



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



## **Severina de Sousa**

Engenheira Agrônoma  
Mestre em Engenharia Agrícola

# **Obtenção de Figos Secos por Desidratação Osmótica e Secagem Convectiva**

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

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Florencia Cecilia Menegalli

Campinas  
2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA FEA – UNICAMP

So85o Sousa, Severina de  
Obtenção de figos secos por desidratação osmótica e secagem  
convectiva / Severina de Sousa. -- Campinas, SP: [s.n.], 2008.

Orientador: Florencia Cecilia Menegalli  
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas.Faculdade  
de Engenharia de Alimentos

1. Figo. 2. Desidratação osmótica. 3. Impregnação. 4.  
Secagem. I. Menegalli, Florencia Cecília. II. Universidade Estadual  
de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

(cars/fea)

Titulo em inglês: Osmotic dehydration and convective drying of figs slices

Palavras-chave em inglês (Keywords): Fig, Osmotic dehydration, Impregnation, Drying

Titulação: Doutor em Engenharia de Alimentos

Banca examinadora: Florencia Cecilia Menegalli

Miriam Dupas Hubinger

Ana Lúcia Gabas

Maria Aparecida Mauro

Leila Mendes Pereira Rodrigues

Graziella Colato Antonio

Data da defesa: 28/02/2008

Programa de Pós Graduação: Programa em Engenharia de Alimentos

## **BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Florencia Cecilia Menegalli**

(Orientadora)

---

**Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Míriam Dupas Hubinger**

(Membro)

---

**Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Ana Lúcia Gabas**

(Membro)

---

**Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maria Aparecida Mauro**

(Membro)

---

**Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Leila Mendes Pereira Rodrigues**

(Membro)

---

**Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Graziella Colato Antonio**

(Membro)

*Dedico este trabalho:*

*Aos meus queridos pais: Geraldo e Francisca, aos meus queridos irmãos Everaldo, Edivaldo (in memoriam), Tony e Alessandro, e minha querida irmãzinha Erica (por ordem de chegada), aos sobrinhos e sobrinhas, Alessandra, Alana, Amanda, Alessandro, Emerson, Alisson, Nicolas, e a mais nova xodó da família: Sabrina.*

*A Antonio, meu amor.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus.

À minha querida família.

A Antonio, por seus cuidados e preocupação.

À profa. Dra. Florencia Cecilia Menegalli, por me aceitar como orientada, pela orientação neste trabalho e pela amizade que fica.

À banca examinadora, pelas valiosas sugestões e correções em um tempo tão curto. Muito obrigada pela prestatividade.

À CAPES, pelo apoio financeiro.

À minha amiga querida, Moniquinha, pelo carinho, e por me emprestar seus pais de vez em quando.

À CPG/FEA, em especial ao Cosme pela prestatividade.

Ao pessoal da biblioteca/FEA, pela prestatividade.

À DAC, em especial à DAC-3 (Com todo meu carinho, pelo apoio e amizade que conquistei durante o tempo de bolsista).

À Joyce, técnica do LEP, e dona Ana, pelo carinho e prestatividade.

A todos os amigos por partilharem comigo as alegrias, angústias, surpresas e decepções, e por agüentarem as minhas reclamações (Angelinha, Mari Luz, Kathy, David, Christ, Eliana, Bernardo, Kely, Sueli, Olga e Zezinho, Delia e Harold, e aos mais recentes Margarita e Hugo).

E a todos que contribuíram para que esse trabalho fosse realizado.

## AVOÁNE

Música de autoria: Aciole Neto

*Quando o riacho vira caminho de pedra, e avante vai embora, procurar verde no chão, a terra seca fica só e no silêncio, que mal comparando penso: tá igual meu coração.*

*Que nem a chuva, você veio na invernada, perfumando a minha casa e alegrando o meu viver. Mas quando o sol bebeu o açude até secar, quem poderia imaginar que levaria até você.*

*Só resisti por que nasci num pé de serra, e quem vem da minha terra, resistência é profissão. Que nordestino é madeira de dar em doído, que a vida enverga e não consegue quebrar não.*

*Sobrevivi e estou aqui contando a história, com aquela mesma viola que te fez apaixonar. Tua saudade deu um mote delicado, que ajuda a juntar o gado, toda vez que eu abciar.*

*Ê, ê, ê boi!, ê, ê saudade!*

*Ê, ê, ê boi!, ê, ê saudade!*

*Ê saudade!*

## RESUMO

O processo de desidratação osmótica figos (*Ficus carica*, L.) em soluções de sacarose foi investigado com base em um planejamento experimental completo e metodologia de superfície de resposta (RSM). As variáveis independentes foram a concentração de sacarose, variando de 35,9 a 64,1% p/p e a temperatura da solução desidratante de 32,9 a 47,0°C, a fim de avaliar a cinética da perda de umidade, da incorporação de açúcares e da atividade de água durante o processo. As condições ótimas de desidratação osmótica que geraram dois tipos de produtos, ou seja, figos com maior conteúdo de açúcares e figos com menor conteúdo de açúcares, ambos com menor atividade de água e menor conteúdo de umidade, foram encontradas respectivamente, na temperatura de 39,7°C e concentração de 63,1% p/p de sacarose, e temperatura de 35,3°C e concentração de sacarose de 64,1% p/p. A cinética de incorporação de ácido ascórbico foi estudada durante o processo de desidratação osmótica a 44°C e 36% p/p de concentração da solução, com adição de ácido ascórbico de 100 e 200mg/100g de solução, obtendo-se coeficientes de difusão para a incorporação da vitamina através do modelo difusional de Fick. A avaliação da degradação de vitamina C durante subsequente secagem mostrou que as perdas de vitamina C podem ser compensadas através de sua incorporação à fruta durante o processo de desidratação osmótica. As isotermas de sorção e a cinética da secagem convectiva foram determinadas às diferentes temperaturas (40, 50, 60 e 70°C). Para o ajuste dos dados de secagem foram utilizados o modelo difusional de Fick, o modelo de Page e o modelo exponencial com dois termos. Durante a secagem observou-se que a difusividade não foi constante durante todo o período, considerando-se três difusividades distintas ao longo da curva de secagem. As amostras *in natura* apresentaram maiores coeficientes de difusão de umidade que as amostras desidratadas osmoticamente com sacarose. O tempo de secagem foi reduzido com o processo de desidratação osmótica em todas as temperaturas, especialmente para obtenção da fruta em umidades intermediárias.

Palavras-chave: Figo, Desidratação osmótica, Impregnação, Secagem.

## ABSTRACT

A full experimental design and response surface methodology (RSM) were used to study osmotic dehydration process of figs (*Ficus carica, L.*) in sucrose solutions. The independent variables were: the sucrose concentration, varying from 35,9 to 64,1% w/w and the solution temperature, varying from 32,9 to 47,0°C, in order to study the kinetic of water loss, sugars incorporation and water activity during the process. The optimized conditions in osmotic dehydration to obtain two kinds of products: figs with higher content of sugars and figs with lower content of sugars, both of them with lower water activity and water content, had been found respectively, at 39,7°C and 63,1% w/w and 35,3°C and 64,1% w/w of temperature and sucrose concentration. The kinetic of ascorbic acid incorporation was studied during osmotic dehydration process at 44°C, using a solution of 36% of sucrose concentration with an addition of 100 or 200mg of ascorbic acid /100g of solution. The diffusion coefficients for the vitamin incorporation were obtained fitting data with the Fick's second law of diffusion. The evaluation of vitamin C degradation during the subsequent drying process showed that the losses of vitamin C can be compensated with the addition of this vitamin in the fruit during osmotic dehydration process. The sorption isotherms and the kinetic of the convective drying were determined at different temperatures (40, 50, 60 and 70°C). The drying data was fitted with Fick's second law of diffusion, the Page model and the Exponential model with two terms. During the drying was observed that the diffusivity was not constant during all period, therefore, were considered three different diffusivities along of the drying curves. The fresh samples had presented higher water diffusion coefficients compared with the samples osmotically dehydrated with sucrose. The drying time was reduced with the use of osmotic dehydration as pretreatment for the several temperatures, especially when the intermediate moisture of fruit was obtained.

Keywords: Fig, Osmotic dehydration, Impregnation, Drying.

## SUMÁRIO

<b>Capítulo 1: Introdução Geral e Objetivos</b>	<b>13</b>
<b>Capítulo 2: Revisão Bibliográfica</b>	<b>17</b>
<b>2.1 - Figo</b>	<b>17</b>
<b>2.2 - Desidratação Osmótica</b>	<b>20</b>
<b>2.2.1 - Cinética de Desidratação Osmótica</b>	<b>22</b>
<b>2.2.2 - Desidratação Osmótica com Adição Simultânea de Vitamina C</b>	<b>24</b>
<b>2.3 - Secagem Combinada</b>	<b>25</b>
<b>2.4 - Secagem</b>	<b>26</b>
<b>2.4.1 - Secagem de Figos</b>	<b>29</b>
<b>2.4.2 - Modelagem Matemática</b>	<b>29</b>
<b>2.4.3 - Encolhimento</b>	<b>32</b>
<b>2.5 - Qualidade do Produto</b>	<b>33</b>
<b>2.5.1 - Qualidade Nutricional</b>	<b>34</b>
<b>2.5.1.1 - Vitamina C</b>	<b>34</b>
<b>2.5.1.2 - Degradação de Vitamina C</b>	<b>35</b>
<b>Capítulo 3: Desidratação Osmótica</b>	<b>37</b>
<b>3.1 - Resumo</b>	<b>38</b>
<b>3.2 - Material e Métodos</b>	<b>39</b>
<b>3.2.1 - Matéria-Prima</b>	<b>39</b>
<b>3.2.2 - Planejamento Experimental</b>	<b>39</b>
<b>3.2.3 - Processo de Inativação Enzimática</b>	<b>41</b>
<b>3.2.4 - Processo de Desidratação Osmótica - Sacarose</b>	<b>41</b>
<b>3.2.5 - Cinética de Desidratação Osmótica</b>	<b>42</b>
<b>3.2.6 - Análises</b>	<b>42</b>

<b>3.2.6.1 - Determinação do Conteúdo de Umidade</b>	<b>42</b>
<b>3.2.6.2 - Determinação da Atividade de Água</b>	<b>43</b>
<b>3.2.6.3 - Determinação do Conteúdo de Açúcares</b>	<b>43</b>
<b>3.3 - Resultados e Discussão</b>	<b>43</b>
<b>3.3.1 - Caracterização de Figos</b>	<b>43</b>
<b>3.3.2 - Inativação de Figos</b>	<b>44</b>
<b>3.3.2.1 - Cinética de Desidratação Osmótica Após Inativação Enzimática</b>	<b>45</b>
<b>3.3.3 - Cinética de Desidratação Osmótica</b>	<b>49</b>
<b>3.3.4 - Condições de Equilíbrio</b>	<b>63</b>
<b>3.3.5 - Planejamento Experimental</b>	<b>76</b>
<b>3.3.5.1 - Resultados do Planejamento Experimental Completo para Tempos Curtos</b>	<b>76</b>
<b>3.3.5.1.1 - Açúcares Totais</b>	<b>77</b>
<b>3.3.5.1.2 - Atividade de Água</b>	<b>81</b>
<b>3.3.5.1.3 - Conteúdo de Umidade</b>	<b>84</b>
<b>3.3.5.1.4 - Otimização do Processo de Desidratação Osmótica para Tempos Curtos</b>	<b>87</b>
<b>3.3.5.2 - Resultados do Planejamento Experimental para Longos Tempos de Desidratação Osmótica</b>	<b>93</b>
<b>3.3.5.2.1 - Açúcares Totais</b>	<b>94</b>
<b>3.3.5.2.2 - Atividade de Água</b>	<b>97</b>
<b>3.3.5.2.3 - Conteúdo de Umidade</b>	<b>100</b>
<b>3.4 - Conclusões</b>	<b>102</b>
<b>Capítulo 4: Desidratação Osmótica com Impregnação Simultânea de Vitamina C</b>	<b>105</b>
<b>4.1 - Resumo</b>	<b>106</b>
<b>4.2 - Material e Métodos</b>	<b>107</b>
<b>4.2.1 - Matéria Prima</b>	<b>107</b>
<b>4.2.2 - Cinética de Desidratação Osmótica com Adição de Ácido Ascórbico</b>	<b>107</b>
<b>4.2.3 - Difusividade</b>	<b>107</b>

<b>4.2.4 - Cinética de Degradação de Ácido Ascórbico Durante Secagem de Figos Após DO</b>	<b>108</b>
<b>4.3 - Resultados e Discussão</b>	<b>108</b>
<b>4.3.1 - Cinética de Desidratação Osmótica com Impregnação de Ácido Ascórbico</b>	<b>108</b>
<b>4.3.2 - Difusividade</b>	<b>116</b>
<b>4.3.3 - Cinética de Secagem de Figos – Degradação de Ácido Ascórbico</b>	<b>119</b>
<b>4.4 - Conclusões</b>	<b>122</b>
<b>Capítulo 5: Isotermas</b>	<b>123</b>
<b>5.1 - Resumo</b>	<b>124</b>
<b>5.2 - Material e Métodos</b>	<b>125</b>
<b>5.2.1 - Matéria Prima</b>	<b>125</b>
<b>5.3 - Resultados e Discussão</b>	<b>126</b>
<b>5.3.1 - Isotermas de Dessorção</b>	<b>126</b>
<b>5.3.2 - Modelos Matemáticos</b>	<b>128</b>
<b>5.4 - Conclusões</b>	<b>134</b>
<b>Capítulo 6: Secagem e Propriedades Físicas de Figos</b>	<b>135</b>
<b>6.1 - Resumo</b>	<b>136</b>
<b>6.2 - Material e Métodos</b>	<b>137</b>
<b>6.2.1 - Matéria Prima</b>	<b>137</b>
<b>6.2.2 - Preparação e Análise da Amostra</b>	<b>137</b>
<b>6.2.3 - Secagem</b>	<b>137</b>
<b>6.2.4 - Umidade de Equilíbrio</b>	<b>138</b>
<b>6.2.5 - Tratamento Matemático</b>	<b>138</b>
<b>6.2.6 - Encolhimento</b>	<b>139</b>
<b>6.3 - Resultados e Discussão</b>	<b>139</b>
<b>6.3.1 - Caracterização da Matéria Prima</b>	<b>139</b>

<b>6.3.2 - Cinética de Secagem</b>	<b>139</b>
<b>6.3.3 - Modelagem Matemática de Secagem</b>	<b>141</b>
<b>6.3.4 - Encolhimento Durante a Secagem</b>	<b>159</b>
<b>6.3.5 - Comparação de Processos</b>	<b>161</b>
<b>6.4 - Conclusões</b>	<b>163</b>
<b>Capítulo 7: Conclusão Geral e Sugestões para Trabalhos Futuros</b>	<b>165</b>
<b>7.1 - Conclusão Geral</b>	<b>166</b>
<b>7.2 - Sugestões para Trabalhos Futuros</b>	<b>167</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>169</b>

# **Capítulo 1: Introdução Geral e Objetivos**

## 1.1 - Introdução

A produção de frutas de clima tropical é geralmente alta, e em países em desenvolvimento, como no Brasil, essa abundância natural, leva frequentemente a um excedente. No entanto esses produtos são perecíveis e as técnicas de conservação e processamento existentes ainda são deficientes, complexas ou inacessíveis, principalmente para pequenos e médios produtores, o que contribui para que grande parte da produção seja desperdiçada durante os processos de colheita, transporte e armazenamento.

No Brasil, estima-se que as perdas de pós-colheita chegam até 40%, o que leva a uma necessidade do desenvolvimento de métodos alternativos para que essas perdas sejam minimizadas.

Vários estudos têm sido conduzidos para aumentar a vida de prateleira de produtos perecíveis como as frutas, e uma das formas utilizadas de conservação de frutas de apreciável sabor e aroma, é obtida através do processo de secagem em ar quente, que garante obtenção de produtos mais estáveis à contaminação microbiológica, por meio da remoção de determinada quantidade de água do produto.

O processo de desidratação osmótica como pré-tratamento à secagem em ar quente, tem se mostrado uma importante ferramenta para o desenvolvimento de novos produtos, permitindo a redução embora suave, do conteúdo de umidade e da atividade de água. A incorporação de princípios ativos, como sais, antioxidantes, antimicrobianos, depressores de pH, bem como o enriquecimento com vitaminas entre outros, pode ser também associada à desidratação osmótica em combinação a tratamentos térmicos brandos, favorecendo a preservação da qualidade nutricional, compensando e minimizando as perdas ocorridas durante o processamento.

O Brasil é um grande importador de frutas desidratadas, sendo o figo desidratado que é consumido aqui no Brasil, também importado dos EUA, Turquia e alguns países do Oriente médio.

No entanto, o Brasil é o maior produtor de figo das Américas e hoje em dia o município de Valinhos, no Estado de São Paulo, constitui o segundo produtor de figo a nível nacional, entretanto, a maior parte da produção é comercializada “*in natura*”, fazendo com que haja desperdício do excedente. Portanto, o desenvolvimento de novos produtos, objetivando manter ou aumentar suas propriedades nutricionais, poderia abrir espaços na comercialização e no mercado consumidor interno e externo de figo.

A apresentação da tese foi dividida em introdução e objetivos (capítulo 1), revisão bibliográfica geral sobre os principais tópicos estudados (capítulo 2), quatro capítulos de resultados, subdivididos em material e métodos, resultados e conclusões, e um capítulo final com as conclusões gerais e sugestões para trabalhos futuros:

Capítulo 3: Estudo da desidratação osmótica de figos: Avaliou-se o comportamento do conteúdo de açúcares, umidade e atividade de água, em função da concentração, temperatura da solução desidratante e tempo de desidratação, com uso de sacarose, utilizando a Metodologia de Superfície de Resposta (RSM). Determinou-se o conteúdo de açúcares, água e atividade de água no equilíbrio, e finalmente as condições ótimas de desidratação osmótica utilizando metodologias de otimização.

Capítulo 4: Estudo de impregnação específica de solutos com a finalidade de melhorar o perfil nutricional. Estudou-se a incorporação de vitamina C (ácido ascórbico), bem como a cinética de degradação durante a secagem.

Capítulo 5: Isotermas de desorção: foram determinadas as isotermas de sorção em função da temperatura para os figos “*in natura*” e figos desidratados osmoticamente.

Capítulo 6: Este capítulo apresenta o estudo da cinética de secagem de figo e a influência do pré-tratamento osmótico, a modelagem da cinética de secagem para as diversas condições estudadas e a avaliação das propriedades físicas e químicas do produto, incluindo o encolhimento.

Capítulo 7: Conclusões gerais e sugestões para futuros trabalhos.

## **1.2 – Objetivos**

### **1.2.1 – Objetivo Geral**

O objetivo do presente trabalho foi o estudo da desidratação osmótica com sacarose como pré-tratamento da secagem para a obtenção de figos desidratados, e o estudo da adição de ácido ascórbico durante o processo osmótico a fim de melhorar as características nutricionais do produto final.

### **1.2.2 – Objetivos Específicos**

- Estudar a inativação enzimática para avaliar a presença de invertase no figo;
- Estudar a cinética da desidratação osmótica de figo e avaliar a influência da concentração e da temperatura da solução desidratante utilizando a Metodologia de Superfície de Resposta (RSM);
- Estudar a cinética de secagem de figo e a influência do pré-tratamento osmótico;
- Avaliar as propriedades físicas, químicas e termodinâmicas do produto (encolhimento e sorção);
- Estudar a impregnação específica de solutos (ácido ascórbico) com a finalidade de melhorar o perfil nutricional do produto final;
- Estudar a cinética de degradação de vitamina C durante a secagem.

## **Capítulo 2: Revisão Bibliográfica**

## Revisão Bibliográfica

### 2.1 – Figo

A figueira (*Ficus carica* L.) é originária da região arábica mediterrânea, Mesopotâmia, Armênia e Pérsia. Conhecida e cultuada desde as mais remotas eras, é uma frutífera, considerada sagrada pelos povos antigos, que vem atravessando os séculos tanto como alimento de diferentes povos, quanto nos livros sagrados, em que o figo é símbolo das dádivas da natureza ao homem.

A figueira se desenvolve satisfatoriamente nas regiões subtropicais temperadas, mas é de comportamento cosmopolita, com grande capacidade de adaptação climática. Assim, há registros de seu cultivo no Brasil desde as regiões temperadas do Rio Grande do Sul, até mesmo nas regiões semi-áridas nordestinas. É caracterizada pela presença de células lactíferas, principalmente nos ramos e pecíolo foliar, que exsudam uma substância denominada de ficina, enzima proteolítica que é responsável por queimaduras quando em contato com a pele.

Pertencente a família das Moráceas, a figueira possui folhas características de lobos profundos e coloração variada conforme o cultivar. Produz infrutescência tipo sicônios (Figura 2.1), equivocadamente chamada de fruto, a qual é muito apreciada por todos os povos sendo comercializada e consumida na forma “*in natura*”, ou processada sob as formas de doces, compotas, em calda ou cristalizada.



Figura 2.1 – Figo (*Ficus carica*, L.), fresco utilizado.

Embora existam outros cultivares, o roxo de Valinhos ou clonal similar é o único cultivar comercial no Brasil, também conhecido pelos produtores como gigante, pelo maior tamanho das frutas.

O Brasil é considerado o 13º maior produtor mundial e o maior produtor das Américas. No Estado de São Paulo, a região do Circuito das Frutas detém a maior produção, com destaque para os municípios de Valinhos, Vinhedo, Louveira e Campinas (TODAFRUTA, 2007).

O figo está entre as vinte principais frutas exportadas pelo Brasil e vem mantendo a terceira posição no ranking de volume comercializado, entre as frutas de clima temperado (TODAFRUTA, 2007).

O figo é cultivado em cerca de quarenta países. Embora haja países com grandes produções, estas se destinam principalmente ao mercado interno, ficando o Brasil, com o figo tipo comum Roxo de Valinhos e a Turquia, com o tipo polinizado tipo Smirna, como importantes fornecedores de figo ao mercado internacional (TODAFRUTA, 2007).

A colheita brasileira do figo ocorre num período de entressafra da produção da fruta fresca no Hemisfério Norte e nos países do Mercosul. Assim, são amplas as possibilidades de exportação, pois o produto brasileiro entra no mercado internacional a partir de dezembro, logo após a safra dos países mediterrâneos (TODAFRUTA, 2007).

É uma fruta altamente perecível com vida útil muito curta. Sua valorização comercial se dá em função das características de tamanho, de cor e aparência. Quanto ao tamanho recebe classificação conforme quantidade de frutas que se dispõe em uma gaveta (caixa), denominada tipo: tipo 10, tipo 8 e tipo 6, sendo o tipo 6 o mais valorizado, conseguindo melhor preço no mercado. A cor roxa é característica da espécie, portanto quanto mais intensa mais aceita, e a aparência está relacionada à integridade do ostíolo e isenção de defeitos (TODAFRUTA, 2007).

Segundo Doymaz (2005), o figo tem uma grande importância na nutrição por ser uma importante fonte de carboidratos, conterem aminoácidos essenciais, vitamina A, B1, B2 e C e minerais.

Possui propriedades que podem atuar nos pulmões, pâncreas, é depurativo dos intestinos, e também indicado para combater quadros gripais. O figo seco constitui um ótimo alimento para pessoas que gastam muita energia em exercícios físicos.

O figo maduro possui importantes funções na medicina popular. De acordo com Franco (1996) o figo possui em sua composição 40mcg de tiamina, 70mcg de riboflavina, 0,4mg de niacina, 7,3mg de ácido ascórbico, 15,55g de glicídios, 1,35g de proteínas, 36mg de cálcio, 60mg de fósforo, 0,30mg de ferro, 31,5mg de sódio, 199,7mg de potássio, 21mg de magnésio, 12mg de enxofre e 0,18mg de cobre e um valor calórico de 67,6 calorias, por 100gramas do produto fresco. Segundo TACO (2006) o figo possui em sua composição 88% de umidade, 41Kcal, 1g de proteína, 10g de carboidratos, 1,8g de fibra, 0,4g de cinzas, 27mg de cálcio, 11mg de magnésio, 0,1mg de manganês, 15mg de fósforo, 0,2mg de ferro, 174mg de potássio, 0,13mg de cobre, 0,1mg de zinco, 0,05mg de tiamina, por 100 gramas de produto fresco, sendo que para riboflavina, piridoxina e niacina os autores encontraram valores menores que o limite de quantificação que seria de 0,030mg/100g fresco.

Solomon *et al.* (2006), estudaram diferentes variedades de figos de diferentes cores (negra, vermelha, amarela e verde), verificaram que a variedade mais escura contém maior nível de polifenóis, flavonóides, antocianinas e possui a mais alta capacidade antioxidante, especialmente na casca da fruta.

## **2.2 – Desidratação Osmótica**

Com o passar dos anos, a população tem se tornado mais exigente no que diz respeito a uma dieta saudável, e isso implica na demanda de produtos com características similares às dos alimentos frescos.

Para atender a essas necessidades, diversas pesquisas têm sido conduzidas para o desenvolvimento de novas tecnologias de processamento, visando à conservação, praticidade e qualidade dos alimentos.

O processo de secagem ou desidratação constitui a prática mais antiga de conservação dos alimentos, por meio da remoção parcial ou total da água presente nos alimentos, prevenindo contra deterioração química e microbiológica. Contudo, pode causar alterações indesejáveis nas características de cor, textura e nutricionais dos alimentos.

A desidratação osmótica é um processo brando de conservação, que vem sendo estudado durante décadas e que pode ser aplicado como etapa preliminar ou adicional a

outros processamentos, por ser capaz de remover parte da água presente nos alimentos sem severas agressões de sua natureza estrutural, nutricional e funcional.

A água é um dos principais componentes dos alimentos e apresenta influência direta e decisiva sobre a qualidade e durabilidade dos produtos alimentícios, por participar de muitos processos físico-químicos e biológicos (LABUZA, 1980; LENART, 1996; BOBBIO; BOBBIO, 2001).

O processo de desidratação osmótica consiste na imersão de produtos de origem vegetal ou animal em soluções hipertônicas de um ou mais agente osmóticos, por um determinado período de tempo e temperatura.

Sendo a solução mais concentrada que o produto, ocorre dois principais fluxos em contra-corrente através das paredes celulares, um fluxo de moléculas de água difundindo do interior do produto até a solução (este fluxo é o mais importante, pois é o responsável pelo aspecto de desidratação) e, em menor grau, um fluxo em direção oposta, de moléculas do soluto, difundindo da solução para o produto. Além desses dois fluxos principais, ocorre também um terceiro fluxo, que está ligado à perda de substâncias naturais do produto, de baixo peso molecular (sacarídeos, ácidos orgânicos, vitaminas, sais minerais, etc.). Embora esta corrente não tenha influência significativa no processo de transferência de massa, pode ter influência essencial sobre o valor nutritivo e propriedades sensoriais do alimento (TORREGIANI, 1993; RAOULT-WACK, 1994; RASTOGI *et al.*, 2002).

No entanto, trabalhos têm sido realizados no sentido de evitar ou diminuir essas perdas. Robbers, Singh e Cunha (1997) trabalhando com kiwi, verificaram que a adição de ácido ascórbico e ácido cítrico como antioxidantes na solução osmótica, preveniu o escurecimento e significativas perdas de ácido ascórbico durante a desidratação osmótica.

A desidratação osmótica apresenta vantagens sobre outros métodos. Segundo Sousa *et al.* (2003), este processo apresenta como vantagens a inibição do escurecimento enzimático, retenção da cor natural sem a utilização de sulfitos, maior retenção de componentes voláteis durante a secagem subsequente, e menor custo de energia quando comparado ao processo tradicional de secagem. Buchweitz (2005), verificou que a desidratação osmótica pode atuar como agente protetor à oxidação da vitamina C durante a secagem com ar forçado.

Na literatura existe uma ampla disponibilidade de trabalhos envolvendo estudos de desidratação osmótica para diferentes frutas. No entanto, o estudo sobre o processo de desidratação osmótica de figos ainda está limitado.

Portanto se faz necessário estudo sobre desidratação osmótica de figos, a fim de avaliar a influência do processo sobre as características físico-químicas da fruta.

### **2.2.1 – Cinética de Desidratação Osmótica**

O processo de difusão de massa entre o produto e o meio desidratante é estritamente influenciado pela natureza e propriedades físicas e químicas do produto como: espécie, variedade, forma, tamanho, e maturação e das variáveis do processo que são: composição, concentração da solução desidratante, temperatura, e tempo de duração do processo (RAHMAN; LAMB, 1990; TORREGIANI, 1993; RASTOGI *et al.*, 1997; CORZO; GÓMEZ, 2004; PEREIRA *et al.*, 2006; MARTINEZ *et al.*, 2007; DERMESONLOUGLOU; GIANNAKOUROU; TAOKIS, 2007).

Muitos autores já discutiram a influência do tipo de soluto na desidratação osmótica. No processo de pré-secagem osmótica de frutas podem ser usados diversos produtos osmóticos ou agentes diminuidores da atividade de água como sacarose, lactose, maltodextrinas, etanol, glicose, polióis, glicerina, e xaropes de milho. O tipo de açúcar utilizado afeta fortemente a cinética da transferência de massa, ou seja, solutos de alto peso molecular causam diminuição do ganho de sólidos e aumento da perda de água, o que favorece a perda de peso (EL-AOUAR, 2005; ARAÚJO, 2005; PEREIRA, 2006; DERMESONLOUGLOU; GIANNAKOUROU; TAOKIS, 2007; MARTINEZ, *et al.*, 2007; KHIN; ZHOU; PERERA, 2007). Entretanto, recomenda-se o emprego dos açúcares que alterem positivamente o sabor do produto final, sendo mais utilizado a sacarose devido a sua eficácia, sabor compatível e baixo custo, além de reduzir o escurecimento enzimático e aumentar a estabilidade de pigmentos durante o processo de estocagem. Desta forma são inúmeros os autores que utilizam a sacarose na desidratação osmótica de frutas (BISWAL; BOZORGMEHR, 1992; BORGES; MENEGALLI, 1994; SOUSA, 1999; NIETO *et al.*

2004; RASTOGI; RAGHAVARAO, 2004; MOTA, 2005; MONNERAT, *et al.*, 2005; CAO *et al.*, 2006; LI; RAMASWAMY, 2006; ITO, 2007; FLOURY, *et al.*, 2008).

