes conservantes (RAOULT- WACK, 1994). Existem duas boas razões para se introduzir a desidratação osmótica em um processo convencional de estabilização: melhora da qualidade e economia de energia.

### **2.2.1. Variáveis do processo de desidratação osmótica:**

#### **Agente desidratante:**

O tipo de agente desidratante mais adequado para frutas é a sacarose, conforme PONTING (1966), devido à sua eficiência, conveniência e aroma desejável (provocado na fruta), assim como afirmado posteriormente por LENART (1996), que também ressaltou a propriedade de conservação do aroma da fruta pela sacarose, sendo este o açúcar mais apropriado quando a desidratação é usada como pré- tratamento. Além disso, deve-se considerar seu baixo custo, comparado aos outros açúcares empregados.

A influência dos agentes osmóticos no comportamento de desidratação de maçãs foi estudada por LERICI *et al.* (1985). As frutas foram desidratadas com os diferentes agentes osmóticos: solução de sacarose (59°Brix), solução de frutose (60°Brix), xaropes comerciais de amido hidrolisado de milho (xarope *F* de 70°Brix e xarope *G* de 68°Brix), solução de glicose e frutose (1:0,8 a 66°Brix) e solução de

glicose (51°Brix). A maior redução de peso foi obtida com o xarope G (68°Brix). Este efeito foi provavelmente devido ao alto conteúdo de polissacarídeos no xarope.

A troca de açúcares em cerejas, abricós e pêssegos com a solução infusora durante a desidratação osmótica foi analisada por GIANGIACOMO *et al.* (1987). A dinâmica da troca de açúcares entre o xarope e a fruta durante a desidratação não é apenas devida à difusão, mas a um processo complexo envolvendo os açúcares originais da fruta e a atividade enzimática. A composição de açúcares da solução extratora pode ser selecionada, considerando os açúcares já presentes na fruta. Quando a permeabilidade a açúcares da fruta é considerada, uma mistura desejável de açúcares no produto final pode ser obtida.

A concentração osmótica de morangos, cortados ao meio, a 5°C por 21 horas foi estudada por GARROTE & BERTONE (1989) utilizando-se soluções de glicerol (10, 15, 20 e 25% em volume), glicose (10, 20, 30 40, 50, e 60% em volume) e sacarose (10, 20, 30, 40, 50, 60, e 95% em volume). Entre todas as soluções estudadas, as de glicose causaram uma perda maior de água e maior ganho de sólidos do que as de sacarose e de glicerol. A qualidade do produto final não foi avaliada pelos autores, no entanto foi verificada a eficiência do processo quanto à economia de energia.

O efeito dos agentes osmóticos e suas concentrações no processo de desidratação osmótica foram estudados por BOLIN *et al.* (1983). Dos agentes osmóticos estudados, a sacarose foi o xarope mais adequado. Solução de sacarose pode ser reciclada por um mínimo de cinco vezes sem afetar a qualidade da fruta, mesmo quando não há adição de novo xarope. Além disso, menos sacarose é absorvida pela fruta por unidade de tempo que os HFCS (xarope de milho de alto teor de frutose). Também, pelo painel de avaliação sensorial, as amostras tratadas

com sacarose obtiveram a melhor aceitação quando comparadas com as amostras concentradas com HFCS e com sorbitol.

Desidratação osmótica de mamão com xarope de milho foi realizada por ARGAIZ *et al.* (1994). Os resultados da concentração osmótica mostraram que perda de peso e ganho de sólidos aceitáveis podem ser obtidos em mamões tratados com soluções de xarope de milho pelo fato da fruta perder mais água e ganhar menos sólidos do que em tratamentos com açúcares comuns (glicose). Os autores afirmam que o mamão tratado com solução de xarope de milho é menos doce e significativamente diferente daquele obtido com solução de sacarose nas mesmas condições. Entretanto, os autores realizaram o estudo a apenas uma concentração (50°Brix) e à temperatura ambiente (25°C).

Fatias de maçã foram concentradas osmoticamente por HAWKES & FLINK (1978) utilizando vários tipos de agente desidratante. Todas as soluções com 60% de sólidos se mostraram efetivas, de tal forma que a escolha pôde ser feita com base na aceitação sensorial e fatores econômicos. Avaliações sensoriais mostraram alta aceitabilidade para maçãs tratadas em sistemas com sacarose-lactose. Tanto as maltodextrinas quanto a lactose têm baixo poder adoçante, fazendo-os desejáveis como agentes osmóticos para produtos que requerem baixa doçura.

### **Temperatura:**

A temperatura do processo de desidratação osmótica constitui um parâmetro de influência decisiva no tempo de desidratação, segundo LENART (1996). Por exemplo, à temperatura de 20°C a transferência de massa ocorre intensamente nas primeiras 2-4 horas de processo, conforme o tipo de agente osmótico e as propriedades da matéria-prima. Por outro lado, numa faixa de temperatura de 70-

90°C o tempo de desidratação não excede 15 minutos. A determinação da temperatura ótima de processo possibilita soluções tecnológicas para o projeto de equipamentos de desidratação osmótica.

De acordo com TORREGGIANI (1993), a melhor temperatura de processamento depende muito do alimento. Por exemplo, para vagens verdes, BISWAL (1991) concluiu que 40°C mostrou ser uma temperatura muito alta, obtendo melhores resultados trabalhando a 20°C. Aceleração da perda de água, sem modificação no ganho de açúcar quando a temperatura aumenta, foi observada por vários autores (TORREGGIANI, 1993; PONTING, 1966; HAWKES & FLINK, 1978). O fenômeno ocorre essencialmente devido a diferenças difusionais entre a água e o açúcar como relacionado a suas diferenças de massas molares.

A taxa osmótica é marcadamente afetada pela temperatura (PONTING, 1966). Apesar da taxa aumentar com a temperatura, há um limite próximo de 50°C, acima do qual o escurecimento não enzimático e a degradação do aroma e da parede celular começam a se manifestar. O processo osmótico é suficientemente rápido abaixo desta temperatura, tornando-o ainda prático. Por exemplo, uma redução de 50% do peso pode ser obtida em 2-3 horas a 50°C, mas seria mais aconselhável usar um tratamento mais prolongado à temperatura ambiente.

O efeito da temperatura de processamento na desidratação de cubos de mamão da variedade *Carica papaya* foi estudado por HENG *et al.* (1990). Os autores verificaram que acima de 60°C a fruta sofreu uma perda significativa de ácido ascórbico, medido por HPLC, e descoloração.

Tratamentos a altas temperaturas (80-85°C) em curtos intervalos de tempo (HTST) foram propostos por LERICI *et al.* (1985) como alternativa à perda da semi-

permeabilidade em processos longos submetidos a condições severas de temperatura.

De acordo com THEMELIN *et al.* (1997), há uma limitação na transferência de água da parte interna de fatias de maçã durante a fase de secagem, após a desidratação osmótica, por formação de uma camada concentrada em sacarose, na superfície do produto, durante o processo osmótico que acarreta um efeito protetivo sobre o tecido interno da fruta. Segundo os autores, um aumento de temperatura durante o processo osmótico alcança maior perda de água com um ganho de solutos intermediário.

#### **Tempo de processo:**

Nas condições mais comuns de operação, a transferência de massa se dá nas primeiras duas horas para a perda de água, e nos primeiros trinta minutos para o ganho de sólidos (RAOULT-WACK *et al.*, 1992). Depois disso a transferência de massa se torna progressivamente menor e a perda de água cessa quando o ganho de soluto cresce regularmente. Um processo muito longo proporciona um produto rico em solutos provenientes da solução infusora. Uma temperatura mais baixa de processo induz a um aumento no tempo de processamento e consequentemente o soluto difunde mais, tornando o produto mais doce.

Segundo LENART (1996), a diferença entre a taxa de remoção de água e a taxa de penetração do soluto é também maior na etapa inicial da desidratação. Por isso o processo deve ser conduzido num curto espaço de tempo, a fim de se alcançar um alto grau de desidratação com um ganho de sólidos relativamente pequeno.

### **Concentração da Solução Infusora:**

No caso de soluções de substâncias orgânicas, concentrações perto da saturação vêm sendo utilizadas (LENART, 1996), o que leva a uma maior eficiência do processo. Por exemplo, soluções de sacarose são usadas a uma concentração de 60-65% e soluções de xarope de milho a 65-70%. Com a desidratação da fruta, a solução infusora sofre uma diluição com decréscimo de cerca de 5% em sua concentração. Restabelece-se esta concentração por adição de mais soluto, ou por evaporação da água excedente.

Os processos de desidratação osmótica foram estudados por RAOULT-WACK *et al.* (1992), que verificaram a eficácia de soluções altamente concentradas (50 a 70g de soluto / 100g de solução). Segundo os autores um aumento da diferença de concentração entre os pedaços de fruta e a solução infusora foi muito favorável à perda de água. Além disso, a perda de peso aumenta com a concentração da solução. O controle da concentração da solução infusora torna possível a determinação da condição de impregnação, quando o ganho de soluto é maior que a perda de água, e a condição de desidratação é o caso oposto. O uso de xaropes altamente concentrados pode reduzir as perdas de solutos hidrosolúveis, como ácido ascórbico, pela formação de uma camada periférica concentrada em soluto, prevenindo o arraste dos mesmos.

O efeito da sacarose na desidratação osmótica de mamão da variedade *Solo* foi avaliada por MOY *et al.* (1978). Os autores concluíram que o aumento da taxa osmótica à altas concentrações de sacarose combinadas ao emprego de ácidos orgânicos ocorreu provavelmente devido à inibição da gelatinização da pectina contida na fruta.

O processo de desidratação osmótica de maçãs foi estudado por HAWKES & FLINK (1978) para diferentes concentrações das soluções infusoras. Segundo os autores, todas as soluções a 60% em sólidos se mostraram efetivas, com coeficientes de transferência de massa semelhantes e resultando comparativamente altos níveis de sólidos totais nas fatias de maçã.

Os efeitos dos agentes osmóticos e sua concentração foram estudados por BOLIN *et al.* (1983). Os autores apontam o bom desempenho das soluções concentradas na desidratação, mas alertam para a viscosidade destas soluções. A viscosidade dos xaropes estabelece a energia requerida para a agitação da solução, bombeamento, etc. Os xaropes comerciais de alto teor de frutose a 80°Brix são muito mais viscosos que os de sacarose a 70°Brix.

Morangos foram desidratados por impregnação-imersão, estudados por GARROTE & BERTONE (1989), à diferentes concentrações da solução infusora. Soluções de glicose e sacarose, com concentrações acima de 30%, causaram um aumento no ganho de sólidos, depois apresentaram sua estabilização e decréscimo quando alcançaram concentrações de 50 e 60%, e então este aumenta novamente a maiores concentrações. É possível que o aumento da viscosidade da solução cause uma diminuição na taxa de transferência de massa para os solutos. Em todas as concentrações estudadas, as soluções de glicose causaram uma maior perda de água e um maior ganho de sólidos do que as soluções de sacarose.

Os efeitos das concentrações das soluções de sacarose durante o processo de desidratação osmótica de duas variedades de morangos previamente congelados foram estudados por VIBERG *et al.* (1997). Os autores salientaram o aumento da perda de água com o uso de maiores concentrações de sacarose nas soluções infusoras. Com o auxílio de um planejamento experimental, sugeriu-se a utilização

da solução de 60°Brix como melhor meio osmótico para a máxima retirada de água e mínimo ganho de sólidos, conservando as propriedades de textura da fruta. Morangos tratados osmoticamente com solução de sacarose a 60°Brix e depois submetidos a congelamento, não sofreram alteração em seu volume.

### 2.3. TRATAMENTOS E ADITIVOS

A utilização de acidulantes como aditivos das soluções infusoras nos processos de desidratação osmótica tem como objetivo uma ação antioxidante (GIANGIACOMO *et al.*, 1987; MOY *et al.*, 1978), apesar de também aumentar a taxa osmótica.

A acidificação das soluções pode ser feita utilizando-se ácidos fortes ou ácidos fracos (como cítrico, sórbico, benzóico, etc.). Os ácidos aumentam a taxa osmótica, diminuem o pH e ainda, o ânion dos ácidos não dissociados pode ter efeitos inibitórios ao crescimento de microrganismos (ALZAMORA, 1997). A efetividade da acidificação do meio depende em grande parte do ácido utilizado. Como neste trabalho o objetivo principal é chegar a um produto final de alta qualidade, classificado como minimamente processado, apenas o efeito da adição de ácidos fracos, encontrado na literatura, será discutido.

De acordo com MOY *et al.* (1978), a acidificação de soluções concentradas de sacarose (60%) aumenta eficazmente a taxa osmótica na desidratação de fatias de mamão. Os autores afirmam que ajustadas para as concentrações isomolares finais, os meios (sacarose e sacarose mais cinco ácidos) proporcionaram diferentes taxas osmóticas em períodos de 6 horas. Ácido clorídrico aumentou a taxa de desidratação mais que os ácidos orgânicos, mas causou escurecimento e degradação da qualidade durante o processo subsequente de desidratação à vácuo e estocagem. Ácido láctico

foi o ácido orgânico mais efetivo na etapa de desidratação, seguido na ordem pelo ácido acético e o cítrico adicionados em concentrações menores que 3,5% na solução de sacarose a 60%. No entanto, o efeito destes ácidos foi estudado apenas para uma temperatura de 21°C e não se conhece o efeito da acidificação na taxa osmótica ou na qualidade do produto final a temperaturas elevadas.

A acidificação das soluções infusoras utilizadas por GIANGIACOMO *et al.* (1987) foi feita apenas com o objetivo antioxidante e seu efeito no escurecimento das soluções ou da melhora da taxa de desidratação não foi observado. Ácido ascórbico na proporção de 1% foi adicionado aos xaropes.

Efeitos da acidificação de kiwis foram avaliados por ROBBERS *et al.* (1997) durante o processo osmótico e subsequente secagem e congelamento. Os autores afirmam que as perdas de ácido ascórbico da fruta durante todo o processamento podem ser evitadas adicionando-se o mesmo ácido durante a etapa de desidratação osmótica.

Difusão de ácidos cítrico e ascórbico em palitos de batata foi avaliada por LOMBARDI *et al.* (1997). As batatas foram armazenadas durante um mês a 10°C, e depois lavadas, descascadas e cortadas em bastões. Os bastões foram submersos em diferentes soluções aquosas de ácidos cítrico e ascórbico e uma combinação deles. Batatas escorridas foram então embaladas em dois tipos de filme: um de polietileno de baixa densidade e um filme de baixa permeabilidade gasosa. As amostras embaladas foram levadas a uma câmara frigorífica a 4°C por cerca de 20 dias. Durante o período de armazenamento foram feitas medições de cor superficial, textura (compressão uniaxial), produção de exsudado e contagem microbiana. Com relação à textura, os autores verificaram que o uso dos ácidos combinados foi a melhor alternativa para melhorar a qualidade do produto sob o ponto de vista da

força máxima requerida durante os ensaios de compressão. Quanto à cor, constatou-se uma leve melhora da cor para as amostras tratadas com ácidos, em relação às amostras não acidificadas por inibição do escurecimento enzimático.

Constituem aditivos de grande importância os sais de cálcio e zinco na melhora da textura do produto final tratado osmoticamente (LENART, 1996). O autor empregou o cloreto de cálcio a 0,5 – 1% na solução infusora com a intenção de fortalecer a estrutura do tecido da fruta.

Num trabalho com alimentos minimamente processados, BOLIN & HUXSOLL (1989) mostraram que a adição de cloreto de cálcio e de zinco durante o tratamento de pêssegos é mais eficiente que a adição de ácido ascórbico na tentativa de retardar o escurecimento superficial da fruta. Em estudos com variedades de pêssegos, a média final dos valores do fator L de luminosidade para as frutas tratadas com cálcio e com a combinação cálcio/zinco foram 9,4% e 12,4% maiores que os controles não tratados, indicando uma diferença visual perceptível. O mesmo efeito não foi observado nos estudos com abricós, com exceção das amostras tratadas com sulfato de zinco que mostraram uma luminosidade muito maior que das outras amostras. Adição de cálcio aos pedaços de pêssegos resultaram na manutenção de uma textura mais firme que a da amostra controle. Frutas tratadas com 3% de cloreto de cálcio em solução não diferem no sabor das amostras controle. Membros do painel sensorial relataram que os produtos tratados com cálcio apresentavam uma doçura menor do que o controle, mas não acusaram a presença de nenhum componente que prejudicasse seu sabor.

A influência das variáveis do processo de desidratação osmótica de cubos de mamão foi estudada por HENG *et al.* (1990). A adição de cálcio permite um decréscimo do ganho de açúcares enquanto aumenta lentamente a perda de água. A

concentração de 0,01M de cálcio é o suficiente para produzir este efeito, desde que nenhuma diferença significativa na perda de água e ganho de sólidos seja observada a maiores concentrações. Segundo os autores, este efeito é atribuído à associação do cálcio (que penetra rapidamente na fruta) com a pectina das paredes celulares da fruta, fortalecendo a textura da fruta e criando uma “calcificação” capaz de diminuir a difusão do açúcar por um aumento da tortuosidade e viscosidade local. Como resultado, esta baixa penetração dos açúcares favorece a formação de uma diferença de concentrações pronunciada dentro da partícula e entre a partícula e a solução desidratante. Esta diferença de concentrações permite o fluxo da água da fruta para a solução. Não foram estudados os efeitos da adição destes ácidos e sais na textura e cor finais do produto.

Adição de cálcio no tratamento de frutas e vegetais também foi estudado por LIN & SCHYVENS (1995). Uma certa quantidade de cálcio foi adicionada à água de branqueamento de vagens verdes, influenciando significativamente sua textura. A adição de zinco na água de branqueamento melhorou significativamente a cor do vegetal.

O efeito de inativação enzimática pode ser obtido através de um branqueamento da fruta antes do processo de desidratação. A influência dos tratamentos de branqueamento na textura e cor de alguns vegetais e frutas foi estudado por LIN & SCHYVENS (1995). Tratamentos otimizados de branqueamento podem ser usados para melhorar tanto a textura quanto a cor de vagens verdes esterilizadas. Os resultados da pesquisa indicaram que a temperatura e o tempo de branqueamento afetaram significativamente a firmeza dos vegetais.

Fatias de mamão foram submetidas a branqueamento em solução de sacarose (70%) e água em ebulição por 5 minutos, resfriadas imediatamente em água ou

solução de sacarose por 2-3 minutos a temperatura ambiente e então concentradas em solução de sacarose (70%) por LEVI *et al.* (1983). A perda de peso do mamão branqueado em solução de sacarose foi de 3-4%, comparado a 9,5-11% do mamão branqueado em água. Apenas 5-10% do ácido ascórbico original foi perdido durante o branqueamento em solução, comparado a 20-32% durante o branqueamento com água.

A influência do branqueamento antes da desidratação osmótica a 60°C em solução de sacarose a 65°Brix foi estudada por HENG *et al.* (1990). Tal tratamento térmico desnatura a membrana celular, permitindo transferências mais rápidas. A desnaturação das membranas pectocelulósicas aumenta a permeabilidade e diminui a seletividade.

Curvas de sorção de umidade de mamão e maçã branqueados e tratados osmoticamente foram estudadas por LÓPEZ-MALO *et al.* (1997). As frutas foram cortadas em cubos, branqueadas em vapor saturado por 1 minuto e resfriadas em água a temperatura ambiente. As características de adsorção e desorção de umidade dos frutos foram avaliadas a 25 °C. Uma análise de variância mostrou que não houve histerese nas curvas para as frutas branqueadas. Os autores concluíram que as frutas submetidas à desidratação e branqueamento mantiveram melhor aparência que as apenas branqueadas.

Produtos de frutas de alta umidade minimamente processados por métodos combinados foram estudados por TAPIA DE DAZA *et al.* (1997). Uma combinação de técnicas usadas no manuseio pós-colheita e estocagem, preparo para o consumo e embalagem individual são considerados processamentos mínimos, mas a indústria alimentícia estendeu este conceito de processamento mínimo empregando uma variedade de tecnologias e suas combinações para produzir frutas e vegetais

minimamente processados. A utilização de tratamentos de abaixamento de atividade de água e pH tem obtido sucesso na preservação de frutas no contexto do processamento mínimo. A tecnologia de fatores combinados em produtos de frutas resultou em boa estabilidade sem afetar as qualidades sensoriais.

Um estudo das mudanças estruturais em frutas minimamente processadas foi feito por ALZAMORA *et al.* (1997). Os autores afirmaram que recentemente muitas tecnologias combinadas desenvolvidas para a obtenção de produtos de frutas minimamente processados compreendem o branqueamento, redução leve da atividade de água por impregnação de açúcares, e/ou secagem. Segundo os autores, o branqueamento tem um efeito desprezível na taxa de secagem quando comparado às amostras controle (cruas ou submetidas a tratamento osmótico), mas a difusividade definitivamente decresce com o aumento do conteúdo de glicose da amostra. Entretanto, a ruptura das células durante o branqueamento aumenta a perda de nutrientes do fruto e a entrada de açúcares durante o processo osmótico, trazendo prejuízos à qualidade nutricional, de textura e da cor.

Batatas minimamente processadas foram estudadas por GUNES & LEE (1997) pela aplicação de diferentes tratamentos combinados a embalagem em atmosfera modificada. Amostras peladas foram mergulhadas em soluções dos ácidos ascórbico, cítrico, L-cisteína e combinações destes, a fim de evitar o escurecimento enzimático durante o armazenamento. Os autores verificaram a eficácia da mistura de cisteína e ácido cítrico para esse fim.