A concentração da solução desidratante é um fator de grande importância no estudo de desidratação osmótica, uma vez que apresenta grande influência no processo de difusão do soluto na fruta. Também, as mudanças ocorridas no valor nutritivo e propriedades sensoriais do produto, são indicadores básicos para a escolha do soluto desidratante, bem como seu custo.

De acordo com diversos autores (RAOULT-WACK; LENART; GUILBERT, 1992; PARK *et al.*, 2002; RODRIGUES; CUNHA; HUBINGER, 2003; SABLANI e RAHMAN, 2003; PEREIRA, 2006; LI; RAMASWAMY, 2006; CAO *et al.*, 2006; OCHOA-MARTINEZ; RAMASWAMY; AYALA-PONTE, 2007a; ITO, 2007; LOMBARD *et al.*, 2008), o aumento da concentração da solução proporciona uma maior perda de água e conseqüente perda de peso do produto, pois diminui a atividade de água da solução osmótica, o que eleva a diferença de potencial entre o produto e a solução, causando a saída de água do produto.

Contudo, soluções desidratantes concentradas apresentam maior viscosidade, o que dificulta a entrada de solutos no sólido, e uma camada de soluto na superfície pode ser formada, dificultando ainda mais a migração de açúcares em seu interior. Um menor ganho de sólidos em função de uma camada de açúcares na superfície do produto foi observado por El-Aouar (2005), Ferrari (2005) e Li e Ramaswamy (2006).

Por outro lado a utilização de soluções osmóticas concentradas pode reduzir as perdas de solutos hidrossolúveis, como ácido ascórbico, formando uma camada periférica concentrada em soluto protegendo contra o arraste dos mesmos (RAOULT-WACK; LENART; GUILBERT, 1992; RAOULT-WACK, 1994).

A temperatura é também uma importante variável que influencia a cinética de desidratação osmótica, afetando-a diretamente. Em estudos realizados por diversos autores (VIDEV *et al.*, 1990; HENG; GUILBERT; CUQ, 1990; BISWAL *et al.*, 1991; PEREIRA *et al.*, 2006; OCHOA-MARTINEZ; RAMASWAMY; AYALA-PONTE, 2007a; ITO, 2007), foi verificado o efeito da temperatura. Temperaturas muito altas diminuem a viscosidade da solução, aumentam o coeficiente de transferência externa à partícula e o coeficiente de difusão na fase sólida, agindo positivamente na velocidade de transferência

das espécies. No entanto podem ocorrer alterações das características de cor e sabor do produto desidratado osmoticamente, bem como alteração de sua estrutura celular (LEWICKI; PORZECKA-PAWLAK, 2005; PEREIRA *et al.*, 2006; KHIN; ZHOU; PERERA, 2007; DENG; ZHAO, 2008), o que conduz a excessiva impregnação de solutos.

Segundo Lenart e Lewicki (1990) a escolha da temperatura do processo dependerá da natureza do produto, os quais recomendam para damascos uma temperatura de 20°C, para pêra ou cereja 40°C, e 60°C para banana ou mamão. Rodrigues, Cunha e Hubinger (2003) verificaram que um aumento das variáveis concentração (50 a 70° Brix) e temperatura (30 a 50°C) do processo favoreceu o aumento da transferência de massa, mediante observação dos coeficientes de difusão de água e soluto.

Outro fator que afeta diretamente o processo de desidratação osmótica é o tempo de tratamento, onde as velocidades de perda de água e ganho de sólidos alcançam valores maiores no início, caindo depois da primeira hora do processo. Ainda pode verificar-se reversão do processo a tempos longos quando o tratamento resulta em danos à estrutura. Estes fatos foram observados em estudos realizados por Rahman e Lamb (1990) com abacaxi; Lazarides, Gekas e Mavroudis (1997) em estudos com maçã; Castro *et al.* (1997) com pinha; Lewicki e Pozecka-Pawlak (2005) e Li e Ramaswamy (2006) com maçã; Grabowski *et al.* (2007) com mirtilo e uva-do-monte; Dermesonlouoglou, Giannakourou e Taokis (2007) com tomate.

### **2.2.2 – Desidratação Osmótica com Adição Simultânea de Vitamina C**

A aplicação da desidratação osmótica como tratamento preliminar a outros processos tem sido muito utilizada por diversos pesquisadores, os quais estão listados a seguir.

Durante a desidratação osmótica podem ocorrer perdas de componentes da fruta para a solução desidratante, como ácido ascórbico. Alguns autores têm verificado perdas dessa substância durante o processo de desidratação osmótica (ANGELINI, 2002; BUCHWEITZ, 2005; DERMENSOLOUOGLOU; GIANNAKOUROU; TAOKIS, 2007). Vial, Guilbert e Cuq (1991) afirmaram que as perdas de ácido ascórbico podem ocorrer basicamente através de dois fenômenos: através do processo de difusão da vitamina para a solução, quando se

utiliza temperaturas baixas, ou por degradação química, que ocorre preferencialmente quando se utiliza temperaturas mais altas no processo de desidratação osmótica.

De acordo com Abugoch e Guarda (1991), a degradação de ácido ascórbico é variável e depende do sistema utilizado. Como essa vitamina é altamente solúvel em água, é possível que em um processo de desidratação osmótica à temperatura intermediária, a principal via de perda seja por migração para a solução.

Uma alternativa para compensar as perdas da vitamina nas frutas durante a desidratação osmótica seria a adição da mesma na solução desidratante, durante o processo.

Segundo Fito *et al.* (2001), o enriquecimento de frutas e hortaliças com minerais, vitaminas ou outros componentes fisiologicamente ativos pode ser uma boa ferramenta para o desenvolvimento de alimentos funcionais. A desidratação osmótica permite introduzir um ou mais solutos na estrutura porosa das frutas e hortaliças, podendo ser depressores de pH ou atividade de água, antimicrobianos, componentes fisiologicamente ativos como cálcio e ferro, entre outros, que possam favorecer a preservação sensorial e nutricional dos produtos, além de formular produtos funcionais, estáveis e mais próximos aos produtos frescos.

Torreggiani e Bertolo (2001), reconhecem a existência de um grande potencial para a comercialização de produtos de frutas de alta qualidade, e a desidratação osmótica constitui uma importante ferramenta para o desenvolvimento de novos produtos, para agregar valor aos produtos de frutas existentes no mercado e preparar frutas com propriedades funcionais.

Portanto, a impregnação de vitamina C na desidratação osmótica poderia favorecer a obtenção de frutas desidratadas com elevado valor nutricional, bem como compensar as perdas da vitamina ocorridas durante a secagem subsequente.

### **2.3 – Secagem Combinada**

A desidratação osmótica elimina da fruta certa quantidade de água e incorpora soluto, entretanto, o decréscimo de  $a_w$  (atividade de água) não é suficiente para assegurar a preservação do material. Nesses casos é necessário o uso de outros métodos combinados:

ação de preservantes, decréscimo de pH, congelamento ou eliminação de excesso de água, por meio de secagem convencional.

Segundo Erle e Schubert (2001), o processo de desidratação osmótica é um método muito suave de remoção de água dos tecidos vegetais. Apesar da redução do conteúdo de umidade do alimento favorecida pelo processo, a atividade de água alcançada é ainda muito alta. Com isso, torna-se necessário a aplicação de processos adicionais que garantam a estabilidade microbiológica do alimento.

Diversos estudos têm sido conduzidos com o processo de desidratação osmótica como pré-tratamento à secagem convectiva, visando prevenir ou amenizar danos causados pelo processamento em diferentes produtos agrícolas.

Os alimentos pré-tratados com desidratação osmótica e posteriormente secos por convecção geralmente são processados num tempo de secagem bem menor que os desidratados sem o pré-processamento, além de apresentarem características de cor, sabor e textura superiores ao alimento não submetido ao pré-tratamento. Estes fatos foram observados por diversos pesquisadores como Welti *et al.* (1995) em estudos com manga; Argadoña (1999), com goiaba e Sousa (1999), em estudos com desidratação osmótica de umbu; Krokida, Karathanos e Maroulis (2000); Mota (2005) com pêsego; Buchweitz (2005) com kiwi; Grabowski *et al.* (2007) com mirtilo e uva-do-monte.

## **2.4 – Secagem**

O processo de secagem de produtos alimentares tem sido objeto de especial interesse na indústria de alimentos, por apresentar várias vantagens, dentre as quais: abaixamento da atividade de água, que garante a conservação do produto aumentando a vida de prateleira, a estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por longos períodos de tempo, proteção contra degradação enzimática e oxidativa, redução do peso, economia de energia por não necessitar de refrigeração e disponibilidade do produto durante qualquer época do ano.

O processo de secagem pode ser definido segundo Keey (1972), como sendo a eliminação da água de algum material por meio da evaporação, com o uso de energia

térmica em temperaturas abaixo da ebulição. O autor define vários métodos de secagem sendo dentre os mais tradicionais o método de secagem natural realizada pelo sol e/ ou vento, e a secagem convectiva, em que o fluxo de ar aquecido é fornecido artificialmente.

Sob o aspecto físico, a secagem de alimentos é um processo simultâneo de transferência de calor e massa entre o produto e o ambiente de secagem, afetado por várias condições internas e externas tal como propriedades dos alimentos e condições do ar. O processo de secagem tem sido estudado por diversos pesquisadores em diferentes produtos agrícolas e diferentes condições de secagem: umbu por Sousa (1999), tomate por Baroni (2004) e Akambi, Adeyemi e Ojo (2006), mamão por Rodrigues (2005) e El-Aouar (2005), caju por Azoubel (2002), maçã por Bialobrzewski (2006), Sacilik e Elicin (2006) e Schultz *et al.* (2007), ameixa por Gabas (2002) e Goyal *et al.* (2007), morangos por El-Beltagy, Gamea e Amer Essa (2007), banana por Nimmol *et al.* (2007), Ngyen e Price (2007), e Baini e Langrish (2007), cereja por Ochoa *et al.* (2007) e Doymaz (2007), manga por Ruíz-López e García-Alvarado (2007), uva por Doymaz (2006), e Margaris e Ghiaus (2007), Pêra por Park *et al.* (2001a) e Nguyen *et al.* (2006), Goiaba por Argandoña (2005), figos por Pacco (2003), Babalis e Belessiotis (2004), por Doymaz (2005) e Xanthopoulos, Oikonomou e Lambrinos (2007).

Os tecidos vegetais são substâncias altamente higroscópicas, e o seu comportamento durante o processo de secagem depende da natureza da água presente em sua estrutura. Segundo Park *et al.* (2001a), durante a secagem de um sólido, se a água não estiver ligada física e/ ou quimicamente às estruturas dos sólidos é caracterizada como água livre, e a energia envolvida no processo será correspondente ao calor latente de vaporização. Se a água estiver ligada, a energia necessária para sua evaporação será maior.

À medida que se prossegue com o processo de secagem, torna-se mais difícil a remoção de umidade sendo necessário uma maior quantidade de energia. Keey (1972) define cinco tipos de umidade durante a secagem de materiais biológicos: umidade não-ligada retida na superfície e nos poros maiores; umidade retida em pequenas pontes de umidade na estrutura do sólido; umidade retida nos capilares mais finos; umidade adsorvida em multicamadas e umidade adsorvida em monocamadas.

Durante a secagem convectiva, é necessário o fornecimento de calor o qual é aplicado ao material a ser seco. Ao ser submetido à secagem, devido à diferença de temperatura,

ocorre uma transferência de calor do ambiente (geralmente o ar) para o produto úmido. Simultaneamente, a diferença de vapor de água entre o ambiente quente e a superfície do alimento ocasionará uma transferência de massa do produto, que se fará na forma de vapor para o ar.

O conhecimento dos mecanismos de transporte de umidade de produtos biológicos é importante no estudo da secagem. Diversos autores (BRUIN; LUYBEN, 1980; FORTES e OKOS, 1980; NEVES, 1982; BROOKER *et al.*, 1992) evidenciaram que o transporte de umidade em produtos biológicos pode acontecer através de diversos mecanismos. Os mecanismos desse transporte mais importantes são: difusão líquida, difusão de vapor e fluxo de líquido e de vapor.

Embora cada produto apresente características específicas, que associadas ao ar de secagem e ao meio de transferência de calor adotado, determinam diferentes condições de secagem, a transferência de calor e de massa entre o ar de secagem e o produto é fenômeno comum a qualquer condição de secagem. Portanto o processo de secagem baseado na transferência de calor e de massa, pode ser dividido em três períodos distintos: O primeiro deles conhecido como período de aquecimento; o segundo, período de secagem a taxa constante e o terceiro, período de secagem a taxa decrescente, que geralmente é o único período observado em secagem de produtos agrícolas (DAUDIN, 1983; PARK *et al.*, 2001a).

A modelagem matemática do processo de secagem depende diretamente dos fenômenos de transporte envolvidos, que diferem a cada estágio.

Para explicar os mecanismos do transporte de água através de um sólido durante a secagem, foram propostas várias teorias (NEVES, 1982) as quais são: Difusão líquida; Teoria Capilar; Teoria da vaporização-condensação; Teoria de Luikov; Teoria de Philip e De Vries; Teoria de Berguer e Pei e Teoria de Fortes e Okos. A Teoria Difusional e a Teoria Capilar são básicas e fundamentam às demais teorias.

Nos materiais biológicos observa-se que a teoria da difusão líquida é a mais aceita para estudar o mecanismo de transporte de massa e, portanto, a mais utilizada nos trabalhos científicos que tratam sobre tema.

### **2.4.1 – Secagem de Figos**

O figo é uma fruta altamente perecível, o que ocasiona grandes perdas durante a colheita. Portanto a minimização dessas perdas é de grande interesse, e o processo de secagem é uma alternativa muito utilizada na indústria de alimentos para preservação de frutas, aumentando sua vida de prateleira.

Segundo Piga *et al.* (2004), o figo é a fruta mais importante das espécies do mediterrâneo, porém é altamente perecível. A secagem solar é o método convencional usado para obtenção de figos secos, o qual requer baixo custo e equipamentos simples. Este método produz figos com boas propriedades sensoriais. Contudo a secagem mecânica tem ganhado importância por apresentar algumas vantagens, entre elas: melhores condições sanitárias, reduzindo contaminação pela exposição da fruta, e parâmetros de secagem controlados, proporcionando produtos mais uniformes e com menor degradação de qualidade. Segundo Babalis *et al.* (2006), atualmente existe um aumento do volume de produção de figos secos artificialmente, por sistema de secagem por convecção forçada com ar aquecido.

O Brasil se constitui um grande produtor de figos, no entanto o figo seco consumido é importado principalmente da Turquia e Estados Unidos (SADHU, 1990).

Embora ainda que limitadas, novas pesquisas sobre secagem de figos têm sido conduzidas recentemente a fim de estudar a influência das condições e diferentes modelos de secagem sobre a qualidade do produto, sobre as constantes de secagem e o coeficiente de difusão de umidade (PIGA *et al.*, 2004; BABALIS; BELESSIOTIS, 2004; BABALIS *et al.*, 2006; DOYMAZ, 2005; XANTHOPOULOS; OIKONOMOU; LAMBRINOS, 2007; PACCO, 2003; PACCO *et al.*, 2007).

### **2.4.2 – Modelagem Matemática**

A modelagem matemática de processos de secagem de alimentos, é de grande importância para a seleção e otimização dos mesmos.

Devido à complexidade dos mecanismos de transferência de massa em alimentos, a modelagem das curvas de secagem, durante a taxa de período decrescente é realizada assumindo que o principal mecanismo é de natureza difusional.

A Teoria difusional se apóia exclusivamente sobre a lei de Fick, que expressa que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água. Utilizando a lei de Fick, na equação de balanço de massa de água no interior do produto tem-se:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla \cdot (D_{ef} \cdot \nabla X) \quad (2.1)$$

Esta forma de Fick é simplificada, pois despreza a contra-difusão, (PARK *et al.*, 2001a) e considera que a matriz de sólidos é fixa o que implica que a concentração de sólidos secos seja constante ao longo da secagem.

Crank (1975) apresentou diversas soluções analíticas para a equação de difusão, considerando diferentes condições iniciais e de contorno. Tratou também de casos onde a difusividade pode variar de forma linear ou exponencial com a concentração de umidade. Entretanto, estas soluções se aplicam aos sólidos de formas geométricas simples e regulares. Considerando um sistema de coordenadas cartesianas com direção unidirecional em uma placa plana, a equação (2.1) pode ser descrita:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{ef} \frac{\partial X}{\partial x} \right) \quad (2.2)$$

Considerando uma distribuição de umidade inicial uniforme e ausência de qualquer resistência térmica, a solução analítica da equação (2.2) para uma placa plana infinita é dada na forma de séries infinitas (CRANK, 1975):

$$Y = \frac{\bar{X}_t - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp \left[ - (2i+1)^2 \cdot \pi^2 \cdot D_{ef} \cdot \frac{t}{4L^2} \right] \quad (2.3)$$

Em que:

Def - Difusividade efetiva (m<sup>2</sup>/s);

$\bar{X}_t$  - conteúdo médio de umidade em função do tempo de processo (kg<sub>água</sub>/kg<sub>sólidoseco</sub>);

X<sub>0</sub> - conteúdo inicial de umidade (kg<sub>água</sub>/kg<sub>sólidoseco</sub>);

X<sub>eq</sub> - conteúdo de umidade no equilíbrio (kg<sub>água</sub>/kg<sub>sólidoseco</sub>);

Y – conteúdo adimensional de umidade (adimensional);  
 i – número de termos da série;  
 t – tempo (s);  
 L – comprimento característico, semi-espessura da amostra (m);

A equação de Fick tem sido extensamente usada para descrever o processo de secagem de diversos produtos agrícolas para diferentes condições de secagem: Sousa (1999) com umbu; Azoubel (2002) com caju; Pacco (2003), Babalis e Belessiotis (2004) e Doymaz (2005) com figo respectivamente; Akanbi, Adeyemi e Ojo (2006) com tomate; Bialobrzewski (2006) com maçã; Hawlader *et al.* (2006) com goiaba e mamão; Goyal *et al.* (2007) com ameixa; Bains e Langrish (2007) com banana; Doymaz (2007) com cereja; Margaris e Ghiaus (2007) com uva; Hassini *et al.* (2007) com batata; Srikiatden e Roberts (2006) com batata e cenoura.

Outros modelos que têm sido utilizados para descrever a cinética de secagem de alimentos, os quais proporcionam uma representação aceitável dos resultados experimentais, são: o modelo exponencial e o modelo de Page (equação 2.4 e 2.5) respectivamente.

$$\frac{\bar{X}_t - X_e}{X_0 - X_e} = C_1 \exp(-K_1 t) + C_2 \exp(-K_2 t) \quad (2.4)$$

Em que:

$\bar{X}_t$  – conteúdo médio de umidade em função do tempo (kg<sub>água</sub>/kg<sub>sólido seco</sub>);

$X_0$  – conteúdo de umidade inicial (kg<sub>água</sub>/kg<sub>sólido seco</sub>);

$X_e$  - conteúdo de umidade de equilíbrio (kg<sub>água</sub>/kg<sub>sólido seco</sub>);

C e K – constantes de secagem.

O modelo exponencial com dois termos também foi usado no ajuste da secagem de figos por Pacco (2003), Doymaz (2005) e Babalis *et al.* (2006), de bananas por Bains e Langrish (2007), de uvas por Doymaz (2006), e de cereja por Doymaz (2007), demonstrando bom desempenho no ajuste dos dados experimentais.

No entanto, este modelo não fornece simulações precisas das curvas de secagem de muitos produtos, subestimando valores no início da curva e superestimando em fases posteriores.

Para superar estas deficiências, o modelo de Page foi desenvolvido com uma modificação empírica para o parâmetro tempo. Este modelo tem sido utilizado por diversos pesquisadores para estudar a cinética de secagem de diferentes produtos: Sousa (1999), em estudos de secagem de umbu, Park *et al.* (2002) com peras, Argandoña (2005), em goiabas; El-Aouar (2005) em mamão, Pacco (2003), Babalis *et al.* (2006) e Doymaz (2005) em figos.

$$\frac{\bar{X}_t - X_e}{X_0 - X_e} = C \exp(-Kt^n) \quad (2.5)$$

Em que:

$\bar{X}_t$  – conteúdo médio de umidade em função do tempo (kg<sub>água</sub>/kg<sub>sólido seco</sub>);

C e K – constantes de secagem;

n – parâmetro do modelo.

### 2.4.3 – Encolhimento

A desidratação é um dos processos mais utilizados para preservação de alimentos, uma vez que é capaz de promover redução da atividade de água e conseqüente minimização das mudanças físicas e químicas e estabilidade microbiológica, durante o armazenamento. No entanto ainda no processo de secagem o alimento é exposto a alterações físicas, sendo a mais importante, a redução do volume.

De acordo com El-Aouar (2005), a perda de água e o aquecimento durante a secagem causam um estresse na estrutura celular do material que leva a mudanças da forma e decréscimo das dimensões. Essas mudanças geralmente criam má impressão aos consumidores, mas por outro lado, existem produtos cujo encolhimento constitui um aspecto desejável como nas passas. Baroni (2004) ressalta que na maioria das vezes essas

modificações no produto durante a secagem, levam a perda na qualidade do produto reidratado quando comparado ao fresco e, portanto, a avaliação destes parâmetro físico durante a secagem é muito importante na seleção e otimização das condições de secagem.

Segundo Mayor e Sereno (2004), a magnitude do encolhimento do produto durante a secagem é afetada pelo volume de água removida, pela mobilidade da matriz sólida, pela taxa de secagem e condições de processamento.

O encolhimento dos produtos durante a secagem tem sido objeto de estudo em diversos produtos por diversos pesquisadores: Suzuki *et al.* (1976); Krokida e Maroulis (1997); Simal *et al.* (1998); Monnerat *et al.* (2005); Kingsly *et al.* (2007); Ochoa *et al.* (2007); Ruiz-López e García-Alvarado (2007); Bains e Langrish (2007).

## **2.5 – Qualidade do Produto**

Não se pode pensar em processamento e armazenamento de produtos alimentícios sem a preocupação de ter suas propriedades preservadas.

Uma propriedade do alimento é uma avaliação particular do seu comportamento como uma substância, sua interação com os sentidos humanos ou sua eficiência em promover a saúde e o bem estar (MACCARTHY, 1997; RAHMAN; MACCARTHY, 1999).

Segundo Rahman (2005), o conhecimento das propriedades dos alimentos é necessário no projeto e desenvolvimento de processos, no controle de qualidade e no acondicionamento dos produtos, visando preservar suas características pelo maior tempo possível. De maneira geral, as propriedades dos alimentos são classificadas em propriedades físicas e físico-químicas, cinéticas, sensoriais e funcionais.

A qualidade de um alimento é determinada pelas características de cor, aparência, aroma, textura, sabor e valor nutritivo, que são aspectos de grande importância tecnológica para o grau de aceitabilidade do produto. Esta qualidade depende não somente das condições iniciais do material, mas também das alterações ocorridas durante o processamento e estocagem, envolvendo modificação na estrutura física e química do alimento especialmente durante a secagem (KHRAISHEH; COOPER; MAGEE, 1997). Strumillo e Adamiec (1991) classificaram as alterações nas propriedades dos produtos

biológicos durante o processo de secagem considerando quatro tipos de alterações básicas distintas: bioquímica, enzimática, química e física, que afetam a textura, a densidade, a capacidade de reidratação, a aglomeração e as propriedades mecânicas de alimentos desidratados. Essas alterações dependem de fatores como as propriedades e características da matéria-prima, métodos e condições de secagem.

## **2.5.1 – Qualidade nutricional**

### **2.5.1.1 – Vitamina C**

A vitamina C é muito importante na saúde pública, pois sua deficiência causa sérios problemas. A vitamina C é encontrada em concentrações razoáveis em todas as plantas superiores. As fontes mais ricas de vitamina C são os vegetais frescos e as frutas (HOWARD *et al.*, 1999; REDY; LOVE, 1999).

Amplamente presente nas frutas e hortaliças, a vitamina C é um dos nutrientes mais populares, podendo ser encontrada em produtos industrializados enriquecidos, como sucos, pastilhas, balas e cereais matinais.

A popularidade ou a fama da vitamina C deve-se aos inúmeros benefícios que esse nutriente proporciona ao organismo como:

- Estimulação do sistema imunológico, promovendo maior resistência às infecções;
- Aumento da absorção de ferro proveniente de alimentos de origem vegetal como: feijão, espinafre e lentilha;
- Auxílio no processo de cicatrização de feridas, sangramentos de gengivas e pequenos cortes;
- Atua como antioxidante, neutralizando a ação dos radicais livres que desencadeiam o processo de envelhecimento precoce, além de aumentarem o risco para o desenvolvimento de câncer e doenças do coração;
- Não há risco de superdosagem, uma vez que se ingerido em excesso, será excretado pelo organismo (MANELA-AZULAY *et al.*, 2003; ABCDASAUDE; 2008; CYBERDIET; 2008; PANACÉIAS; 2008).

O ácido ascórbico também tem sido utilizado como propriedade antioxidante em diferentes processamentos de alimentos. Robbers, Singh e Cunha (1997) verificaram que a adição de ácido ascórbico e ácido cítrico na solução osmótica, preveniu o escurecimento e significativas perdas de ácido ascórbico no processamento de kiwi. Abreu e Faria (2007) utilizaram ácido ascórbico no tratamento térmico de água de coco e verificaram maior estabilidade da cor quando a vitamina apresentou maior residual durante a estocagem. Combinando EDTA, ácido ascórbico, cloreto de cálcio e cisteína, Melo e Vilas Boas (2006), verificaram efeitos sobre a contenção do aumento das atividades da polifenoxidase e peroxidase em banana maçã minimamente processada, prevenindo o escurecimento enzimático.

### **2.5.1.2 – Degradação de Vitamina C**

A crescente demanda por parte dos consumidores em relação à qualidade nutricional dos alimentos, faz com que diversos estudos ressaltem a importância de se avaliar o valor nutricional dos mesmos, bem como a influência do processamento e armazenamento sobre sua estabilidade.

O teor de vitaminas e minerais dos vegetais pode variar dependendo da espécie, do estágio de maturação na época de colheita, de variações genéticas, do manuseio pós-colheita, das condições de estocagem, do processamento e do tipo de preparação (HOWARD *et al.*, 1999; REDY; LOVE, 1999; FRANÇA; NARAIN, 2003; MATTIUZ; DURIGAN; ROSSI JUNIOR, 2003; SILVA; LOPES; VALENTE-MESQUITA, 2006).

O ácido ascórbico é um dos nutrientes mais sensíveis às condições de processamento e de armazenamento, sendo utilizado como indicador da qualidade do produto.

A degradação do ácido ascórbico está relacionada com diversos fatores como: oxigênio, pH, luz, temperatura e conteúdo de umidade ou atividade de água e tem sido estudada por diversos pesquisadores como Gabas, Telis-Romero e Menegalli (2003) em ameixas liofilizadas, Piga *et al.* (2004) em figos; Argandoña (2005) em goiabas; Buchweitz (2005) em kiwi; El-Beltagy, Gamea e Amer Essa (2007) em morangos.

Durante a secagem, a perda de ácido ascórbico se dá principalmente em função da temperatura. Processos importantes na secagem de alimentos, em que as taxas de reação são afetadas pela temperatura, são: inativação e ativação de enzimas; degradação de vitaminas; desnaturação das proteínas; oxidação de diversos compostos; hidrólise de diversos compostos; crescimento de microrganismos; degradação do sabor e formação de sabores estranhos e escurecimento não-enzimático.

O efeito da temperatura sobre a perda de ácido ascórbico foi observado por Gabas; Telis-Romero e Menegalli (2003), em ameixas liofilizadas, por Uddin *et al.* (2002), durante a estocagem de goiabas secas, e por Nicoletti *et al.* (2007) e Silva, Pinedo e Kieckbush (2005), durante secagem de caqui e camu-camu respectivamente.

Uddim, Hawlader e Zhou (2001), estudaram a degradação de vitamina C durante estocagem de kiwis secos. Segundo Bluestein e Labuza (1988), a perda de ácido ascórbico é muito sensível à atividade de água.

Khraisheh, McMinn e Magee (2004), verificaram que a estabilidade da retenção da vitamina C foi dependente não somente das condições de secagem, mas também do conteúdo de umidade inicial do produto. A dependência do conteúdo de umidade na degradação de ácido ascórbico durante a secagem, também foi observada por Goula e Adamopoulos (2006).

Portanto, por ser muito sensível ao processamento se faz necessário a utilização de métodos que possam minimizar ou suprir as perdas de vitamina C durante o processamento de alimentos.

## **Capítulo 3: Desidratação Osmótica**

### 3.1 – Resumo

Neste capítulo estudou-se o processo da desidratação osmótica de figos. Foi realizado um planejamento fatorial  $2^2$  completo utilizando a metodologia de superfície de resposta (RSM). As variáveis independentes foram a temperatura (32,9 a 47,0°C) e a concentração (35,9 a 64,1 p/p) da solução de sacarose, e as respostas foram o conteúdo de açúcares totais, atividade de água e o conteúdo de umidade. A análise do processo foi descrita através das curvas cinéticas de conteúdo de açúcares totais e redutores (%), atividade de água e conteúdo de umidade (kga/kgss). A análise estatística foi realizada para os dados de desidratação osmótica de figos até 120 minutos, bem como para tempos longos de processo até 720 minutos. Observou-se que o conteúdo de açúcares aumentou e que a atividade de água e o conteúdo de umidade diminuíram com a elevação da temperatura e da concentração da solução desidratante, com efeito mais efetivo da concentração da solução durante o processo. Utilizando a técnica de análise multi-resposta as condições ótimas encontradas para obtenção de figos com maior conteúdo de açúcares foram na temperatura de 39,7°C e 63,1% p/p de sacarose, e para obtenção de figos com menor conteúdo de açúcares, na temperatura de 35,3° e 64,1% de sacarose.

## 3.2 – Material e Métodos

### 3.2.1 – Matéria-Prima

A matéria prima utilizada foi, frutas de figo (*Ficus carica*, L), variedade gigante, provenientes do município de Valinhos – SP.

Foram utilizados figos maduros, os quais foram selecionados em função da cor característica roxa e do peso aproximado de 80 gramas.