Durante o evento que reuniu representantes do projeto CYTED e UNILEVER, foram discutidas as tecnologias de métodos combinados para a preservação de alimentos, onde foi exposto por ALZAMORA (1995) a importância destas tecnologias na obtenção de frutas minimamente processadas. O principal

objetivo foi manter certas variáveis dentro de determinados limites, como: atividade de água entre 0,93 e 0,98; pH entre 3,0 e 4,1; tratamentos térmicos e antimicrobiológicos mínimos. Os processos apresentados resultaram em produtos com vida-de-prateleira de 3 a 4 meses à temperatura ambiente, limitados apenas pela cor e textura, mas microbiologicamente seguros.

## 2.4.QUALIDADE

O custo de manufatura e a qualidade do produto final são alguns dos fatores mais importantes a serem considerados na escolha de um método de preservação de alimentos (LENART, 1996).

A melhora da qualidade deve ser atribuída ao efeito de formulação direta, que pode aumentar a relação açúcar: ácido, melhorar a textura e a estabilidade dos pigmentos durante a secagem e estocagem. A presença do soluto incorporado ao produto também pode aumentar sua suscetibilidade à reidratação, e tem um efeito protetor na estrutura do tecido durante a fase posterior de secagem, congelamento ou secagem- congelamento, limitando o colapso e a ruptura celular (BISWAL & BOZORGMEHR, 1991; BISWAL *et al.*, 1991; RAOULT-WACK *et al.*, 1992; TORREGIANI, 1993; RAOULT-WACK, 1994; AGUILERA & CHIRIFE, 1994; LAZARIDES & MAVROUDIS, 1995; LENART, 1996). A melhora da qualidade também pode ser atribuída ao uso de temperaturas moderadas e ao fato da água ser removida do produto sem qualquer mudança de fase, permitindo que, no caso de sistemas biológicos, a estrutura celular seja preservada.

Um dos fatores mais importantes da qualidade do alimento é a textura. A qualidade e aceitação dos alimentos é consideravelmente influenciada pelas propriedades de textura normalmente associada a eles. Textura também pode ser

usada como critério para a seleção de alimento cru como fator de determinação de faixas de mercado para vários produtos alimentícios (HUNG & THOMPSON, 1989).

Mudanças na qualidade da textura de alimentos ocorrem durante o processamento térmico. O amaciamento do tecido em resposta às transformações químicas e físicas pode tornar o produto inaceitável ao consumidor (RIZVI & TONG, 1997).

Os efeitos osmóticos como pré-tratamento, principalmente relativos à melhora nutricional, sensorial e de propriedades funcionais do produto foram estudados por TORREGGIANI (1993). Segundo a autora, importa mais para a textura o enriquecimento dos sólidos solúveis do que a remoção de água do produto. Assim, uma diminuição da atividade de água, que depende da concentração de sólidos solúveis, é obtida apenas com um decréscimo limitado do conteúdo de água e portanto, um aumento limitado da consistência. De fato, a textura está associada aos efeitos plasticizante e dilatante da água na matriz celulósica e pectínica do tecido do fruto. Logo, a textura depende mais do conteúdo de sólidos insolúveis e de água do que do conteúdo de sólidos solúveis e da atividade de água. Favorecendo a retenção de sólidos solúveis, atingem-se valores menores de atividade de água mantendo uma consistência aceitável.

A influência do branqueamento na textura de frutas e vegetais foi estudada por LIN & SCHYVENS (1995), indicando que tratamentos de branqueamento otimizados podem ser empregados para melhorar tanto a textura quanto a cor dos feijões verdes.

Pedaços de pêras foram concentrados osmoticamente, congelados e descongelados e comparados com pedaços da mesma fruta secos, congelados e descongelados por BOLIN & HUXSOLL (1993). O processo osmótico se mostrou, segundo os autores, muito mais eficiente na conservação da qualidade de cor e textura do produto final. A pré-concentração osmótica preveniu de forma eficiente o escurecimento e o amolecimento da fruta durante o descongelamento.

A qualidade de feijões pré-cozidos com relação à umidade, cor, taxa de reidratação, firmeza e atividade de inibidor de tripsina foi estudada por CAI & CHANG (1997). De acordo com os autores, essa qualidade varia de acordo com o método de processamento. O processamento de grãos inteiros requer um pré-cozimento adequado, que pode causar perda de 6-7% de sólidos. Os feijões foram branqueados em vapor a 100°C por 20 minutos, imersos num banho de água a 22°C por 12 horas, pré-cozidos no vapor a 100°C por 1 hora, depois cobertos por um filme plástico e desidratados em secador de ar quente. Seis métodos de processamento foram avaliados, combinando diferentes tempos e temperaturas de imersão, pré-cozimento e secagem. O pré-cozimento a vapor resultou num produto de cor mais clara e textura mais firme, se comparado ao convencional cozido a alta pressão. Para produzir grãos inteiros, deve-se equilibrar os efeitos de separação dos cotilédones do grão e de firmeza para minimizar o tempo de reidratação, já que estes efeitos se correlacionam negativamente.

O efeito de diferentes métodos de branqueamento na textura e qualidade de aspargo branco foi estudado por SÁNCHEZ *et al.* (1995). O vegetal foi branqueado com combinações distintas de temperatura e tempo. Durante o armazenamento a 20°C, tomaram-se amostras aos 0, 2, 6 e 12 meses e realizaram-se análises de textura instrumental, baseadas nos parâmetros de força máxima de corte e energia de corte; diferenças no conteúdo de fibras e a qualidade foram avaliados. Uma análise

estatística revelou uma alta correlação entre a quantidade de fibras cruas e a força máxima de penetração. A força máxima de penetração e a energia de corte são parâmetros industriais de medida de fibrosidade e dureza em aspargos devido à alta correlação entre estes dois parâmetros: textura e conteúdo de fibra crua no vegetal.

A cinética de degradação de textura em vegetais foi estudada por RIZVI & TONG (1997). Os autores propõem uma alternativa de análise para a cinética de degradação de primeira ordem que rege o mecanismo de amolecimento dos vegetais. Segundo os autores a cinética de degradação da textura dos vegetais vinha sendo analisada por uma equação obtida pela comparação de uma reação irreversível de primeira ordem, apenas substituindo os termos de concentração por termos de propriedades de textura. A fim de viabilizar o uso desta equação, definiu-se um termo chamado *conversão fracional*, levando em consideração a propriedade num tempo infinito do processo reativo, já que para a maioria das reações irreversíveis de primeira ordem este termo é desprezado por se aproximar de zero quando a reação se completa, mas o mesmo nem sempre ocorre para os parâmetros de textura a serem analisados. A equação resultante destas modificações mostrou-se muito mais próxima dos valores experimentais obtidos para diversos vegetais.

A textura sensorial de vagens submetidas à desidratação osmótica previamente ao congelamento foi estudada por BISWAL *et al.* (1991). As vagens postas em contato com uma solução de NaCl a 17%, à temperatura ambiente, por uma hora perderam 22% da umidade inicial. Vagens concentradas em solução salina a 10% por 30 minutos foram congeladas em “freezer” por insuflamento de ar e então analisadas. Resultados de um painel sensorial de 30 membros indicaram que o produto foi aceitável.

Uma avaliação de métodos instrumentais das propriedades de textura de frutas tropicais foi realizada por PELEG (1979). Entre outras frutas, o autor avalia a determinação instrumental das propriedades de textura do mamão, indicando os principais parâmetros a serem medidos para a fruta crua. Segundo o autor, pesquisas envolvendo a textura do mamão permitem estabelecer um critério de qualidade e o estudo de características mecânicas- reológicas da fruta melhoram o manuseio e transporte. Os parâmetros utilizados para tal estudo da textura de pedaços de mamão fresco são a densidade, porosidade, porcentagem de suco, pressão (penetração), contribuição estimada do perímetro (penetração), força máxima (área sob a curva), teste de deformação e de compressão (“creep”). No entanto, os métodos mais comuns utilizados nestas medições são: penetração (força/ área), velocidade de penetração e compressão não- axial (força/área). No entanto, o autor adverte contra a adaptação indiscriminada de métodos estabelecidos para outros alimentos, alegando risco na confiabilidade e na reprodutibilidade dos resultados obtidos na literatura. Apesar de existirem métodos estabelecidos para a escolha de parâmetros de textura, uma seleção melhor dos testes e a padronização de procedimentos ainda deve ser realizada para cada alimento analisado.

Outro aspecto importante da qualidade é a cor do produto processado. BOLIN & HUXSOLL (1989) estudaram a estocagem de pêssegos, abricós e pêras minimamente processados. Mostrou-se que a ruptura física das células leva a uma aceleração da respiração dos tecidos da planta e à degradação física, devido ao aumento das reações de oxidação. A perda de textura é uma das mudanças mais óbvias, resultante em grande parte de reações de degradação fisiológica. Uma maneira de se prolongar a vida-de-prateleira de frutas e vegetais é desenvolver um meio de processamento mínimo que reduza as reações físico- químicas indesejáveis para não ocorrer as severas mudanças na textura, associadas ao congelamento e à secagem. No presente trabalho, os frutos foram pelados, cortados ao meio e imersos

em diversas soluções a fim de retardar o escurecimento e a perda de textura durante a estocagem frigorificada. A cor foi monitorada por meio de instrumentos para se obter os parâmetros L, a, e b. Compostos de cálcio e zinco foram eficazes na redução do escurecimento enzimático.

A influência dos tratamentos de branqueamento na textura e cor de alguns vegetais e frutas foi estudado por LIN & SCHYVENS (1995). Tratamentos otimizados de branqueamento podem ser usados para melhorar tanto a textura quanto a cor de vagens verdes esterilizadas. Os resultados da pesquisa indicaram que a temperatura e o tempo de branqueamento afetaram significativamente a firmeza dos vegetais. Entretanto, o fator principal que afeta a textura é o tempo de processamento, que vai também influir na firmeza das vagens congeladas após o cozimento.

No trabalho, já citado, de desidratação osmótica de mamão estudado por HENG *et al.* (1990), ao início da desidratação, os carotenóides podem se concentrar nos espaços intracelulares, levando a um aumento relativo do seu conteúdo na fruta desidratada. Quando o tempo de desidratação é longo o suficiente, a solução fica tingida indicando que parte do pigmento foi perdido por difusão. Perda de coloração devido à degradação por temperatura também ocorre, já que altas temperaturas colaboram para acelerar este fenômeno. O alto teor de carotenóides na fruta obtido após a desidratação em solução a 45°Brix (favorável à penetração de açúcares), comparado ao conteúdo obtido com uma solução a 72°Brix, pode ser resultado de um efeito protetor do açúcar nos carotenóides. Segundo os autores, apesar de alguma perda, a concentração de carotenóides depois da remoção de água nos cubos de mamão desidratado é geralmente suficiente para preservar a cor próxima à da fruta fresca.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

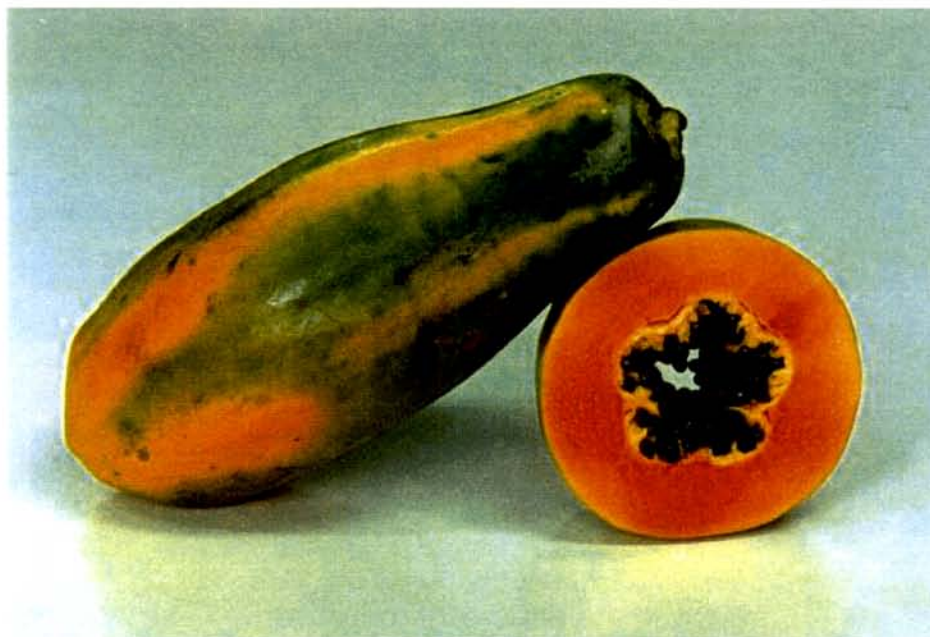
A proposta foi estudar diferentes combinações de aditivos e solução depressora de atividade de água (soluções de sacarose), em diferentes condições de trabalho e avaliar a qualidade final do produto obtido, comparando-o ao produto “*in natura*”.

O trabalho foi dividido nas etapas:

- Caracterização física e química da matéria prima;
- Semi-desidratação osmótica do mamão através de soluções concentradas de sacarose, acrescidas de diferentes aditivos;
- Análise do produto final.

#### **Matéria prima :**

Utilizou-se mamão da variedade Formosa doado por Distribuidores Bandeira S.A., CEASA, Campinas, SP, cultivados no estado da Bahia. Os frutos foram selecionados observando-se os critérios de mesmo grau de maturação (pela avaliação de graus Brix da polpa e cor da casca), mesmo tamanho e forma, boa qualidade, a fim de minimizar a variabilidade da matéria prima (Figura 3.1).



**Figura 3.1** – Fotografia do mamão variedade Formosa utilizado nos experimentos deste trabalho.

Soluções de sacarose a diferentes concentrações foram utilizadas como agente desidratante. Empregou-se sacarose de grau alimentar marca União, doada pela Companhia União de Refinadores.

Os sais cloreto de cálcio e lactato de sódio e ácidos láctico e cítrico foram utilizados em grau analítico (P.A.).

#### **Descascamento e corte :**

Os mamões foram descascados manualmente até a remoção completa da casca. Suas sementes foram removidas e a polpa foi fatiada em paralelepípedos de dimensões 4 x 3 x 1,5 cm, em quantidade suficiente para a realização dos ensaios de desidratação osmótica e posteriores análises (cor, textura, açúcares, umidade e

atividade de água).

### **Tratamento e Aditivos :**

Foi verificado que o processo de branqueamento se mostra extremamente prejudicial à textura do produto final após a desidratação e também aumenta a perda de nutrientes e a entrada de solutos da solução infusora pela ruptura do tecido celular quando exposto a temperaturas extremas, sendo que uma inativação enzimática razoável pode ser obtida apenas com a adição de ácidos e sais de cálcio e zinco durante o processo osmótico. Devido a estes fatos, realizou-se a estabilização bioquímica do mamão somente por adição de ácidos e sais. Utilizaram-se variadas combinações dos aditivos: ácidos cítrico e láctico, lactato de sódio e cloreto de cálcio. Com isso pretendeu-se estabilizar o produto mantendo suas qualidades de cor e textura.

### **Preparo das soluções infusoras :**

Prepararam-se soluções de sacarose e água destilada em proporção calculada para que se atingissem as concentrações de 50, 60 e 70 °Brix. As soluções eram então deixadas em repouso até sua estabilização (solução completamente límpida e homogênea, sem partículas em suspensão). Às soluções estabilizadas adicionavam-se quantidades pré-determinadas do ácido e do sal desejados. Novamente as soluções permaneciam em repouso até a estabilização.

Empregaram-se concentrações de 0,1M para os ácidos cítrico e láctico, 0,1M para o cloreto de cálcio e 2,4% em peso para o lactato de sódio.

A concentração de sacarose das soluções infusoras foi verificada

por meio de um refratômetro marca Zeiss e ajustadas quando necessário.

### **Desidratação Osmótica :**

As soluções preparadas foram colocadas em banho termostático durante 30 minutos para que alcançassem a temperatura de processo de 30, 40 ou 50 °C.

Pedaços de mamão previamente pesados e identificados foram colocados aos pares em frascos de aproximadamente 250 ml (cerca de 50g da fruta), juntamente com a solução de sacarose aditivada de um dos sais e um dos ácidos e na temperatura de processo. Utilizando a proporção fruta:solução de 1:10, assegurou-se que a concentração da solução permanecesse constante durante a desidratação.

Conjuntos fruta/solução foram levados a um banho termostático agitado (120rpm) por tempos pré-determinados. Após o processo, os pedaços de mamão foram drenados, enxaguados com água destilada e colocados sobre papel absorvente para remoção do excesso de solução superficial.

Os pedaços da fruta desidratada foram novamente pesados, determinando-se a perda de peso em relação à massa inicial do produto (método gravimétrico), segundo a equação:

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

sendo  $PP(\%)$  perda de peso percentual do produto desidratado;  $m_i$  é a massa total de produtos no tempo inicial, e  $m_f$  é a massa total de produtos no tempo  $t$ .

O ganho de sólidos, ou incorporação de açúcares, foi calculado por meio de um balanço de massa de sólidos no processo, segundo a equação:

$$GS(\%) = 100 \frac{AR_f m_f - AR_i m_i}{m_i} \quad (3.2)$$

Sendo: GS(%) : incorporação de sólidos com base na massa inicial do produto

AR<sub>i</sub> : açúcares redutores totais do produto inicial

AR<sub>f</sub> : açúcares redutores totais do produto final

### **Análises Químicas e Físicas :**

As amostras de mamão desidratadas osmoticamente foram submetidas às análises:

- Determinação de umidade:

O teor de umidade foi determinado colocando-se as amostras em placas de petri previamente pesadas e levadas à estufa de convecção forçada a 45°C e depois à estufa a vácuo a 60°C, até atingir peso constante.

- Determinação de açúcares redutores:

A quantidade de açúcares redutores nas amostras frescas e processadas foi determinada por método titulométrico.

Os métodos utilizados nas determinações foram retirados do AOAC (1992).

#### **Atividade de água :**

As atividades de água da fruta fresca, das amostras desidratadas e da solução infusora foram determinadas com o auxílio do equipamento (higrômetro) Aqualab CX-2T (Decagon, USA), à 25°C, apresentando erro de  $\pm 0,003$  no valor final. Este equipamento tem por princípio a medida do ponto de orvalho da amostra acondicionada em cápsula plástica e levada a um banho termostaticado. As amostras foram colocadas em cápsulas plásticas herméticas e mantidas sob refrigeração por 24 horas, até que atingisse o equilíbrio.

#### **Cor:**

A cor do mamão fresco e desidratado foi avaliada por meio de um colorímetro marca Hunterlab para a obtenção dos parâmetros a (+a vermelho e -a verde), b (+b amarelo e -b azul) e L (L=0 preto e L=1 branco).

Com estes parâmetros de cor define-se uma diferença média, dE, entre a fruta processada e a fruta fresca pela equação:

$$dE = \sqrt{(a - a_0)^2 + (b - b_0)^2 + (L - L_0)^2}$$

Sendo que o índice zero representa o valor do parâmetro para a fruta fresca. O valor desta diferença média quadrática permite a comparação dos valores dos parâmetros de cor da fruta fresca e da fruta processada de forma simplificada, considerando que quanto mais o valor da diferença se aproxima de zero, mais a cor

do mamão desidratado estará próxima à cor do mamão *in natura*.

### **Textura:**

Tomou-se como parâmetro representativo do aspecto mais marcante da textura apresentado pela fruta desidratada a força máxima de ruptura. A força máxima necessária para a ruptura da amostra foi medida com o auxílio de um texturômetro universal marca TATX2 do Laboratório de Engenharia de Processos da Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP. Realizou-se, para tanto, um ensaio de compressão uniaxial na amostra paralelepipedica apoiada sobre uma das faces de maior área, e a sonda utilizada foi um cilindro acrílico chato de 6 cm de diâmetro.

### **Planejamento Experimental:**

Foram realizados os ensaios experimentais de acordo com um planejamento fatorial completo de 4 fatores e dois níveis ( $2^4$ ) e seis repetições no ponto central totalizando 22 ensaios, como indicado na Tabela 3.1. Cada ensaio foi realizado em quadruplicata.

O planejamento citado teve como objetivo avaliar o efeito das variáveis concentração de sacarose da solução infusora, temperatura de processo, tipo de sal e tipo de ácido sobre as respostas umidade, atividade de água, perda de peso, incorporação de açúcares, alteração da cor e força máxima de ruptura, para duas horas de desidratação osmótica e relação fruta : solução de 1:10.

As variáveis dependentes obtidas foram umidade da superfície (%), atividade de água, perda de peso (%), incorporação de açúcares, alteração da cor, força

máxima de ruptura (N).