Nos intervalos entre a colheita e a realização dos experimentos, as frutas foram acondicionadas em bandejas de papelão, envolvidas com filme plástico e conservadas em temperatura de geladeira aproximadamente 10°C.

### 3.2.2 – Planejamento Experimental

O processo de desidratação osmótica de figos foi estudado utilizando um planejamento experimental completo e a metodologia de superfície de resposta (RSM). Usou-se um planejamento fatorial  $2^2$  completo, com duas repetições no ponto central e  $2n$  pontos axiais, em que  $n$  é o número de variáveis independentes. O valor desses pontos axiais foi calculado pela equação abaixo (KHURI; CORNELL, 1996), onde  $F$  refere-se ao número de tratamentos na porção fatorial que deve ser fixado através da fórmula  $F = 2^n$ .

$$\alpha = (F)^{1/4} = 2^{(n)/4} = 1,41$$

Em que:  $\Delta_{\text{temperatura}} = 5^\circ\text{C}$ , logo:  $1,41(5) = \pm 7,05$ , e  $\Delta_{\text{concentração da sol}} = 10\%$ , logo:  $1,41(10) = \pm 14,1$ .

Os níveis das variáveis independentes estudadas, ou seja, concentração da solução de sacarose (%p/p) e temperatura do processo (°C), bem como a matriz do planejamento fatorial  $2^2$  completo, estão apresentados nas Tabelas 3.1 e 3.2. As respostas foram: conteúdo de açúcares totais (%), conteúdo de umidade (kga/kgss) e atividade de água.

Foi utilizado o programa computacional *Statística 5,0* para análise do planejamento experimental, obtendo-se os efeitos das variáveis independentes a um intervalo de confiança de 95%.

A análise estatística foi realizada em função do tempo, para tempos curtos (120 minutos) e para tempos longos, sendo considerado o equilíbrio (720 minutos).

Tabela 3.1 – Níveis das variáveis independentes

Níveis	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
Concentração da solução (%) p/p	35,9	40	50	60	64,1
Temperatura do processo (°C)	32,9	35	40	45	47,0

Tabela 3.2 – Matriz do planejamento fatorial  $2^2$  completo

ENSAIOS	Temperatura (codificado)	Temperatura (real)	Concentração (codificado)	Concentração (real)
1	-1	35	-1	40
2	+1	45	-1	40
3	-1	35	+1	60
4	+1	45	+1	60
5	-1,41	32,9	0	50
6	+1,41	47,0	0	50
7	0	40	-1,41	35,9
8	0	40	+1,41	64,1
9	0	40	0	50
10	0	40	0	50

Temperatura (°C); Concentração (%)p/p.

### **3.2.3 – Processo de Inativação Enzimática**

Para avaliar a presença de invertase, as amostras de figos foram submetidas à inativação enzimática a vapor por 3 minutos, e em seguida ao processo de desidratação osmótica por 3 horas à 40°C e concentração da solução de sacarose de 50% (p/p) e avaliada em relação ao conteúdo de açúcares totais e redutores, atividade de água e conteúdo de umidade. Também foi determinada uma cinética de desidratação osmótica após inativação enzimática dos figos, utilizando a temperatura de 40°C e concentração de sacarose de 50 e 64%.

### **3.2.4 - Processo de Desidratação Osmótica - Sacarose**

Os figos devidamente limpos e selecionados foram cortados no sentido vertical, em rodela de aproximadamente 1cm de espessura, utilizando a porção mediana da fruta desprezando-se as extremidades. As rodela foram colocadas em frascos de 600mL, com solução desidratante previamente preparada a diferentes concentrações de sacarose, pesada e aquecida à temperatura a ser utilizada no processo. Foi utilizada uma relação amostra-solução de 1:10 (p/p), a fim de se garantir que a concentração da solução osmótica permanecesse aproximadamente constante ao longo do processo.

Os frascos contendo as amostras foram colocados em banho termostático (TE 420, Tecnal, Piracicaba, SP, Brasil), com agitação constante a 111rpm, mantendo a temperatura constante por tempos pré-determinados que variaram de 15 a 720 minutos. Após o processo, os figos foram drenados, lavados com água destilada para retirar o excesso de solução e dispostos sobre papel absorvente para remoção da solução excedente. Após o processo as amostras foram trituradas, homogeneizadas, e submetida a análises do conteúdo de açúcares totais e redutores, conteúdo de umidade, e da atividade de água. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

### **3.2.5 - Cinética de Desidratação Osmótica**

A cinética de desidratação osmótica foi estudada em função da temperatura e da concentração de sacarose da solução desidratante, de acordo com os níveis de variáveis estabelecidas com o planejamento experimental adotado (Tabela 3.2). A temperatura foi variada de 32,9 a 47,0°C e a concentração de sacarose de 35,9 a 64,1% em peso.

O conteúdo de açúcares totais e redutores, a atividade de água e o conteúdo de umidade foram determinados ao longo da cinética de desidratação osmótica. A perda de peso não foi avaliada durante o processo de desidratação osmótica, uma vez que foi verificado que houve perda de massa (componentes florais) do interior da infrutescência, no meio da solução desidratante durante o processo de desidratação osmótica.

### **3.2.6 – Análises**

As análises detalhadas a seguir foram realizadas para os figos *in natura* e desidratados osmoticamente.

#### **3.2.6.1 - Determinação do Conteúdo de Umidade**

O conteúdo de umidade foi determinado segundo método descrito por Rangana (1977), o qual fundamenta-se na evaporação da água presente no alimento e pesagem do resíduo. Para esse fim, as amostras foram pesadas e colocadas em estufa à 60°C até peso constante. Todas as amostras foram pesadas em balança analítica, e através do peso inicial e final das mesmas, determinou-se o conteúdo de umidade.

### 3.2.6.2 - Determinação da Atividade de Água

A atividade de água foi determinada em triplicata, utilizando um equipamento Aqualab, modelo CX-2 (Decagon Devices Inc., Pullman, WA), acoplado em um banho termostático, com leitura direta da atividade de água à 25°C da amostra acondicionada em cápsulas plásticas, em equilíbrio com a atmosfera interna do equipamento. O valor da atividade de água é registrado quando há a formação da primeira gota de orvalho em função do equilíbrio alcançado entre a fase líquida, presente na amostra, e a fase gasosa.

### 3.2.6.3 - Determinação do Conteúdo de Açúcares

Os conteúdos de açúcares totais e redutores foram determinados utilizando o método químico de Lane Eynon (RANGANA, 1977). O método baseia-se na redução do cobre em solução cúprica (solução de Fehling) através de açúcares invertidos por meio de titulação.

## 3.3 – Resultados e Discussão

### 3.3.1 – Caracterização de Figos

Os dados de caracterização de figos para o processo de desidratação osmótica estão apresentados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Caracterização da matéria prima

Composição	Figo <i>in natura</i>
Conteúdo de umidade (kga/kgss)	5,00±0,15 a 6,50±0,14
Açúcares totais (% b.u)	13,11±0,05 a 15,5±0,07
Açúcares redutores (% b.u)	12,9±0,11 a 15,2±0,14

### 3.3.2 - Inativação de Figos

Para avaliar a possível presença de invertase que é uma enzima capaz de transformar a sacarose em dextrose (BOBBIO; BOBBIO, 1995), foi realizada uma inativação enzimática das amostras.

Amostras de figos foram submetidas aos testes de inativação enzimática a vapor por 3 minutos, e em seguida ao processo de desidratação osmótica por 3 horas à 40°C e concentração da solução de sacarose de 50% p/p.

Na Tabela 3.4, encontram-se os valores do conteúdo de açúcares totais e redutores em figo *in natura* e desidratados osmoticamente com e sem o processo de inativação enzimática a vapor.

Tabela 3.4 – Valores do conteúdo de açúcares totais e redutores em figo *in natura* e desidratado osmoticamente com e sem inativação enzimática (40°C, 50%, 3h)

Amostra	Açúcares redutores (%)	Desvio Padrão	Açúcares totais (%)	Desvio Padrão
Ni	12,2	0,1	12,4	0,1
NSi	12,9	0,3	13,0	0,4
DOi	12,3	0,0	32,4	0,9
DOSi	22,1	0,8	22,3	0,8

Ni – figo *in natura* inativado; NSi – figo *in natura* sem inativação; DOi – figo desidratado osmoticamente inativado; DOSi - figo desidratado osmoticamente sem inativação

De acordo com a tabela, verifica-se que quando o figo foi submetido à inativação, e ao processo de desidratação osmótica (DOi) houve um aumento aproximado de 3 vezes do conteúdo de açúcares totais com relação à amostra fresca, enquanto o conteúdo de açúcares redutores não apresentou aumento, permanecendo estável com valor aproximado ao da fruta fresca. Quando a amostra não foi submetida à inativação, observa-se que, no final do processo de desidratação osmótica (DOSi), houve aumento acentuado do conteúdo de açúcares redutores, apresentando valor muito próximo ao do conteúdo de açúcares totais.

Isso se explica pela existência de invertase que hidrolisa a sacarose em açúcares redutores. Desta forma se estabeleceria um fluxo de sacarose entrando na fruta e, simultaneamente à difusão dentro do sólido, a sacarose sofreria uma hidrólise a açúcar redutor. O aumento de açúcares redutores produzido pela reação, dentro do figo, estabeleceria um fluxo de saída para a solução. Assim o conteúdo de açúcares totais do figo sem inativação (DOSi) parece reduzida, quando comparada com o figo inativado (DOi).

### 3.3.2.1 - Cinética de Desidratação Osmótica de Figos Após Inativação Enzimática

Depois de realizado o teste de inativação enzimática, foi escolhida a temperatura de 40°C (temperatura intermediária) com concentrações de sacarose de 50 e 64% (p/p), para verificar os efeitos da inativação enzimática sobre a cinética de desidratação osmótica em figos.

Na Tabela 3.5, encontram-se os valores médios de conteúdo de açúcares totais e redutores (%), atividade de água e de umidade (kga/kgss) em figos, durante desidratação osmótica à temperatura de 40°C, concentração de 50 e 64% de sacarose, após inativação enzimática a vapor.

Tabela 3.5 - Valores das médias dos conteúdos de açúcares totais e redutores (%), atividade de água, conteúdo de umidade (kga/kgss), em figos desidratados osmoticamente após inativação enzimática

Tempo (min)	Concentração de 50% de sacarose				Concentração de 64% de sacarose			
	AT	AR	Aw	X	AT	AR	Aw	X
0	13,0	11,9	0,987	5,2	13,4	12,2	0,987	5,0
15	15,3	13,4	0,961	2,0	24,0	14,4	0,964	2,2
30	19,9	15,3	0,958	1,6	22,7	16,6	0,963	2,1
45	26,6	15,1	0,959	1,6	22,6	17,3	0,964	2,2
60	30,3	13,3	0,951	1,4	23,0	16,6	0,963	2,1
120	31,2	18,8	0,947	1,3	21,6	17,3	0,960	2,0
180	30,8	23,3	0,942	1,3	32,9	21,6	0,940	1,0
240	39,7	13,1	0,939	0,9	33,8	20,6	0,925	1,0
300	42,1	4,0	0,931	*	35,9	27,9	0,921	*

AT- açúcares totais em base úmida; AR – açúcares redutores em base úmida; Aw – atividade de água; X – umidade em base seca; \* - não determinado.

Na Figura 3.1 encontram-se as curvas dos conteúdos de açúcares totais e redutores (%), e nas Figuras 3.2 e 3.3, encontram-se as curvas de atividade de água e conteúdo de umidade, durante o processo de desidratação osmótica à 40°C e concentração da solução de 50 e 64%, após inativação enzimática a vapor.

Verifica-se que usando a concentração de 50% de sacarose na solução de desidratação osmótica após inativação enzimática, houve aumento do conteúdo de açúcares totais, chegando ao final do processo com um valor de 3,2 vezes maior com relação ao produto *in natura*. Embora tenha ocorrido aumento do conteúdo de açúcares redutores, este foi reduzido com relação ao produto não inativado, o que será apresentado mais adiante (item 3.3.3). Verifica-se também que no final do processo em que se usou a concentração de 50%, houve um decréscimo do conteúdo de açúcares redutores.

No entanto, usando a concentração de 64% de sacarose na solução de desidratação osmótica após inativação enzimática, verifica-se que o aumento do conteúdo de açúcares totais foi menos acentuado no final do processo com relação à concentração de 50% de sacarose.

Essas discrepâncias podem estar relacionadas à viscosidade da solução, em que soluções altamente viscosas bloqueiam parcialmente a difusão das espécies. O grau de maturação da espécie ou o tratamento térmico também podem interferir no processo de difusão, onde em um tecido mais mole pode ocorrer maior impregnação de sacarose, e consequentemente o conteúdo de açúcares redutores fica reduzido. As diferenças entre espessuras da fatia do material, bem como as características físicas da própria fruta, também podem interferir na transferência de massa diversificando-a.

Com relação aos açúcares redutores, ainda que tenha sido submetido à inativação enzimática, observa-se um aumento mais acentuado ao final do processo com a concentração de 64% de sacarose. Comportamento semelhante foi observado por Angeline (2002) com kiwi, com pH igual a 3,21. Entretanto o autor explica que esse comportamento se deu em função da hidrólise ácida da sacarose ao incorporar-se à fruta, em função do pH baixo do material, utilizando a temperatura de 40°C e 65°Brix.

Nas Figuras 3.2 e 3.3, encontram-se as curvas de atividade de água e conteúdo de umidade, durante o processo de desidratação osmótica à 40°C e concentração da solução de 50 e 64%, após inativação enzimática a vapor.

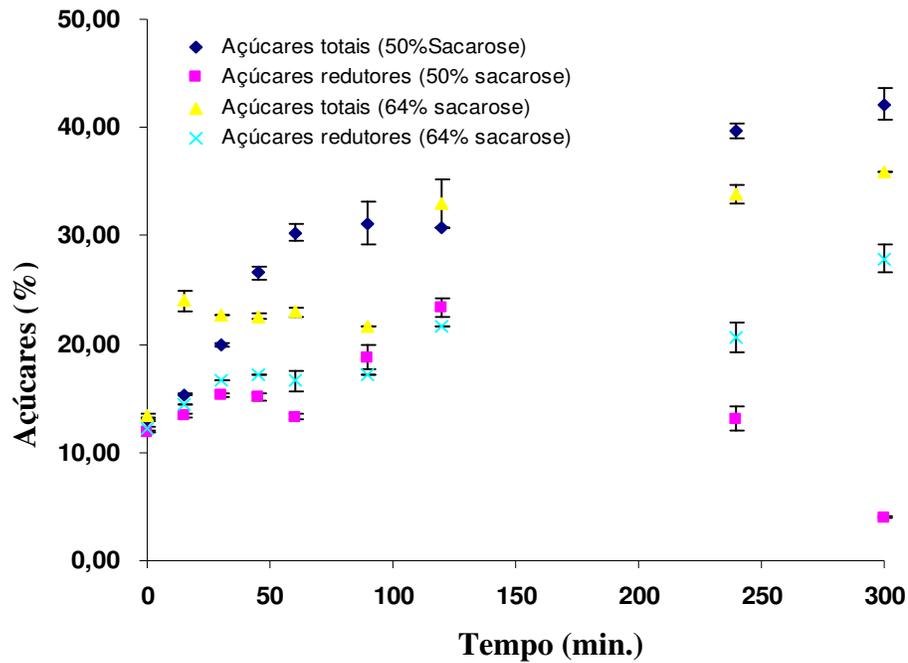


Figura 3.1 – Curvas do conteúdo de açúcares totais e redutores em figos desidratados osmoticamente à 40°C e concentração da solução de 50 e 64%, após inativação enzimática a vapor

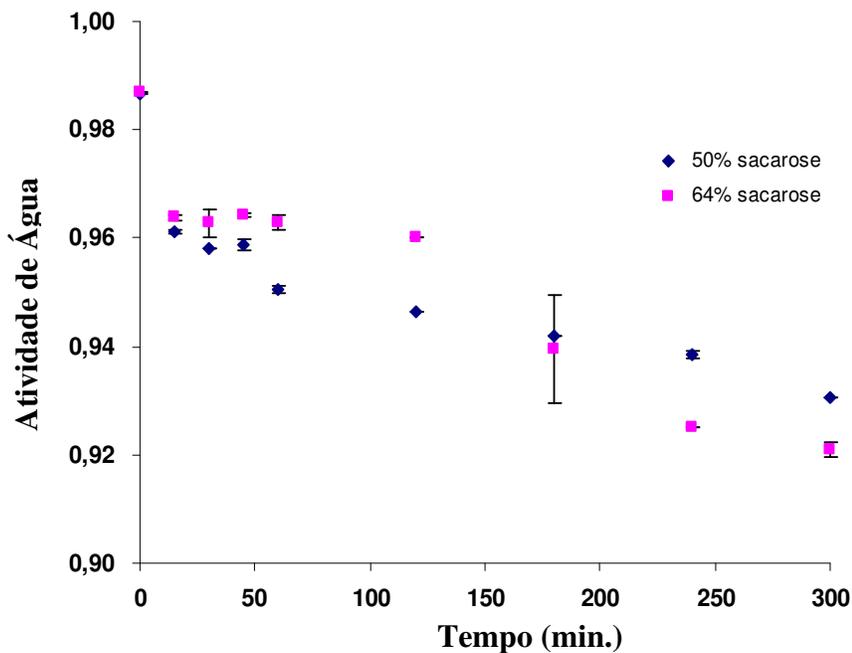


Figura 3.2 – Curvas de atividade de água em figos desidratados osmoticamente à 40°C e concentração da solução de 50 e 64%, após inativação enzimática a vapor

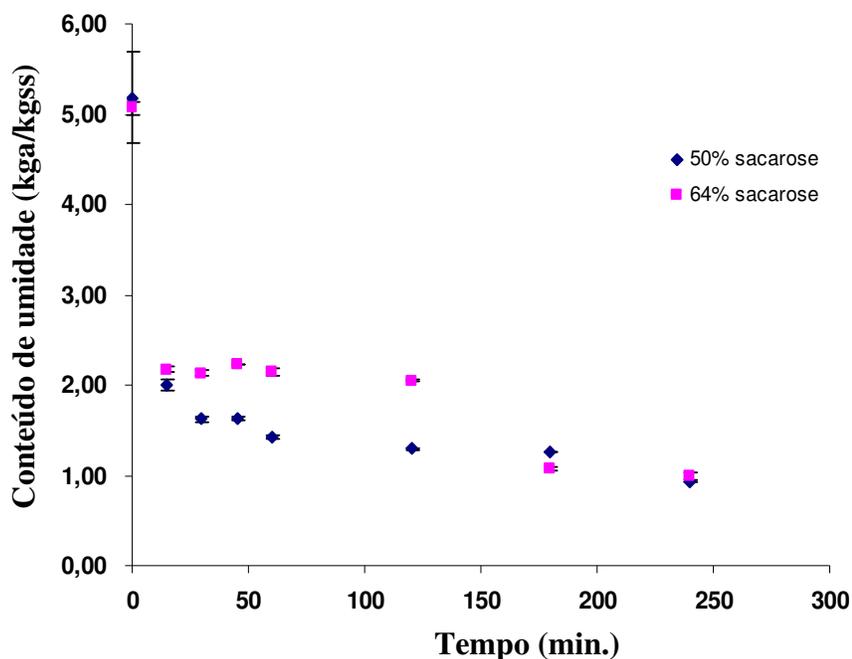


Figura 3.3 – Curvas do conteúdo de umidade em figos desidratados osmoticamente à 40°C e concentração da solução de 50 e 64%, após inativação enzimática a vapor

Observando as Figuras 3.2 e 3.3, verifica-se que a concentração de 50% apresenta maior influência sobre o conteúdo de umidade e atividade de água, até aproximadamente 120 minutos, onde a concentração de 50% apresentou menores valores de atividade de água e do conteúdo de umidade. Após esse tempo houve uma inversão da curva, onde as taxas na concentração média de 50% tendem a se estabilizar, e a concentração de 64% que é alta, favorece um maior decréscimo das taxas com o tempo.

Foi verificado que com o processo de inativação enzimática, a incorporação de açúcares não redutores foi beneficiada pela inibição da enzima invertase. Esta enzima estaria promovendo a quebra da sacarose, contribuindo com o aumento do conteúdo de açúcares redutores e a redução do conteúdo de açúcares totais nos figos que não foram inativados. No entanto, o processo de inativação a vapor danificou as células causando alteração da estrutura da matéria-prima, a qual, após o processo de inativação, por menor tempo possível, apresentou aspecto de cozida com nítida alteração nas características de cor e textura.

Islam e Flink (1982) também observaram perda da integridade do produto, devido ao branqueamento a vapor, no processo de desidratação osmótica de batatas.

Por estas razões o planejamento experimental foi conduzido sem o processo de inativação.

### 3.3.3 - Cinética de Desidratação Osmótica

Nas condições fixadas no planejamento experimental (Tabela 3.2) foram determinados os conteúdos de açúcares totais e redutores, atividade de água e conteúdo de água em função do tempo de desidratação osmótica.

A cinética será analisada em duas fases, até 120 minutos (primeira fase do processo), e até 720 minutos (segunda fase do processo sendo esta considerada o equilíbrio).

Nas Figuras 3.4 a 3.7, são mostradas as curvas obtidas das médias, e seus respectivos desvios para o conteúdo de açúcares totais e redutores, que variaram respectivamente de 13,31 a 35,44% e de 12,98 a 32,29%; para a atividade de água, que variou de 0,95 a 0,91 e para o conteúdo de umidade (6,36 a 1,00kg/kgss), em função do tempo, para figos desidratados osmoticamente a diferentes concentrações de sacarose e diferentes temperaturas.

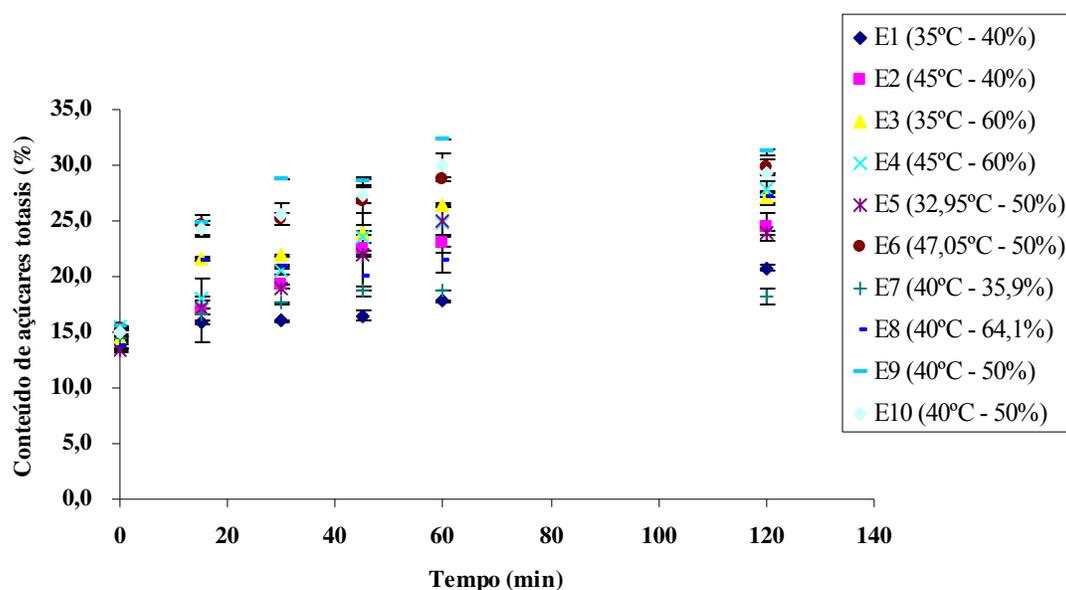


Figura 3.4 – Cinética da variação do conteúdo de açúcares totais (%) durante desidratação osmótica de figos a diferentes temperaturas e concentração da solução de sacarose

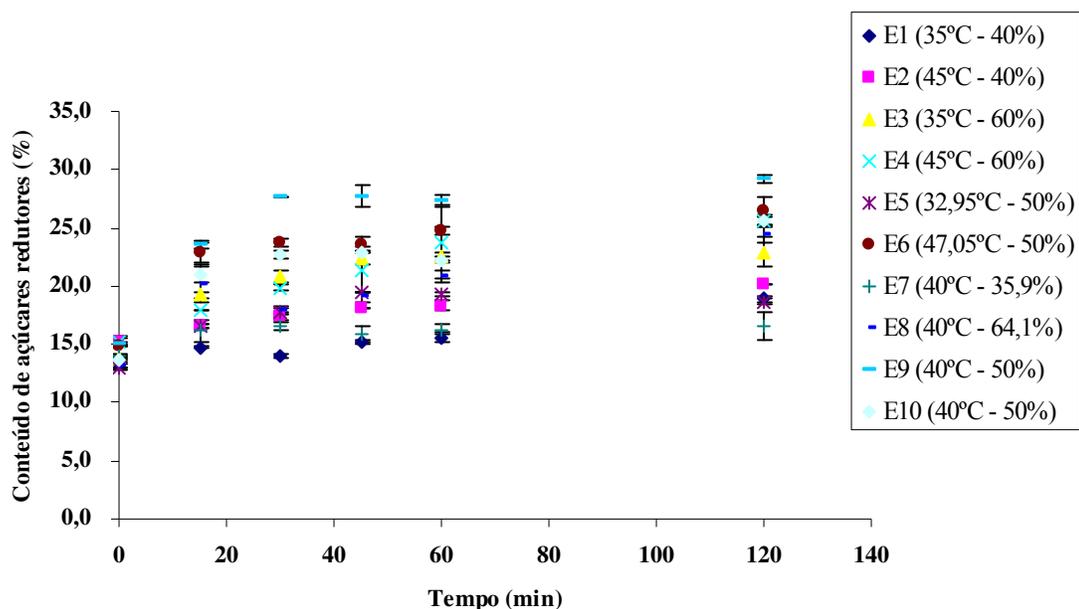


Figura 3.5 – Cinética da variação do conteúdo de açúcares redutores (%) durante desidratação osmótica de figos a diferentes temperaturas e concentração da solução de sacarose

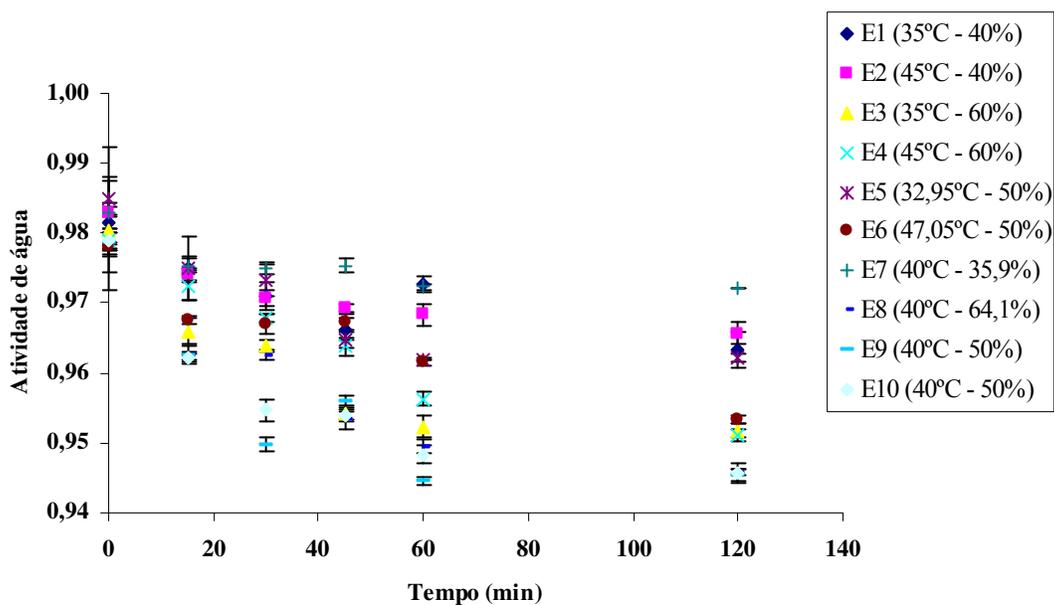


Figura 3.6 – Cinética variação da atividade de água durante desidratação osmótica de figos a diferentes temperaturas e concentração da solução de sacarose

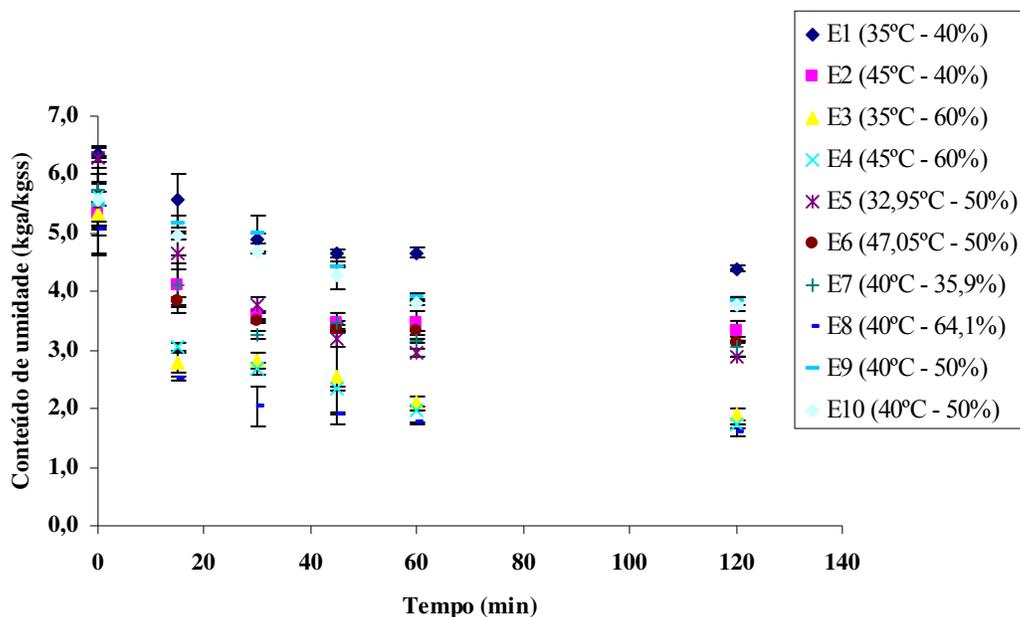


Figura 3.7 – Cinética da variação do conteúdo de umidade (kga/kgss) durante desidratação osmótica de figos a diferentes temperaturas e concentração da solução de sacarose

Pode-se verificar nas figuras 3.4 a 3.7 que os valores iniciais em base úmida para a fruta fresca, do conteúdo de açúcares totais e redutores, em todos os ensaios são muito próximos. Entretanto o conteúdo inicial de água em base seca, varia para cada ensaio, e também os correspondentes valores de atividade de água. Isto indica certa variabilidade da matéria prima em função da época da colheita.