**Tabela 3.1 - Planejamento fatorial completo com 6 repetições no ponto central.**

| Ensaio | Concentração (°Brix) | Temperatura (°C) | Tipo de Ácido | Tipo de Sal            |
|--------|----------------------|------------------|---------------|------------------------|
| 01     | 50 (-1)              | 30 (-1)          | Cítrico (-1)  | CaCl <sub>2</sub> (-1) |
| 02     | 70 (+1)              | 30 (-1)          | Cítrico (-1)  | CaCl <sub>2</sub> (-1) |
| 03     | 50 (-1)              | 50 (+1)          | Cítrico (-1)  | CaCl <sub>2</sub> (-1) |
| 04     | 70 (+1)              | 50 (+1)          | Cítrico (-1)  | CaCl <sub>2</sub> (-1) |
| 05     | 50 (-1)              | 30 (-1)          | Lático (+1)   | CaCl <sub>2</sub> (-1) |
| 06     | 70 (+1)              | 30 (-1)          | Lático (+1)   | CaCl <sub>2</sub> (-1) |
| 07     | 50 (-1)              | 50 (+1)          | Lático (+1)   | CaCl <sub>2</sub> (-1) |
| 08     | 70 (+1)              | 50 (+1)          | Lático (+1)   | CaCl <sub>2</sub> (-1) |
| 09     | 50 (-1)              | 30 (-1)          | Cítrico (-1)  | Lactato Na (+1)        |
| 10     | 70 (+1)              | 30 (-1)          | Cítrico (-1)  | Lactato Na (+1)        |
| 11     | 50 (-1)              | 50 (+1)          | Cítrico (-1)  | Lactato Na (+1)        |
| 12     | 70 (+1)              | 50 (+1)          | Cítrico (-1)  | Lactato Na (+1)        |
| 13     | 50 (-1)              | 30 (-1)          | Lático (+1)   | Lactato Na (+1)        |
| 14     | 70 (+1)              | 30 (-1)          | Lático (+1)   | Lactato Na (+1)        |
| 15     | 50 (-1)              | 50 (+1)          | Lático (+1)   | Lactato Na (+1)        |
| 16     | 70 (+1)              | 50 (+1)          | Lático (+1)   | Lactato Na (+1)        |
| 17     | 60 (0)               | 40 (0)           | Cítrico (-1)  | CaCl <sub>2</sub> (-1) |
| 18     | 60 (0)               | 40 (0)           | Cítrico (-1)  | CaCl <sub>2</sub> (-1) |
| 19     | 60 (0)               | 40 (0)           | Cítrico (-1)  | CaCl <sub>2</sub> (-1) |
| 20     | 60 (0)               | 40 (0)           | Lático (+1)   | Lactato Na (+1)        |
| 21     | 60 (0)               | 40 (0)           | Lático (+1)   | Lactato Na (+1)        |
| 22     | 60 (0)               | 40 (0)           | Lático (+1)   | Lactato Na (+1)        |

As variáveis independentes assumiram os valores:

**Concentração de sacarose da solução infusora:** 50, 60 e 70°Brix (níveis -1, 0 e +1 respectivamente),

**Temperatura de processo:** 30, 40 e 50°C (níveis -1, 0 e +1 respectivamente),

**Tipo de sal:** cloreto de cálcio e lactato de sódio (níveis -1 e +1 respectivamente),

**Tipo de ácido:** ácido cítrico e ácido láctico (níveis -1 e +1 respectivamente).

Determinados os efeitos das variáveis independentes sobre as respostas analisadas, tomou-se a condição de processo mais favorável para cada uma das

respostas obtidas (menor incorporação de açúcares, maior abaixamento da atividade de água, cor e textura mais próximas da fruta fresca) e uma melhor condição para todas estas respostas simultaneamente. Determinou-se a cinética da variação da perda de peso, atividade de água, umidade, incorporação de solutos, parâmetro de cor dE e parâmetro de textura instrumental – força máxima de ruptura, para cada uma das condições seleccionadas, realizando-se medidas destes parâmetros a cada 60 minutos durante sete horas de desidratação osmótica.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A influência dos diferentes tratamentos e variáveis de processo durante a desidratação osmótica sobre o mamão foi estudada quanto à atividade de água, perda de peso, umidade, incorporação de açúcares, cor e textura. De forma genérica, pode-se dizer que a textura foi o parâmetro mais afetado durante o processo, tendo sido muito alterado por influência da adição de sais e pela temperatura do processo. Em contrapartida, observou-se uma pequena variação da cor das amostras durante o processo osmótico, causada pela adição dos ácidos e sais à solução infusora e pela temperatura de processamento.

Os resultados são apresentados mais detalhadamente de acordo com os itens: 1) Composição química do mamão utilizado; 2) Avaliação dos efeitos das variáveis de processo sobre as respostas mais importantes e escolha das melhores condições de processo e melhor combinação de sal e ácido; 3) Cinética da variação de perda de peso, atividade de água, umidade, incorporação de açúcares, cor e textura instrumental.

### **4.1. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO MAMÃO FORMOSA**

A composição química centesimal do mamão utilizado nos experimentos pode ser vista na Tabela 4.1, onde os valores são dados em porcentagem e correspondem a uma média de, no mínimo, três determinações.

**Tabela 4.1 – Composição química centesimal do mamão variedade Formosa.**

| Item analisado     | Valores médios (%) |
|--------------------|--------------------|
| Umidade base úmida | 89,12              |
| Umidade base seca  | 819,83             |
| Cinzas             | 0,21               |
| Proteínas          | 0,40               |
| Gorduras           | 0,21               |
| Açúcares redutores | 9,29               |
| Açúcares totais    | 9,29               |
| Fibras             | 1,38               |
| Acidez             | 0,10               |
| Pectina            | 1,62               |

## **4.2. AVALIAÇÃO DOS EFEITOS**

O planejamento experimental foi realizado com a intenção de se avaliar os efeitos das variáveis temperatura, concentração de sacarose, tipo de sal e tipo de ácido sobre as respostas atividade de água da superfície, atividade de água do interior da amostra, umidade da superfície, umidade do interior da amostra, incorporação de açúcares, cor e textura do mamão desidratado.

A Tabela 4.2 mostra a planilha de entrada dos dados no programa Statistica.

A construção de gráficos de superfície de resposta, assim como suas curvas de nível, foi feita para as respostas de melhor ajuste ao modelo estatístico proposto pelo programa.

**Tabela 4.2 – Planilha do planejamento completo 2<sup>4</sup> para a obtenção dos dados estatísticos (valores médios).**

| Ensaio número | Concentração da Solução | Temperatura de Processo | Ácido Tipo | Sal Tipo | a <sub>w</sub> superfície | a <sub>w</sub> interior | Açúcares incorporados (%) | Umidade superfície (%) | Umidade interior (%) | Cor dE | Textura Frup. |
|---------------|-------------------------|-------------------------|------------|----------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------|--------|---------------|
| 01            | -1                      | -1                      | -1         | -1       | 0,979                     | 0,973                   | 4,42                      | 83,46                  | 77,56                | 7,90   | 2,104         |
| 02            | +1                      | -1                      | -1         | -1       | 0,981                     | 0,976                   | 3,12                      | 86,32                  | 81,83                | 6,91   | 0,933         |
| 03            | -1                      | +1                      | -1         | -1       | 0,978                     | 0,966                   | 8,43                      | 80,62                  | 71,58                | 7,78   | 1,811         |
| 04            | +1                      | +1                      | -1         | -1       | 0,977                     | 0,970                   | 6,37                      | 83,74                  | 76,59                | 7,44   | 1,255         |
| 05            | -1                      | -1                      | +1         | -1       | 0,981                     | 0,973                   | 4,78                      | 83,19                  | 77,44                | 7,91   | 1,285         |
| 06            | +1                      | -1                      | +1         | -1       | 0,980                     | 0,972                   | 3,82                      | 83,76                  | 77,20                | 6,19   | 1,068         |
| 07            | -1                      | +1                      | +1         | -1       | 0,977                     | 0,965                   | 7,10                      | 82,26                  | 72,92                | 8,10   | 1,600         |
| 08            | +1                      | +1                      | +1         | -1       | 0,980                     | 0,974                   | 2,44                      | 86,30                  | 81,15                | 6,57   | 0,942         |
| 09            | -1                      | -1                      | -1         | +1       | 0,979                     | 0,969                   | 5,03                      | 84,68                  | 78,04                | 8,03   | 0,952         |
| 10            | +1                      | -1                      | -1         | +1       | 0,977                     | 0,970                   | 3,78                      | 82,86                  | 76,31                | 7,73   | 1,176         |
| 11            | -1                      | +1                      | -1         | +1       | 0,973                     | 0,964                   | 8,21                      | 80,92                  | 73,63                | 6,90   | 1,069         |
| 12            | +1                      | +1                      | -1         | +1       | 0,974                     | 0,966                   | 3,35                      | 83,92                  | 76,89                | 9,15   | 0,954         |
| 13            | -1                      | -1                      | +1         | +1       | 0,981                     | 0,972                   | 2,93                      | 85,96                  | 79,80                | 5,79   | 0,902         |
| 14            | +1                      | -1                      | +1         | +1       | 0,982                     | 0,973                   | 2,52                      | 86,63                  | 81,85                | 4,87   | 1,147         |
| 15            | -1                      | +1                      | +1         | +1       | 0,976                     | 0,967                   | 4,24                      | 83,72                  | 77,01                | 9,56   | 0,772         |
| 16            | +1                      | +1                      | +1         | +1       | 0,977                     | 0,966                   | 7,25                      | 82,61                  | 74,80                | 6,79   | 0,762         |
| 17(C)         | 0                       | 0                       | -1         | -1       | 0,977                     | 0,971                   | 2,16                      | 85,27                  | 76,96                | 5,98   | 1,393         |
| 18(C)         | 0                       | 0                       | -1         | -1       | 0,974                     | 0,973                   | 3,18                      | 84,93                  | 78,28                | 4,78   | 2,000         |
| 19(C)         | 0                       | 0                       | -1         | -1       | 0,979                     | 0,974                   | 2,40                      | 85,69                  | 79,92                | 4,82   | 1,722         |
| 20(C)         | 0                       | 0                       | +1         | +1       | 0,979                     | 0,975                   | 4,01                      | 83,80                  | 81,86                | 6,55   | 1,572         |
| 21(C)         | 0                       | 0                       | +1         | +1       | 0,979                     | 0,970                   | 3,41                      | 84,64                  | 78,38                | 3,79   | 1,366         |
| 22(C)         | 0                       | 0                       | +1         | +1       | 0,976                     | 0,974                   | 3,60                      | 83,21                  | 81,19                | 7,86   | 1,500         |

Algumas distinções entre respostas para a superfície e interior da amostra desidratada foram feitas por ter havido formação de uma espécie de casca ao redor das amostras devido à incorporação dos sais adicionados à solução infusora.

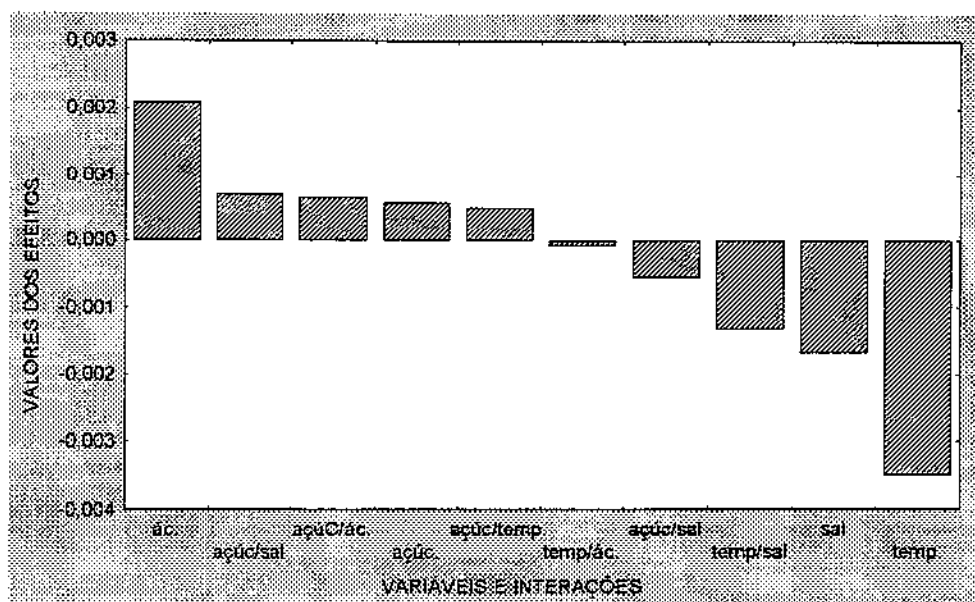
O efeito das variáveis independentes para cada resposta é mostrado nos itens seguintes.

#### 4.2.1. Efeito Sobre a Atividade de Água do Interior da Amostra:

A Tabela 4.3 extraída do programa Statistica mostra a intensidade dos efeitos das variáveis independentes, assim como os efeitos das combinações destas variáveis, mais facilmente visualizados no diagrama de barras – Figura 4.1.

**Tabela 4.3** - Tabela de efeitos estimados para a atividade de água do interior da amostra.

| Interação       | Efeito      | Erro puro  | p          |
|-----------------|-------------|------------|------------|
| Média           | 0,97805357  | 0,00065444 | 0,00000000 |
| Açúcar (1)      | 0,00057500  | 0,00147662 | 0,71682169 |
| Temperatura (2) | -0,00350000 | 0,00147662 | 0,07679813 |
| Ácido (3)       | 0,00208214  | 0,00130889 | 0,18686943 |
| Sal (4)         | -0,00166786 | 0,00130889 | 0,27157031 |
| 1 por 2         | 0,00050000  | 0,00147662 | 0,75193134 |
| 1 por 3         | 0,00065000  | 0,00147662 | 0,68253800 |
| 1 por 4         | -0,00055000 | 0,00147662 | 0,72843713 |
| 2 por 3         | -0,00007500 | 0,00147662 | 0,96192679 |
| 2 por 4         | -0,00132500 | 0,00147662 | 0,42027591 |
| 3 por 4         | 0,00070714  | 0,00130889 | 0,61769162 |



**Figura 4.1** – Gráfico de barras dos valores dos efeitos sobre a atividade de água do interior da amostra, para cada variável e suas combinações.

A interpretação dos valores dados na Tabela 4.2.1 de efeitos, assim como no gráfico de barras, Figura 4.2.1, deve ser feita considerando os sinais e a magnitude do valor obtido. Quanto maior é o valor do efeito, maior será sua influência sobre a resposta. O sinal do valor do efeito é interpretado de forma mais complexa: um efeito positivo indica que ao passarmos de um valor mínimo a um valor máximo da variável, a resposta aumenta, assim como um efeito negativo indica que ao passarmos de um valor mínimo ao máximo da variável, a resposta diminui. Como exemplo pode-se citar o efeito da temperatura sobre a atividade de água do interior da amostra. Vê-se que o efeito da temperatura de processo neste caso é negativo e de grande intensidade, indicando uma forte influência desta variável sobre a atividade de água do interior da amostra. Como o efeito é negativo, conclui-se que ao passarmos de 30 a 50 °C a atividade de água diminui.

A Tabela 4.3 mostra, além dos valores dos efeitos e seu erro padrão, o coeficiente  $p$ , que indica qual efeito é estatisticamente significativo para 95% de segurança. Com isso, pode-se afirmar que efeitos com  $p$  muito maior que 5% não são estatisticamente significativos e não proporcionam uma análise consistente dos dados obtidos.

Analizando o valor do parâmetro  $p$ , de acordo com o Apêndice B, observa-se que, no caso da atividade de água do interior da amostra, apenas a temperatura de processo é estatisticamente significativa.

O fato da temperatura ser a única variável causadora de efeitos significativos pode indicar que a incorporação de solutos próximo à região central da amostra ainda é muito pequena, para o tempo de processo avaliado, para provocar alteração na atividade de água, isto é, mesmo havendo entrada de açúcar, ácido e sal no tecido da fruta, a quantidade destes solutos que penetram no interior da amostra em duas horas de desidratação não é suficiente para uma depressão de atividade de água considerável.

#### **4.2.2. Efeito Sobre a Atividade de Água da Superfície:**

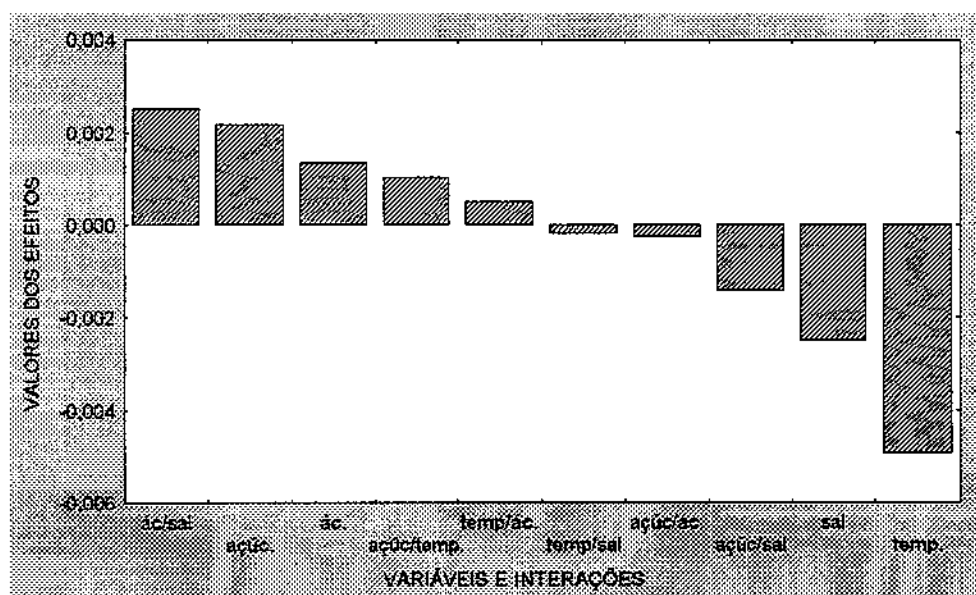
A Tabela 4.4 mostra a intensidade dos efeitos das variáveis independentes, assim como os efeitos das combinações destas variáveis, mais facilmente visualizados no diagrama de barras – Figura 4.2.

De forma análoga interpretam-se os resultados para o efeito das variáveis independentes sobre a atividade de água da superfície da amostra. A análise do parâmetro  $p$  mostra, neste caso, outros efeitos importantes além daquele causado

pela temperatura. O tipo de sal e a combinação sal/ácido também proporcionam alterações estatisticamente significativas na atividade de água superficial.

**Tabela 4.4** - Tabela de efeitos estimados para a atividade de água da superfície da amostra.

| Interação       | Efeito      | Erro puro  | p          |
|-----------------|-------------|------------|------------|
| Média           | 0,97026696  | 0,00050678 | 0,00000000 |
| Açúcar (1)      | 0,00217500  | 0,00114346 | 0,12992046 |
| Temperatura (2) | -0,00492500 | 0,00114346 | 0,01257478 |
| Ácido (3)       | 0,00134821  | 0,00101357 | 0,25423735 |
| Sal (4)         | -0,00247679 | 0,00101357 | 0,07093040 |
| 1 por 2         | 0,00102500  | 0,00114346 | 0,42071000 |
| 1 por 3         | -0,00025000 | 0,00114346 | 0,83763668 |
| 1 por 4         | -0,00142500 | 0,00114346 | 0,28068613 |
| 2 por 3         | 0,00050000  | 0,00114346 | 0,68448789 |
| 2 por 4         | -0,00017500 | 0,00114346 | 0,88577344 |
| 3 por 4         | 0,00250893  | 0,00101357 | 0,06855270 |



**Figura 4.2** - Gráfico de barras dos valores dos efeitos sobre a atividade de água da superfície da amostra, para cada variável e suas combinações.

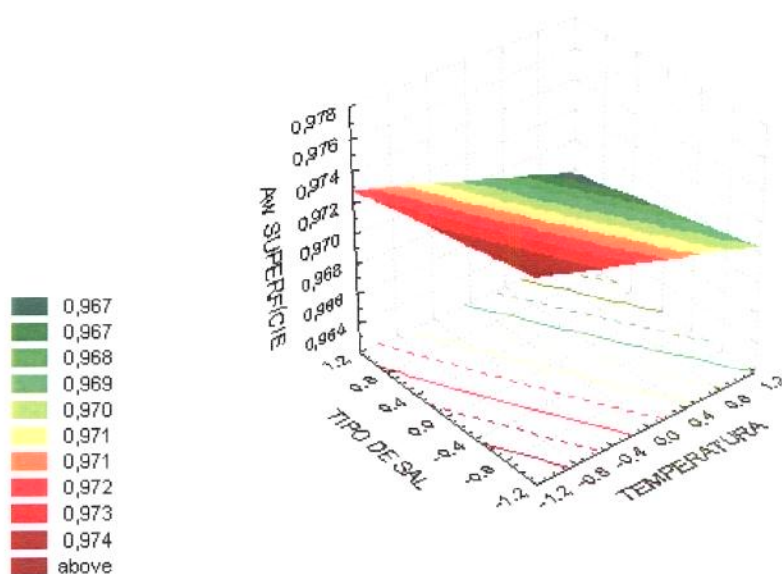
A temperatura se comporta da mesma forma tanto em relação à superfície quanto ao interior da amostra, porém com maior intensidade, isto é, o efeito da

temperatura sobre a atividade de água é mais intenso na região mais externa da amostra desidratada (valor do efeito é maior em módulo), indicando um maior decréscimo da atividade de água com o aumento da temperatura de processo.

O efeito do tipo de sal também é negativo, indicando que a passagem do cloreto de cálcio para o lactato de sódio diminui a atividade de água na superfície da amostra. Ou seja, o lactato de sódio é melhor depressor de atividade de água que o cloreto de cálcio.

Outro efeito interessante é a combinação sal/ácido. As soluções adicionadas de um sal mais ácido cítrico, revelam que a maior diminuição de  $a_w$  é causada pela combinação lactato de sódio / ácido láctico. No entanto, a combinação ácido láctico/cloreto de cálcio se mostra mais eficiente no decréscimo de  $a_w$ , se comparado ao ácido cítrico. Isto se deve ao tamanho das moléculas dos ácidos (vide Apêndice A), isto é, quanto menor a molécula de ácido em solução, maior é o decréscimo da atividade de água. Assim, a interpretação conjunta do tipo de ácido e sal mostra a combinação ácido láctico/cloreto de cálcio como a melhor depressora de  $a_w$  na superfície da amostra.

Com as informações expostas, pode-se concluir que o menor valor de atividade de água superficial será obtido para a temperatura mais alta (50°C), o ácido láctico e o cloreto de cálcio. Como a concentração de sacarose na solução infusora tem influência estatisticamente pouco significativa sobre esta resposta ante a presença dos aditivos, escolhe-se a menor concentração de açúcar na solução desidratante (50°Brix) por motivos econômicos.

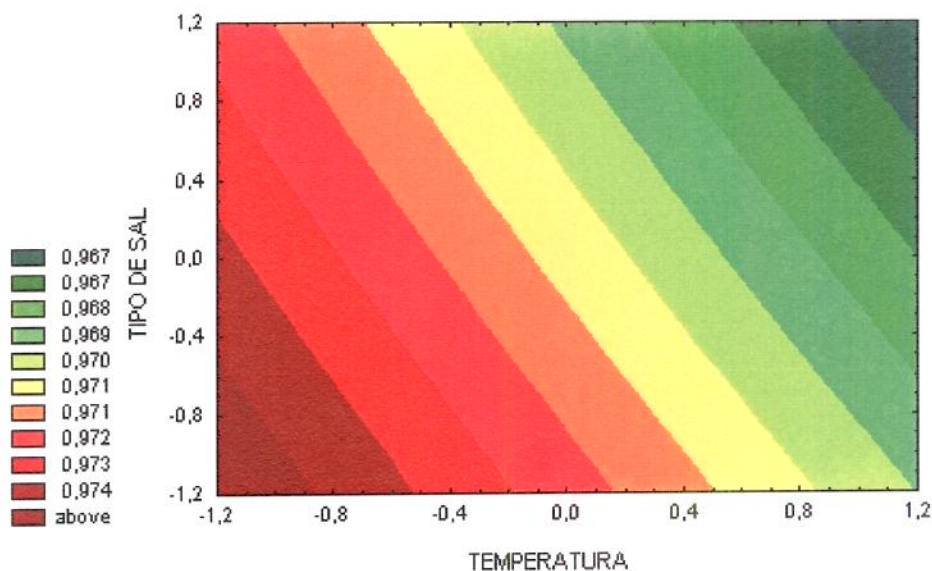


**Figura 4.3** – Superfície de resposta para a atividade de água na superfície da amostra segundo a influência do tipo de sal e da temperatura.

A superfície de resposta da Figura 4.3 obtida por ajuste de um modelo estatístico linear mostra a tendência de variação da atividade de água superficial com a variação da temperatura e tipo de sal. Esta superfície confirma a validade da análise de efeitos anterior e ainda proporciona a visualização da taxa de variação da resposta (atividade de água na superfície da amostra desidratada) para cada tipo de sal e temperatura de processo utilizadas, isto é, quanto maior a inclinação do plano, maior seria a taxa de variação de atividade de água com alteração do tipo de sal e temperatura; o que pode ser mais claramente visto na Figura 4.4 das curvas de nível correspondentes à superfície em questão.

As Figuras 4.3 e 4.4 indicam uma variação acentuada da atividade de água com a alteração da temperatura e uma variação mais branda com a mudança do tipo de sal, levando a crer que, nas concentrações de aditivos utilizadas e para o tempo de

desidratação avaliado (2 horas), as variáveis de processo como a temperatura ainda causam um efeito mais intenso na atividade de água da superfície da amostra.



**Figura 4.4**— Curvas de nível correspondentes à superfície de resposta para a atividade de água na superfície da amostra segundo a influência do tipo de sal e da temperatura.

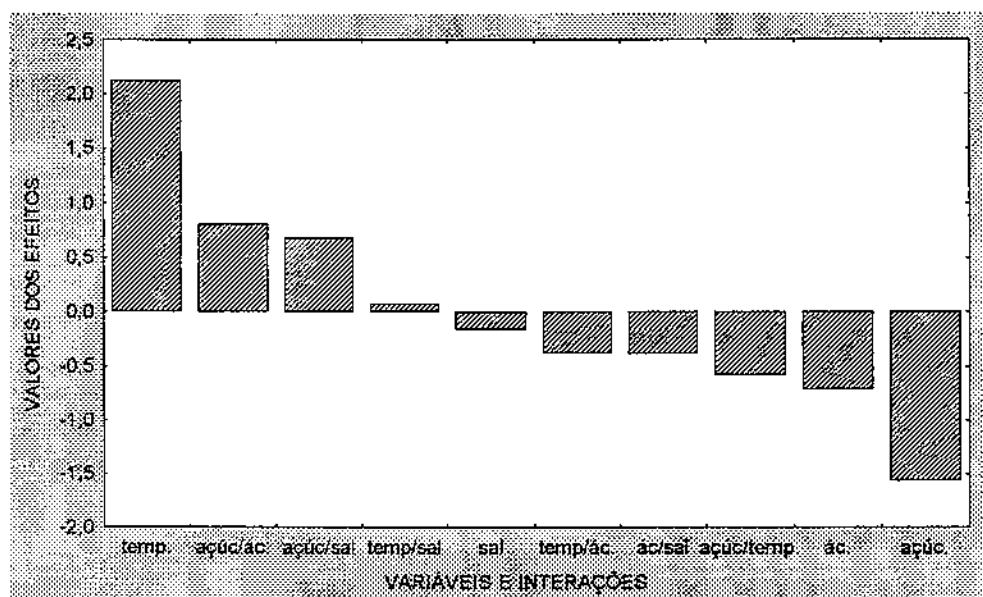
#### 4.2.3. Efeito Sobre a Incorporação de Açúcares:

Na Tabela 4.5, assim como na Figura 4.5, vê-se como efeito mais significativo sobre esta característica avaliada a temperatura de processo. Neste caso, a temperatura exerce um efeito positivo na incorporação de açúcares, isto é, quanto maior a temperatura, maior a entrada de sacarose na amostra. Isto se deve ao efeito destrutivo da temperatura sobre os tecidos da fruta, permitindo uma maior incorporação de solutos da solução infusora pela amostra.

Os outros efeitos obtidos são estatisticamente pouco significativos, impedindo uma análise mais criteriosa. No entanto, é válido notar o efeito da concentração de sacarose na solução infusora para uma análise menos rigorosa. Este efeito negativo indica que o aumento da concentração da solução diminui a incorporação de açúcares da fruta. Isto se deve à formação de uma película mais concentrada de açúcar em torno da amostra, dificultando o processo osmótico e a transferência de massa da solução para a fruta. Desta forma, o mamão passa a ganhar menos sólidos enquanto perde água, coincidindo com os dados da literatura, o que deverá ser mais intenso para maiores tempos de processamento e agitação mais amena.

**Tabela 4.5 - Tabela de efeitos estimados para a incorporação de açúcares.**

| Interação       | Efeito      | Erro puro  | p          |
|-----------------|-------------|------------|------------|
| Média           | 4,62179732  | 0,44578747 | 0,00048860 |
| Açúcar (1)      | -1,56288750 | 1,00583218 | 0,19519137 |
| Temperatura (2) | 2,12321250  | 1,00583218 | 0,10238637 |
| Ácido (3)       | -0,71613393 | 0,89157493 | 0,46686125 |
| Sal (4)         | -0,15830893 | 0,89157493 | 0,86769679 |
| 1 por 2         | -0,58131250 | 1,00583218 | 0,59427901 |
| 1 por 3         | 0,80496250  | 1,00583218 | 0,46837449 |
| 1 por 4         | 0,68458750  | 1,00583218 | 0,53347136 |
| 2 por 3         | -0,37638750 | 1,00583218 | 0,72724358 |
| 2 por 4         | 0,07453750  | 1,00583218 | 0,94448452 |
| 3 por 4         | -0,38298036 | 0,89157493 | 0,68964668 |



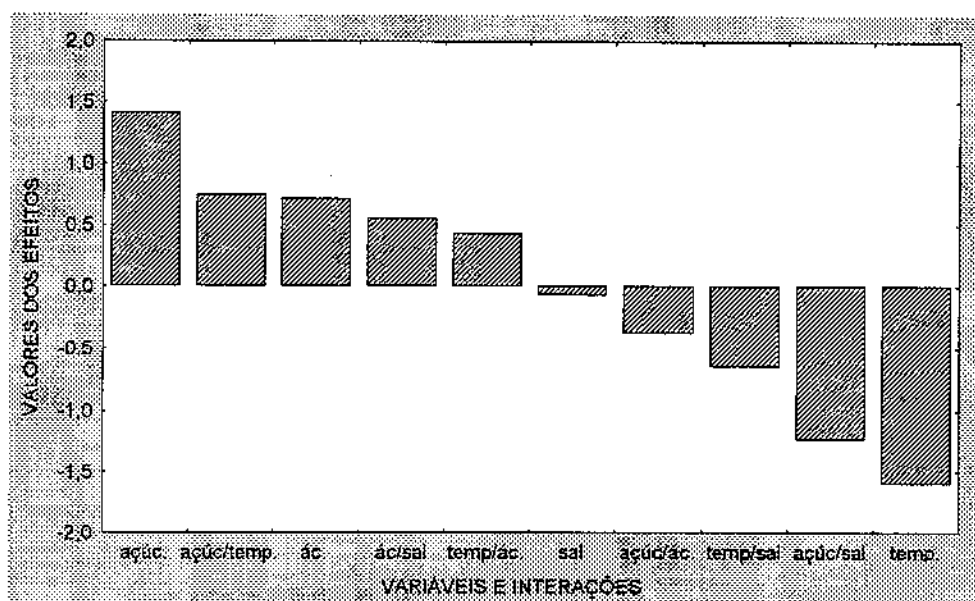
**Figura 4.5** - Gráfico de barras dos valores dos efeitos sobre a incorporação de açúcares, para cada variável e suas combinações.

#### 4.2.4. Efeito Sobre a Umidade no Interior e na Superfície da Amostra:

A Tabela 4.6 e a Figura 4.6 mostram os efeitos das variáveis independentes sobre a umidade base úmida do interior da amostra desidratada.

**Tabela 4.6** - Tabela de efeitos estimados para a umidade do interior da amostra.

| Interação       | Efeito      | Erro puro  | p          |
|-----------------|-------------|------------|------------|
| Média           | 83,76455357 | 0,42802243 | 0,00000000 |
| Açúcar (1)      | 1,41625000  | 0,96574885 | 0,21640579 |
| Temperatura (2) | -1,59625000 | 0,96574885 | 0,17370252 |
| Ácido (3)       | 0,71553571  | 0,85604486 | 0,45025503 |
| Sal (4)         | -0,06696429 | 0,85604486 | 0,94140577 |
| 1 por 2         | 0,84625000  | 0,96574885 | 0,43035765 |
| 1 por 3         | -0,37375000 | 0,96574885 | 0,71846034 |
| 1 por 4         | -1,23125000 | 0,96574885 | 0,27135881 |
| 2 por 3         | 0,43375000  | 0,96574885 | 0,67659500 |
| 2 por 4         | -0,64375000 | 0,96574885 | 0,54151902 |
| 3 por 4         | 0,55660714  | 0,85604486 | 0,55101372 |



**Figura 4.6** - Gráfico de barras dos valores dos efeitos sobre a umidade do interior da amostra, para cada variável e suas combinações.

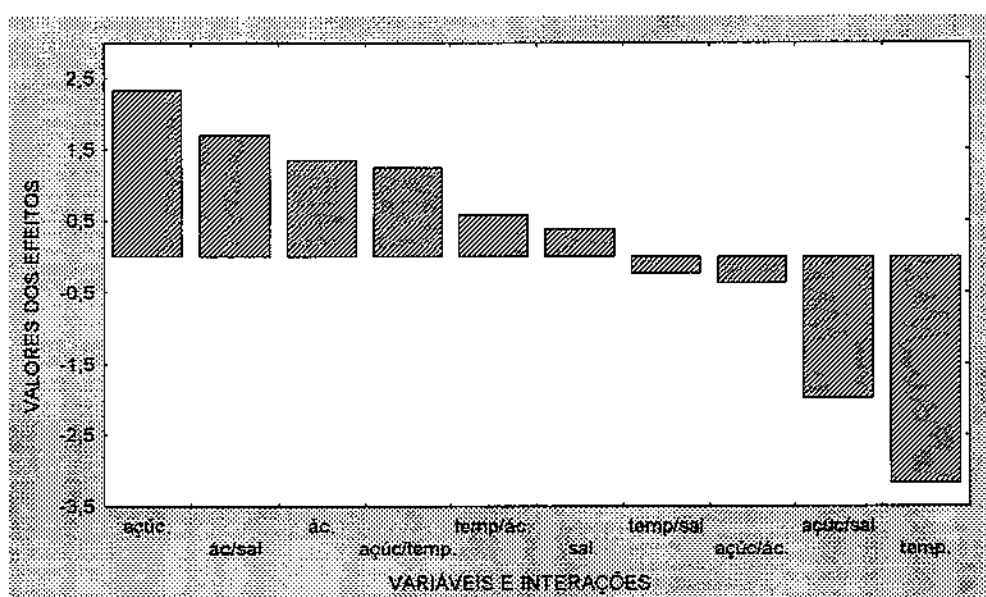
A temperatura é o efeito mais influente na umidade do interior da amostra, sendo a maior temperatura causadora da menor umidade no interior da amostra, como esperado, pois temperaturas mais elevadas devem causar maior dano nos tecidos e conseqüentemente maior perda de água da fruta durante o processo osmótico.

A Tabela 4.7 e a Figura 4.7 mostram os efeitos das variáveis sobre a umidade da superfície da amostra de mamão desidratado.

A análise feita para a umidade na superfície da amostra da amostra indica outros efeitos significativos além da temperatura, como concentração de sacarose na solução infusora e efeitos de interação da concentração de sacarose/tipo de sal e tipo de ácido/tipo de sal.

**Tabela 4.7 - Tabela de efeitos estimados para a umidade na superfície da amostra.**

| Interação       | Efeito      | Erro puro  | p          |
|-----------------|-------------|------------|------------|
| Média           | 77,54910714 | 0,37108021 | 0,00000000 |
| Açúcar (1)      | 2,33000000  | 0,83726987 | 0,04967334 |
| Temperatura (2) | -3,18250000 | 0,83726987 | 0,01908650 |
| Ácido (3)       | 1,34928571  | 0,74216042 | 0,14320094 |
| Sal (4)         | 0,38928571  | 0,74216042 | 0,62763466 |
| 1 por 2         | 1,24250000  | 0,83726987 | 0,21197266 |
| 1 por 3         | -0,37250000 | 0,83726987 | 0,67940681 |
| 1 por 4         | -1,98750000 | 0,83726987 | 0,07650481 |
| 2 por 3         | 0,58000000  | 0,83726987 | 0,52659748 |
| 2 por 4         | -0,23500000 | 0,83726987 | 0,79287927 |
| 3 por 4         | 1,70321429  | 0,74216042 | 0,08340206 |



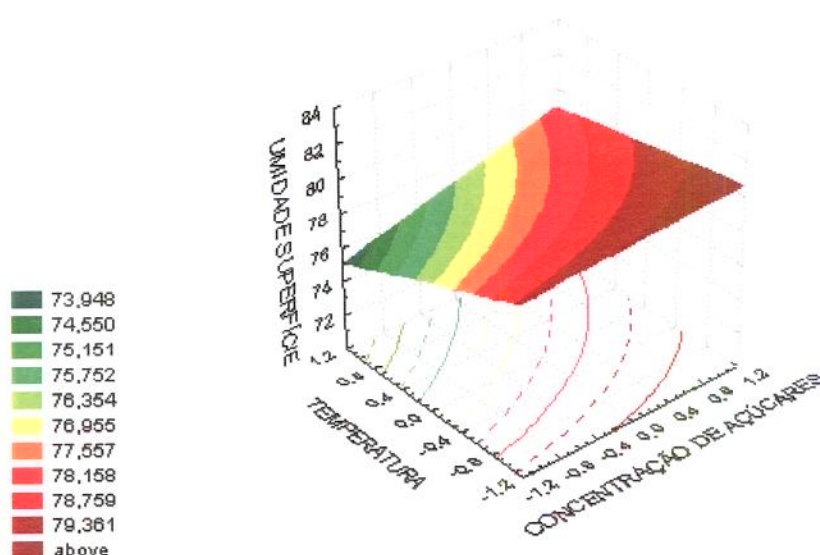
**Figura 4.7 - Gráfico de barras dos valores dos efeitos sobre a umidade da superfície da amostra, para cada variável e suas combinações.**

Da mesma forma que no interior da amostra, o efeito da temperatura para a umidade na superfície da fruta desidratada é negativo e indica a diminuição da umidade com o aumento da temperatura de processo.

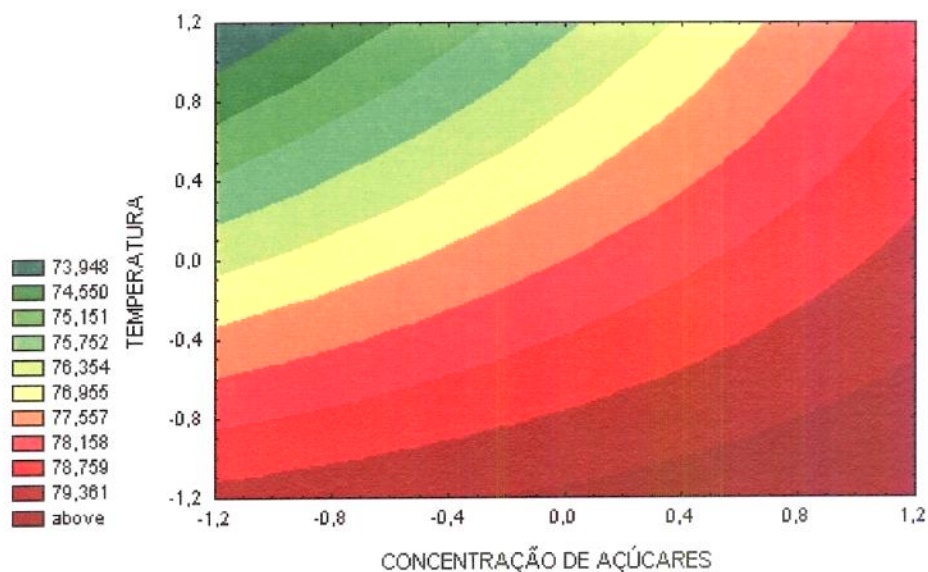
Já o aumento da concentração de açúcares parece causar menor diminuição da umidade superficial da fruta para as duas horas de desidratação avaliadas. Entretanto, analisando o efeito combinado da concentração de sacarose/tipo de sal pode-se verificar que realmente a maior concentração de sacarose da solução infusora causa uma diminuição mais branda da umidade, mas este efeito pode ser minimizado na presença do cloreto de cálcio combinado, sem considerar a presença do ácido no processo.

Analisando o efeito combinado do tipo de ácido e tipo de sal pode-se concluir que, sendo este efeito positivo, a umidade da superfície da amostra diminui mais com o uso do lactato de sódio, mas esse efeito pode ser potencializado quando associado ao uso do ácido lático combinado.

A Figura 4.8 mostra uma tendência de variação da umidade na superfície da fruta desidratada para duas horas de processo.



**Figura 4.8** – Superfície de resposta para a umidade na superfície da amostra segundo a influência da concentração de açúcares da solução e da temperatura.



**Figura 4.9** – Curvas de nível correspondentes à superfície de resposta para a umidade na superfície da amostra segundo a influência da concentração de açúcares da solução e da temperatura.

Nota-se claramente o efeito da temperatura e da concentração de açúcares da solução infusora comentados anteriormente. A Figura 4.9 proporciona uma melhor visualização da superfície citada, ficando evidente que a alteração da temperatura do processo influencia muito mais a umidade do que a variação na concentração de sacarose, o que se vê pela inclinação do plano ajustado. Desta forma, uma temperatura mais elevada de processo permite a utilização de praticamente qualquer concentração de açúcar na solução infusora, possibilitando a redução de no mínimo 12% da umidade inicial (Figura 4.9). Isto é, mesmo com alta temperatura de processo, utilizando concentrações elevadas de sacarose mantém-se boa qualidade do produto final em relação à cor e textura.

Considerando a análise feita, escolhe-se como melhor condição de processamento para a redução da umidade da superfície da amostra de mamão

desidratado como temperatura de 50°C, concentração de sacarose de 70°Brix, lactato de sódio e ácido láctico.

#### 4.2.5. Efeito Sobre a Cor:

A Tabela 4.8. e a Figura 4.10 mostram os efeitos das variáveis na cor do mamão desidratado.

Neste caso, a cor do produto foi comparada à cor da fruta fresca e a resposta é uma diferença quadrática dos valores obtidos para a fruta desidratada e a fruta *in natura*. No entanto, durante o processo osmótico há uma intensificação da cor, sendo esta de maior interesse. Consequentemente, escolhe-se a condição de desidratação que mais realça a cor do mamão.