Para melhor análise das tendências dos dados experimentais, estes foram graficados em função da temperatura com concentração de sacarose constante e em função da concentração da solução de desidratação osmótica a temperatura constante.

Nas Figuras 3.8 a 3.11 são mostradas as curvas obtidas dos valores das médias, do conteúdo de açúcares totais e redutores (%), atividade de água e conteúdo de umidade (kga/kgss), para figos desidratados osmoticamente em função do tempo e da temperatura em concentrações de sacarose constante. E nas Figuras 3.12 a 3.15 são mostradas as curvas para as mesmas variáveis em função de diferentes concentrações de sacarose, e à temperatura constante.

Em todas as análises realizadas percebe-se que a temperatura tem influência significativa sobre o ganho de açúcares, sobre a redução da atividade de água e do conteúdo de umidade, no entanto esta influência é mais acentuada com o aumento da concentração da solução desidratante. Este comportamento também foi observado por Li e Ramaswamy (2006) na desidratação osmótica de maçã. Lombard *et al.* (2008) trabalhando com abacaxi verificaram que um aumento na concentração também influenciou o ganho de sólidos. Uma tendência diferente foi observada por Ochoa-Martinez, Ramaswamy e Ayala-Ponte (2007a), que verificaram maior efeito da temperatura do que da concentração da solução em desidratação osmótica de maçã, e que um aumento da concentração favoreceu maior perda de água, porém o ganho de sólidos foi pouco significativo. Ito (2007), no estudo da desidratação osmótica a pulso de vácuo em manga, observou que altas concentrações osmóticas favoreceram a perda de água, mas não favoreceram o ganho de sólidos. Pereira (2006) verificou o mesmo comportamento em goiabas usando tanto sacarose quanto maltose na desidratação osmótica. Cao *et al.* (2006) em desidratação osmótica de kiwi também verificaram que um aumento da concentração favoreceu a perda de água, e que o ganho de sólidos foi favorecido pela temperatura. No entanto, Ochoa-Martinez, Ramaswamy e Ayala-Ponte (2007b) analisando a perda de umidade para diferentes frutas (banana, abacaxi e maçã) em função da temperatura e concentração, verificaram um efeito mais acentuado da concentração.

Comparando as Figuras 3.8 e 3.9, a variação do conteúdo de açúcares totais com a variação de açúcares redutores respectivamente, se observa que são da mesma ordem, o que indica a existência de uma atividade enzimática no figo, resultado da impossibilidade da realização da inativação enzimática (item 3.3.2).

Um aumento do conteúdo de açúcares redutores na desidratação osmótica também foi observado por Argandoña (1999) na desidratação osmótica de goiabas, e em estudos de kiwi por Torregiani *et al.* (1999) que atribuiu à acidez da própria fruta. Angelini (2002) atribuiu esse aumento ao processo de hidrólise ácida da sacarose em função do abaixamento do pH da solução e temperatura elevada.

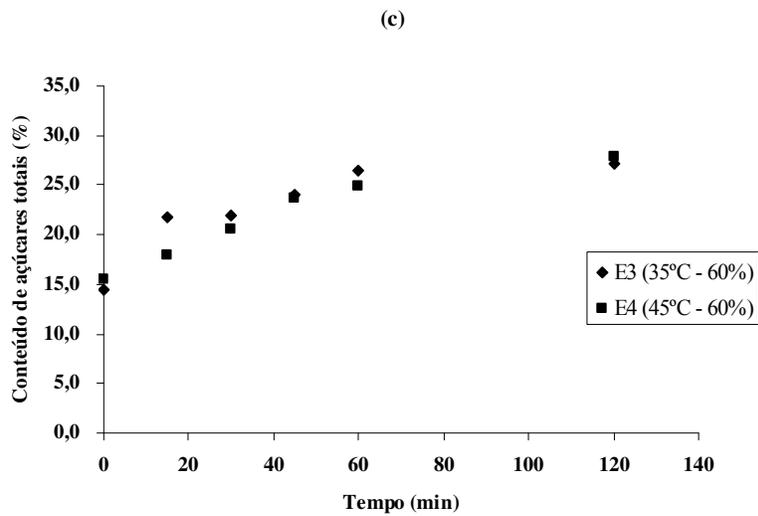
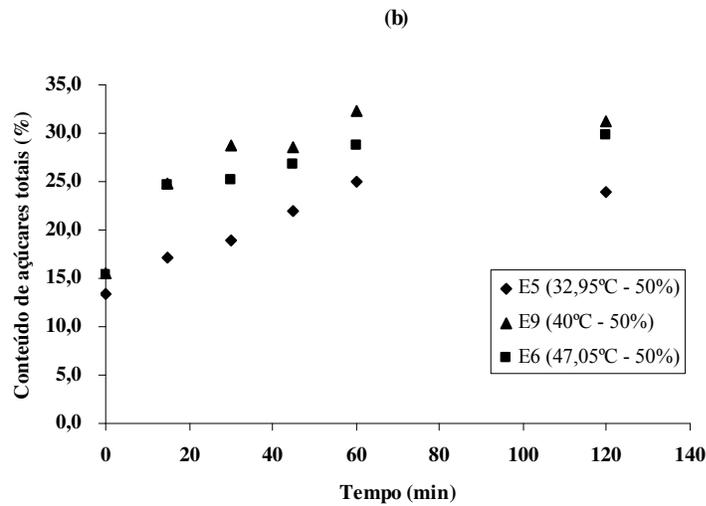
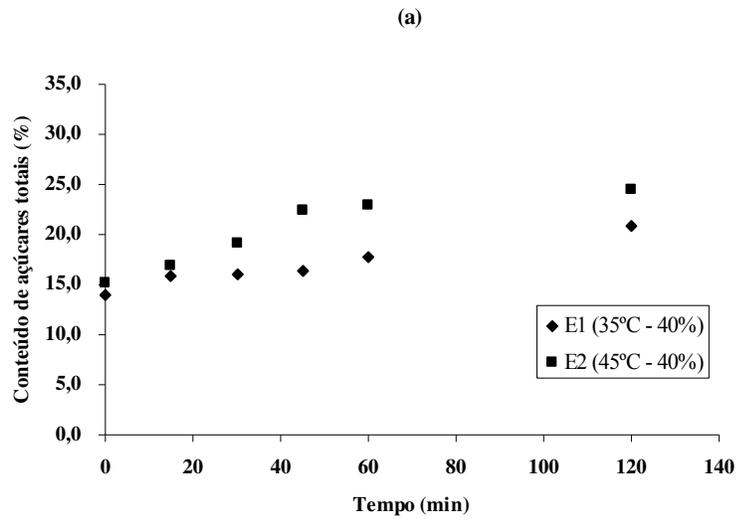


Figura 3.8 – Conteúdo de açúcares totais (%) em função do tempo de desidratação osmótica e da temperatura, a diversas concentrações da solução de sacarose constante, a) 40%, b) 50% e c) 60%

A incorporação de açúcares chega a um equilíbrio rápido (50 minutos) em concentrações baixas de sacarose aproximadamente 40%, aumentando este período em função da concentração de sacarose, respectivamente para 60 e 120 minutos aproximadamente para 50 e 60% de sacarose da solução de desidratação osmótica.

A influência da temperatura parece ser maior nas figuras 3.8 (conteúdo de açúcares totais), figura 3.9 (açúcares redutores), figura 3.10 (atividade de água), para concentração intermediária de 50% da solução desidratante. Entretanto as tendências com a temperatura nem sempre se apresentam muito claramente, podendo ser observadas algumas inversões das curvas em função da temperatura para a maioria das condições estudadas.

Observa-se a tendência da incorporação de solutos em função da concentração da solução desidratante, mas também podem ser observadas algumas inversões das tendências em função da concentração. Deve-se lembrar que aqui o processo é mais complexo que em outros casos de desidratação osmótica, uma vez que a sacarose que difunde na fruta é simultaneamente quebrada a glicose e frutose, e estes dois fenômenos, difusão e reação química, são função da temperatura. Estes açúcares redutores formados poderiam migrar novamente para a solução. A solução de desidratação osmótica foi analisada em tempos curtos de processo, e não foi detectado aumento de açúcares redutores na mesma, na titulação por Fehling.

Diversos autores constataram que, quando a concentração da solução de desidratação é aumentada, geralmente a incorporação de açúcar é reduzida (ISLAN; FLINK, 1982; EL-AOUAR 2005; PEREIRA, 2006; OCHOA-MARTINEZ; RAMASWAMY; AYALA-PONTE, 2007a; ITO, 2007), ou seja, a concentração teve pouca influência sobre o ganho de sólidos e tal fato ocorre quando se utiliza temperaturas ou concentrações mais altas.

O aumento na concentração implica no aumento da viscosidade da solução osmótica, e isso representa uma barreira para transferência de massa da solução para a fruta. Talens *et al.* (2002) observaram que soluções osmóticas com maior viscosidade causaram uma menor incorporação de sólidos em fatias de kiwi. Além disso, uma maior pressão osmótica exercida pelas soluções a alta concentração pode promover uma maior retirada de água do produto, o que pode dificultar a impregnação de sólidos por ser um fluxo intenso e contrário à entrada de solutos no produto. A formação de uma camada superficial pelo acúmulo de solutos também pode impedir a penetração dos açúcares. El-Aouar (2005),

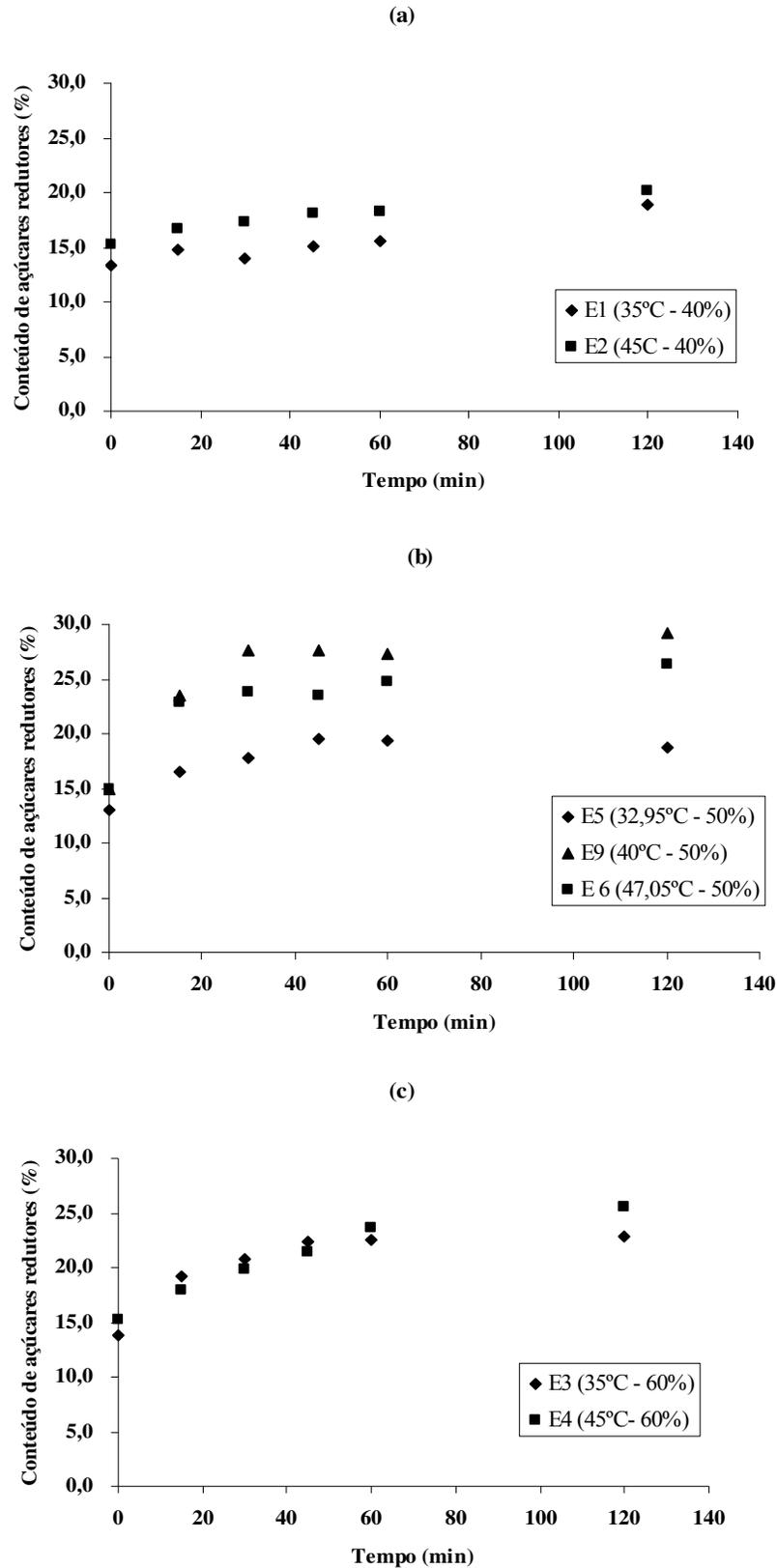


Figura 3.9 – Conteúdo de açúcares redutores (%) em função do tempo de desidratação osmótica e da temperatura, a diversas concentrações da solução de sacarose constante, a) 40%, b) 50% e c) 60%

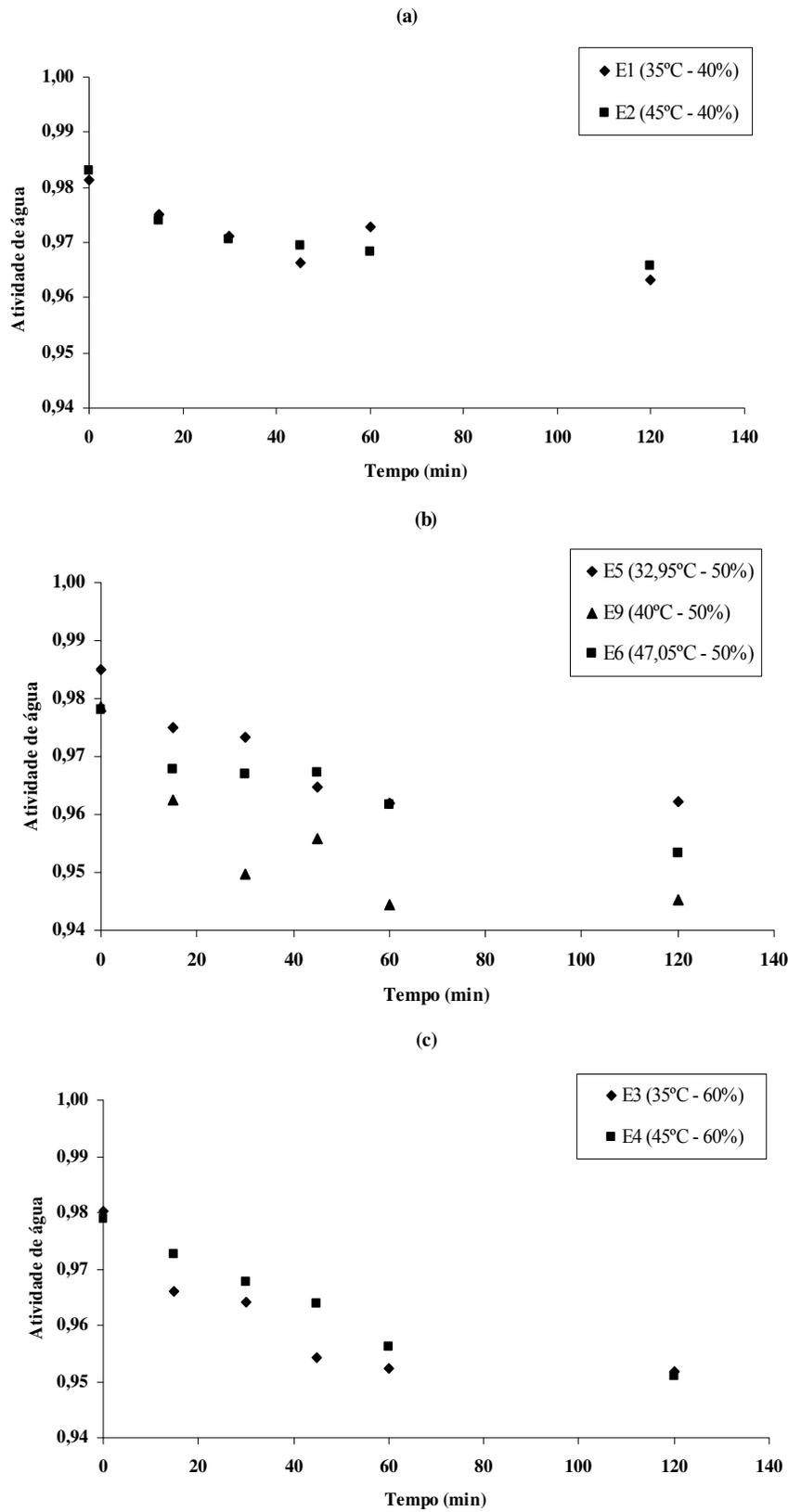


Figura 3.10 – Atividade de água em função do tempo de desidratação osmótica e da temperatura, a diversas concentrações da solução de sacarose constante, a) 40%, b) 50% e c) 60%

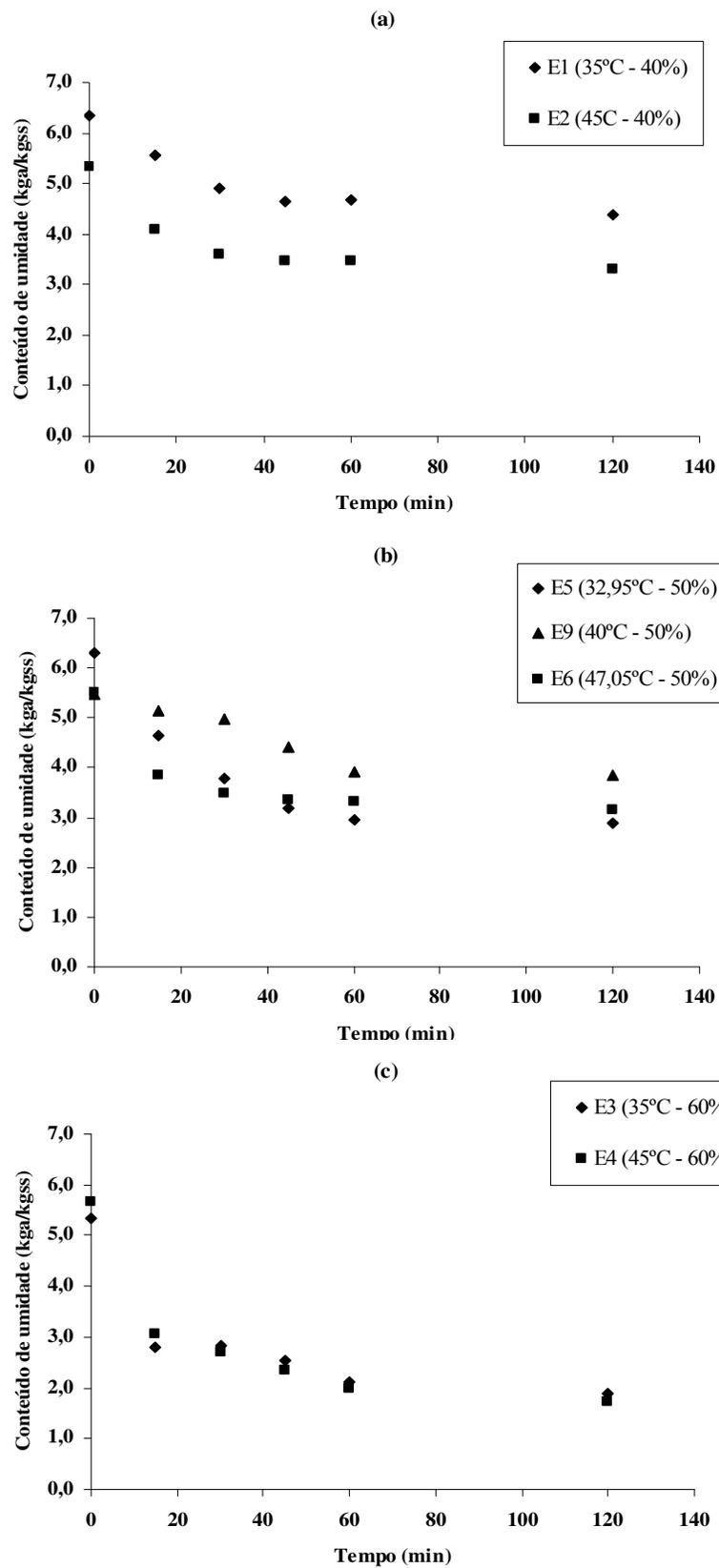


Figura 3.11 – Conteúdo de umidade em função do tempo de desidratação osmótica e da temperatura, a diversas concentrações da solução de sacarose constante, a) 40%, b) 50% e c) 60%

Ferrari (2005) e Li e Ramaswamy (2006) trabalhando com mamão, melão e maçã respectivamente, atribuíram o decréscimo do ganho de sólidos à formação de uma camada de solutos na superfície do produto, atuando como barreira à entrada de solutos.

A redução da atividade de água pode ser associada principalmente à perda de umidade e à incorporação de sólidos durante a desidratação osmótica. A concentração foi a variável mais importante na transferência de massa de água e de soluto e, conseqüentemente, a atividade de água foi afetada principalmente pela concentração, sendo o efeito da temperatura sobre esta variável, não bem definido.

A desidratação osmótica por si só não causa redução da atividade de água suficiente para proteger o alimento da contaminação microbológica, mas o processo permite a obtenção de frutas de alta umidade, similar ao produto fresco, preservando os nutrientes e as propriedades sensoriais (ALZAMORA, *et al.*, 1997; PEREIRA, *et al.*, 2004). Neste trabalho a redução da atividade de água foi branda como pode ser observado nas Figuras (3.10 e 3.14), reduzindo de um valor aproximadamente 0,99 a 0,94. Grabowski *et al.* (2007) também observaram uma redução branda da atividade de água após desidratação osmótica de mirtilo e uva-do-monte “cranberry”.

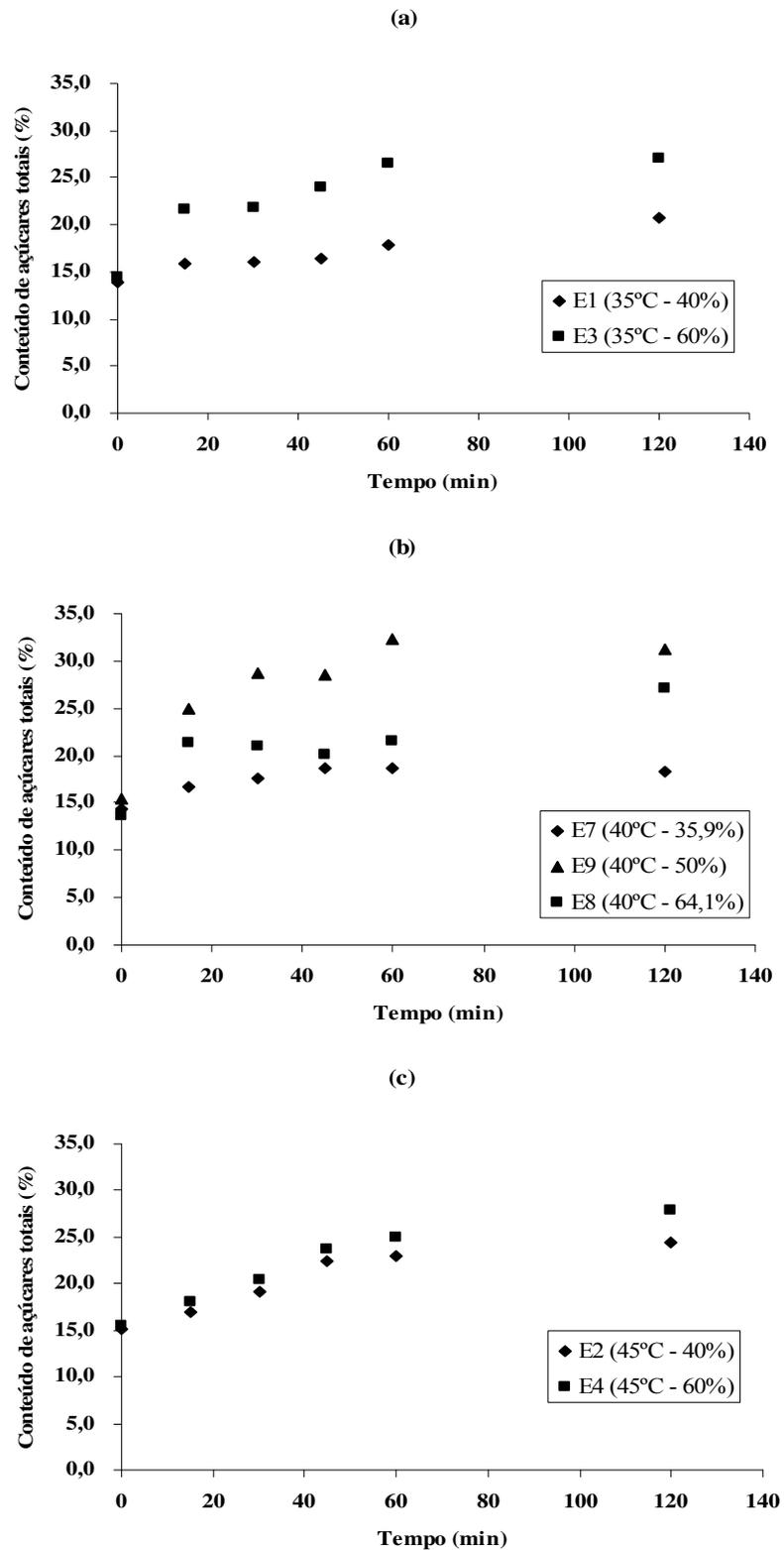


Figura 3.12 – Conteúdo de açúcares totais (%) em função do tempo de desidratação osmótica e da concentração da solução de sacarose a temperatura constante, a) 35°C, b) 40°C e c) 45°C

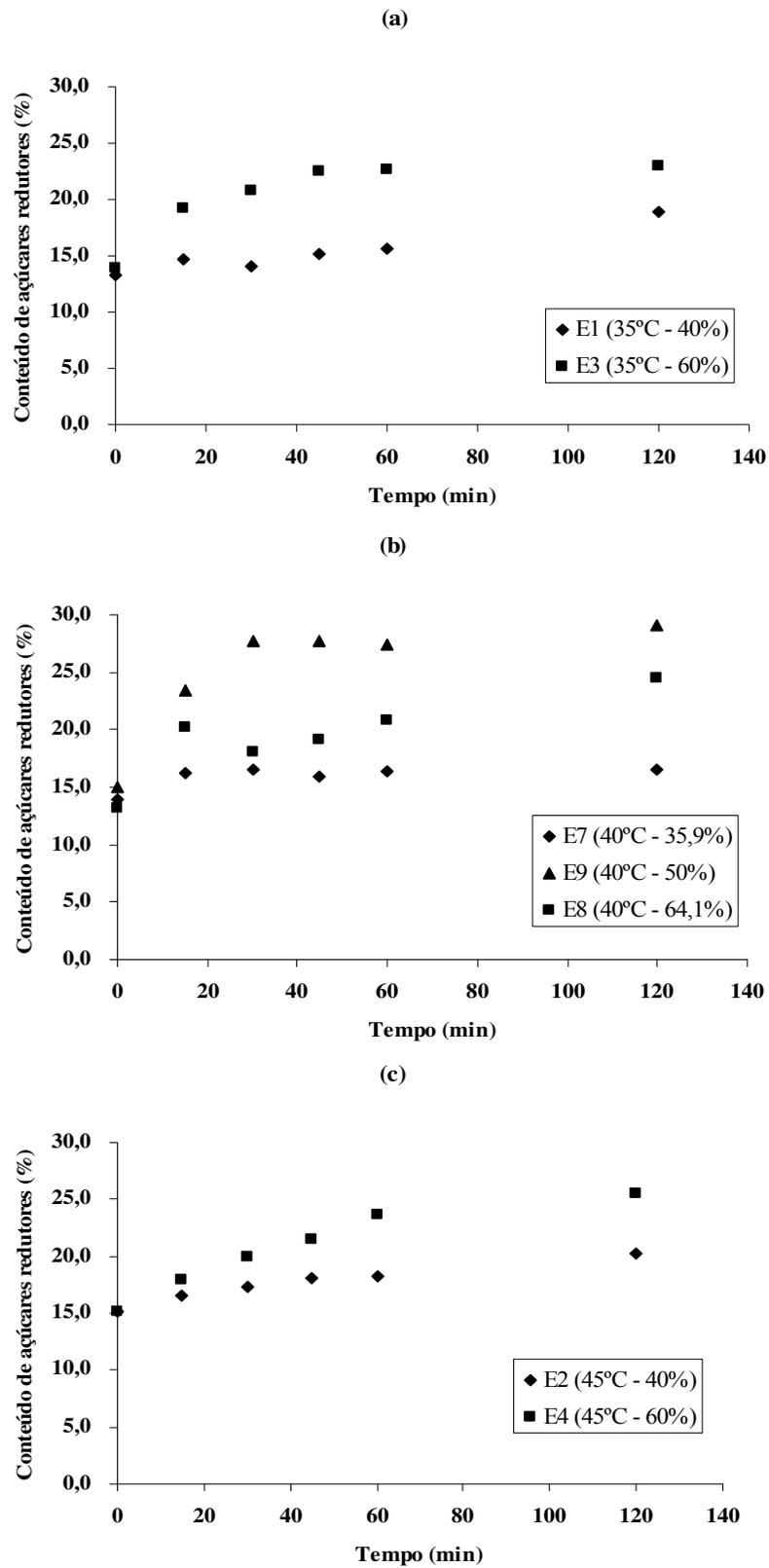


Figura 3.13 – Conteúdo de açúcares redutores (%) em função do tempo de desidratação osmótica e da concentração da solução de sacarose a temperatura constante, a) 35°C, b) 40°C e c) 45°C