**Tabela 4.8** - Tabela de efeitos estimados para a cor da amostra.

| Interação       | Efeito      | Erro puro  | p          |
|-----------------|-------------|------------|------------|
| Média           | 7,02982143  | 0,34262196 | 0,00003333 |
| Açúcar (1)      | -0,79000000 | 0,77305940 | 0,36459561 |
| Temperatura (2) | 0,87000000  | 0,77305940 | 0,32337641 |
| Ácido (3)       | -0,40857143 | 0,68524392 | 0,58311612 |
| Sal (4)         | 0,35142857  | 0,68524392 | 0,63507816 |
| 1 por 2         | 0,19250000  | 0,77305940 | 0,81561593 |
| 1 por 3         | -0,94500000 | 0,77305940 | 0,28865309 |
| 1 por 4         | 0,35500000  | 0,77305940 | 0,66992736 |
| 2 por 3         | 0,69500000  | 0,77305940 | 0,41946674 |
| 2 por 4         | 0,62500000  | 0,77305940 | 0,46415674 |
| 3 por 4         | -1,08535714 | 0,68524392 | 0,18838971 |

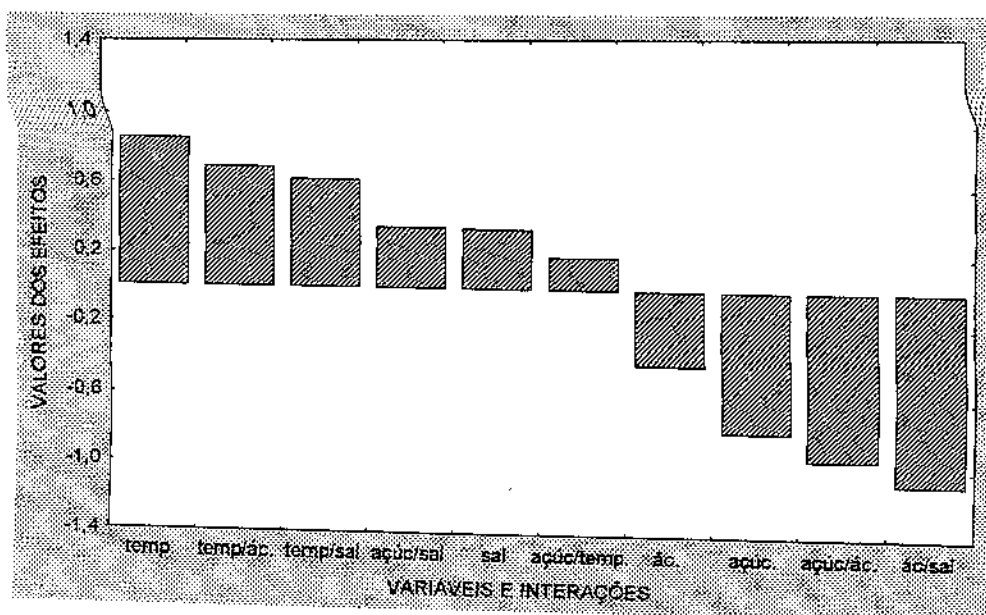


Figura 4.10 - Gráfico de barras dos valores dos efeitos sobre a cor da amostra, para cada variável e suas combinações.

Os valores do parâmetro  $p$  da Tabela 4.8 estão muito distantes do valor máximo de 5%, assim os modelos estatísticos não fornecem bom ajuste dos dados obtidos. Os valores dos efeitos não se mostram estatisticamente significativos para as primeiras duas horas de processo, mas mostram uma tendência da variação da cor durante a desidratação osmótica, isto é, pode-se avaliar a variação da cor das amostras pela análise dos sinais dos efeitos, mas não por sua intensidade.

A temperatura exerce uma forte influência sobre a cor da fruta processada, diminuindo-a. Como é desejada uma cor mais intensa, trabalha-se preferencialmente a temperaturas de processo mais amenas.

O efeito causado pelo tipo de ácido é negativo, indicando que ao passar do ácido cítrico para o lático a cor diminui. Desta forma, para se obter a melhor cor utiliza-se o ácido cítrico.

Para o tipo de sal o efeito é positivo, mostrando que a cor mais intensa é obtida com o emprego do lactato de sódio, assim como o efeito combinado positivo sal/açúcar, indicando que concentrações maiores de sacarose na solução infusora intensificam o efeito do sal, melhorando a cor do mamão desidratado.

Desta forma, a melhor condição de processo e combinação de aditivos para esta propriedade fica sendo: solução infusora de 70°Brix, temperatura de processo de 30°C, adição de ácido cítrico e lactato de sódio, para duas horas de desidratação.

#### **4.2.7. Efeito sobre a Textura:**

Deve-se lembrar que os valores de força de ruptura obtidos foram relacionados com o valor da mesma força para a fruta fresca utilizada para cada ensaio por meio da razão entre eles para que se anulasse a influência do grau de maturação do mamão. Assim, quanto mais próximo da unidade for o valor da razão das forças, mais próxima a textura do produto estará da textura da fruta fresca.

Analisando os efeitos mostrados na Tabela 4.9 e na Figura 4.11 pode-se notar que o tipo de sal, a concentração da solução infusora e as interações concentração de açúcar/tipo de sal e tipo de ácido/tipo de sal são os efeitos que mais influenciam na força de ruptura da superfície da fruta desidratada.

O tipo de sal utilizado como aditivo durante o processo de desidratação tem efeito negativo sobre o parâmetro de textura avaliado, isto é, ao passar do cloreto de cálcio para o lactato de sódio a diferença de textura entre a fruta fresca e a processada diminui. Logo, a força máxima de ruptura aumenta com o uso do cloreto de cálcio, tornando o produto desidratado muito diferente da fruta fresca pelo

enrijecimento da superfície da amostra. Desta forma, o sal que proporciona a obtenção da fruta desidratada mais próxima da *in natura* é o lactato de sódio.

O efeito da concentração de sacarose na solução infusora é negativo, indicando que o aumento desta concentração implicará menor diferença de força máxima de ruptura em relação à amostra fresca. Assim, a concentração recomendada é a de 70°Brix.

O efeito combinado de interação concentração de sacarose/tipo de sal é positivo, mostrando que o aumento da concentração da solução infusora minimiza a diferença entre as forças de ruptura da fruta fresca e desidratada, e que este efeito pode ser potencializado com o uso do lactato de sódio combinado, como visto nas Figuras 4.12 e 4.13, em que a região de interesse é a verde, onde há menor diferença entre as forças de ruptura do alimento fresco e desidratado.

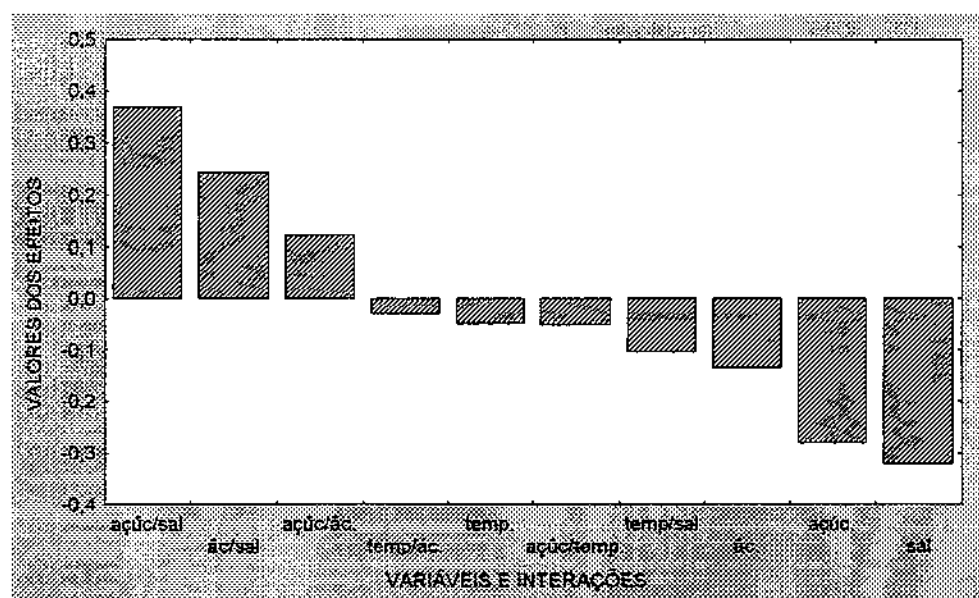
Outro efeito de interação estatisticamente significativo é o tipo de ácido/tipo de sal evidenciado pelas figuras 4.14 e 4.15, onde se vê que a utilização do lactato de sódio melhora a aproximação da fruta desidratada e fresca, no que tange à força de ruptura, mas este efeito ainda pode ser intensificado com o emprego do ácido láctico.

No caso da característica avaliada neste item, a temperatura de processo pouco afeta as condições estudadas, devido à alta influência dos aditivos incorporados à solução infusora, permitindo que se use a temperatura mais amena durante o processamento, por motivos econômicos.

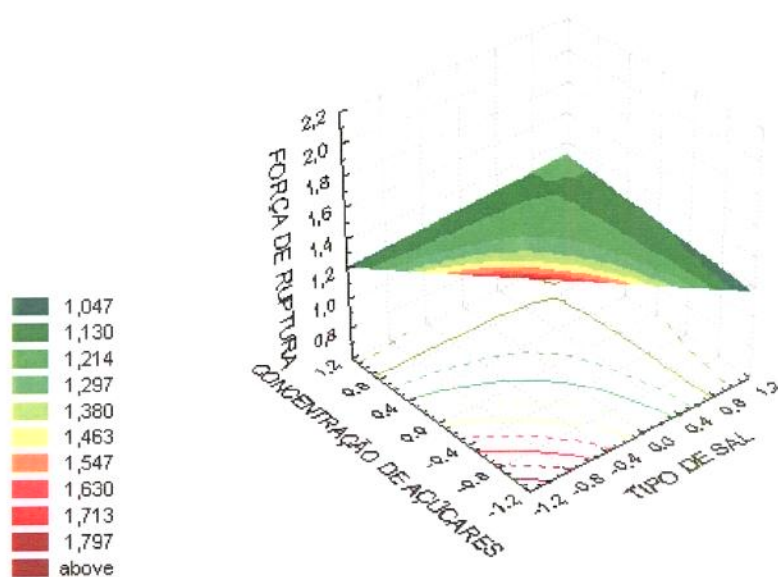
Com esta análise de efeitos escolheu-se a melhor condição em relação à força máxima de ruptura: 30°C, 70°Brix, ácido láctico e lactato de sódio.

**Tabela 4.9 - Tabela de efeitos estimados para a textura da amostra.**

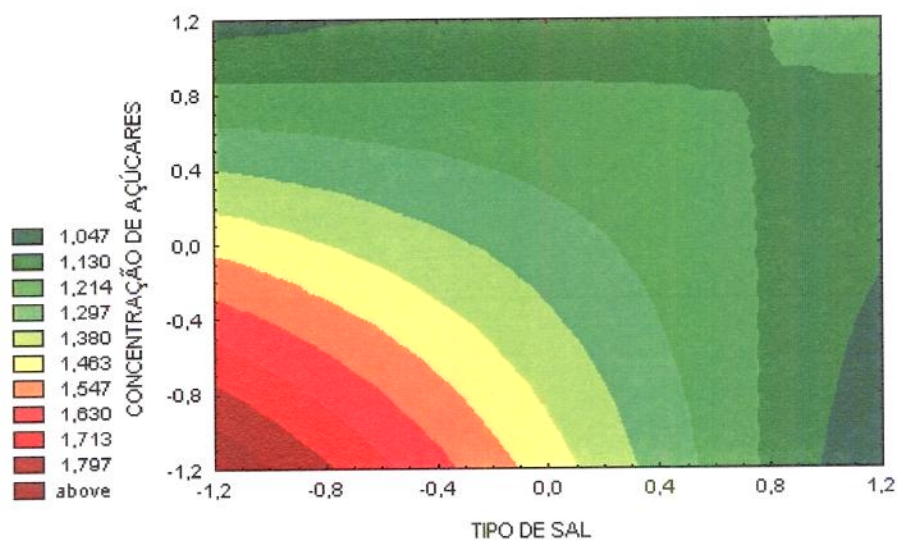
| Interação       | Efeito      | Erro puro  | p          |
|-----------------|-------------|------------|------------|
| Média           | 1,25248214  | 0,05035237 | 0,00001551 |
| Açúcar (1)      | -0,28225000 | 0,11361026 | 0,06789242 |
| Temperatura (2) | -0,05025000 | 0,11361026 | 0,68113404 |
| Ácido (3)       | -0,13535714 | 0,10070473 | 0,25008815 |
| Sal (4)         | -0,32135714 | 0,10070473 | 0,03318190 |
| 1 por 2         | -0,05250000 | 0,11361026 | 0,66802149 |
| 1 por 3         | 0,12225000  | 0,11361026 | 0,34247990 |
| 1 por 4         | 0,36825000  | 0,11361026 | 0,03163367 |
| 2 por 3         | -0,03125000 | 0,11361026 | 0,79689106 |
| 2 por 4         | -0,10475000 | 0,11361026 | 0,40870127 |
| 3 por 4         | 0,24346429  | 0,10070473 | 0,07295178 |



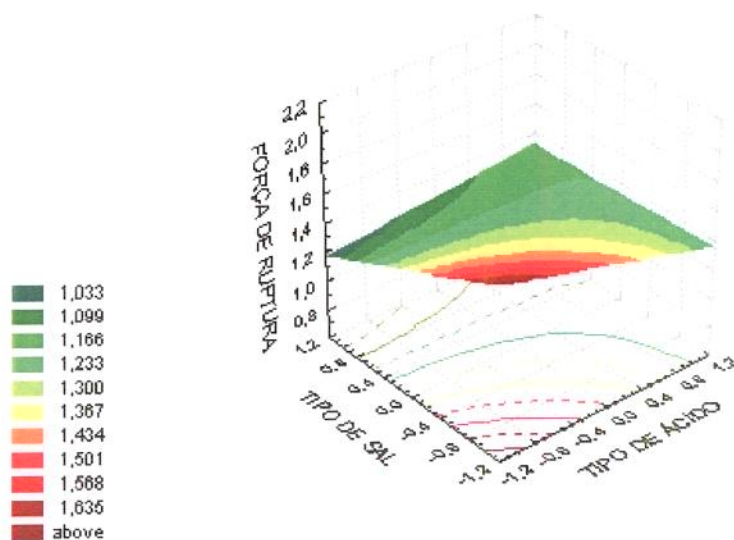
**Figura 4.11 - Gráfico de barras dos valores dos efeitos sobre a textura da amostra, para cada variável e suas combinações.**



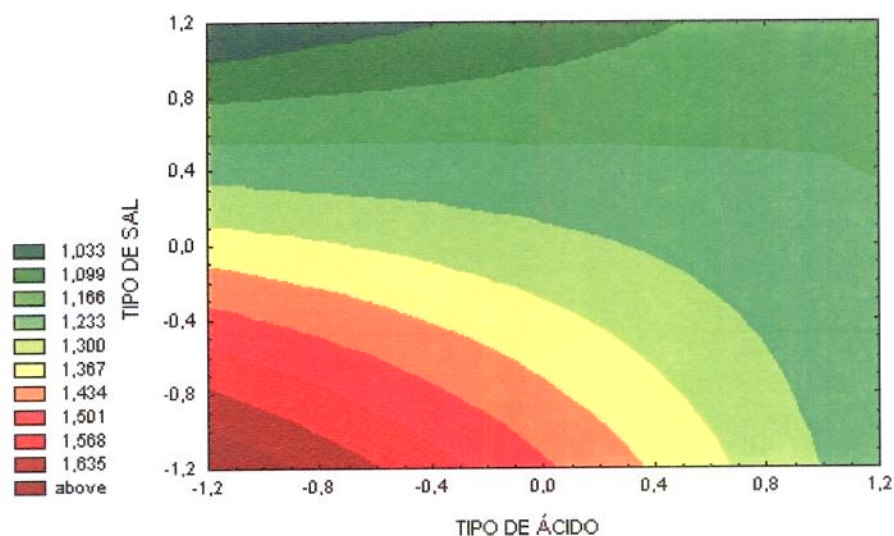
**Figura 4.12** – Superfície de resposta para a força máxima de ruptura da amostra segundo a influência da concentração de açúcares da solução e do tipo de sal.



**Figura 4.13** – Curvas de nível correspondentes à superfície de resposta para a força máxima de ruptura da amostra segundo a influência da concentração de açúcares da solução e do tipo de sal.



**Figura 4.14** – Superfície de resposta para a força máxima de ruptura da amostra segundo a influência do tipo de ácido e do tipo de sal.



**Figura 4.15** – Curvas de nível correspondentes à superfície de resposta para a força máxima de ruptura da amostra segundo a influência do tipo de ácido e do tipo de sal.

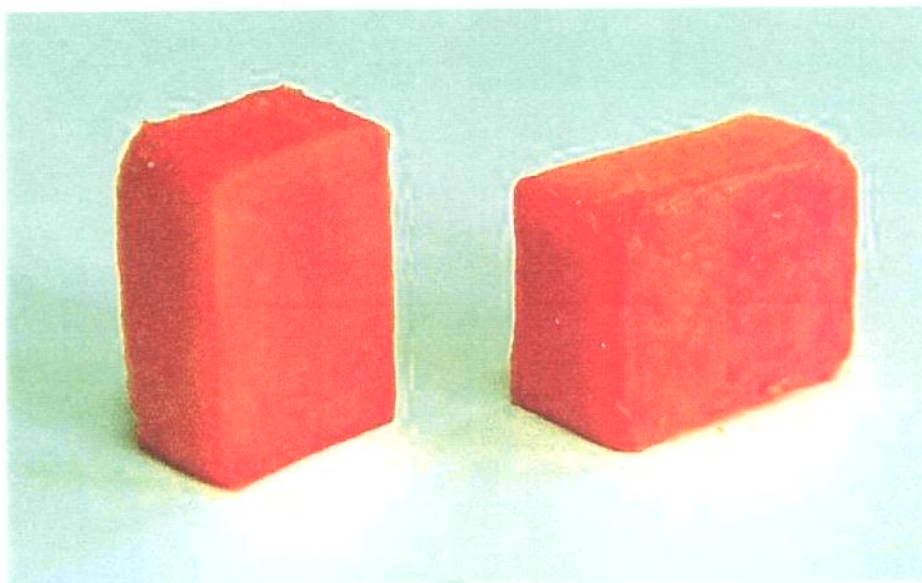
Como conclusão a esta avaliação dos efeitos estimados, feita para todas as variáveis importantes ao processo de obtenção de mamão a alta umidade, com o uso

de aditivos, foram escolhidas 4 melhores condições de desidratação, cada uma procurando otimizar um dos parâmetros: umidade, atividade de água, cor e textura. A Tabela 4.10 mostra as melhores condições selecionadas.

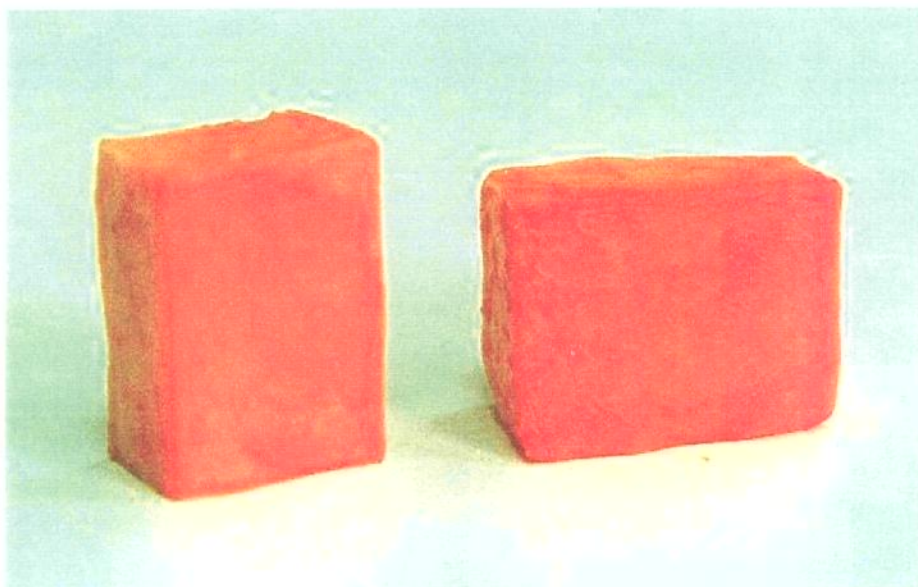
**Tabela 4.10** - Relação das melhores condições de desidratação osmótica escolhidas.

| Parâmetro mais beneficiado | Ensaio | °Brix | °C | Tipo de ácido | Tipo de sal       |
|----------------------------|--------|-------|----|---------------|-------------------|
| Umidade                    | 01     | 70    | 50 | Lático        | Lactato de sódio  |
| Atividade de água          | 02     | 50    | 50 | Lático        | Cloreto de cálcio |
| Textura                    | 03     | 70    | 30 | Lático        | Lactato de sódio  |
| Cor                        | 04     | 70    | 30 | Cítrico       | Lactato de sódio  |

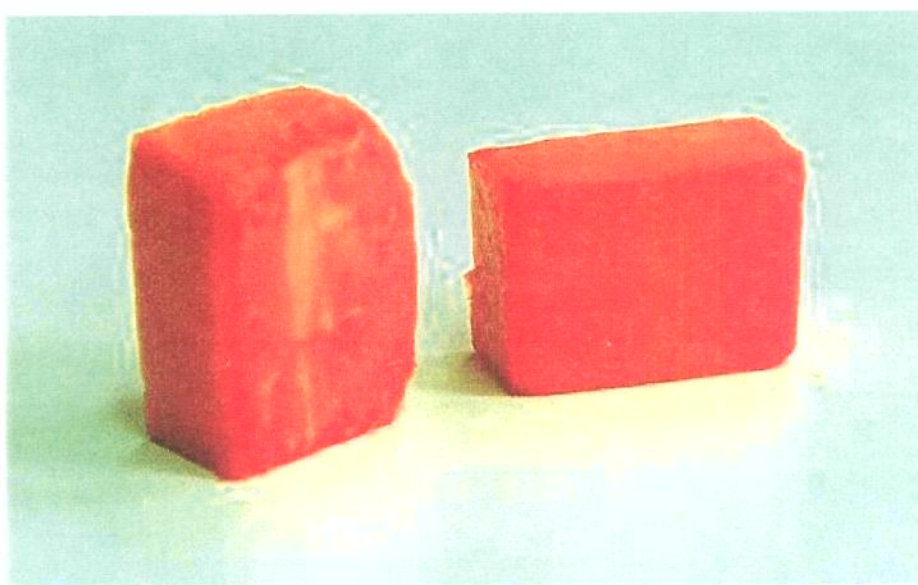
Fotos de amostras desidratadas por duas horas nas condições dos ensaios 1 a 4 da Tabela 4.10, assim como da amostra fresca, podem ser vistas nas Figuras 4.16 a 4.20 a seguir.