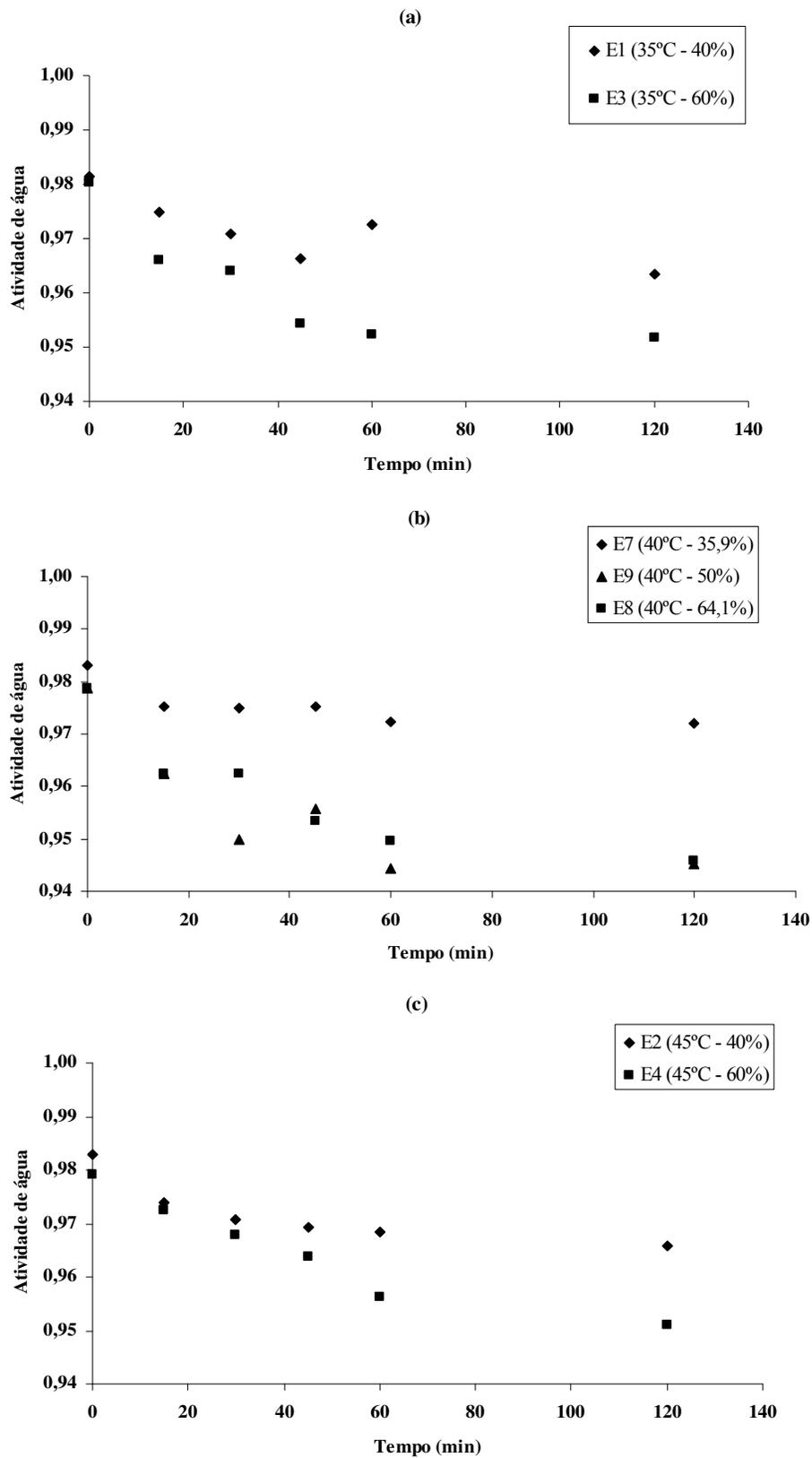


Figura 3.14 – Atividade de água em função do tempo de desidratação osmótica e da concentração da solução de sacarose a temperatura constante, a) 35°C, b) 40°C e c) 45°C

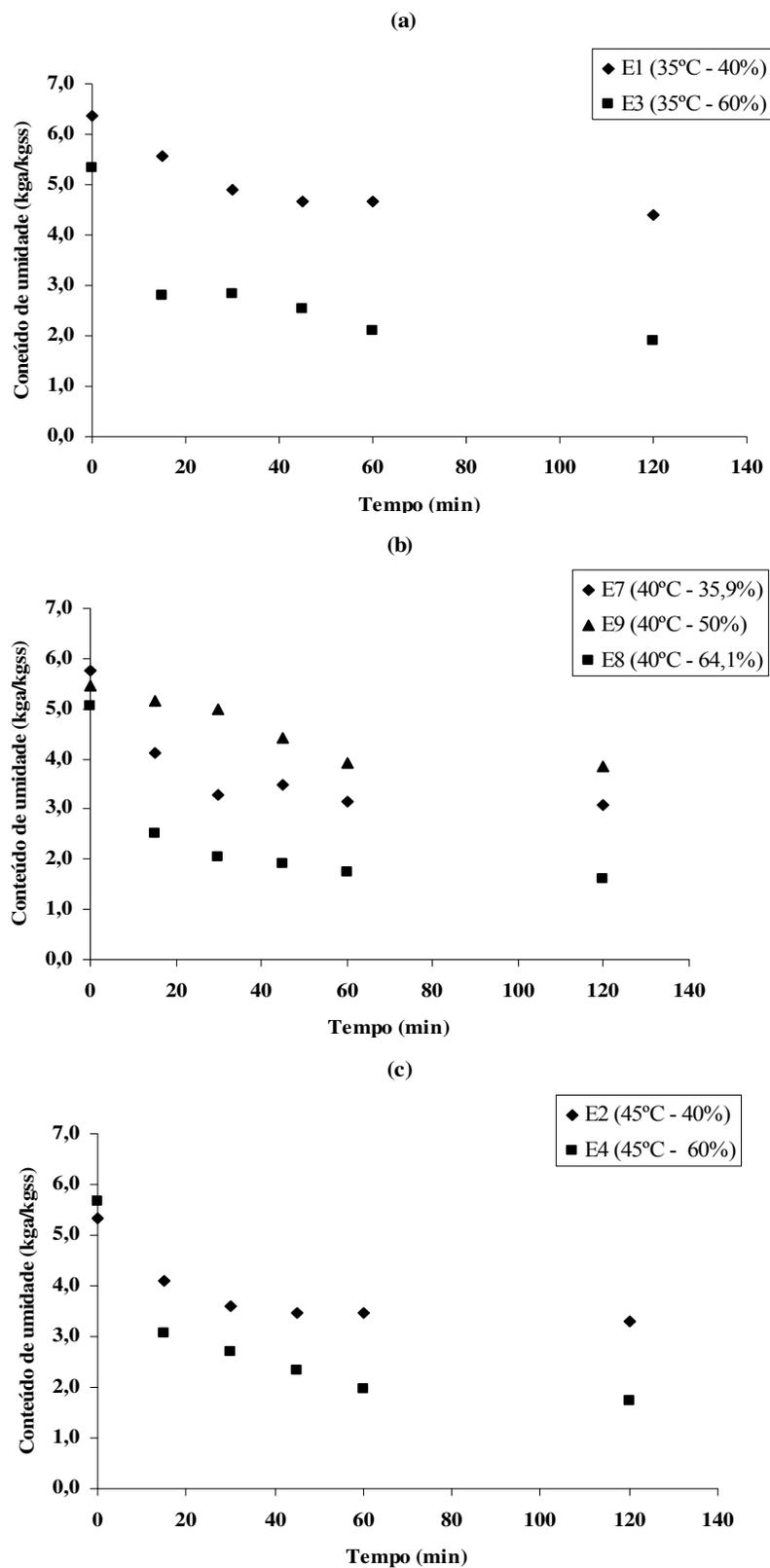


Figura 3.15 – Conteúdo de umidade em função do tempo de desidratação osmótica e da concentração da solução de sacarose a temperatura constante, a) 35°C, b) 40°C e c) 45°C

### 3.3.4 – Condições de Equilíbrio

Foram realizadas desidratações em tempos longos com a finalidade de obter as condições de equilíbrio até 720 minutos. As amostras iniciais são as mesmas analisadas anteriormente na primeira fase do processo, ou seja, até 120 minutos.

Nas Figuras 3.16 a 3.19, são mostradas as curvas, onde são plotados os valores das médias, e seus respectivos desvios, do conteúdo de açúcares totais e redutores (%), atividade de água, e conteúdo de umidade (kga/kgss), para figos desidratados osmoticamente a diferentes concentrações de sacarose e diferentes temperaturas, de acordo com as condições adotadas, até 720 minutos.

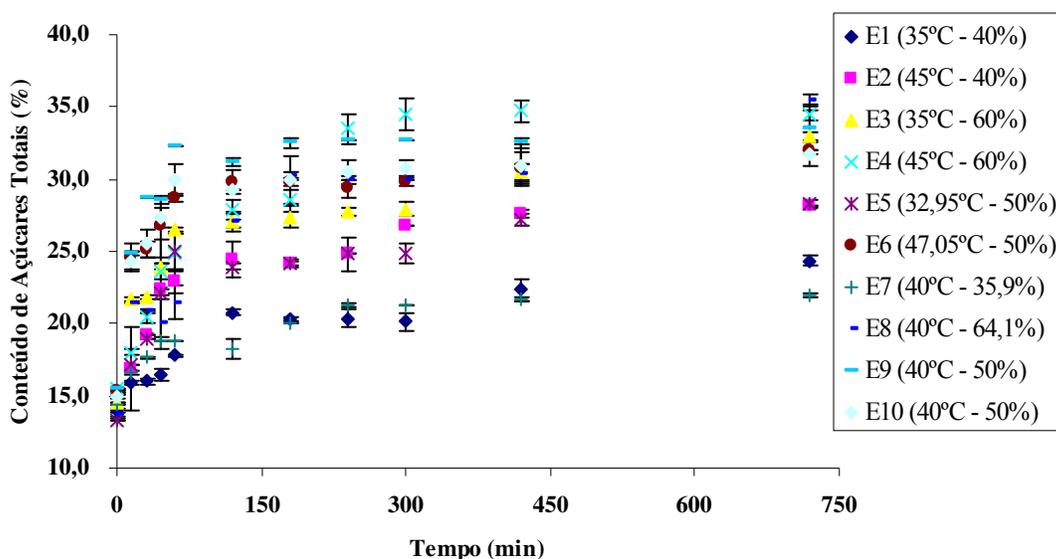


Figura 3.16 – Cinética de desidratação osmótica até equilíbrio do conteúdo de açúcares totais (%) em função do tempo

Como apresentado anteriormente para desidratação osmótica em tempos curtos, também foram graficados os dados experimentais no equilíbrio em função da temperatura, à concentração da solução de sacarose constante e em função da concentração da solução, à temperatura constante. Pode-se observar que as condições finais de equilíbrio, são função das condições do processo, tanto para açúcares totais e redutores, atividade de água e conteúdo de umidade.

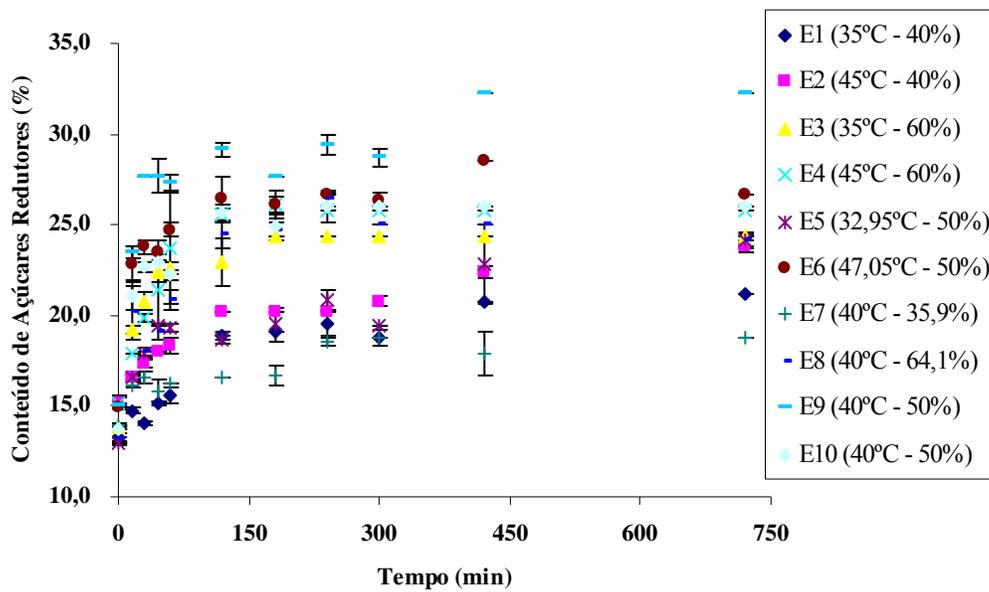


Figura 3.17 – Cinética de desidração osmótica até equilíbrio do conteúdo de açúcares redutores (%) em função do tempo

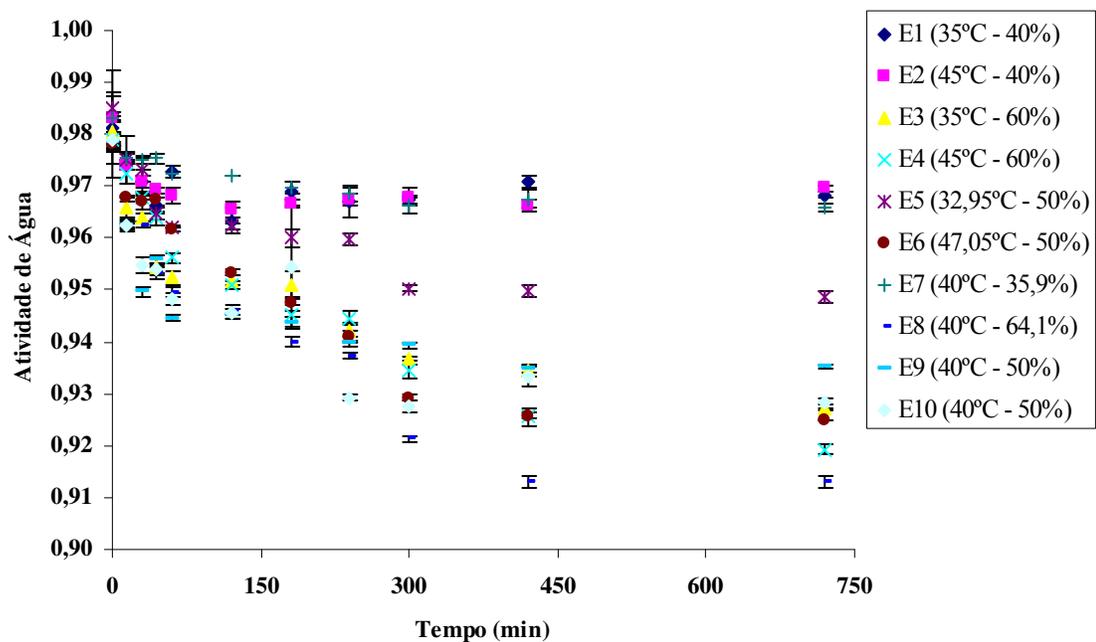


Figura 3.18 – Cinética de desidração osmótica até equilíbrio de atividade de água em função do tempo

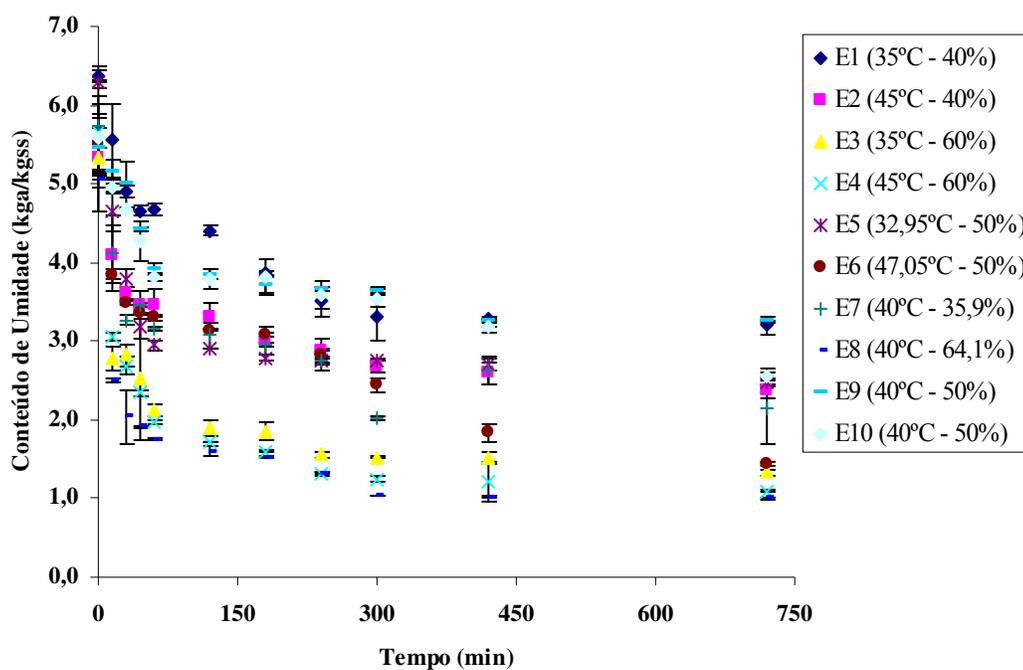


Figura 3.19 – Cinética de desidratação osmótica até equilíbrio do conteúdo de umidade (kga/kgss) em função do tempo

Nas Figuras 3.20 a 3.23, são mostradas as curvas obtidas dos valores das médias, para tempos longos de processo, do conteúdo de açúcares totais e redutores (%), da atividade de água, e do conteúdo de umidade (kga/kgss), para figos desidratados osmoticamente em função do tempo e da temperatura da solução de sacarose, para concentração constante.

Nas Figuras 3.24 a 3.27, são mostradas as curvas obtidas dos valores das médias, para tempos longos de processo, do conteúdo de açúcares totais e redutores (%), da atividade de água, e do conteúdo de umidade (kga/kgss), para figos desidratados osmoticamente em função do tempo e da concentração da solução de sacarose, para temperatura constante.

Analisando a cinética determinada para tempos longos verifica-se, após a primeira hora, uma rápida mudança do conteúdo de açúcares totais e redutores.

Como pode ser verificado nas Figuras 3.20 e 3.21, o conteúdo de açúcares totais e redutores após 120 minutos de processo manteve-se aproximadamente constante para a maioria dos ensaios nas condições estudadas até 300 minutos, após esse tempo verifica-se

novo aumento dos açúcares, embora com menor intensidade do que na primeira fase do processo (até 120 minutos).

Nesta segunda fase da desidratação osmótica, ocorreu um novo aumento do conteúdo de açúcares, após aproximadamente 300 minutos para a concentração de 40%, e 250 minutos para concentração de 60%, sendo a concentração de 50% a que apresentou maior estabilidade, das curvas no equilíbrio, ou seja, não sofreu novo aumento do conteúdo de açúcares. Esse aumento de açúcares em tempos longos deve estar relacionado com as alterações ocorridas com a estrutura da fruta durante o processo de desidratação osmótica. Segundo Rastogi *et al.* (2002), a incorporação de sólidos, assim como a perda de água, dependem das características do material tais como estrutura do tecido vegetal e membrana celular, os quais podem se modificar durante o processamento, ocasionando perda da integridade do material, e causando alterações na permeabilidade e seletividade da membrana celular.

A influência da temperatura foi maior em todas as análises realizadas na desidratação osmótica, para concentração da solução desidratante de 50%. No entanto, as tendências da temperatura não são muito claras também no equilíbrio, podendo ser observadas algumas inversões das curvas.

Ainda que a incorporação de sólidos e a perda de água decresçam a partir de 120 minutos, a atividade de água cai até aproximadamente 450 minutos, especialmente para as concentrações maiores de açúcares, 50 e 60% (Figura 3.22).

Observa-se nas Figuras 3.24 a 3.27, que o efeito da concentração é evidente no equilíbrio.

Os conteúdos de açúcares totais e redutores apresentam comportamento semelhante, ou seja, aumentaram também no equilíbrio quando se aumentou a concentração de sacarose da solução, para todas as temperaturas utilizadas no processo, com exceção apenas para 40°C em que a concentração de 50% apresentou conteúdos maiores de açúcares nos figos, do que a concentração de 64,1% como pode ser visto nas Figuras 3.24 e 3.25, para açúcares totais e redutores respectivamente.

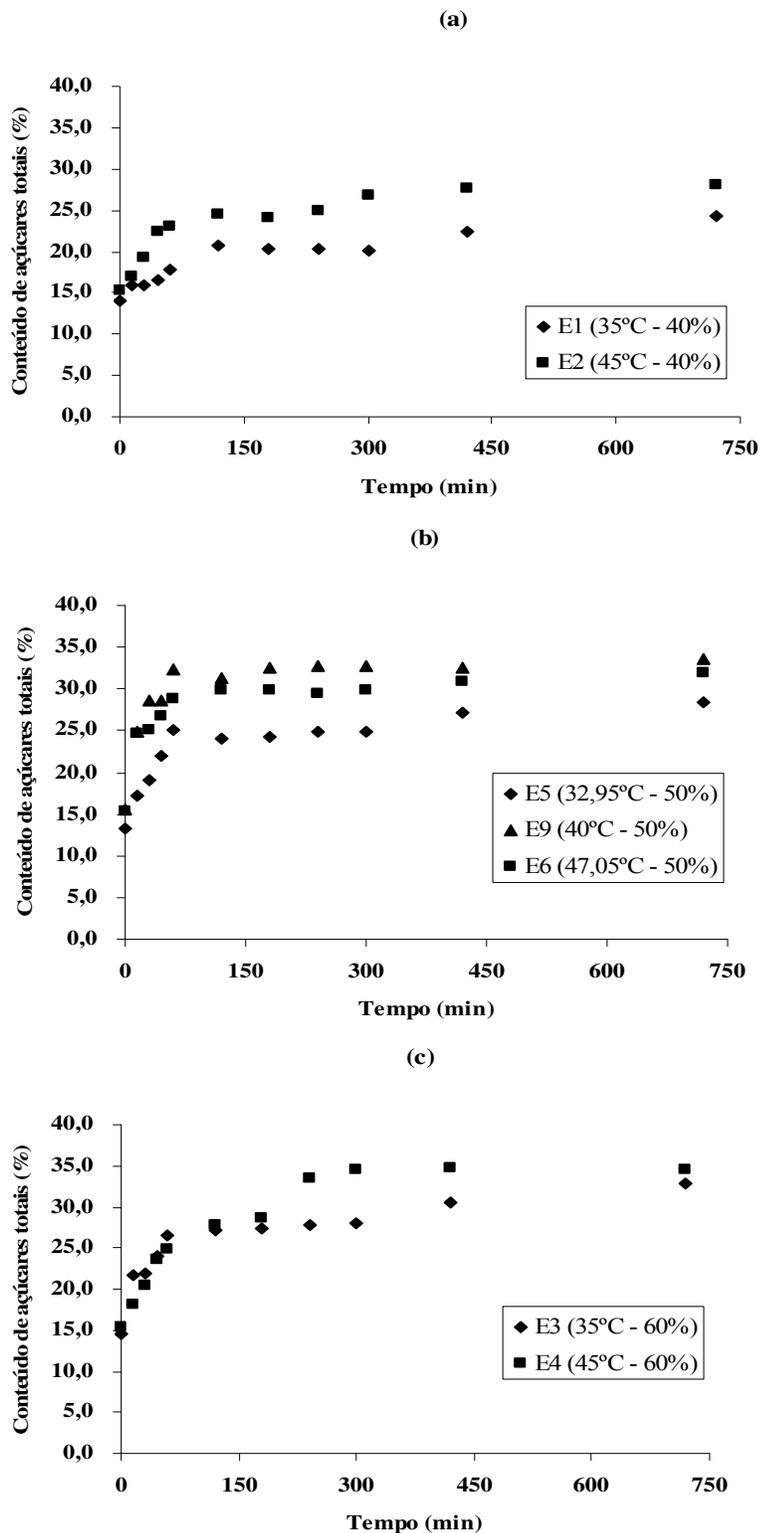


Figura 3.20 – Cinética de desidratação osmótica até atingir equilíbrio de açúcares totais (%) em função do tempo de desidratação osmótica e da temperatura, a diversas concentra es da soluço de sacarose constante, a) 40%, b) 50% e c) 60%

A atividade de água é fortemente dependente da concentração da solução. Na Figura 3.26 pode-se verificar que a atividade de água em baixas concentrações tende a se estabilizar após 300 minutos de processo, no entanto, em concentrações mais altas esse decréscimo se estende até aproximadamente 450 minutos de processo, sendo este comportamento observado para todas as temperaturas estudadas.

O conteúdo de umidade no equilíbrio (Figura 3.27), para a maioria das condições estudadas, apresenta dependência da concentração da solução osmótica, apresentando exceção somente para a temperatura de 40°C, em que a concentração de 35,9% apresenta valores menores que a de 50%. Verifica-se ainda um pequeno decréscimo do conteúdo de água após 450 minutos, especialmente para concentrações altas (50 e 60%).

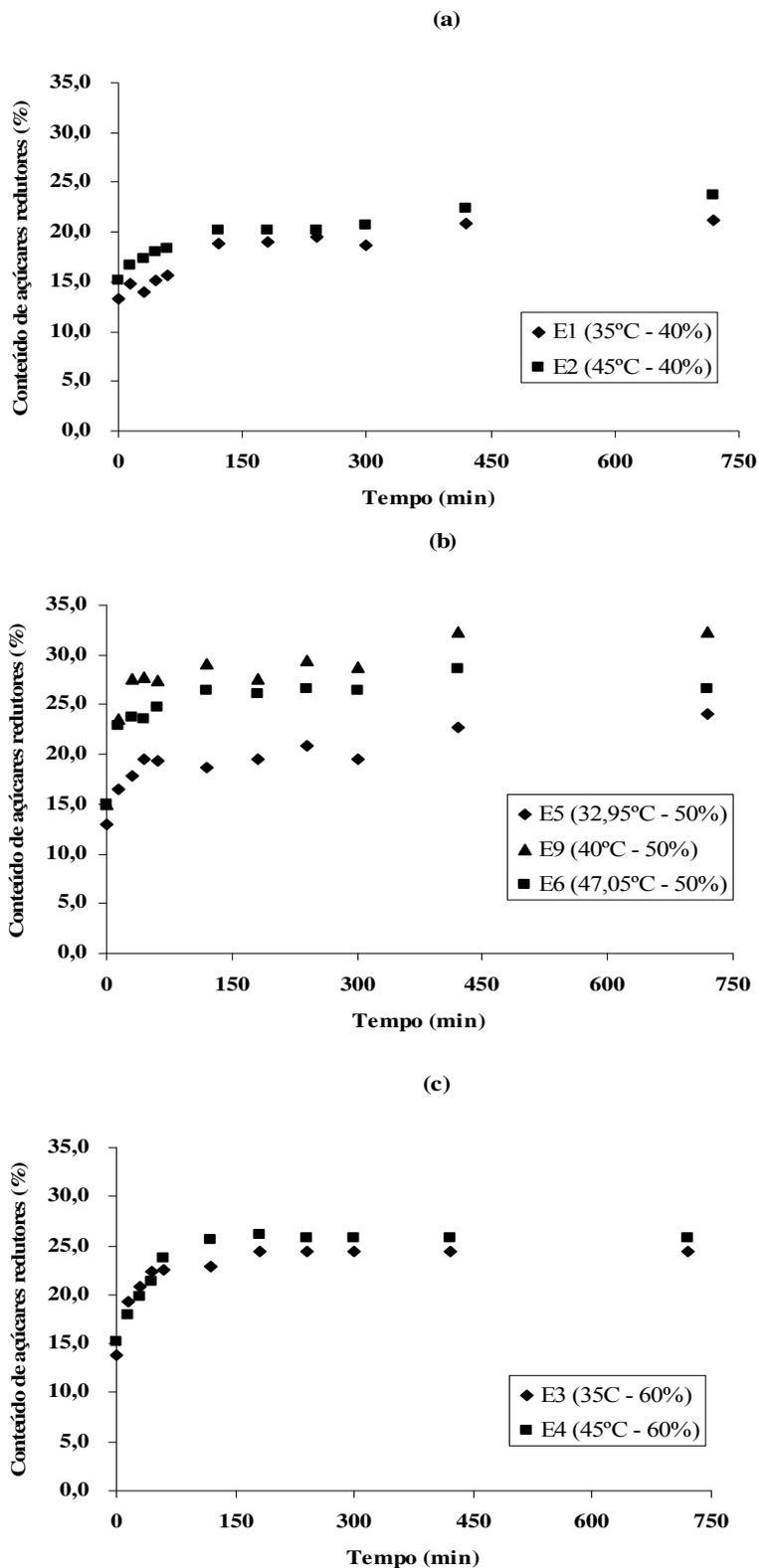


Figura 3.21 – Cinética de desidratação osmótica até atingir equilíbrio de açúcares redutores (%) em função do tempo de desidratação osmótica e da temperatura, a diversas concentrações da solução de sacarose constante, a) 40%, b) 50% e c) 60%

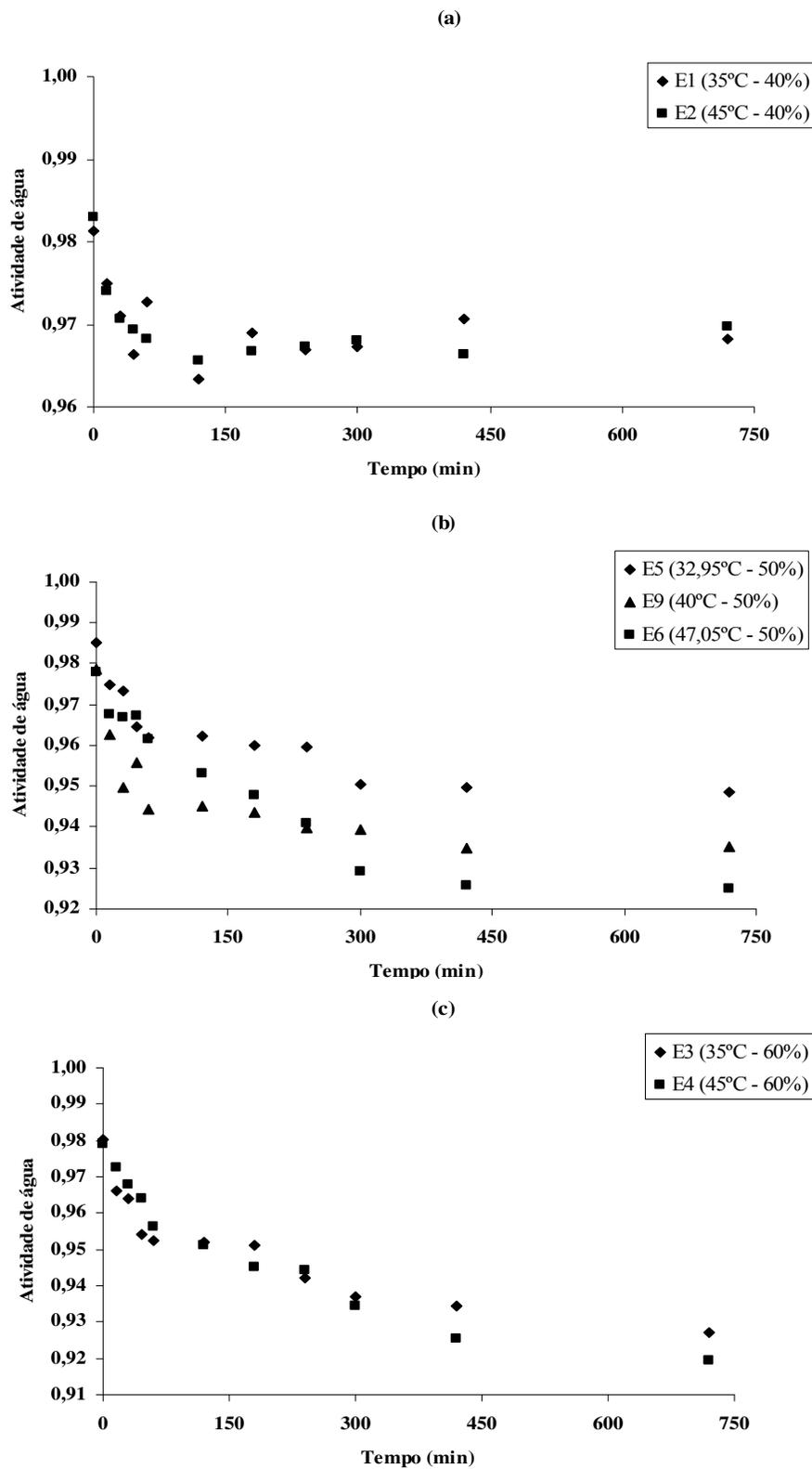


Figura 3.22 – Cinética de desidratação osmótica até atingir equilíbrio de atividade de água em função do tempo de desidratação osmótica e da temperatura, a diversas concentra es da soluço de sacarose constante, a) 40%, b) 50% e c) 60%

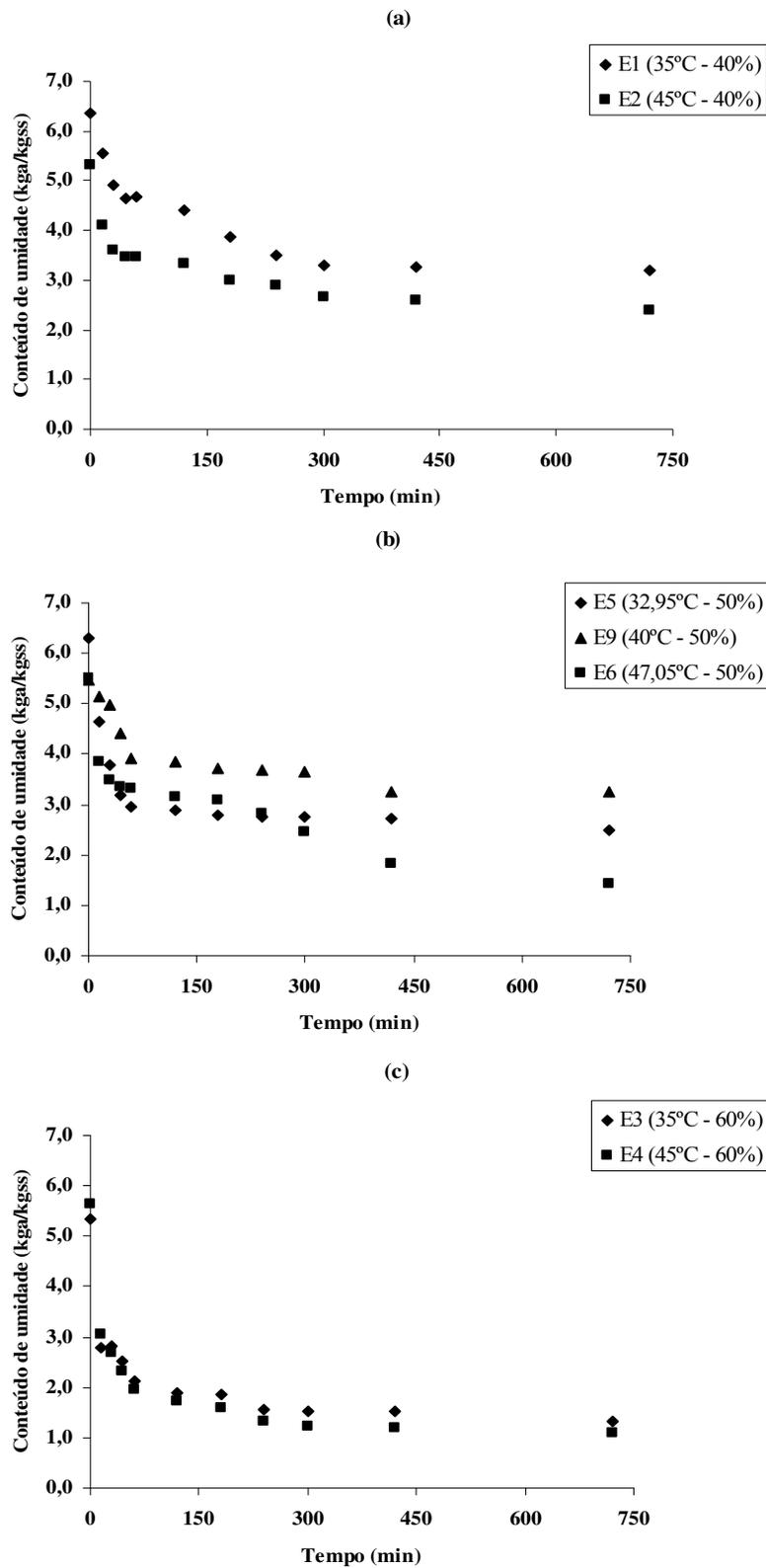


Figura 3.23 – Cinética de desidratação osmótica até atingir equilíbrio de umidade em função do tempo de desidratação osmótica e da temperatura, a diversas concentrações da solução de sacarose constante, a) 40%, b) 50% e c) 60%

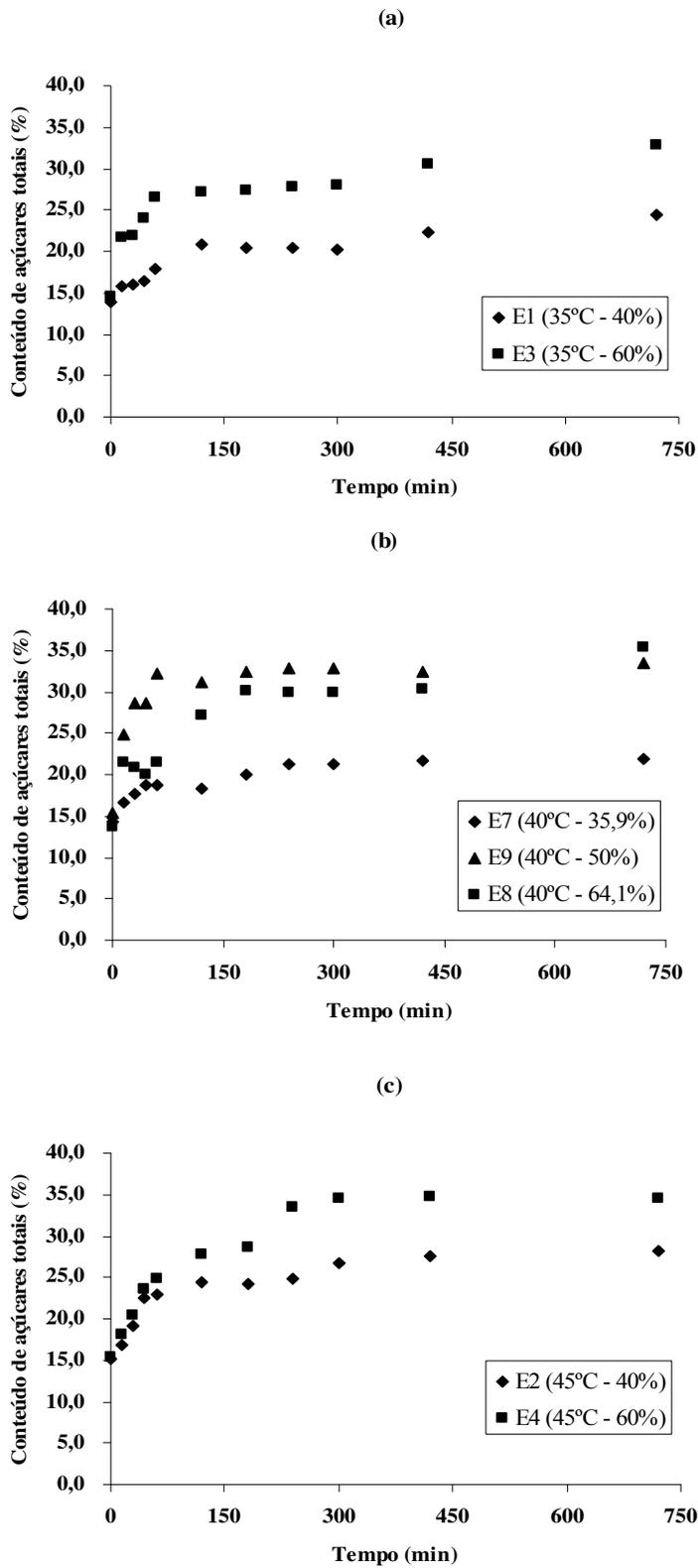


Figura 3.24 – Cinética de desidratação osmótica até atingir equilíbrio do conteúdo de açúcares totais em função do tempo de desidratação osmótica e da concentração da solução de sacarose a temperatura constante, a) 35°C, b) 40°C e c) 45°C

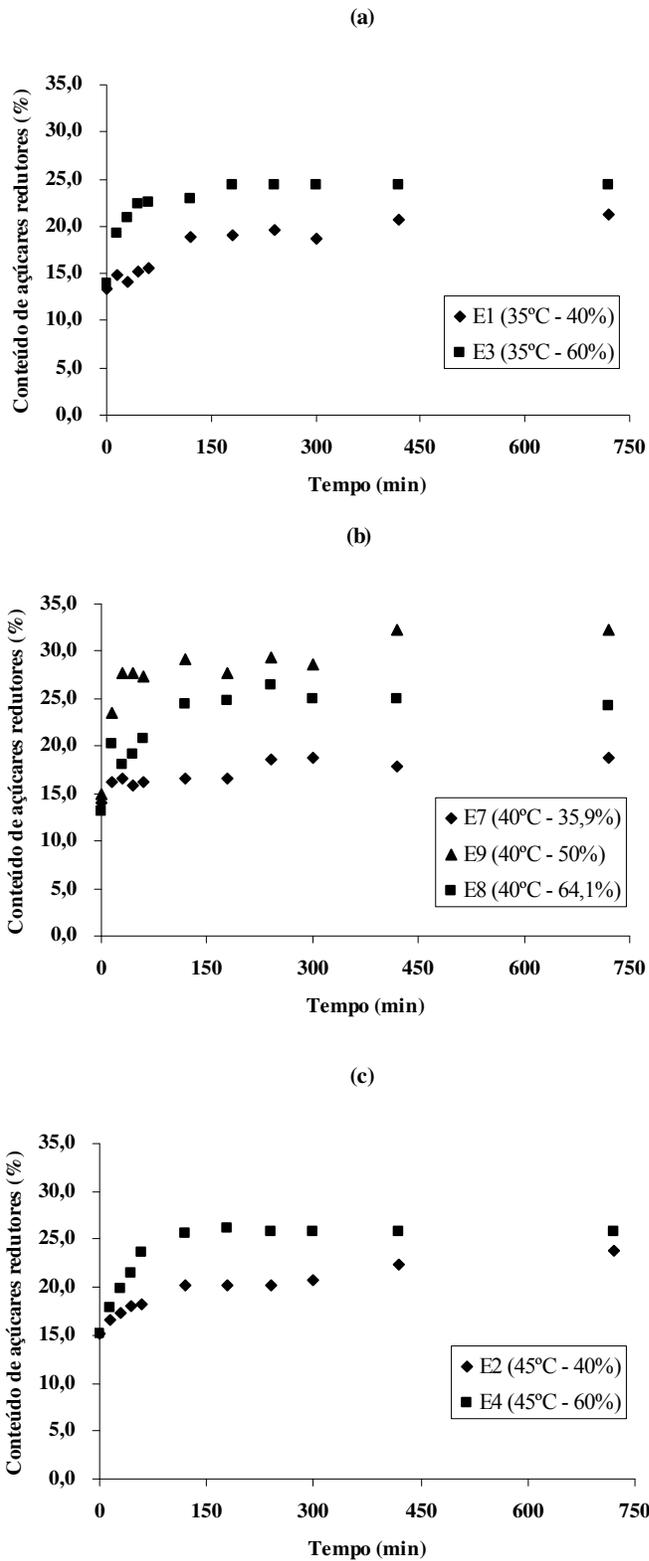


Figura 3.25 – Cinética de desidratação osmótica até atingir equilíbrio do conteúdo de açúcares redutores em função do tempo de desidrataação osmótica e da concentração da solução de sacarose a temperatura constante, a) 35°C, b) 40°C e c) 45°C

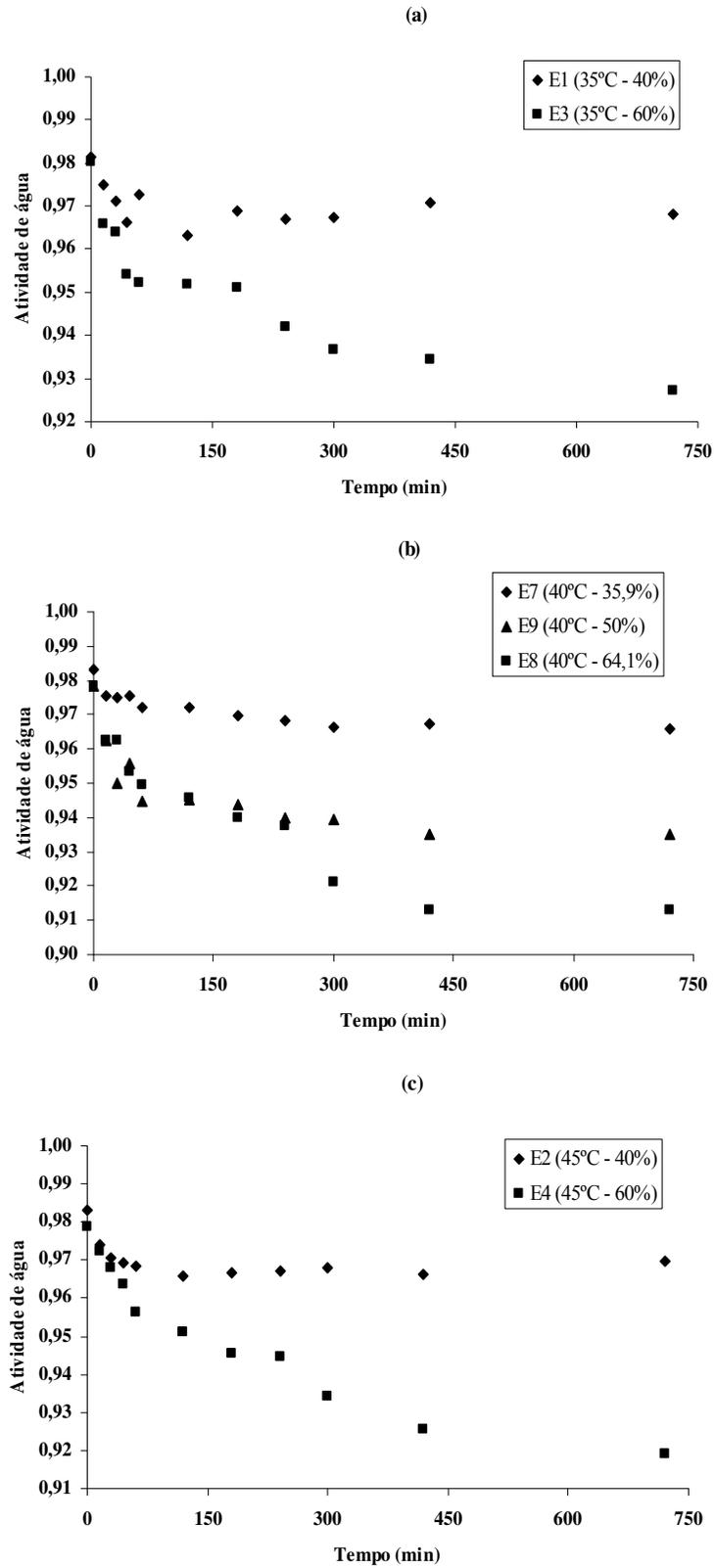


Figura 3.26 – Cinética de desidratação osmótica até atingir equilíbrio da atividade de água em função do tempo de desidratação osmótica e da concentração da solução de sacarose a temperatura constante, a) 35°C, b) 40°C e c) 45°C

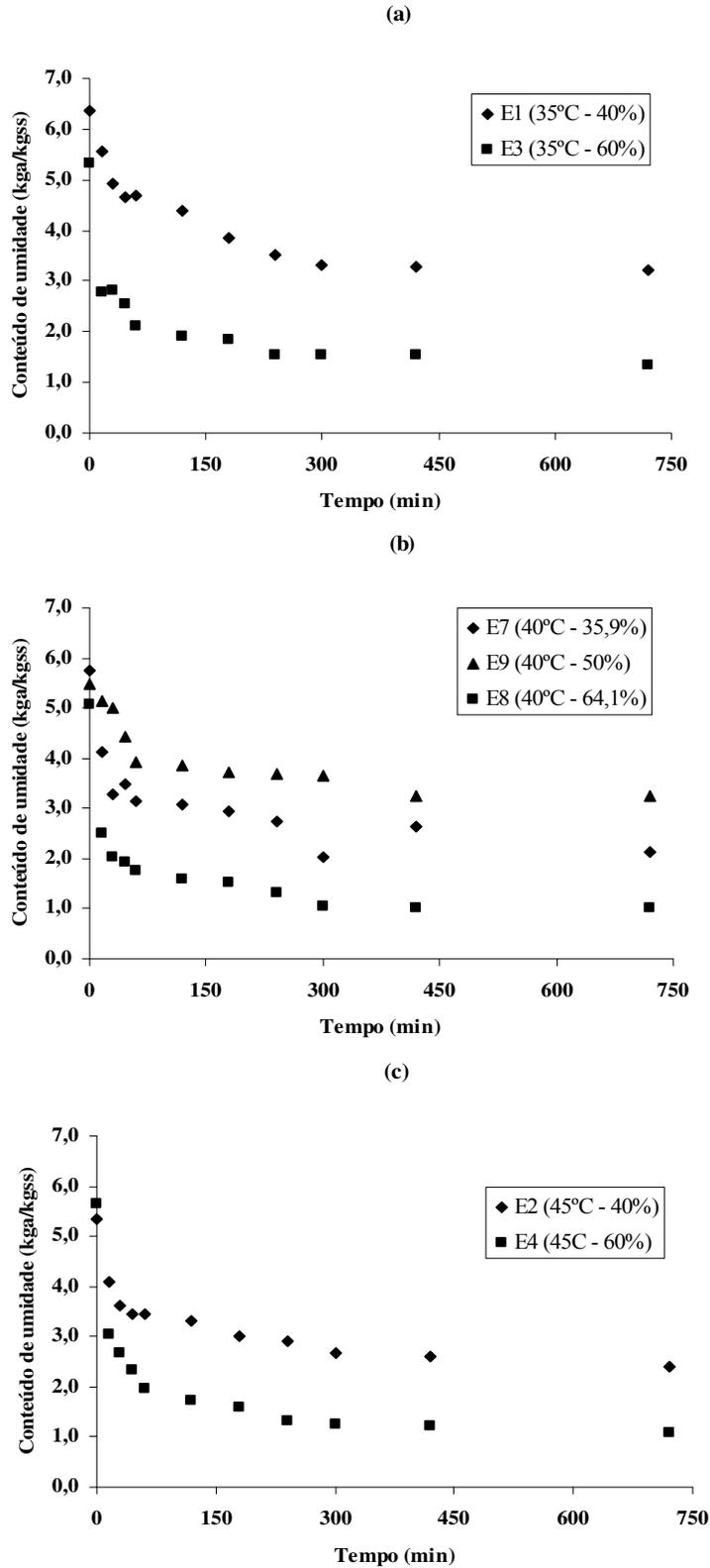


Figura 3.27 – Cinética de desidratação osmótica até atingir equilíbrio do conteúdo de umidade em função do tempo de desidratação osmótica e da concentra o da soluço de sacarose a temperatura constante, a) 35°C, b) 40°C e c) 45°C

### **3.3.5 – Planejamento Experimental**

Foi feita análise estatística dos resultados obtidos do planejamento experimental empregado para tempos curtos (120 minutos) e para tempos longos (720 minutos).

As variáveis independentes estudadas foram a concentração e a temperatura da solução de sacarose, e as respostas determinadas foram conteúdo de açúcares totais (%), atividade de água e conteúdo de umidade (kga/kgss).

Através da análise dos efeitos da temperatura e concentração da solução de sacarose sobre as respostas de interesse pode-se proceder a obtenção de um modelo matemático e de superfícies de respostas para representar a variação dessas variáveis pelo teste F.

Segundo Rodrigues (2005) o teste F é uma ferramenta estatística que auxilia na avaliação do modelo, aplicado para explicar fenômenos ocorridos durante o processo em estudo, em que o valor de F (média quadrática da regressão / média quadrática dos resíduos) é calculado pela análise de variância (ANOVA) e comparado com o valor tabelado correspondente ao nível de confiança aplicado no modelo. Quanto maior o valor de F calculado em relação ao valor de F tabelado, maior é a razão ( $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$ ), e melhor é o ajuste do modelo matemático aos dados experimentais.

A validação dos modelos foi feita analisando-se os valores de  $F_{\text{tabelado}}$  e  $F_{\text{calculado}}$  a 95% de confiança com valor de p menor que 0,05, calculados por análise de variância (ANOVA).

#### **3.3.5.1 – Resultados do Planejamento Experimental Completo para Tempos Curtos**

Os resultados do planejamento fatorial completo para tempos curtos de 120 minutos, estão apresentados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Resultados do planejamento experimental completado 2<sup>2</sup> a 120 minutos

Respostas					
Ensaio	Temperatura (°C)	Concentração (%)	Açúcares totais (%)	Atividade de água	Umidade (kga/kgss)
1	35(-1)	40(-1)	20,80	0,963	4,40
2	45(+1)	40(-1)	24,44	0,966	3,32
3	35(-1)	60(+1)	27,08	0,952	1,90
4	45(+1)	60(+1)	27,85	0,951	1,72
5	32,95(-1,41)	50(0)	23,96	0,962	2,90
6	47,05(+1,41)	50(0)	29,82	0,953	3,14
7	40(0)	35,9(-1,41)	18,23	0,972	3,07
8	40(0)	64,1(+1,41)	27,11	0,946	1,60
9	40(0)	50(0)	31,21	0,945	3,85
10	40(0)	50(0)	29,20	0,946	3,79

\* Os valores entre parêntesis são os valores codificados dos níveis das variáveis independentes; a – água; ss – sólido seco.

### 3.3.5.1.1 – Açúcares Totais

Na Tabela 3.7 estão apresentados os efeitos significativos e os não significativos da concentração e temperatura da solução de sacarose sobre o conteúdo de açúcares totais, durante o processo de desidratação osmótica de figos. Neste caso, somente o efeito da interação não foi significativo.

Tabela 3.7 – Efeito dos fatores calculados para o conteúdo de açúcares totais no planejamento completo 2<sup>2</sup>

Fator	Efeito (Açúcares totais)	Erro Padrão	p
Média	<b>30,21</b>	0,80	2,88x10 <sup>-6</sup>
Linear	Temperatura (°C)	<b>3,17</b>	1,63x10 <sup>-2</sup>
	Concentração (%)	<b>5,56</b>	2,20x10 <sup>-3</sup>
Quadrático	Temperatura (°C)	<b>-3,18</b>	3,90x10 <sup>-2</sup>
	Concentração (%)	<b>-7,40</b>	2,15x10 <sup>-3</sup>
Interação	T X C	-1,44	2,71 x10 <sup>-1</sup>

Valores em negrito representam os efeitos estatisticamente significativos: p<0,05.

Para facilitar a visualização e interpretação, estão apresentados a seguir na Figura 3.28, os efeitos linear e quadrático significativos, da concentração e temperatura da solução de sacarose durante o processo de desidratação osmótica até 120 minutos, sobre o conteúdo de açúcares totais de rodela de figos.

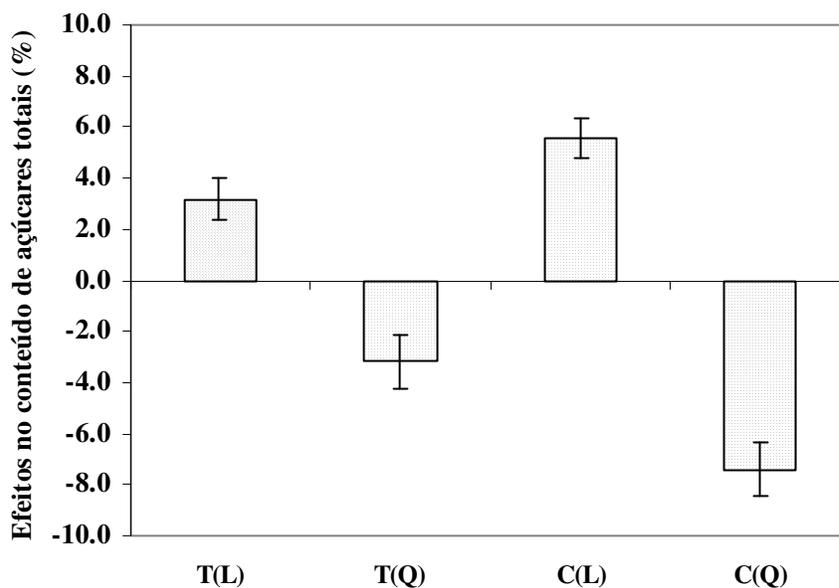


Figura 3.28 – Efeitos dos fatores sobre o conteúdo de açúcares totais para o planejamento completo 2<sup>2</sup>

Pela análise dos efeitos, nota-se que as duas variáveis independentes estudadas apresentaram efeito significativo a um intervalo de confiança de 95% sobre o conteúdo de açúcares totais.

Pode-se observar que os efeitos lineares da temperatura e concentração durante o processo de pré-secagem osmótica são positivos, ou seja, o aumento dessas variáveis ao longo do processo aumenta o conteúdo de açúcares. Contudo, percebe-se que a concentração é fator que tem maior influência e rege o ingresso de açúcares, durante a pré-secagem osmótica de figos nas condições avaliadas neste trabalho.

Os efeitos quadráticos são negativos sobre o ingresso de açúcares, indicando um ponto máximo desta curva. Pode-se observar que esse processo também é influenciado mais intensamente pela variável concentração.

Através dos efeitos significativos observados para o conteúdo de açúcares foi possível estabelecer um modelo estatístico codificado para descrever o comportamento das variáveis estudadas, com base nos coeficientes de regressão na Tabela 3.8, representados pela Equação (3.1). Em seguida foi realizada análise de variância para sua validação.

Tabela 3.8 – Coeficientes de regressão do modelo quadrático para o conteúdo de açúcares totais

Fator		Coeficientes (Açúcares totais)	Erro Padrão	p
Média		30,21	0,84	$3,21 \times 10^{-7}$
Linear	Temperatura (°C)	1,59	0,42	$1,31 \times 10^{-2}$
	Concentração (%)	2,78	0,42	$1,21 \times 10^{-3}$
Quadrático	Temperatura (°C)	-1,59	0,56	$3,58 \times 10^{-2}$
	Concentração (%)	-3,70	0,56	$1,18 \times 10^{-3}$

Modelo Codificado:

$$AT (\%) = 30,21 + 1,59T + 2,78C - 1,59T^2 - 3,70C^2 \quad (3.1)$$

A Tabela 3.9 apresenta a análise de variância (ANOVA) da equação acima para o conteúdo de açúcares totais.

Tabela 3.9 – ANOVA do ajuste do modelo obtido para o conteúdo de açúcares totais

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média Quadrática	F calculado	F tabelado	R <sup>2</sup>
Regressão	144,67	4	36,17	25,38	5,19	0,95
Resíduos	7,12	5	1,42			
Falta de ajuste	5,10	4	1,28			
Erro puro	2,02	1	2,02			
Total	151,80	9				

A análise estatística mostrou que o modelo proposto para o conteúdo de açúcares por 120 minutos é preditivo, porque a análise de variância apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança, coeficiente de correlação igual a 0.95 e relação  $F_{\text{calculado}} / F_{\text{tabelado}}$  igual a 4,89. Assim foi possível obter a superfície de resposta e respectivas curvas de contorno para o conteúdo de açúcares totais em função da temperatura e concentração da solução, durante a pré-secagem osmótica.