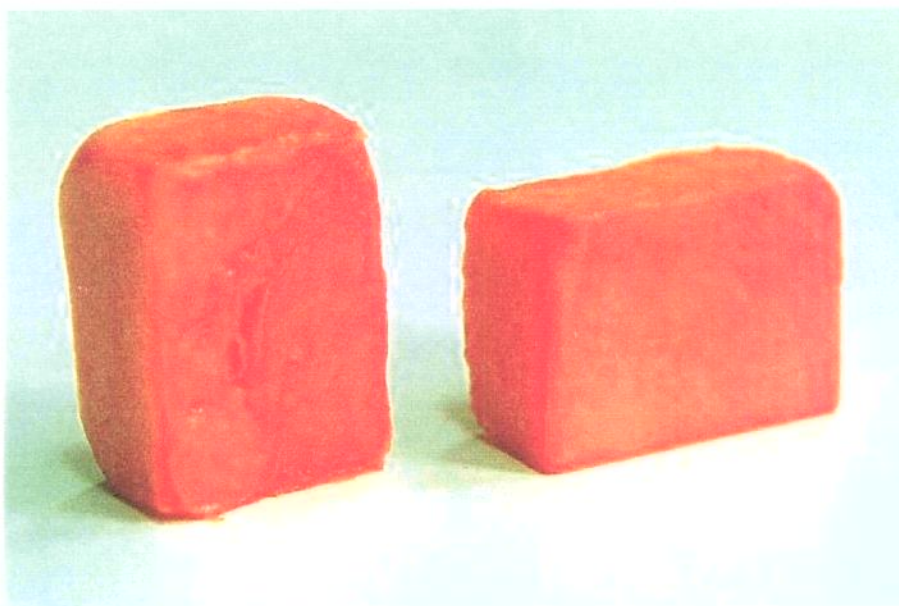
**Figura 4.16** – Foto do mamão desidratado por duas horas na condição do ensaio 01 (70°Brix, 50°C, ácido lático e lactato de sódio) da Tabela 5.10.



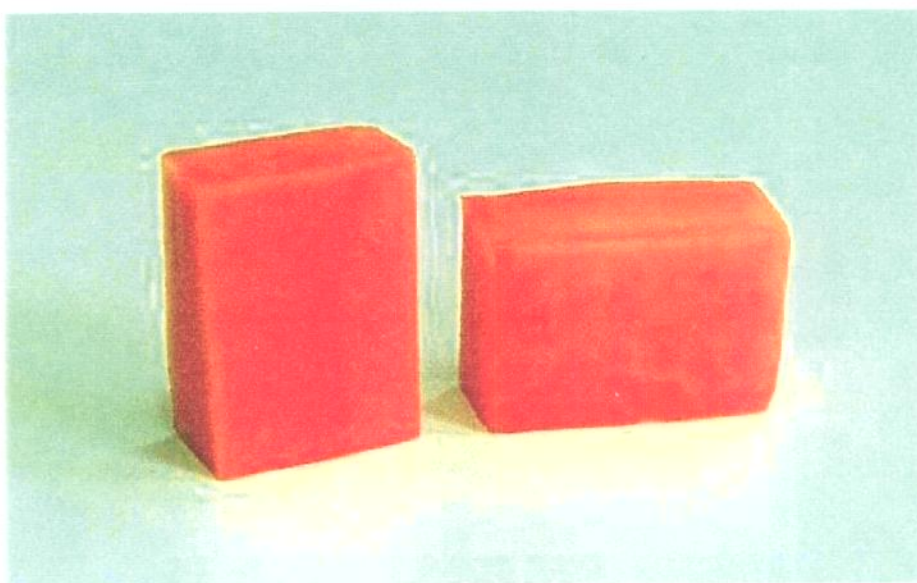
**Figura 4.17** – Foto do mamão desidratado por duas horas na condição do ensaio 02 (50°Brix, 50°C, ácido láctico e cloreto de cálcio) da Tabela 5.10.



**Figura 4.18** – Foto do mamão desidratado por duas horas na condição do ensaio 03 (70°Brix, 30°C, ácido láctico e lactato de sódio) da Tabela 5.10.



**Figura 4.19** – Foto do mamão desidratado por duas horas na condição do ensaio 04 (70°Brix, 30°C, ácido cítrico e lactato de sódio) da Tabela 5.10.



**Figura 4.20** – Foto do mamão fresco preparado para a desidratação.

Em função de se ter chegado a quatro melhores condições de processo, com as quais são obtidas as melhores respostas finais relativas à diminuição de umidade,

depressão da atividade de água, incorporação de açúcares, cor e textura, fez-se então um estudo quantitativo da variação de perda de peso, atividade de água, umidade, incorporação de açúcares, cor e textura, para um tempo maior de processamento, com o objetivo de posteriormente estabelecer a cinética de desidratação osmótica e sugerir recomendações de outros estudos de melhoramento do processo.

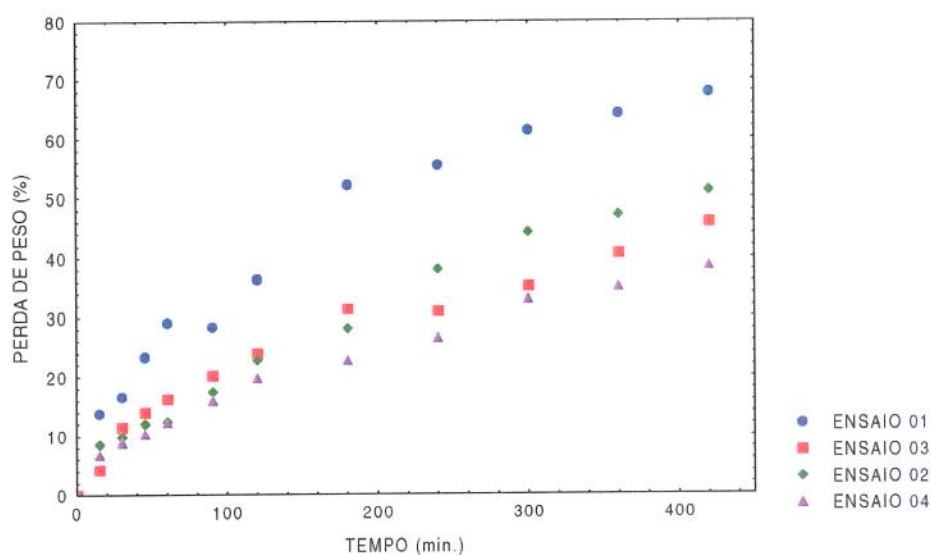
### **4.3. VARIAÇÃO DA PERDA DE PESO, ATIVIDADE DE ÁGUA, UMIDADE, COR, TEXTURA E INCORPORAÇÃO DE AÇÚCARES:**

#### **4.3.1. Variação da Perda de Peso:**

A Figura 4.14 mostra a perda de peso das amostras para 7 horas de desidratação osmótica, nas condições listadas na Tabela 4.10. Nota-se a maior taxa de perda de peso durante as primeiras duas horas de desidratação, assim como relatado na literatura para este tempo de processamento com outra matéria-prima (LAZARIDES *et al.*, 1995). Com o decorrer do processo a perda de peso tende à estabilização tanto pela incorporação do soluto, quanto pela gelatinização da pectina presente no tecido da fruta.

Pode-se observar na Figura 4.14 que a combinação lactato de sódio, ácido láctico, 70°Brix e 50°C (condição 1) proporciona a maior taxa de perda de água, permitindo que se analise o efeito da temperatura por comparação com a condição 3, que só se diferencia pela temperatura mais baixa (30°C). Com isso, nota-se a influência da temperatura na perda de peso, mostrando a intensificação da perda de peso com o aumento da temperatura, que causa uma maior fragilidade da parede celular, uma diminuição na viscosidade da solução desidratante, com alta concentração de açúcares e além disto, o efeito positivo que esta variável tem na difusividade da água.

A concentração das soluções infusoras parece também apresentar um efeito positivo na perda de peso, pelo aumento do efeito osmótico. No entanto, este efeito não é tão evidente devido aos efeitos isolados e combinados do ácido, sal e temperatura. A Figura 4.21 mostra que durante as primeiras três horas de desidratação osmótica, o processo está sendo mais afetado pela concentração da solução desidratante. A partir de 180 min, a temperatura parece governar a perda de água, provavelmente porque o mecanismo de difusão passa a reger mais acentuadamente o processo, superando a influência da concentração. O efeito dos sais pode ser visto nas condições 03 e 04, onde as soluções têm o mesmo Brix e temperatura, porém combinações diversas de sais e ácidos. A combinação ácido láctico – lactato de sódio têm maior efeito na perda de peso que a combinação ácido cítrico – lactato de sódio, porém implica menor abaixamento de pH, pelo tampão formado, contribuindo positivamente no sabor.



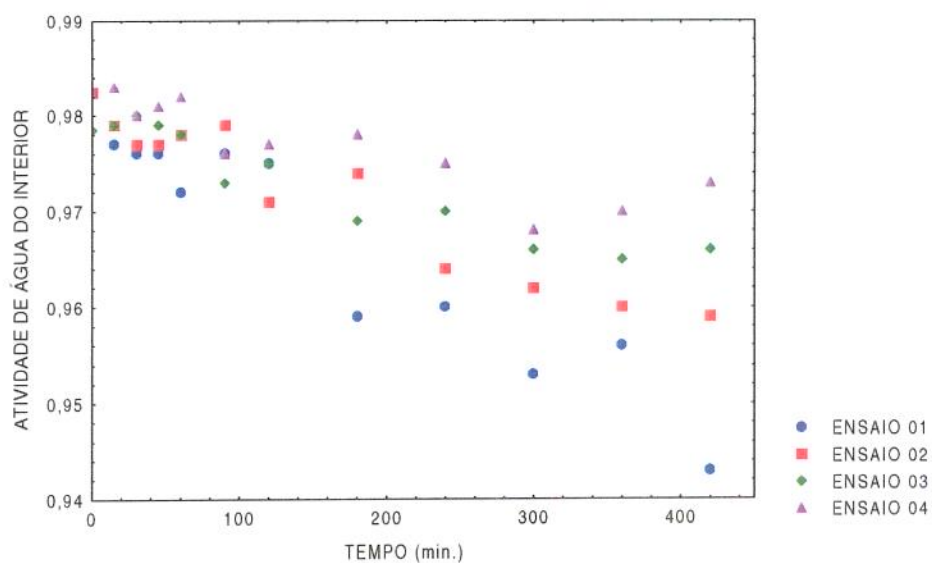
**Figura 4.21** – Variação da perda de peso para 7 horas de desidratação.

#### 4.3.2. Variação da Atividade de Água:

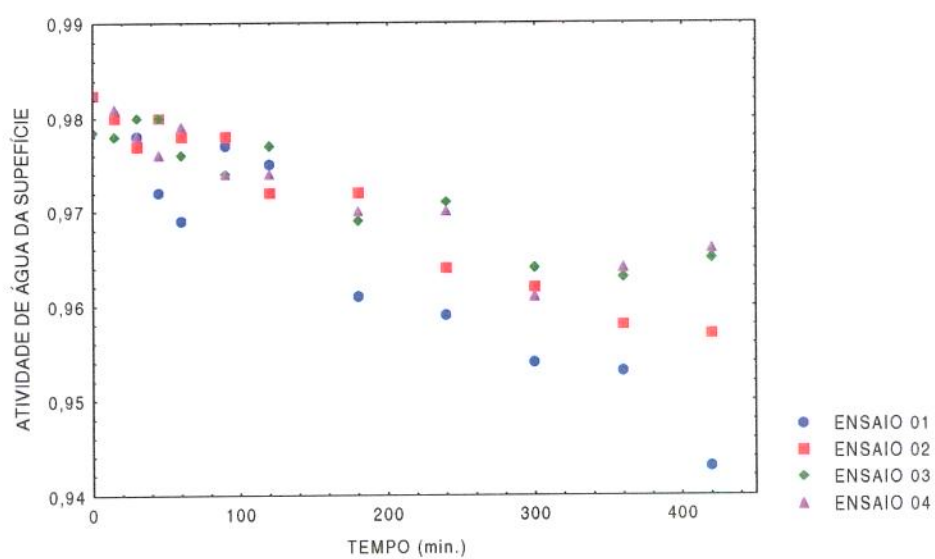
Tanto a variação da atividade de água do interior quanto da superfície da amostra desidratada, apresentam a mesma tendência. A condição de processo mais drástica (condição 01) dentre as escolhidas proporcionou a maior depressão da atividade de água (diminuindo de 0,976 para 0,942 unidades de  $a_w$ ) por vários motivos. Primeiramente, a temperatura elevada e a alta concentração da solução infusora permitem um maior decréscimo da atividade de água, assim como a combinação lactato de sódio e ácido láctico, pelo poder umectante desta combinação.

De forma análoga à perda de peso, ocorre uma variação da atividade de água mais acentuada durante as primeiras duas horas de desidratação osmótica. Apenas para a condição 1 observa-se uma alteração significativa na atividade de água, até o final do tempo de processo, provavelmente pelo efeito sinérgico da combinação alta concentração da solução desidratante e alta temperatura de processo.

Comparando as tendências de decréscimo de atividade de água para a superfície (Figura 4.23) e o interior da fruta (Figura 4.22), nota-se que a superfície apresenta uma tendência constante e sempre decrescente, enquanto no interior há considerável oscilação. Isto pode causar problemas posteriores à comercialização do produto, sugerindo que ensaios de armazenagem e equilíbrio na embalagem sejam futuramente realizados.



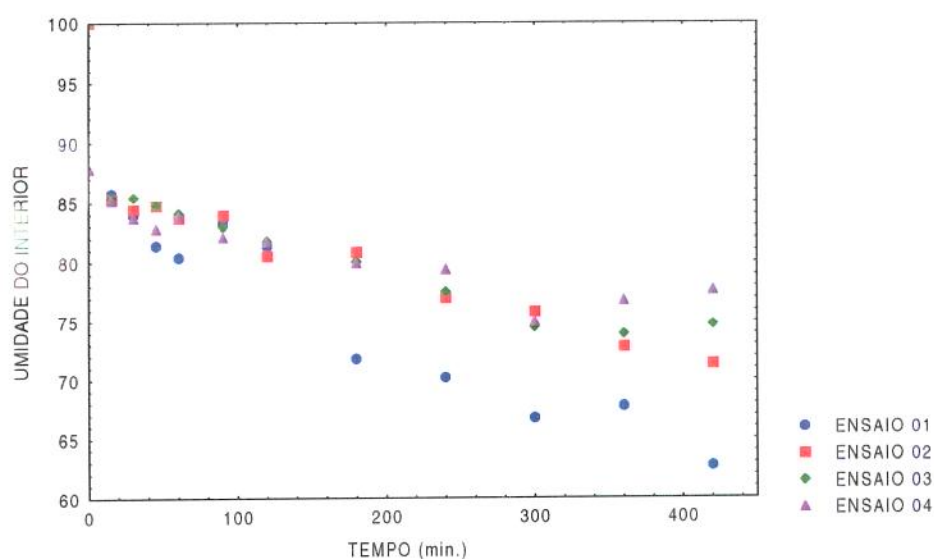
**Figura 4.22** - Variação da atividade de água no interior da amostra para 7 horas de desidratação.



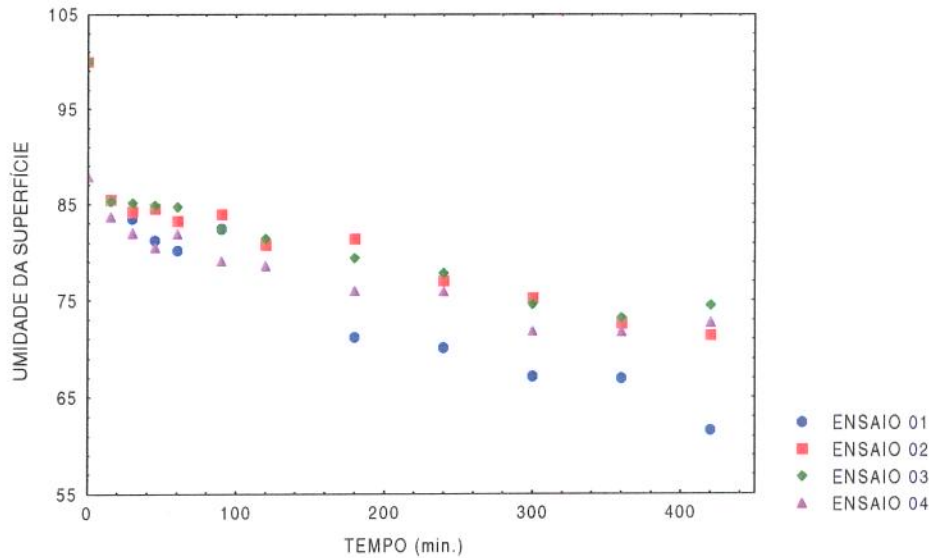
**Figura 4.23** - Variação da atividade de água na superfície da amostra para 7 horas de desidratação.

### 4.3.3. Variação da Umidade e Incorporação de Açúcares:

A influência da temperatura e concentração de sacarose da solução infusora na variação da umidade e incorporação de açúcares das amostras pode ser observada nas Figuras 4.24 a 4.26. A melhor condição para diminuição da umidade é a 1, combinação de 70° Brix , 50°C, ácido lático e lactato de sódio, originando um produto com umidade base úmida ao fim de 7 horas de processo, de 60%. Porém, a incorporação de solutos também é máxima, com um ganho de açúcares de 34%, o que pode gerar um produto final muito doce.



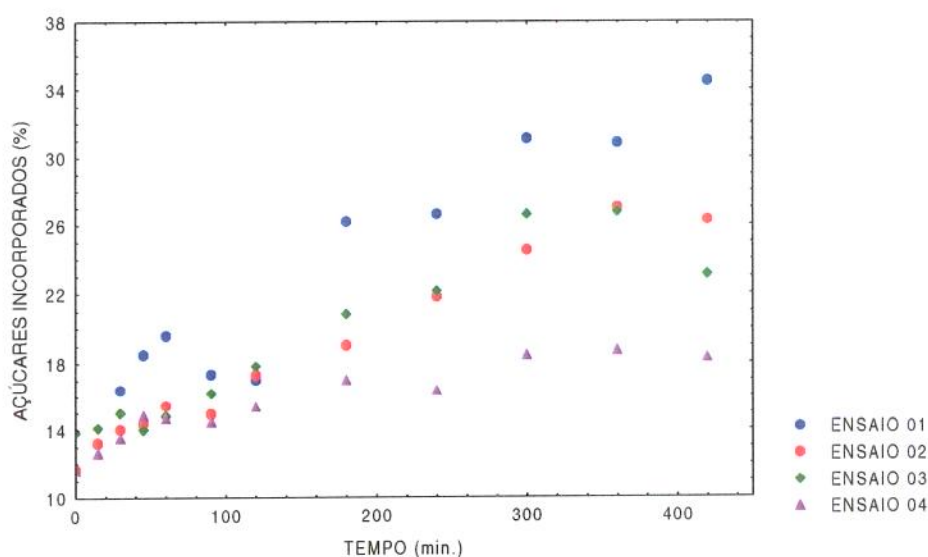
**Figura 4.24** - Variação da umidade base úmida no interior da amostra para 7 horas de desidratação.



**Figura 4.25** - Variação da umidade base úmida na superfície da amostra para 7 horas de desidratação

Deve-se aqui levar em consideração que a adição de ácido na solução infusora, pode ter provocado a inversão da sacarose antes mesmo do início do processo de desidratação. Isto faz com que o ingresso de açúcares não seja de sacarose, mas de frutose e glicose, o que explicaria o comportamento atípico das curvas de incorporação de açúcares na Figura 4.19. Nota-se a concentração da solução infusora influenciando de forma positiva na impregnação dos açúcares, contrário à literatura. Pesquisadores da área (BOLIN *et al.*, 1983; GIANGIACOMO *et al.*, 1987; RAOULT-WACK, 1994) afirmam a tendência de diminuição da entrada de sacarose com o aumento da concentração de sacarose da solução infusora pela formação de uma película superficial mais concentrada ao redor da amostra, impedindo a assimilação, pelo interior do produto, do soluto durante o processo osmótico. Entretanto, o mesmo fato parece não ocorrer com o produto da inversão da sacarose, fazendo com que a temperatura haja com maior intensidade.

As propriedades do tecido da fruta, assim como qualquer pré-tratamento, manuseio e transporte sofridos pela matéria-prima, determinam a seletividade das membranas celulares por comprometimento de sua estrutura. A temperatura de processo pode danificar a estrutura celular da amostra, permitindo maior ingresso de soluto durante a desidratação. No entanto, a utilização de sais e ácidos pode inibir esta perda pela formação de complexos, como os pectatos, reforçando a estrutura celular e minimizando tanto a incorporação de soluto quanto a perda de nutrientes da fruta.