A Figura 3.29 representa a variação do conteúdo de açúcares totais de figos submetidos a pré-secagem osmótica por 120min. Verifica-se a ação das variáveis independentes, em que a concentração é a variável mais influente na impregnação de açúcares durante o processo.

Pode-se verificar a existência de uma zona onde a concentração de açúcares totais é máxima, nas faixas de concentrações de 48 a 60% e temperatura de 38 a 47°C. Existem vários antecedentes que mencionam que um aumento excessivo da concentração da solução osmótica decresce a transferência de soluto, como antes mencionado, em função do aumento da viscosidade da solução, dificultando a incorporação de sólidos.

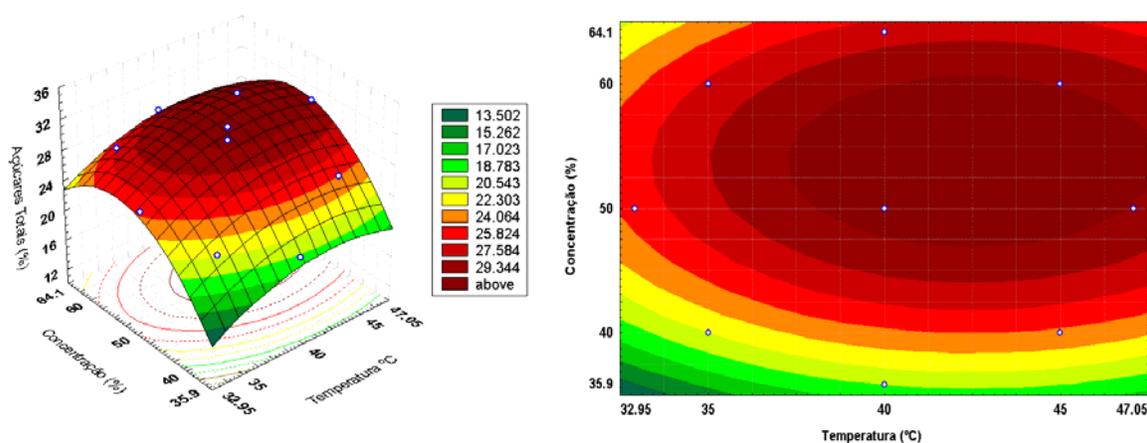


Figura 3.29 – Superfície de resposta e respectivas curvas de contorno para o conteúdo de açúcares totais em função da concentração e temperatura da solução de sacarose durante o processo de desidratação osmótica

### 3.3.5.1.2 – Atividade de Água

Na Tabela 3.10 estão apresentados os efeitos significativos e os não significativos da concentração e temperatura da solução de sacarose sobre a atividade de água durante o processo de desidratação osmótica de figos.

Tabela 3.10 – Efeito dos fatores calculados para a atividade de água no planejamento completo  $2^2$

	Fator	Efeito ( $A_w$ )	Erro Padrão	p
	Média	<b>0,95</b>	5,00x10-04	3,37x10 <sup>-4</sup>
Linear	Temperatura (°C)	0,00	5,00 x10-04	1,17 x10 <sup>-1</sup>
	Concentração (%)	<b>-0,02</b>	5,00x10-04	2,03x10 <sup>-2</sup>
Quadrático	Temperatura (°C)	<b>0,01</b>	6,61x10-04	3,54x10 <sup>-2</sup>
	Concentração (%)	<b>0,01</b>	6,61x10-04	3,15x10 <sup>-2</sup>
Interação	T X C	0,00	7,07 x10-04	2,16 x10 <sup>-1</sup>

Valores em negrito representam os efeitos estatisticamente significativos:  $p < 0,05$ .

As duas variáveis independentes apresentaram efeito significativo sobre a atividade de água a um intervalo de confiança de 95%. Só o efeito quadrático foi significativo para a temperatura e o efeito linear e quadrático para a concentração.

Na Figura 3.30 estão apresentados os efeitos significativos da temperatura e concentração da solução de sacarose sobre a atividade de água, durante o processo de desidratação osmótica de figos por 120 minutos.

Observa-se que os efeitos quadráticos das variáveis temperaturas e concentração se comportam de forma semelhante, de sinal positivo, indicando um ponto de mínimo desta curva.

Observa-se também que o efeito linear se mostrou estatisticamente significativo para a variável concentração, contribuindo para a redução da atividade de água no processo de desidratação osmótica de figos.

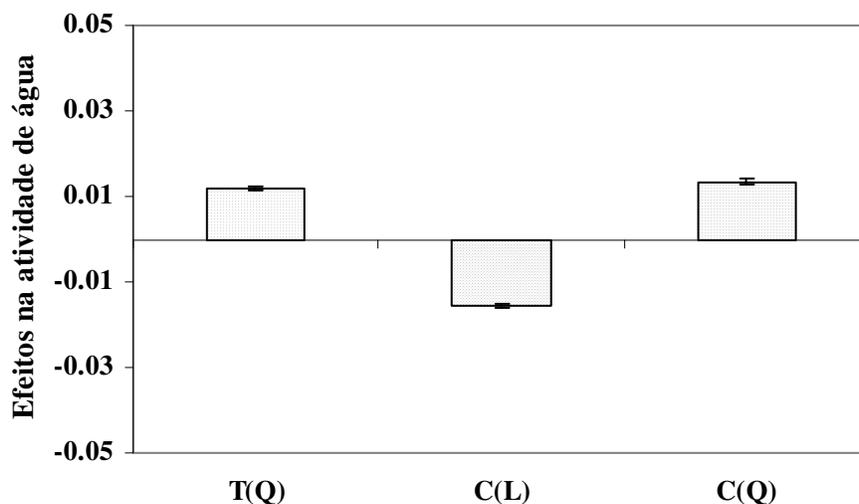


Figura 3.30 – Efeitos dos fatores sobre a atividade de água para o planejamento completo  $2^2$

Estudados os efeitos, foi feita a determinação do modelo estatístico codificado representado pela Equação (3.2), obtida pelos coeficientes de regressão (Tabela 3.11) e realizada análise de variância para sua validação através do teste F.

Tabela 3.11 – Coeficientes de regressão do modelo para atividade de água

		Coeficientes		
Fator		(Atividade de Água)	Erro Padrão	p
	Média	0,95	$5,00 \times 10^{-4}$	$3,37 \times 10^{-4}$
Linear	Concentração (%)	-0,01	$2,50 \times 10^{-4}$	$2,03 \times 10^{-2}$
Quadrático	Temperatura (°C)	0,01	$3,31 \times 10^{-4}$	$3,54 \times 10^{-2}$
	Concentração (%)	0,01	$3,31 \times 10^{-4}$	$3,15 \times 10^{-2}$

Modelo Codificado:

$$A_w = 0,95 - 0,01C + 0,01T^2 + 0,01C^2 \quad (3.2)$$

A Tabela 3.12 apresenta a análise de variância (ANOVA) da equação acima para a atividade de água.

Tabela 3.12 – ANOVA do ajuste do modelo obtido para a atividade de água

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média Quadrática	F calculado	F tabelado	R <sup>2</sup>
Regressão	7,50x10-04	3	2,50x10-04	24,74	4,76	0,93
Resíduos	6,06x10-05	6	1,01x10-05			
Falta de ajuste	6,01x10-05	5	1,20x10-05			
Erro puro	5,00x10-07	1	5,00x10-07			
Total	8,10x10-04	9				

A análise de variância para a atividade de água apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança, coeficiente de correlação igual a 0,93 e relação entre o valor de F calculado e F tabelado igual a 5,20, indicando que o modelo proposto para representar a atividade de água é válido, sendo possível a apresentação da superfície de resposta e respectivas curvas de contorno na Figura 3.31.

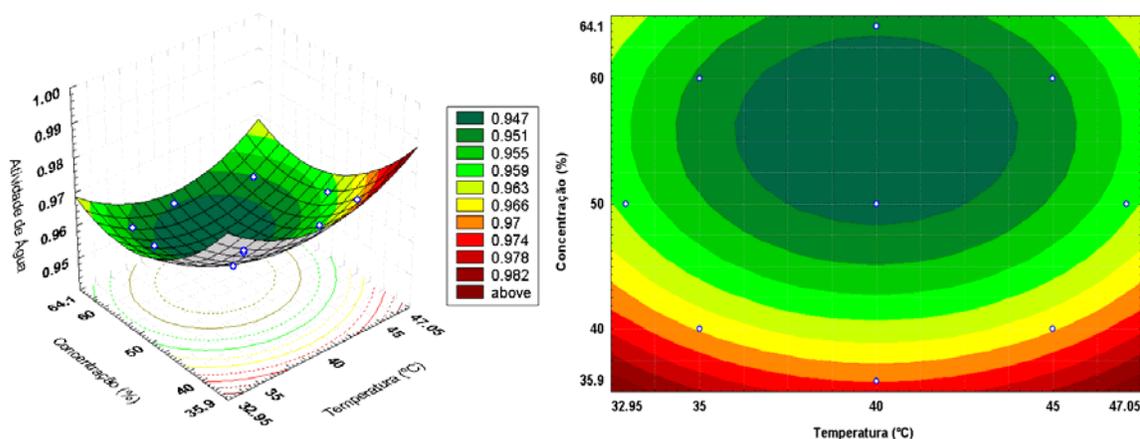


Figura 3.31 – Superfície de resposta e suas respectivas curvas de contorno para a atividade de água, em função da concentração e temperatura da solução de sacarose durante o processo de desidratação osmótica de figos

Pode-se observar que do ponto de vista da atividade de água, existe uma região ótima que é encontrada na faixa de 48 a 63% de concentração de sacarose e 36 a 44°C de temperatura.

### 3.3.5.1.3 – Conteúdo de Umidade

Na Tabela 3.13 estão mostrados os efeitos significativos e os não significativos da concentração e temperatura da solução de sacarose, sobre o conteúdo de umidade durante o processo de desidratação osmótica de figos.

Tabela 3.13 – Efeito dos fatores calculados para o conteúdo de umidade no planejamento completo 2<sup>2</sup>

	Fator	Efeito (Umidade)	Erro Padrão	p
	Média	<b>3,82</b>	0,03	5,00x10 <sup>-3</sup>
Linear	Temperatura (°C)	-0,23	0,03	8,25 x10 <sup>-2</sup>
	Concentração (%)	<b>-1,54</b>	0,03	1,24x10 <sup>-2</sup>
Quadrático	Temperatura (°C)	<b>-0,72</b>	0,04	3,50x10 <sup>-2</sup>
	Concentração (%)	<b>-1,41</b>	0,04	1,80x10 <sup>-2</sup>
Interação	TxC	<b>0,45</b>	0,04	5,98x10 <sup>-2</sup>

Valores em negrito representam os efeitos estatisticamente significativos: p<0,05.

Pela análise dos resultados nota-se que todas as variáveis independentes apresentaram efeito estatisticamente significativo sobre o conteúdo de umidade, ao nível de confiança de 95%.

Os efeitos lineares e quadráticos, bem como a interação, das variáveis independentes sobre o conteúdo de umidade durante a pré-secagem osmótica de figos por 120 minutos, estão representados na Figura 3.32.

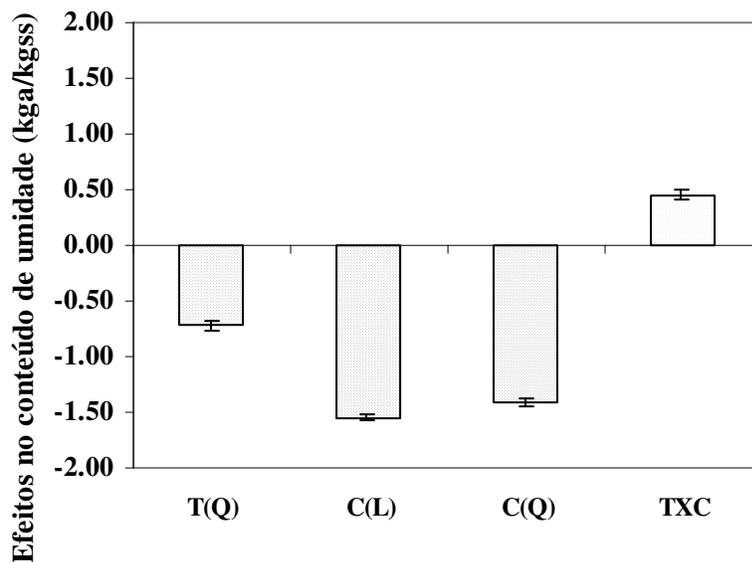


Figura 3.32 - Efeitos dos fatores sobre o conteúdo de umidade para o planejamento completo  $2^2$

A concentração apresenta efeito negativo, indicando que o aumento da mesma promove redução do conteúdo de umidade durante o processo de pré-secagem osmótica.

Após análise dos efeitos foram obtidos os coeficientes de regressão (Tabela 3.14) para determinação do modelo estatístico codificado (Equação 3.3) e em seguida análise de variância para sua validação.

Tabela 3.14 – Coeficientes de regressão do modelo para conteúdo de umidade

Fator		Coeficientes (umidade)	Erro Padrão	p
	Média	3,82	0,03	$5,00 \times 10^{-3}$
Linear	Concentração (%)	-0,77	0,01	$1,24 \times 10^{-2}$
Quadrático	Temperatura (°C)	-0,36	0,02	$3,50 \times 10^{-2}$
	Concentração (%)	-0,70	0,02	$1,80 \times 10^{-2}$
Interação	TxC	0,23	0,02	$5,98 \times 10^{-2}$

Modelo codificado:

$$U = 3,82 - 0,77C - 0,36T^2 - 0,70C^2 + 0,23TxC \quad (3.3)$$

A Tabela 3.15 apresenta a análise de variância (ANOVA) da equação acima para

Tabela 3.15 – ANOVA do ajuste do modelo obtido para o conteúdo de umidade

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média Quadrática	F calculado	F tabelado	R <sup>2</sup>
Regressão	7,25	4	1,81	9,18	5,19	0,88
Resíduos	0,99	5	0,20			
Falta de ajuste	0,99	4	0,25			
Erro puro	0,00	1	0,00			
Total	8,24	9				

Após realizada análise de regressão verificou-se que o coeficiente de correlação foi igual a 0,88 e a relação F calculado / F tabelado é igual a 1,77. Portanto o modelo codificado é válido, sendo possível mostrar a superfície (Figura 3.33) que representa a variação de umidade durante a pré-secagem osmótica de figos por 120 minutos.

Neste caso os mínimos de conteúdo de água são verificados a altas concentrações de solução de sacarose.

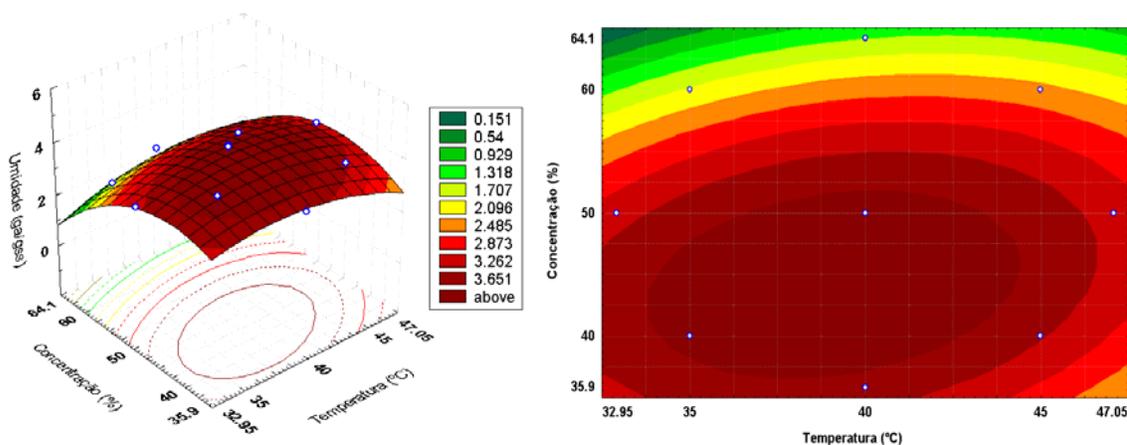


Figura 3.33 – Superfícies de resposta e respectivas curvas de contorno para o conteúdo de umidade em função da concentração e temperatura da solução de sacarose durante o processo de desidratação osmótica

### 3.3.5.1.4 – Otimização do Processo de Desidratação Osmótica para Tempos Curtos

A determinação das condições ótimas para obtenção de figos desidratados osmoticamente foi realizada através da técnica de análise multi-resposta, através do programa computacional Mathematica 5.0, seguindo o algoritmo proposto por Derringer e Suich (1980). Com essa abordagem, cada função resposta é transformada em uma função denominada de “desejabilidade”,  $g_i$  compreendida no intervalo 0 e 1. Essa transformação depende de um julgamento subjetivo da importância do valor correspondente da resposta. A ponderação entre as “desejabilidades” é obtida através de sua média geométrica.

Supondo-se que cada uma das variáveis respostas está relacionada às  $p$  variáveis independentes por uma relação funcional do tipo:

$$Y_i = f_i(X_1, X_2, X_3, \dots, X_p) + \varepsilon_i \quad (3.4)$$

$$i = 1, 2, \dots, k$$

Em que,  $f_i$  representa a relação funcional entre  $Y_i$  e  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_p$ , a menos do termo  $\varepsilon_{ij}$ . Geralmente assume-se que a esperança do erro aleatório é igual a zero ( $E(\varepsilon_{ij}=0)$ ), para cada  $i$ . Assim as respostas esperadas,  $\eta_i$ , podem ser relacionadas às  $p$  variáveis independentes por:

$$Y_i = f_i(X_1, X_2, X_3, \dots, X_p) \quad (3.5)$$

$$\text{Com } i = 1, 2, \dots, k$$

Geralmente a função  $f_i$  é desconhecida. O procedimento normalmente empregado é obter uma estimativa dessa função por técnicas de planejamento experimental e análise de regressão.

A função “desejabilidade” envolve a transformação de cada variável resposta ( $Y_i$ ) a uma variável  $g_i$  que varia entre 0 e 1. As funções  $g_i$  individuais são então combinadas usando a média geométrica.

$$G = (g_1, g_2, \dots, g_k)^{1/k} \quad (3.6)$$

Em que:

$$g_i = \frac{Y_i - Y_{\min}}{Y_{\max} - Y_{\min}} \quad (3.7)$$

Em que:  $Y_{\max}$  e  $Y_{\min}$ , são valores máximos e mínimos medidos experimentalmente.

Esse valor único de G fornece a desejabilidade global das respostas combinadas. E também está compreendido no intervalo (0,1) e aumentarão à medida que o balanceamento entre as respostas se torne otimizadas. A função G torna-se nula se qualquer  $g_i$  for igual a zero, ou seja, se qualquer resposta for inaceitável.

Em resumo, a função “desejabilidade” condensa uma otimização de várias respostas em um problema com uma única função resposta (G), que pode ser maximizada ou minimizada com técnicas de análise univariada.

Neste trabalho a função G de desejabilidade foi formulada a partir das respostas: conteúdo de açúcares totais (AT), atividade de água ( $A_w$ ) e conteúdo de umidade (X), equações 3.1, 3.2 e 3.3, respectivamente. Para isso primeiro a função  $g_i$  ( $i=1, 2, e 3$ ) foi construída a partir dessas equações considerando os valores mínimos e máximos que permitam que  $g_i$  varie no intervalo de 0 e 1. Para o conteúdo de açúcares, deseja-se que  $g_i$  aumente proporcionalmente a  $Y_i$ . No entanto, para a atividade de água e conteúdo de umidade, deseja-se que  $g_i$  aumente com o decréscimo de  $Y_i$ , ou seja,  $g_i$  deve ser máximo quando a atividade de água e o conteúdo de umidade forem mínimos. Neste caso, a função  $g_i$  (equação 3.8) será redefinida como:

$$g_i = \frac{Y_{\max} - Y_i}{Y_{\max} - Y_{\min}} \quad (3.8)$$

**Para figos desidratados osmoticamente tem-se:**

$$\begin{array}{l}
 \text{Açúcares} \left\{ \begin{array}{l} 1 (Y_{\max} = 32 \%) \\ \frac{AT - 13}{32 - 13} \\ 0 (Y_{\min} = 13\%) \end{array} \right.
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{l}
 \text{Atividade} \\ \text{de água} \left\{ \begin{array}{l} 1 (Y_{\min} = 0,95) \\ \frac{1 - A_w}{1 - 0,95} \\ 0 (Y_{\max} = 1) \end{array} \right.
 \end{array}$$

$$\text{Umidade} \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ (Ymin = 1,5)} \\ \frac{5 - X}{5 - 1,5} \\ 0 \text{ (Ymax = 5)} \end{array} \right.$$

A partir desses valores foi obtida a função desejabilidade, em que a escolha dos coeficientes considerados baseou-se no critério de se obter parâmetros de concentração e temperatura da solução de desidratação osmótica, que permitam obter figos desidratados com maior concentração de açúcares, menor valor de atividade de água e do conteúdo de umidade.

A partir da equação de desejabilidade foi feita a determinação do ponto de máximo dessa função G, realizada com o auxílio do software Mathematica 5.0, que levou à determinação de uma região de valor máximo para as condições ótimas de acordo com os modelos ajustados.

De acordo com a análise de multi-resposta, para obtenção de figos desidratados com maior conteúdo de açúcares e menor valor de atividade de água e de conteúdo de umidade, atribuindo os pesos (coeficientes) para o conteúdo de açúcares (3,3,3,3,3), para a atividade de água (3,6,9,6,9) e para o conteúdo de umidade (3,6,9,9,6), foram encontradas as seguintes condições: temperatura variando de 38,8 a 40,2°C e de 62,7 a 64,1% p/p da concentração de sacarose na solução desidratante.

Atribuindo maior peso para o conteúdo de umidade (coeficiente 6) e principalmente para a atividade de água (coeficiente 9), foi escolhida a função de desejabilidade (equação 3.9), e as condições ótimas foram na temperatura de 39,7°C e 63,1% p/p de concentração de sacarose.

A Figura 3.34 mostra a superfície de resposta obtida pela multiplicação entre conteúdo de açúcares, atividade de água e conteúdo de umidade ( $AT \times Aw \times X = G$ ) em função da temperatura e concentração.

$$G = \left( \sqrt[3]{ \left( \frac{17.21 + 1.59 * x_1 - 1.59 * x_1^2 + 2.78 * x_2 - 3.70 * x_2^2}{19} \right)^3 * \right. \\ \left. \sqrt[3]{ \left( \frac{0.05 + 0.01 * x_2 - 0.01 * x_1^2 - 0.01 * x_2^2}{0.05} \right)^3 * \right. \\ \left. \sqrt[3]{ \left( \frac{1.18 + 0.77 * x_2 + 0.36 * x_1^2 - 0.23 * x_1 * x_2 + 0.70 * x_2^2}{3.5} \right)^3 } \right); \quad (3.9)$$

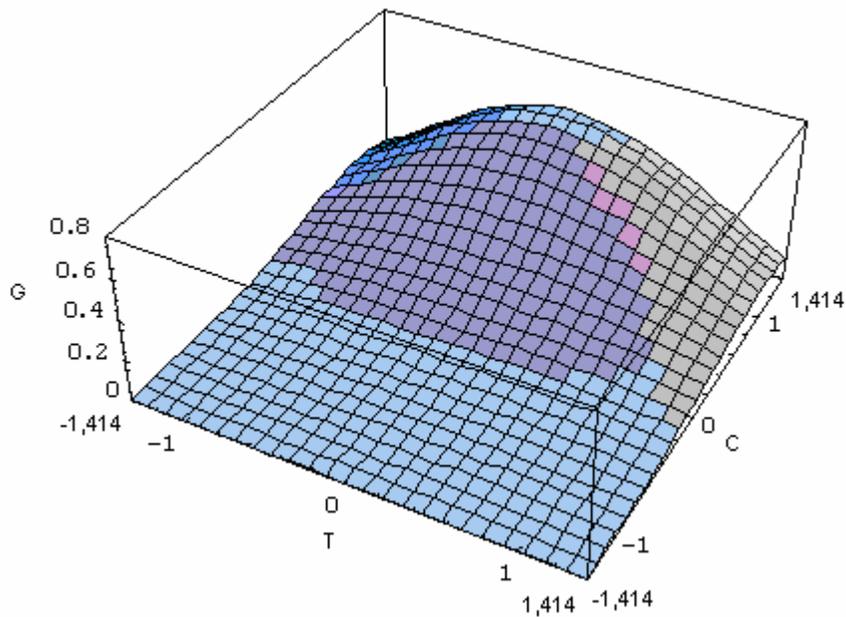


Figura 3.34 - Superfície de resposta para a função G (Aç x Aw x U) de figos desidratados osmoticamente em solução de sacarose

Também foi possível minimizar a atividade de água e o conteúdo de umidade com a minimização do conteúdo de açúcares.

Neste caso, para o conteúdo de açúcares, a atividade de água e conteúdo de umidade, deseja-se que **gi** aumente com o decréscimo de  $Y_i$ , ou seja, **gi** deve ser máximo quando o conteúdo de açúcares, a atividade de água e o conteúdo de umidade forem mínimos. Neste caso, a função **gi** (equação 3.8) será utilizada para todas as variáveis:

**Para figos desidratados osmoticamente com menor conteúdo de açúcares tem-se:**

$$\begin{array}{l}
 \text{Açúcares} \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ (Ymin = 13 \%)} \\ \frac{32-AT}{32-13} \\ 0 \text{ (Ymax = 32\%)} \end{array} \right.
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{l}
 \text{Atividade de água} \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ (Ymin = 0,95)} \\ \frac{1-A_w}{1-0,95} \\ 0 \text{ (Ymax = 1)} \end{array} \right.
 \end{array}$$
  

$$\begin{array}{l}
 \text{Umidade} \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ (Ymin = 1,5)} \\ \frac{5-X}{5-1,5} \\ 0 \text{ (Ymax = 5)} \end{array} \right.
 \end{array}$$

De acordo com a análise de multi-resposta, para obtenção de figos desidratados com menor conteúdo de açúcares e menor valor de atividade de água e de conteúdo de umidade, atribuindo os pesos para conteúdo de açúcares (3,9,6,9); para a atividade de água (6,6,6,6) e para o conteúdo de umidade (3,3,6,6), foram encontradas as seguintes condições: temperatura variando de 33,04 a 36,4°C e 64,1% de concentração de sacarose na solução desidratante.

Atribuindo pesos iguais para o conteúdo de açúcares e umidade (coeficiente 4) e maior peso para a atividade de água (coeficiente 6), foi escolhida a função desejabilidade (equação 3.10), e as condições ótimas para figos desidratados foram temperatura de 35,3°C e 64,1% p/p de concentração de sacarose.

$$G = \left[ \sqrt[3]{\left( \frac{1.79 - 1.59 x_1 + 1.59 x_1^2 - 2.78 x_2 + 3.70 x_2^2}{19} \right)^4} * \sqrt[3]{\left( \frac{0.05 + 0.01 x_2 - 0.01 x_1^2 - 0.01 x_2^2}{0.05} \right)^6} * \sqrt[3]{\left( \frac{1.18 + 0.77 x_2 + 0.36 x_1^2 - 0.23 x_1 x_2 + 0.70 x_2^2}{3.5} \right)^4} \right]; \quad (3.10)$$

A Figura 3.35 mostra a superfície de resposta obtida pela multiplicação entre conteúdo de açúcares, atividade de água e conteúdo de umidade (AT x Aw x X = G) em função da temperatura e concentração do processo para figos com menor conteúdo de açúcares, desidratados em solução de sacarose.

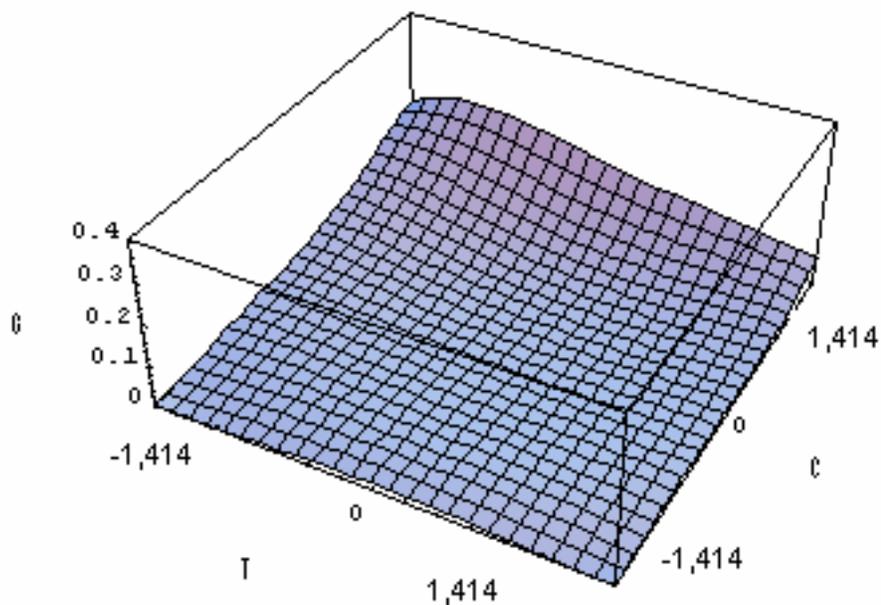


Figura 3.35 - Superfície de resposta para a função G (Aç x Aw x U) de figos desidratados osmoticamente em solução de sacarose

A partir desses resultados, foram calculados os valores do conteúdo de açúcares totais para a temperatura de 39,7°C e concentração de sacarose de 63,1% p/p, para obtenção de figos com maior conteúdo de açúcares que foi igual a 27%. Calculou-se também o valor do conteúdo de açúcares totais para a temperatura de 35,3°C e concentração de sacarose de 64,1% p/p, para obtenção de figos com menor conteúdo de açúcares que foi igual a 23%, o que representa uma redução aproximada de 15% do conteúdo de açúcares em relação à condição anterior.

### 3.3.5.2 – Resultados do Planejamento Experimental para Longos Tempos de Desidratação Osmótica

Os resultados do planejamento fatorial completo para longos tempos de processo, estão apresentados na Tabela 3.16.

As variáveis independentes estudadas foram concentração e temperatura da solução de sacarose, e as respostas foram conteúdo de açúcares totais (%), atividade de água e conteúdo de umidade (kga/kgss), as quais foram medidas para um tempo de 720 minutos.