**Figura 4.26** - Variação da incorporação de açúcares para 7 horas de desidratação.

Da análise dos gráficos de perda de peso, variação de atividade de água, variação de umidade e incorporação de sólidos, escolheu-se a condição de processamento mais indicada por causar menor perda de peso com menor incorporação de solutos para valores de umidade e atividade de água aceitáveis, que é 70°Brix, 30°C, ácido cítrico e lactato de sódio, gerando um produto final com  $a_w$  de 0,964, umidade base seca de 70% e ganho de sólidos de 20%, para um tempo de processo de 5 horas. Deve-se destacar que não necessariamente esta condição pré-

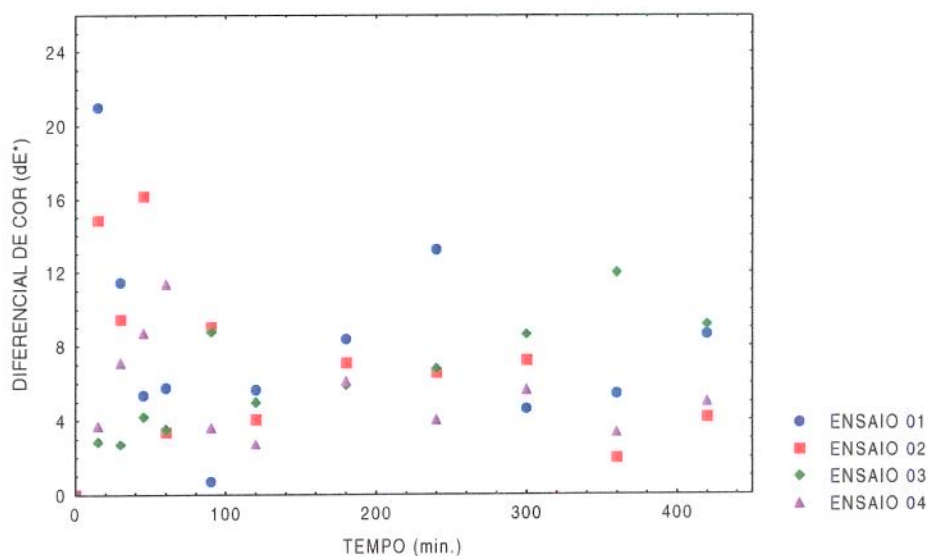
selecionada implicará a melhor cor e textura instrumental, em relação ao produto “*in natura*”.

#### 4.3.4. Variação da Cor:

A Figura 4.27 mostra a variação do diferencial total de cor (dE), indicando a tendência de estabilização da mesma após um período de aproximadamente duas horas de desidratação. Quanto menor o valor de dE, mais próxima a cor do produto processado se encontra à do fresco.

A utilização do cloreto de cálcio proporciona maior perda de cor, ao passo que o lactato de sódio parece intensificar a cor, em comparação à fruta fresca. Os ácidos também funcionam como agente de preservação da cor, à medida que evitam o escurecimento enzimático (BOLIN & HUXSOLL, 1989).

Num estudo com mamões, HENG *et al.* (1990) estudaram a cor de mamões submetidos à desidratação osmótica apenas em soluções de sacarose e afirmaram que a intensificação da cor no início do processo osmótico se dá pela concentração dos carotenóides hidrofóbicos nos espaços intracelulares da amostra. Comportamento semelhante pode ser observado na Figura 4.27, no início do processo. Após um tempo longo de desidratação estes carotenóides migram para a solução, por difusão, diminuindo a intensidade da cor da fruta. Outro fator desfavorável à cor são as temperaturas elevadas de processo, degradando-a. A figura mostra a tendência de estabilização da cor com o decorrer do processo osmótico, na presença de aditivos, provavelmente pela formação de pectatos que impedem a perda de carotenóides por difusão. Desta forma a cor tende a estabilizar com valores bem próximos aos da fruta fresca, no caso do uso de cloreto de cálcio, e pouco acima do da fruta fresca, no caso do lactato de sódio.



**Figura 4.27** - Variação da cor (dE) para 7 horas de desidratação.

#### 4.3.5. Variação da Textura:

Nos alimentos em geral, a textura é um dos fatores mais importantes entre aqueles que afetam a preferência e a aceitação por parte dos consumidores. Para cada alimento existe uma série de fatores básicos de qualidade e uma série de características de textura que são apreciados pela maior parte dos consumidores.

Cientificamente, a textura é um conceito puramente sensorial, cuja percepção pode se distinguir entre características: mecânicas, geométricas, de composição química, acústicas, visuais e térmicas (FISZMAN, 1998). Assim, a textura é, na realidade, um conjunto de propriedades. No entanto, pode-se afirmar que o estímulo na percepção da textura é principalmente mecânico, e consequentemente, quase todos os métodos instrumentais de avaliação de textura são ensaios mecânicos.

Os ensaios mecânicos medem as relações entre pressão e deformação dos materiais e são eles os melhor avaliados por ensaios instrumentais, determinando parâmetros como dureza e coesividade, por exemplo.

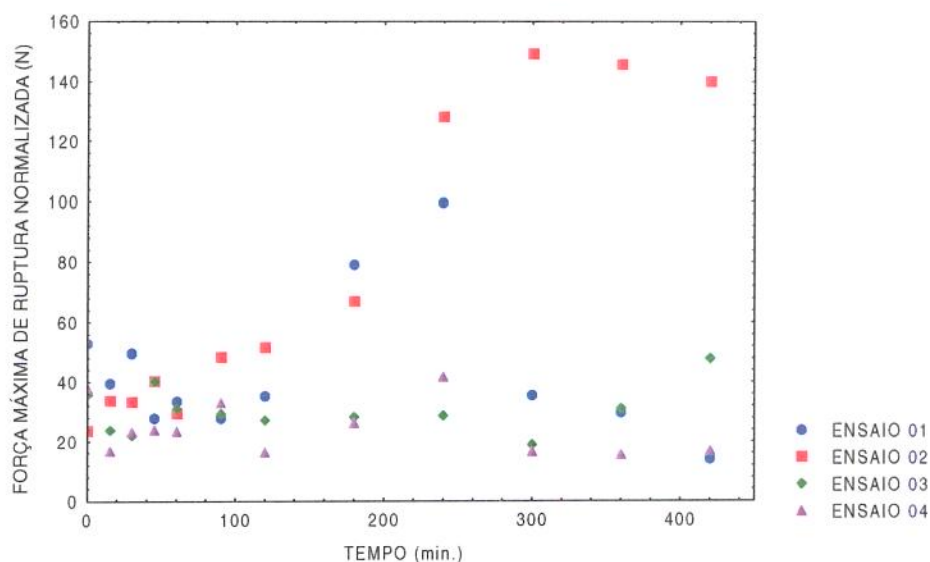
Os texturômetros universais permitem a obtenção de dados de resistência à compressão, ao cisalhamento, extrusão, corte, entre outros, com rapidez e precisão, registrando a resposta do material durante o processo de medição, através de curvas de onde se podem extrair uma série de dados.

Devido à formação de uma espécie de casca ao redor da amostra desidratada por impregnação de sais e açúcares e complexação da pectina, decidiu-se realizar testes de ruptura nas amostras desidratadas osmoticamente, para avaliação da textura. Considerando a formação desta casca como o parâmetro mais influente na alteração da textura da fruta em comparação à fruta "*in natura*", estudou-se a variação da força máxima de ruptura em função do tempo, como visto na Figura 4.28 (valores normalizados em relação à força máxima de ruptura no mamão fresco).

Na Figura 4.28 observa-se claramente o fortalecimento da superfície da amostra após duas horas de desidratação, quando o cloreto de cálcio é utilizado (condição 2). Nas outras condições de processamento a formação da casca é débil e o produto final se aproxima mais da fruta fresca, com poucas oscilações na força máxima de ruptura.

Para a primeira e segunda condições, nota-se há um aumento relativo da força de ruptura indicando que a formação de pectatos de cálcio na região superficial da amostra reforça a estrutura celular e se intensifica após duas horas de desidratação. Isto pode ocorrer por ação da alta temperatura (nos dois casos, 50°C) no tecido celular, degradando-o e permitindo maior penetração dos sais da solução infusora. Já

nas outras duas situações, desenvolvidas a 30°C o dano celular é menor, impedindo a penetração intensa dos sais na amostra e fazendo com que a força de ruptura tenda a valores menores ou iguais aos da fruta fresca, com alteração insignificante da resistência superficial da amostra.



**Figura 4.28** - Variação da força máxima de ruptura para 7 horas de desidratação.

Na condição 1 (maior temperatura e maior concentração), a força máxima na ruptura decresce com o tempo de processo, para as primeiras 2 horas. As condições 3 e 4 (mesma temperatura e concentração de solução desidratante, lactato de sódio e ácidos láctico e cítrico respectivamente), mostram pequena variação na força máxima de ruptura, com valores médios de 24N. Este efeito pode ser atribuído à influência do sal lactato de sódio, na formação de uma película protetora superficial bastante semelhante ao interior da amostra. Os valores de força de ruptura foram os menores, podendo-se considerá-los bastante próximos ao da fruta fresca, com alteração insignificante da resistência superficial da amostra.

Deve-se destacar o comportamento observado na condição 2. Nas primeiras 2 horas de processo, a força de ruptura aumenta ligeiramente, com valores na faixa de 22 a 50N. Entre 120 e 300 minutos de processo, a camada superficial formada pela ação do cloreto de cálcio, faz com que a força de ruptura aumente de 50 para 150N, se estabilizando, nas 7 horas totais em aproximadamente 140N.

Da variação da cor e da medida de força máxima de ruptura, pode-se sugerir que a condição mais indicada de processo, para obtenção de um produto com relação a essas propriedades o mais semelhante possível às da fruta fresca, é a condição 3: solução de sacarose a 70°Brix, temperatura de 30°C, ácido láctico e lactato de sódio. Resulta em um produto final de cor acentuada e textura instrumental mais próxima à da fruta fresca.

## 5. CONCLUSÕES

1. Do desenvolvimento do planejamento experimental (2<sup>4</sup>), que implicou a realização de 22 experimentos em quadruplicata, listados na Tabela 4.1, foram escolhidas as melhores condições para umidade, depressão da atividade de água, textura instrumental e cor, que são respectivamente:
  - Solução de sacarose a 70°Brix, temperatura de processo de 50°C, ácido láctico e lactato de sódio;
  - Solução de sacarose a 50°Brix, temperatura de processo de 50°C, ácido láctico e cloreto de cálcio;
  - Solução de sacarose a 70°Brix, temperatura de processo de 30°C, ácido láctico e lactato de sódio;
  - Solução de sacarose a 70°Brix, temperatura de processo de 30°C, ácido cítrico e lactato de sódio;
2. A análise global dos resultados de perda de peso, diminuição de atividade de água, variação da umidade base seca e incorporação de solutos, para as condições acima, permite sugerir como condição mais eficiente (apenas no tocante à eficiência da desidratação osmótica) a condição de 70 °Brix, 30°C, ácido cítrico e lactato de sódio, gerando um produto com  $a_w$  de 0,964, 70%Ubu e ganho de açúcares redutores de 20%, para 5 horas de processo.
3. A análise de cor (dE) e textura instrumental (força máxima de ruptura), indica como melhor condição de processo a seguinte situação: 70°Brix,

30°C, ácido láctico e lactato de sódio. O valor de dE é pequeno e próximo ao da fruta fresca, o produto final tem cor acentuada e a força máxima de ruptura é mínima, de 24N.

4. A condição de processo sugerida como mais eficiente seria então: 70°Brix, 30°C, ácido láctico e lactato de sódio, porque apesar de um pouco mais perecível, apresenta atributos de qualidade final mais satisfatórios. A  $a_w$  é de 0,964, 75% Ubu e 27% de ganho de açúcares, para 5 horas de processo.

Sugestões para trabalhos futuros:

1. Selecionadas as melhores condições de processo, estudar a cinética de desidratação e determinar os coeficientes de difusão.
2. Variar as concentrações de sais e ácidos, para melhorar a combinação da solução, buscando o mesmo efeito final.
3. Além da avaliação instrumental, combinar uma análise sensorial, que permitirá estabelecer os produtos finais de maior aceitação.
4. Realizar ensaios de armazenamento do produto final, para determinação da vida-de-prateleira. Análise microbiológica do produto, durante a estocagem.
5. Combinar este processo à estocagem em atmosfera modificada.
6. Avaliar outros parâmetros de importância na textura instrumental, como tempo de relaxação, módulo de elasticidade e validação de modelos.

## 6. REFERÊNCIAS

- ADESINA, A. A.; AINA, J. O. Preservation of African Star Apple Fruits (*Chrysophyllum albidum*) by Osmotic Dehydration. **Tropical Science**, n. 30, p. 249-253, 1990.
- AGUILERA, J. M.; CHIRIFE, J. Combined Methods for the Preservation Of Foods in Latin America and the CYTED-D Project. **Journal of Food Engineering**, n. 22, p. 433-444, 1994.
- ALBERTO, C. J. **Gazeta Mercantil**, Agrobusiness, 9 a 15 de março de 1998.
- ALZAMORA, S. Combined Methods Technology for Food Preservation. **Report of the Meeting Between CYTED and UNILEVER Representatives**, nov., 1995.
- ALZAMORA, S.; GERSCHENSON, L.; VIDALES, S.; NIETO, S. Structural Changes in the Minimal Processing of Fruits: Some Effects of Blanching and Sugar Impregnation. **Report of the Meeting Between CYTED and UNILEVER Representatives**, 1997.
- ARGAIZ, A.; LÓPEZ-MALO, A.; PALOU, E.; WELTI, J. Osmotic Dehydration of Papaya with Corn Syrup Solids. **Drying Technology**, v. 12, n. 7, p. 1709 – 1725, 1994.
- AZUARA, E.; CORTÉS, R.; GARCIA, H. S.; BERISTAIN, C. I. Kinetic Model

- for Osmotic Dehydration and its Relationship with Fick's Second Law. **International Journal of Food Science and Technology**, n. 27, p. 409-418, 1992.
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e Otimização de Experimentos**. 2ª edição, Campinas, SP; Editora da Unicamp, 1996.
- BISWAL, R. N.; BOZORGMEHR, K. Equilibrium Data for Osmotic Concentration of Potato in NaCl-Water Solutions. **Journal of Food Process Engineering**, v. 14, n. 4, p. 237-247, 1991.
- BISWAL, R. N.; BOZORGMEHR, K.; TOMPKINS, F.D.; LIU, X. Osmotic Concentration of Green Beans Prior to Freezing. **Journal of Food Science**, v. 56, n. 4, p. 1008 – 1012, 1991.
- BOLIN, H. R.; HUXSOLL, C. C. Partial Drying of Cut Pears to Improve Freeze/Thaw Texture. **Journal of Food Science**, v. 58, n. 2, p. 357 – 360, 1993.
- BOLIN, H. R.; HUXSOLL, C. C. Storage Stability of Minimally Processed Fruit. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 13, p. 281 – 292, 1989.
- BOLIN, H. R.; HUXSOLL, C. C.; JACKSON, R.; NG, K. C. Effect of Osmotic Agents and Concentration on Fruit Quality. **Journal of Food Science**, v. 48, p. 202 – 205, 1983.

CAI, T. D.; CHANG, K. C. Processing to Improve Quality of Dehydrated Precooked Pinto Beans. **Journal of Food Science**, v. 62, n. 1, p. 141 – 144, 1997.

FISZMAN, S. Bases Teóricas de la Determinación de la Textura de Alimentos Sólidos. **Curso de Textura Aplicada a Pães, Biscoitos e Massas Alimentícias**, p.1-11, ITAL, 1998.

GARROTE, R. L.; BERTONE, R. A. Osmotic Concentration at Low Temperature of Frozen Strawberry Halves. Effect of Glicerol, Glucose and Sucrose Solutions on Exudate Loss During Thawing. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 22, 264 – 267, 1989.

GIANGIACOMO, R.; TORREGGIANI, D.; ABBO, E. Osmotic Dehydration of Fruit: Part 1. Sugars Exchange Between Fruit and Extrating Syrups. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 11, p. 183 – 195, 1987.

GUILBERT, S.; GONTARD, N.; RAOULT-WACK, A. L. Superficial Edible Films and Osmotic Dehydration: Application of Hurdle Technology without Affecting the Food Integrity. **Food Preservation by Moisture Control**, p. 305-323, 1995.

GUNES, G.; LEE, C. Y. Color of Minimally Processed Potatoes as Affected by Modified Atmosphere Packaging and Antibrowning Agents. **Journal of Food Science**, v. 62, n. 3, p. 572-575, 1997.

HAWKES, J.; FLINK, J. M. Osmotic Concentration of Fruit Slices Prior to Freeze Dehydration. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.

2, p. 265 – 284, 1978.

HENG, K.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. Osmotic Dehydration of Papaya: Influence on the Product Quality. **Science des Aliments**, v. 10, p. 831 – 848, 1990.

HONÓRIO, S. L. Fisiologia Pós- Colheita de Frutos e Hortaliças. **II Curso de Atualização em Tecnologia de Resfriamento de Frutas e Hortaliças**, p. 1 – 9, 1998.

HUNG, Y. -C.; THOMPSON, D. R. Changes in Texture of Green Peas during Freezing and Frozen Storage. **Journal of Food Science**, v. 54, n. 1. p. 96-101, 1989.

HUXSOLL, C. C. Reducing the Refrigeration Load by Partial Concentration of Foods Prior to Freezing. **Food Technology**, maio, p. 98 – 102, 1982.

I.B.G.E. **Anuário Estatístico do Brasil**, Rio de Janeiro:, 1996.

LABUZA, T. P. The Effect of Water Activity on Reaction Kinetics of Food Deterioration. **Food Technology**, abril, p. 36-41, 1980.

LAZARIDES, H. N.; GEKAS, V.; MAVROUDIS, N. Apparent Mass Diffusivities in Fruit and Vegetable Tissues Undergoing Osmotic Processing. **Journal of Food Engineering**, n. 31, p. 315-324, 1997.

LAZARIDES, H. N.; KATSANIDIS, E.; NICKOLAIDIS, A. Mass Transfer

- Kinetics During Osmotic Preconcentration Aiming At Minimal Solid Uptake. **Journal of Food Engineering**, n. 25, p. 151-166, 1995.
- LAZARIDES, H. N.; MAVROUDIS, N. E. Freeze/Thaw Effects on Mass Transfer Rates during Osmotic Dehydration. **Journal of Food Science**, v. 60, n. 4, p. 826-828, 1995.
- LENART, A. Osmo- Convective Drying of Fruits and Vegetables: Technology and Application. **Drying Technology**, v. 14, n. 2, p. 391 – 413, 1996.
- LENART, A.; FLINK, J. M. Osmotic Concentration of Potato. I. Criteria for the End-point of the Osmosis Process. **Journal of Food Technology**, n. 19, p. 45-63, 1984.
- 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**, v. 50, p. 1217 – 1226, 1985.
- LEVI, A.; GAGEL, S.; JUVEN, B. Intermediate Moisture Tropical Fruit Products for Developing Countries. I. Technological Data on Papaya. **Journal of Food Technology**, v. 18, p. 667 – 685, 1983.
- LIN, Z.; SCHYVENS, E. Influence of Blanching Treatments on the Texture and Colour of Some Processed Vegetables and Fruits. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.19, p. 451 – 465, 1995.

- LOMBARDI, A. M.; GIANNUZZI, L.; ZARITZKY N. Difusion de los Acidos Citrico y Ascorbico en Batatas Pre-peladas y Parametros de Calidad durante el Almacenamiento Refrigerado. **Temas en Tecnologia da Alimentos**. ed. José Miguel Aguilera, v. 1, Instituto Politecnico Nacional Mexico, 337 p., p. 209-218, 1997.
- LÓPEZ-MALO, A.; PALOU, E.; WELTI, J.; CORTE, P.; ARGAIZ, A. Moisture Sorption Characteristics of Blanched and Osmotically Treated Apples and Papayas. **Drying Technology**, v. 15, n. 3&4, p. 1173-1185, 1997.
- MANNHEIM, C. H.; LIU, J. X.; GILBERT, S. G. Control of Water in Foods during Storage. **Journal of Food Engineering**, n. 22, p. 509-532, 1994.
- MAZZA, G.; LEMAGER, M. Dehydration of Onion: Some Theoretical and Practical Considerations. **Journal of Food Technology**, n. 15, p. 181-194, 1980.
- MENEZES, H. C.; DRAETTA, I. S.; SALES, A. M.; LEITÃO, M. F. F.; CAMPOS, S. D. S.; CABRAL, A. C. D.; ORTIZ, S. A.; MADI, L. F. C.; SOLER, R. M.; GAZETA, E. F. **Alguns Aspectos Tecnológicos das Frutas Tropicais e seus Produtos**, p. 46 – 50, 1980.
- MOY, J. H.; KUO, M. J. L. Solar Osmovac- Dehydration of Papaya. **Journal of Food Engineering**, n. 8, p. 23-32, 1985.
- MOY, J. H.; LAU, N. B. H.; DOLLAR, A. M. Effects of Sucrose and Acids on Osmovac- Dehydration of Tropical Fruits. **Journal of Food Processing and**

**Preservation**, v. 2, p. 131 – 135, 1978.

NELSON, K. A.; LABUZA, T. P. Water Activity and Food Polymer Science: Implications of State on Arrhenius and WLF Models in Predicting Shelf Life. **Journal of Food Engineering**, n. 22, p. 271-289, 1994.

OLIVEIRA, R. **Folha de São Paulo**, Agrofolha, p. 5, Terça-feira, 14 de abril de 1998.

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**, v. 33, n. 6, p. 621 – 630, 1993.

PELEG, M. Evaluation by Instrumental Methods of the Textural Properties of Some Tropical Fruits – A Review. **Journal of Food Studies**, v. 10, p. 45 – 65, 1979.

PONTING, J. D.; WATTERS, G. G.; FORREY, R. R.; JACKSON, R.; STANLEY, W. L. Osmotic Dehydration of Fruits. **Food Technology**, outubro, n. 1365, p. 125 – 128, 1966.

RAOULT-WACK, A. L. Recent Advances in the Osmotic Dehydration of Foods. **Trends in Food Science & Technology**, v.5, agosto, p. 255 – 260, 1994.

RAOULT-WACK, A. L.; LENART, A.; GUILBERT, S. Recent Advances in Dewatering Through Immersion in Concentrated Solutions (“Osmotic Dehydration”). **Drying of Solids**, p. 21 – 51, 1992.

- RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. Effect of Temperature and Concentration on Osmotic Dehydration of Coconut. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, v. 27, n. 6, p. 564-567, 1994.
- RIZVI, A. F.; TONG, C. H. Fractional Conversion for Determining Texture Degradation Kinetics of Vegetables. **Journal of Food Science**, v. 62, n. 1, p. 1 – 7, 1997.
- ROBBERS, M.; SINGH, R. P.; CUNHA, L. M. Osmotic-Convective Dehydrofreezing Process for Drying Kiwifruit. **Journal of Food Science**, v. 62, n. 5, p. 1039-1047, 1997.
- SÁNCHEZ, M. T.; HERMIDA, J. R.; CANO, G.; TORRALBO, F. Texture of Blanched and Frozen Asparagus. **Alimentaria**, abril, p. 49 – 52, 1995.
- SINGH, R. P.; WANG, C. Y. Quality of Frozen Foods – A Review. **Journal of Food Process Engineering**, n. 1, p. 97 – 127, 1997.
- TAPIA DE DAZA, M.; ALZAMORA, S.; WELTI-CHANES, J. Minimally Processed High-Moisture Fruit Products by Combined Methods: Results of a Multinational Project. **Report of the Meeting Between CYTED and UNILEVER Representatives**, 1997.
- THEMELIN, A.; RAOULT-WACK, A. L.; LEBERT, A.; DANZART, M. Multicriteria Optimization of Food Processing Combining Soaking Prior to Air Drying. **Drying Technology**, v.15, n. 9, p. 2263-2279, 1997.

TORREGGIANI, D. Osmotic Dehydration in Fruit and Vegetable Processing. **Food Research International**, v. 26, p. 59 – 68, 1993.

VIBERG, U.; FREULER, S.; GEKAS, V.; SJÖHOLM, I. Osmotic Pretreatment of Strawberries and Shrinkage Effects. **Journal of Food Engineering**, n. 35, p. 135-145, 1998.

## APÊNDICE A

A atividade de água pode ser predita por uma série de equações baseadas em princípios teóricos e validadas por dados experimentais, comprovando a precisão de suas predições.

Para o caso de soluções ideais pode-se utilizar uma equação derivada da Lei de Raoult (ROSS, 1975). A  $a_w$  é definida como a razão entre fugacidade da água numa solução e a fugacidade da água pura. Fugacidade pode ser aproximada por pressão de vapor parcial em condições normais de temperatura e pressão atmosférica total:

$$a_w = \frac{p_w}{p_w^0} \quad \text{eq.a1}$$

onde:  $p_w$  é a pressão de vapor da água na solução

$p_w^0$  é a pressão de vapor da água pura

A equação 1 indica que  $a_w$  pode também ser vista como a umidade relativa de um local fechado sobre uma solução ou alimento. A Lei de Raoult para soluções ideais indica que a pressão parcial de qualquer componente da solução é igual ao produto da pressão de vapor do componente puro e sua fração molar,  $X$ , na solução:

$$p_1 = X_1 p_1^0 \quad \text{eq.a2}$$

Combinando as equações 1 e 2:

$$a_w = X_w = \frac{(\text{moles de água})}{(\text{moles de água} + \text{moles de soluto})} \quad \text{eq.a3}$$

Isto equivale à Lei de Raoult aplicada a soluções ideais, isto é, soluções diluídas em que os desvios da idealidade são mínimos.

Se considerarmos o pedaço de mamão um sistema diluído em relação aos ácidos, podemos ver pela equação 3 que um ácido de peso molecular maior acarretaria uma atividade de água menor e vice-versa. No nosso caso, o ácido láctico sendo menor que o cítrico (conforme fórmulas estruturais abaixo), acarretaria maior abaixamento da atividade de água da solução.



Um método mais rigoroso de cálculo de  $a_w$  para soluções simples e complexas é dado pela equação de Gibbs-Duhem (ROSS, 1975):

$$\sum_i n_i d(\ln a_i) = 0 \quad \text{eq.a4}$$

onde :  $a_i$  é a atividade de água do componente i

$n_i$  é o número de moles do componente i

Para uma solução contendo apenas um soluto (s) na molalidade  $m_s$ :

$$55,5d(\ln a_w) = -m_s d(\ln a_s) = -m_s d[\ln(m_s \gamma_s^0)] \quad \text{eq.a5}$$

desde que pela definição de molalidade, 1kg de água (55,5moles) contém  $m_s$  moles de soluto.

Na equação 5 expressa-se a atividade do soluto como um produto da concentração do soluto  $m_s$ , e o coeficiente de atividade do soluto,  $\gamma_s^0$  (o  $^0$  sobrescrito indica que a solução consta de um só soluto). Integrando esta equação diferencial:

$$\ln(a_w^0) = -\frac{1}{55,5} \int_{m_s} m_s d[\ln(m_s \gamma_s^0)] \quad \text{eq.a6}$$

Quando vários solutos estão presentes em uma solução complexa, a forma integrada da equação de Gibbs-Duhem fica:

$$\ln(a_w) = -\frac{1}{55,5} \left\{ \int_{m_1} m_1 d[\ln(m_1 \gamma_1')] + \int_{m_2} m_2 d[\ln(m_2 \gamma_2')] + \dots \right\} \quad \text{eq.a7}$$

Na mistura, os coeficientes de atividade dos solutos não têm o mesmo valor que apresentam em soluções simples e são designados por  $\gamma_1'$ .

A equação 7 pode ser simplificada considerando que interações soluto-soluto não afetam o valor de cada coeficiente de atividade, ou, de forma equivalente, que os efeitos de interação se cancelam na média, tal que  $\gamma_1^0 = \gamma_1'$ , fazendo com que cada termo d segundo membro da equação 7 fique na forma da equação 6. Substituindo, tem-se:

$$\ln(a_w) = \ln(a_w^0)_1 + \ln(a_w^0)_2 + \ln(a_w^0)_s + \dots \quad \text{eq.a8}$$

Ou ainda:

$$a_w = (a_w^0)_1 \cdot (a_w^0)_2 \cdot (a_w^0)_s \cdot \dots \quad \text{eq.a9}$$

A equação 9 é a base para se fazer estimativas da atividade de água, sendo esta simplesmente o produto dos valores de  $a_w$  para soluções simples de cada soluto medido na mesma concentração que a solução complexa.

Desta forma, sabendo que a atividade de água do ácido láctico é menor que a do ácido cítrico na mesma concentração, pode-se afirmar que seu efeito em solução segue a equação 9, abaixando mais a atividade de água da solução final.

Não foram encontradas, na literatura, pesquisas que relatem a atuação do ácido láctico como depressor da atividade de água. VELEZMORO (1999), ao estudar modelagem e predição de atividade de água em solução contendo ácidos orgânicos, trabalhou com soluções aquosas de ácidos tartárico, málico e cítrico. As curvas de atividade de água versus fração mássica destes ácidos orgânicos revelaram que os ácidos de peso molecular mais baixo e cadeias menores, para uma mesma fração mássica, forneceram soluções de menor atividade de água, embora apresentassem um menor número de grupos polares.

A explicação pode vir da aplicação do modelo de predição de CHEN (1987), que faz uso da Lei de Raoult e de uma modificação da equação de SCHWARTZBERG (1976). Esta equação é dada por:

$$a_w = \frac{1 - x_s - bx_s}{1 - x_s - bx_s + Ex_s}$$

Onde:  $x_s$  = (kg sólidos/kg solução)

$E = M_w/M_s$

$M_w$  = peso molecular da água

$M_s$  = peso molecular do soluto

$$M_s = \frac{Kx_{s0}}{(1 - x_{s0} - bx_{s0})\Delta t_0}$$

Onde:  $K = RT_0^2/L_0$

R = constante dos gases (1,98 kcal/kg mol K)

T<sub>0</sub> = temperatura de congelamento da água (273K)

L<sub>0</sub> = calor latente de fusão da água a 273K

x<sub>s0</sub> = (kg inicial sólidos/kg solução)

-ΔT<sub>0</sub> = T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub> (T<sub>1</sub> é a temperatura inicial de congelamento em Kelvin)

$$b = \frac{x_{s1}\Delta t_1 - x_{s2}\Delta t_2}{x_{s1}x_{s2}(\Delta t_1 - \Delta t_2)} - 1$$

O menor peso molecular do soluto (neste caso seria o ácido láctico) implicaria uma atividade de água mais baixa da solução desidratante, justificando os resultados encontrados nos pedaços de mamão tratados com este aditivo, quando comparados ao uso de ácido cítrico.

## APÊNDICE B

### Planejamento Experimental:

Para a execução do planejamento fatorial é necessário que se especifique os níveis em que cada fator será estudado, isto é, os valores dos fatores (ou as versões, nos casos qualitativos). Um planejamento fatorial requer a execução de experimentos para todas as possíveis combinações dos níveis dos fatores. Cada um desses experimentos, em que o sistema é submetido a um conjunto de níveis definido, é um *ensaio experimental*. Em geral, se houver  $n_1$  níveis do fator 1,  $n_2$  do fator 2, ... e  $n_k$  do fator  $k$ , o planejamento será um fatorial  $n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot \dots \cdot n_k$ . Isso significa que serão necessários no mínimo  $n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot \dots \cdot n_k$  experimentos a se realizar para a obtenção de um planejamento fatorial completo (BARROS NETO *et al.*, 1996).

Para estudar o efeito de qualquer fator sobre a resposta é preciso fazê-lo variar e observar o resultado dessa variação, implicando a realização de ensaios em pelo menos dois níveis desse fator. Havendo  $k$  fatores, isto é,  $k$  variáveis independentes, o planejamento irá requerer a realização de  $2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot \dots \cdot 2 = 2^k$  ensaios diferentes. Um exemplo simples de planejamento será utilizado para explicar com clareza cada etapa da análise estatística: trata-se da determinação do rendimento de uma reação em função da temperatura e do catalisador.

Escolheram-se, para o exemplo, os níveis 40 e 60°C para a temperatura, e catalisadores do tipo A e B. A listagem das possíveis combinações para a realização do planejamento  $2^2$  é apresentada na tabela seguinte.

**Tabela 1b** – Resultados de um planejamento fatorial  $2^2$  para estudar o efeito da temperatura e do catalisador no rendimento de uma reação.

| Ensaio | Temperatura (°C) | Catalisador | Rendimento (%) |    | Média |
|--------|------------------|-------------|----------------|----|-------|
| 1      | 40               | A           | 57             | 61 | 59    |
| 2      | 60               | A           | 92             | 88 | 90    |
| 3      | 40               | B           | 55             | 53 | 54    |
| 4      | 60               | B           | 66             | 70 | 68    |

Os ensaios foram feitos em duplicata, produzindo oito respostas no total. Isso permitirá obter uma estimativa do erro experimental associado à determinação de uma resposta individual. A extensão desse erro será importante para que se decida se existem ou não efeitos estatisticamente significativos dos fatores sobre a resposta.

De acordo com a Tabela 1b, quando se usa o catalisador A e se eleva a temperatura de 40 para 60°C (ensaios 1 e 2), o rendimento passa de 59% para 90% em média. Um aumento de 31%. Quando o catalisador é do tipo B (ensaios 3 e 4), a elevação no rendimento é de apenas 14%, mostrando que o efeito da temperatura, isto é, o que ocorre com o rendimento quando a temperatura passa de 40 para 60°C, depende do nível do catalisador. Da mesma forma, a 40°C a mudança de catalisador diminui o rendimento em 5%, enquanto que a 60°C a diminuição passa a ser de 22%. Quando o efeito da variável depende do nível de outra, como nesse caso e como no presente trabalho, diz-se que as duas variáveis *interagem*, e pôde-se calcular o valor do *efeito de interação* entre elas.

O *efeito principal* da temperatura é por definição a média dos efeitos da temperatura nos dois níveis do catalisador. Usando a letra  $T$  para representar esse efeito, e sendo  $\bar{y}_i$  a resposta média observada no  $i$ -ésimo ensaio, pode-se escrever:

$$T = (1/2)\{(\bar{y}_2 - \bar{y}_1) + (\bar{y}_4 - \bar{y}_3)\} = (1/2)\{(90 - 59) + (68 - 54)\} = 22,5 \quad \text{eq.b1}$$

Esse valor mostra que o rendimento da reação sobe 22,5% - em média- quando a temperatura passa de seu nível inferior (40°C) para o seu nível superior (60°C). É preciso, no entanto, ter cuidado com essa interpretação, pois a temperatura e o catalisador interagem. A existência da interação torna incorreta a análise isolada do efeito de um único fator.

Nos planejamentos de dois níveis costuma-se identificar os níveis superior e inferior com os sinais (+) e (-), respectivamente. No caso do exemplo, vê-se que os ensaios 2 e 4 correspondem ao nível (+) da temperatura, enquanto que os ensaios 1 e 3 correspondem ao nível (-). A atribuição desses sinais também pode ser feita para os níveis dos fatores qualitativos. Esta é uma escolha arbitrária, que em nada afetará as conclusões.

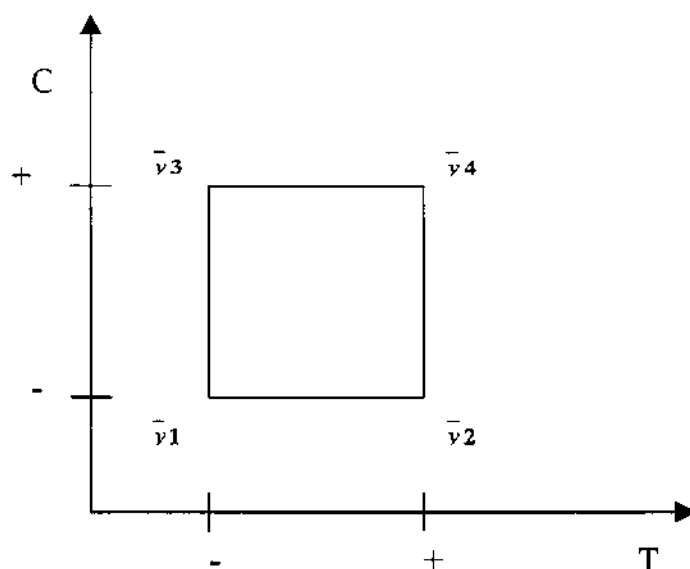
Como  $\bar{y}_2$  e  $\bar{y}_4$  pertencem ao nível (+) e  $\bar{y}_1$  e  $\bar{y}_3$  pertencem ao nível (-) do fator temperatura, vê-se que o efeito principal  $T$  é a diferença entre a resposta média no nível superior e a resposta média no nível inferior desse fator.

Para o catalisador, nessa escolha de sinais, o nível superior corresponde aos ensaios 3 e 4 e o inferior aos ensaios 1 e 2. O efeito principal do catalisador ( $C$ ) será portanto, de acordo com a equação a1 igual a -13,5%. Note que o efeito é negativo. Ao trocarmos o catalisador A pelo catalisador B o rendimento cai 13,5% em média.

Se não houvesse interação, o efeito da temperatura seria o mesmo com os dois tipos de catalisador, o que não ocorre. O efeito da temperatura é +31 quando o catalisador é do tipo A e cai para +14 quando se usa o catalisador tipo B. Como na ausência de interação esses dois valores deveriam ser idênticos (a menos do erro experimental), toma-se a diferença entre eles como uma medida da interação entre os fatores  $T$  e  $C$ . Na verdade, a metade da diferença é que é, por convenção, o *efeito*

de interação entre a temperatura e o catalisador. O valor do efeito de interação  $TC$  é então obtido pela metade da diferença entre o efeito  $T$  e o  $C$ , resultando no valor de  $-8,5$ .

Pode-se dar uma interpretação geométrica a estes efeitos calculados se representarmos o planejamento experimental num sistema cartesiano em que cada eixo corresponda a um fator. Como existem apenas dois fatores nesse exemplo, o espaço definido por eles é um plano, no qual os quatro ensaios ocupam os vértices de um quadrado. Atribuindo sinais algébricos aos ensaios de acordo com a equação a1, vê-se que os efeitos principais podem ser encarados como contrastes, isto é, diferenças médias entre os valores situados em arestas opostas e perpendiculares ao eixo do fator em questão. O efeito de interação corresponde ao contraste entre as duas diagonais do quadrado, como na Figura b1.



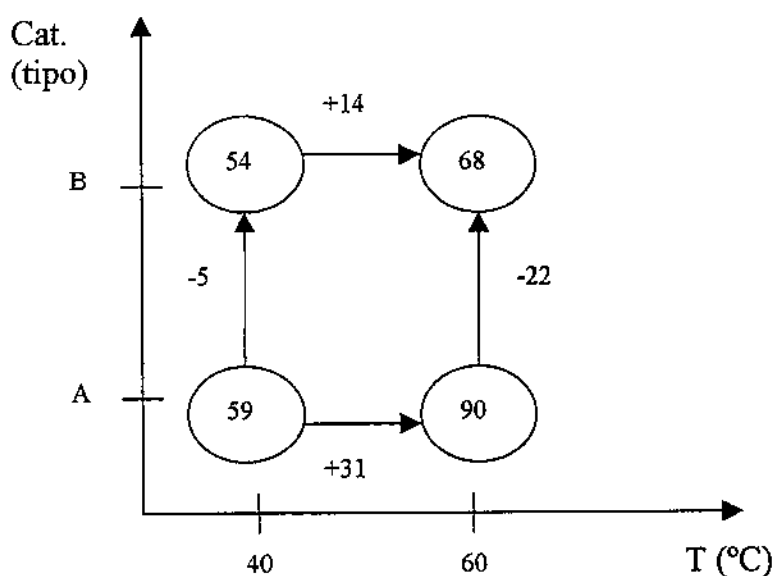
**Figura b1** – Interpretação geométrica dos efeitos num planejamento  $2^2$ . Os efeitos principais são contrastes entre arestas opostas, ao passo que o efeito de interação é o contraste entre as duas diagonais.

Realizando um teste estatístico, verifica-se que todos os efeitos estudados são estatisticamente significativos, tornando lícito procurar entender seu significado prático. Os valores dos efeitos estão listados na Tabela 2b.

**Tabela 2b** – Efeitos calculados para o planejamento experimental fatorial  $2^2$ .

|                     | Estimativa |
|---------------------|------------|
| Média global        | 67,75      |
| Efeitos Principais  |            |
| C                   | 22,50      |
| T                   | -13,50     |
| Efeito de interação |            |
| TC                  | -8,50      |

A existência de um efeito de interação significativo indica que os efeitos principais devem ser interpretados conjuntamente. A melhor forma de fazer isso é traçar um diagrama contendo as respostas médias em todas as combinações de níveis das variáveis, como na Figura b2.



**Figura b2** – Diagrama para interpretação dos resultados do planejamento  $2^2$ .

Examinando este diagrama podemos concluir que:

1. A elevação da temperatura aumenta o rendimento da reação, mas esse efeito é muito mais pronunciado com o catalisador A do que com o B (+31% contra +14%).
2. A troca do catalisador A pelo catalisador B diminui o rendimento da reação, e esse efeito é muito mais pronunciado a 60°C do que a 40°C (-22% contra -5%).
3. Os maiores rendimentos (90% em média) são obtidos empregando-se o catalisador A e mantendo-se a temperatura em 60°C.

Com este exemplo muito simples pode-se calcular os efeitos a partir de suas definições, mas esse procedimento se torna muito trabalhoso e passível de erro (humano) à medida que aumenta o número de fatores estudados. Para a avaliação dos efeitos de planejamentos maiores utilizam-se algoritmos, que permitem o cálculo de qualquer efeito sem dificuldade, independente do tamanho do planejamento, pela utilização de matrizes quadradas chamadas *tabela de coeficientes de contraste*.

No algoritmo usado para calcular os efeitos os verdadeiros níveis dos fatores foram substituídos por +1 ou -1. Isso corresponde a uma *codificação* das variáveis originais. Com a codificação cada efeito passa a corresponder sempre à variação de duas unidades do fator correspondente, já que o nível do fator varia de -1 para +1. Isso quer dizer que os efeitos por unidade de  $x_1$  e  $x_2$  são a metade dos efeitos calculados por meio da equação a1.

A análise dos resultados de um planejamento fica muito mais fácil quando se tem um programa computacional para fazer os cálculos necessários. Existem vários pacotes comerciais de estatística capazes de realizar todos os cálculos que a avaliação do planejamento requer, um deles é o software Statistica, usado na

confeção deste trabalho. Este programa permite a avaliação de efeitos de planejamentos complexos, assim como a modelagem dos dados experimentais permitindo a obtenção de superfícies de resposta para melhor interpretação e até otimização do processo em questão.