Tabela 3.16 – Resultados do planejamento experimental completado 2<sup>2</sup> para equilíbrio

Respostas					
Ensaio	Temperatura (°C)	Concentração (%)	Açúcares totais (%)	Atividade de água	Umidade (kga/kgss)
1	35(-1)	40(-1)	24,34	0,968	3,20
2	45(+1)	40(-1)	28,13	0,970	2,39
3	35(-1)	60(+1)	32,92	0,927	1,33
4	45(+1)	60(+1)	34,45	0,919	1,09
5	32,95(-1,41)	50(0)	28,32	0,949	2,49
6	47,05(+1,41)	50(0)	32,00	0,925	1,44
7	40(0)	35,9(-1,41)	21,95	0,966	2,14
8	40(0)	64,1(+1,41)	35,44	0,913	1,00
9	40(0)	50(0)	33,50	0,935	3,25
10	40(0)	50(0)	31,80	0,928	2,54

\* Os valores entre parêntesis são os valores codificados dos níveis das variáveis independentes; a – água; ss – sólido seco.

### 3.3.5.2.1 – Açúcares Totais

Na Tabela 3.17 estão apresentados os efeitos significativos e os não significativos da concentração e temperatura da solução de sacarose sobre o conteúdo de açúcares totais de equilíbrio, no processo de desidratação osmótica de figos.

A temperatura e concentração apresentaram efeitos lineares significativos a 95% de confiança. Só a concentração teve efeito quadrático significativo.

Tabela 3.17 – Efeito dos fatores calculados para o conteúdo de açúcares totais no planejamento completo  $2^2$

Fator		Efeito (Açúcares totais)	Erro Padrão	p
	Média	<b>32,65</b>	0,72	$1,45 \times 10^{-6}$
Linear	Temperatura (°C)	<b>2,63</b>	0,72	$2,21 \times 10^{-2}$
	Concentração (%)	<b>8,49</b>	0,72	$3,02 \times 10^{-4}$
Quadrático	Temperatura (°C)	-2,22	0,96	$8,10 \times 10^{-2}$
	Concentração (%)	<b>-3,69</b>	0,96	$1,83 \times 10^{-2}$
Interação	T X C	-1,13	1,02	$3,32 \times 10^{-1}$

Valores em negrito representam os efeitos estatisticamente significativos:  $p < 0,05$ .

Na Figura 3.36 estão apresentados os efeitos da concentração e temperatura da solução de sacarose sobre o conteúdo de açúcares totais, no equilíbrio do processo de pré-secagem osmótica de figos.

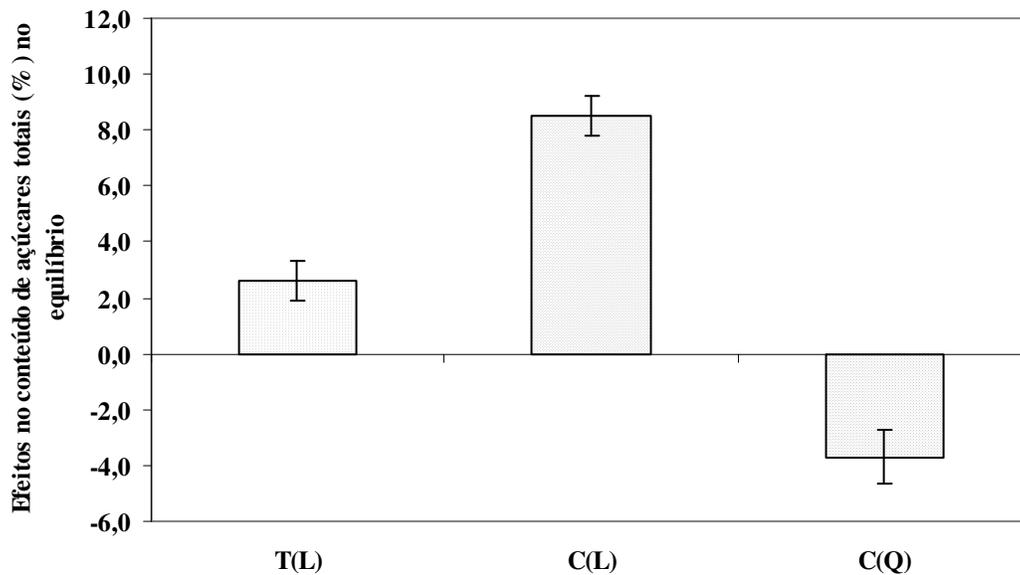


Figura 3.36 – Efeitos dos fatores sobre o equilíbrio do conteúdo de açúcares totais para o planejamento completo  $2^2$

Verifica-se que a concentração final de açúcares na fruta é regida pela concentração da solução desidratante.

Embora possa se verificar a influência do efeito linear da variável temperatura em tempos longos, a influência não é tão significativa nesta fase do processo comparada com a primeira fase do processo (120 minutos) do processo, já que se estabeleceu o equilíbrio.

Tendo sido realizada análise dos efeitos, fez-se a determinação dos coeficientes de regressão (Tabela 3.18) para obtenção do modelo estatístico codificado (Equação 3.11), e análise de variância para sua validação.

A Tabela 3.19 apresenta a análise de variância (ANOVA) do modelo codificado para o conteúdo de açúcares totais.

Pela análise de variância verificou-se que o modelo proposto é preditivo, porque a regressão é significativa, o coeficiente de correlação igual a 0,94 e a relação F calculado / F tabelado é igual a 6,37, tornando possível apresentar superfície de resposta, a qual está representada na Figura 3.37.

Tabela 3.18 – Coeficientes de regressão do modelo quadrático para o conteúdo de açúcares totais

Fator		Coeficientes (Açúcares totais)	Erro Padrão	p
	Média	31,38	0,63	4,41x10 <sup>-9</sup>
Linear	Temperatura (°C)	1,32	0,48	3,41x10 <sup>-2</sup>
	Concentração (%)	4,25	0,48	1,18x10 <sup>-4</sup>
Quadrático	Concentração (%)	-1,37	0,58	5,50x10 <sup>-2</sup>

Modelo Codificado:

$$AT = 31,38 + 1,32T + 4,25C - 1,37C^2 \quad (3.11)$$

Tabela 3.19 – ANOVA do ajuste do modelo obtido para o conteúdo de açúcares totais

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média Quadrática	F calculado	F tabelado	R <sup>2</sup>
Regressão	168,63	3	56,21	30,32	4,76	0,94
Resíduos	11,12	6	1,85			
Falta de ajuste	9,68	5	1,94			
Erro puro	1,45	1	1,45			
Total	179,76	9				

Verifica-se que a concentração em tempos longos, aumenta levemente com a temperatura e fortemente com a concentração de sacarose da solução.

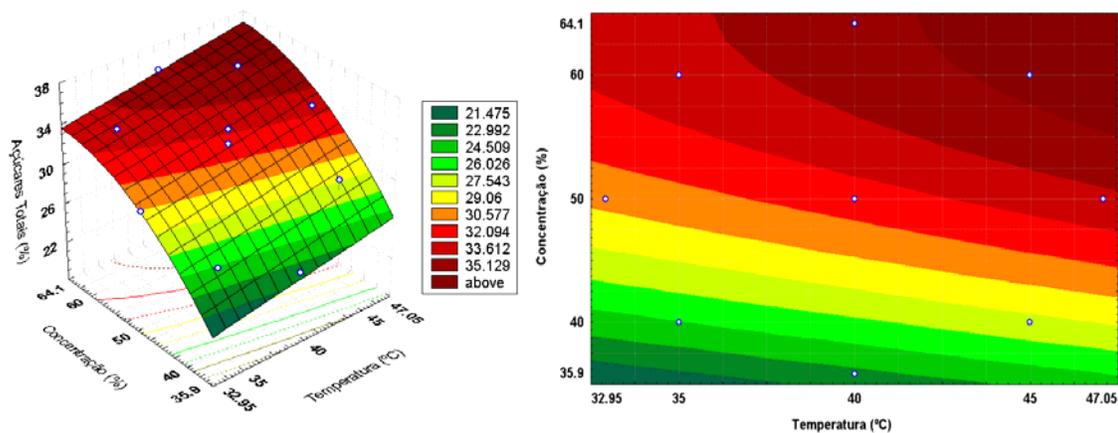


Figura 3.37 – Superfície de resposta e respectivas curvas de contorno para o equilíbrio do conteúdo de açúcares totais em função da concentração e temperatura da solução de sacarose durante o processo desidratação osmótica

### 3.3.5.2.2 – Atividade de Água

Na Tabela 3.20 estão apresentados os efeitos significativos e os não significativos da concentração e temperatura da solução de sacarose sobre a atividade de água durante o processo de desidratação osmótica de figos.

Tabela 3.20 – Efeito dos fatores calculados para a atividade de água no planejamento completo  $2^2$

Fator		Efeito (Atividade de Água)	Erro Padrão	p
Média		<b>0,93</b>	$3,50 \times 10^{-03}$	$2,39 \times 10^{-3}$
Linear	Temperatura (°C)	-0,01	$3,50 \times 10^{-03}$	$2,15 \times 10^{-1}$
	Concentração (%)	<b>-0,04</b>	$3,50 \times 10^{-03}$	$5,33 \times 10^{-2}$
Quadrático	Temperatura (°C)	0,01	$4,63 \times 10^{-03}$	$2,92 \times 10^{-1}$
	Concentração (%)	0,01	$4,63 \times 10^{-03}$	$2,37 \times 10^{-1}$
Interação	T X C	0,00	$4,95 \times 10^{-03}$	$4,97 \times 10^{-1}$

Valores em negrito representam os efeitos estatisticamente significativos:  $p < 0,05$ .

Na Figura 3.38 estão apresentados os efeitos dos fatores sobre a atividade de água em tempos longos de processo de desidratação osmótica de figos.

Pela análise dos efeitos, verifica-se que somente a variável concentração, apresentou efeito significativo ao nível de 95% sobre a atividade de água em tempos longos do processo de pré-secagem osmótica. Assim nesta fase, a atividade de água só depende da concentração de sacarose, no intervalo de temperatura estudado.

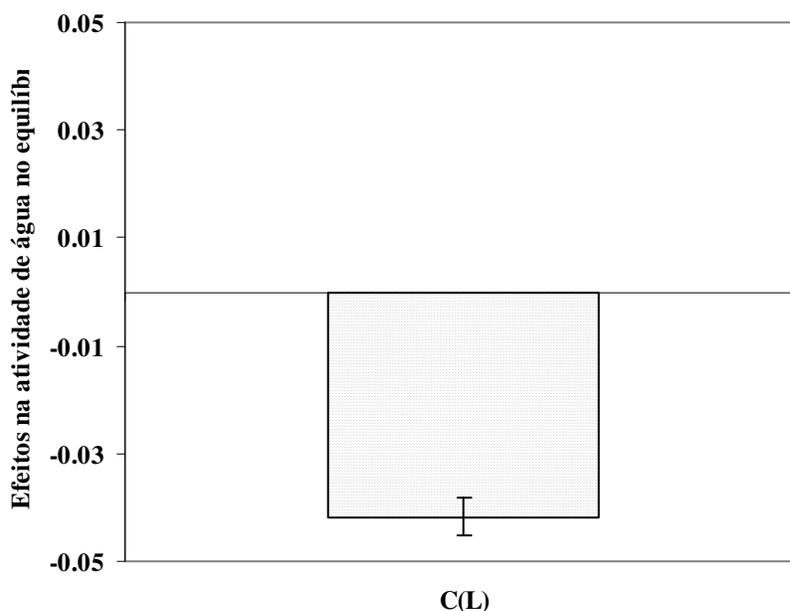


Figura 3.38 – Efeitos dos fatores sobre o equilíbrio da atividade de água para o planejamento completo  $2^2$

O efeito da concentração no equilíbrio da pré-secagem osmótica foi negativo, indicando que o aumento na concentração da solução reduz a atividade de água do figo processado.

Através dos efeitos significativos para a atividade de água, determinou-se os coeficientes de regressão, para estabelecer o modelo estatístico codificado (Equação 3.12) que possa descrever o comportamento da atividade de água nas condições de estudo, em seguida realizou-se a análise de variância para sua validação.

Tabela 3.21 – Coeficientes de regressão do modelo para atividade de água

Fator	Coeficientes			
	(Atividade de Água)	de	Erro Padrão	p
	Média	0,94	$1,57 \times 10^{-03}$	$1,06 \times 10^{-3}$
Linear	Concentração (%)	-0,02	$1,75 \times 10^{-03}$	$5,33 \times 10^{-2}$

Modelo Codificado:

$$A_w = 0,94 - 0,02C \quad (3.12)$$

A Tabela 3.22 apresenta a análise de variância (ANOVA) da equação acima para a atividade de água.

Tabela 3.22 – ANOVA do ajuste do modelo obtido para a atividade de água

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média Quadrática	F calculado	F tabelado	R <sup>2</sup>
Regressão	$3,48 \times 10^{-03}$	1	$3,48 \times 10^{-03}$	40,41	5,32	0,83
Resíduos	$6,90 \times 10^{-04}$	8	$8,62 \times 10^{-05}$			
Falta de ajuste	$6,65 \times 10^{-04}$	7	$9,50 \times 10^{-05}$			
Erro puro	$2,45 \times 10^{-05}$	1	$2,45 \times 10^{-05}$			
Total	$4,17 \times 10^{-03}$	9				

A regressão para a atividade de água no equilíbrio do processo de pré-secagem osmótica foi significativa ao nível de 95% de confiança, com bom ajuste do coeficiente de correlação com valor igual a 0,83 e relação F calculado / F tabelado igual a 7,60. Dessa forma foi possível representar a superfície de resposta na Figura 3.39.

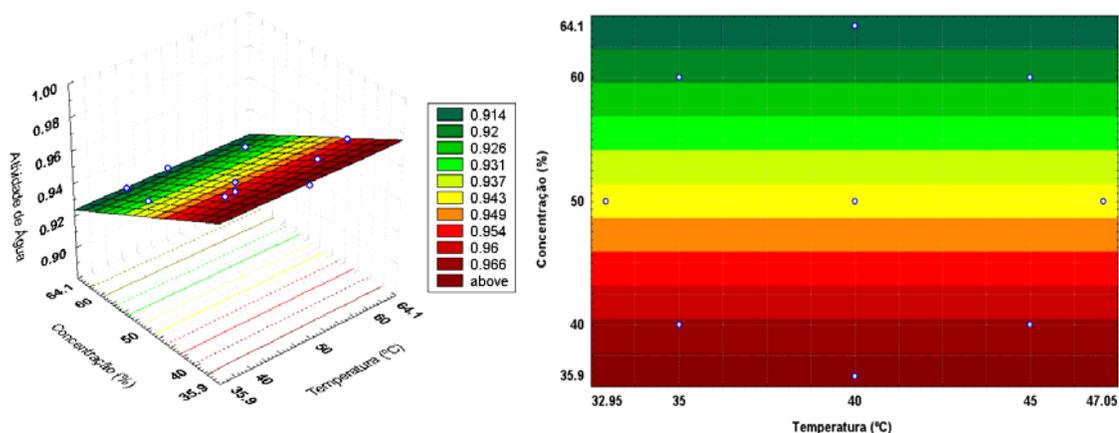


Figura 3.39 – Superfície de resposta e suas respectivas curvas de contorno para o equilíbrio da atividade de água, em função da concentração e temperatura da solução de sacarose durante o processo de desidratação osmótica de figos

### 3.3.5.2.3 – Conteúdo de Umidade

Na Tabela 3.23 estão mostrados os efeitos significativos e os não significativos da concentração e temperatura da solução de sacarose, sobre o conteúdo de umidade de equilíbrio, no processo de desidratação osmótica de figos.

Tabela 3.23 – Efeito dos fatores calculados para o conteúdo de umidade no planejamento completo  $2^2$

Fator		Efeito (Umidade)	Erro Padrão	p
Média		<b>2,90</b>	0,29	$5,93 \times 10^{-4}$
Linear	Temperatura (°C)	-0,63	0,29	$9,70 \times 10^{-2}$
	Concentração (%)	<b>-1,20</b>	0,29	$1,52 \times 10^{-2}$
Quadrático	Temperatura (C°)	-0,81	0,39	$1,05 \times 10^{-1}$
	Concentração (%)	<b>-1,21</b>	0,39	$3,59 \times 10^{-2}$
Interação	T X C	0,29	0,42	$5,30 \times 10^{-1}$

Valores em negrito representam os efeitos estatisticamente significativos:  $p < 0,05$ .

Na Figura 3.40 estão mostrados os efeitos linear e quadrático da concentração, sobre o conteúdo de umidade de equilíbrio, no processo de desidratação osmótica de figos.

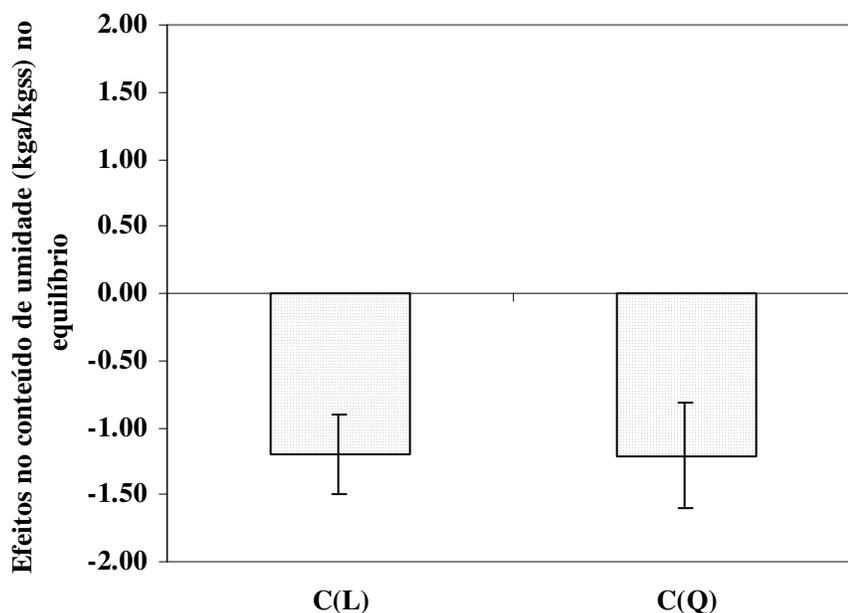


Figura 3.40 - Comparação entre os efeitos dos fatores sobre o equilíbrio do conteúdo de umidade para o planejamento completo  $2^2$

Pela análise verifica-se que no equilíbrio do processo, somente a variável concentração apresentou efeito significativo sobre o conteúdo de umidade ao nível de 95% de confiança.

Verifica-se que no equilíbrio o efeito linear da variável concentração é significativo e negativo, indicando que o aumento desta variável promove redução do conteúdo de umidade.

Feita a análise dos efeitos foi realizada a determinação dos coeficientes de regressão a fim de se estabelecer o modelo estatístico codificado que possa descrever o comportamento das respostas nas condições estudadas. Porém, a análise de variância para o conteúdo de umidade em tempos longos de processo, embora tenha apresentado regressão significativa e relação F calculado / F tabelado igual a 1,28, no entanto, apresentou o valor do coeficiente de correlação muito baixo igual a 0,46. Isso indica que o modelo estatístico não se ajusta

bem aos dados experimentais e, portanto, as superfícies de respostas por ele geradas não são confiáveis.

Relacionando os resultados das duas análises, ou seja, 120 e 720 minutos, pode-se perceber que a 120 minutos, o processo é regido pela concentração mas também, em menor proporção pela temperatura sobre todas as respostas. No entanto a 720 minutos, considerado o equilíbrio, quem rege o processo é a concentração, quando se percebe um aumento no conteúdo de açúcares e que os valores da atividade de água e do conteúdo de umidade são mais baixos. Nesta fase, a temperatura apresenta um pequeno efeito apenas sobre o ganho de açúcares.

### **3.4 – Conclusões**

Foi estudado o processo de inativação enzimática a vapor de figos desidratados osmoticamente, verificando a presença de invertase na fruta. No entanto, o processo de inativação a vapor não pôde ser utilizado no planejamento experimental por causar alterações indesejáveis na estrutura da matéria-prima.

As melhores condições de desidratação osmótica foram encontradas para 120 minutos de processo, tempo em que a desidratação começa a se estabilizar, além disso, em tempos longos de processo foi verificado novo aumento de açúcares, o que indica uma possível modificação na estrutura celular.

As melhores condições de desidratação osmótica para alcançar o maior conteúdo de açúcares totais e menor atividade de água foram encontradas na faixa de temperatura de 38 a 47°C e concentração de sacarose de 48 a 60% e 36 a 44°C e 48 a 63% respectivamente, sendo os menores conteúdos de umidade encontrados em torno de 33°C e 64% de sacarose.

As condições ótimas calculadas pela função desejabilidade, a partir dos modelos determinados pelo planejamento experimental, para obtenção de menor conteúdo de

umidade e menor valor de atividade de água, foi encontrada para a temperatura de 39,7°C e concentração de sacarose de 63,1%, obtendo-se um produto com maior conteúdo de açúcares. No entanto para obtenção de um produto com menor conteúdo de açúcar, as condições ótimas encontradas foram na temperatura de 35,3°C e 64,1% de sacarose. Nesta última condição estudada, as amostras de figo apresentaram uma redução de aproximadamente 15% do conteúdo de açúcares, em relação à condição anterior.

## **Capítulo 4: Desidratação Osmótica com Impregnação Simultânea de Vitamina C**

#### **4.1 – Resumo**

Neste capítulo foi estudada a impregnação de ácido ascórbico em figos durante o processo de desidratação osmótica. Os figos foram desidratados osmoticamente à temperatura de 44°C e concentração da solução de sacarose 36%, com adição de 100 e 200mg de ácido ascórbico por 100g de solução de sacarose, para determinação da cinética de impregnação de vitamina C. Observou-se que houve incorporação de vitamina C nas amostras de figo ao longo do processo. A cinética de impregnação de ácido ascórbico foi modelada através do modelo difusional de Fick, determinando-se a difusividade aparente para incorporação de vitamina C, considerando o equilíbrio estático após um período de 24 horas. O modelo de Fick não se ajustaram bem aos dados experimentais durante o processo de impregnação, embora o coeficiente de determinação tenha sido próximo de 1. O processo de impregnação de ácido ascórbico simultâneo ao de desidratação osmótica se revelou de valia para o enriquecimento de figos desidratados osmoticamente, bem como compensar as perdas do conteúdo da vitamina C durante a secagem.

## **4.2 – Material e Métodos**

### **4.2.1 - Matéria Prima**

A matéria prima utilizada foi, frutas de figo (*Ficus carica*, L), variedade gigante, provenientes do município de Valinhos – SP.

Neste capítulo se estudou a impregnação simultânea de ácido ascórbico numa concentração de 100 e 200mg/100g de solução na desidratação osmótica. A vitamina C foi determinada pelo método de titulação com iodo, modificado, baseado na metodologia da FARMACOPÉIA BRASILEIRA (1977).

### **4.2.2 – Cinética de Desidratação Osmótica com Adição de Ácido Ascórbico**

Para a realização da cinética de desidratação osmótica com adição de ácido ascórbico, foi realizado o mesmo procedimento do capítulo 3, item 3.2.4. Sendo escolhida a temperatura de 44°C e concentração da solução de sacarose de 36%, ácido ascórbico foi adicionado numa concentração de 100 e 200mg/100g de solução. O tempo de processo variou de 0 a 240 minutos. A atividade de água, o conteúdo de umidade, concentração de açúcares totais e de ácido ascórbico foram determinados ao longo da desidratação osmótica. A condição de equilíbrio foi determinada utilizando um processo estático de desidratação com impregnação durante 24 horas.

### **4.2.3 - Difusividade**

O modelo difusional de Fick (equação 2.3) foi ajustado aos valores dos conteúdos de ácido ascórbico das amostras de figo durante a desidratação osmótica, usando 10 termos da série, para o cálculo da difusividade aparente de incorporação de ácido ascórbico.

#### **4.2.4 – Cinética de Degradação de Ácido Ascórbico Durante Secagem de Figo Após DO**

Neste item, foi realizada a desidratação osmótica a 44°C e 36% de sacarose com impregnação de ácido ascórbico de 200mg/100g de solução desidratante por um tempo de 60 minutos. Em seguida, foi realizada a secagem em secador convectivo, a temperatura de 40°C e com velocidade do ar de secagem de 1,5m/s, a fim de se verificar o comportamento do conteúdo de ácido ascórbico durante a secagem. Paralelamente estudou-se também a degradação de ácido ascórbico de figos não submetidos ao processo de desidratação osmótica.

### **4.3 - Resultados e Discussão**

#### **4.3.1 – Cinética de Desidratação Osmótica com Impregnação de Ácido Ascórbico**

Nas Tabelas 4.1 e 4.2 encontram-se os valores das médias da variação dos conteúdos de açúcares totais, ácido ascórbico, conteúdo de umidade e atividade água em figos durante a cinética de desidratação osmótica à 44°C e concentração da solução de sacarose de 36%, com adição de 100 e 200mg de ácido ascórbico por 100g de solução de sacarose.

Observa-se na Tabela 4.1 uma variação em grama, de 0,12 a 0,19 e 0,72 a 0,77; de 0,83 a 0,75 e 5,00 a 2,96 e em miligrama de 0,13 a 0,40 e 0,76 a 1,57 em base úmida e em base seca respectivamente, para o conteúdo de açúcares totais, conteúdo de umidade e ácido ascórbico, e de 0,99 a 0,98 para a atividade de água usando a impregnação de ácido ascórbico de 100mg/100 de solução. Quando se utiliza a impregnação de 200mg de ácido ascórbico (Tabela 4.2), verifica-se uma variação em grama de 0,11 a 0,18 e 0,65 a 0,74; de 0,84 a 0,73 e 5,39 a 2,67 e em miligrama de 0,13 a 0,73 e 0,84 a 2,68 para os conteúdos de açúcares totais, conteúdo de umidade e de ácido ascórbico em base úmida e base seca respectivamente, e uma variação de 0,99 a 0,97 para atividade de água.

Tabela 4.1 – Valores do conteúdo de açúcares totais, ácido ascórbico, umidade e atividade de água em figos desidratados osmoticamente à 44°C – 36% de sacarose com adição de ácido ascórbico na concentração de 100mg/100g Solução de sacarose

Tempo (minutos)	Análises <sup>(1)</sup>						
	Impregnação de 100mg/100g solução						
	Açúcares totais		Vitamina C		Umidade		Atividade de água
	gaç/gsu	gaç/gss	mgVitC/gsu	mgVitC/gss	ga/gsu	ga/gss	
0	0,12±0,001	0,72±0,003	0,13±0,03	0,76±0,17	0,83±0,01	5,00±0,23	0,99±0,000
15	0,13±0,001	0,72±0,004	0,18±0,00	0,96±0,00	0,82±0,00	4,46±0,06	0,98±0,000
30	0,13±0,001	0,69±0,003	0,20±0,03	1,08±0,17	0,82±0,00	4,47±0,01	0,98±0,000
45	0,15±0,001	0,74±0,004	0,22±0,00	1,10±0,00	0,80±0,02	4,01±0,49	0,98±0,002
60	0,15±0,000	0,74±0,000	0,22±0,00	1,05±0,00	0,79±0,00	3,79±0,05	0,98±0,001
120	0,16±0,003	0,77±0,015	0,31±0,00	1,45±0,00	0,79±0,00	3,70±0,06	0,98±0,001
180	0,19±0,003	0,76±0,012	0,36±0,01	1,44±0,05	0,75±0,00	3,00±0,02	0,98±0,000
240	0,18±0,001	0,72±0,005	0,40±0,00	1,57±0,00	0,75±0,00	2,96±0,04	0,98±0,000

(1) - Valores médios de duas repetições; aç – açúcares; su – sólido úmido; ss – sólido seco; VitC – Vitamina C; a – água.

Tabela 4.2 - Valores do conteúdo de açúcares totais, ácido ascórbico, umidade e atividade de água em figos desidratados osmoticamente à 44°C – 36% de sacarose com adição de ácido ascórbico na concentração de 200mg/100g Solução de sacarose

Tempo (minutos)	Análises <sup>(1)</sup>						
	Impregnação de 200mg/100gsolução						
	Açúcares totais		Vitamina C		Umidade		Atividade de água
	gaç/gst	gaç/gss	mgVitC/gsu	mgVitC/gss	ga/gst	ga/gss	
0	0,11±0,001	0,67±0,005	0,13±0,13	0,84±0,84	0,84±0,005	5,39±0,20	0,99±0,000
15	0,14±0,002	0,71±0,010	0,23±0,02	1,17±0,08	0,80±0,002	4,05±0,05	0,98±0,002
30	0,15±0,002	0,74±0,011	0,31±0,00	1,53±0,00	0,80±0,000	3,95±0,01	0,98±0,000
45	0,16±0,001	0,74±0,006	0,35±0,00	1,63±0,00	0,78±0,003	3,64±0,06	0,98±0,000
60	0,16±0,001	0,70±0,006	0,37±0,03	1,64±0,14	0,77±0,003	3,39±0,07	0,98±0,000
120	0,16±0,002	0,66±0,012	0,53±0,00	2,17±0,00	0,76±0,001	3,10±0,02	0,98±0,000
180	0,17±0,000	0,65±0,000	0,70±0,00	2,68±0,00	0,74±0,006	2,81±0,08	0,97±0,000
240	0,18±0,004	0,67±0,024	0,73±0,03	2,67±0,11	0,73±0,013	2,67±0,18	0,97±0,000

(1) - Valores médios de duas repetições; aç – açúcares; su – sólido úmido; ss – sólido seco; VitC – Vitamina C; a – água.

Na Figura 4.1 (a) em base úmida que é a base mais usual, e (b) em base seca, que apresenta resultados reais (em função das discrepâncias no conteúdo de umidade), encontram-se as curvas obtidas dos valores de ácido ascórbico, determinados durante o processo de desidratação osmótica utilizando a temperatura de 44°C e concentração da solução de 36% de sacarose, com adição de ácido ascórbico na concentração de 100 e 200mg/100g de Solução.

A incorporação de vitamina C foi intensa ao longo da desidratação osmótica, como se observa na Figura 4.1, com um aumento cerca de 3 e 2 vezes, respectivamente em base úmida e seca, ao longo do processo, com a utilização da impregnação de 100mg de ácido ascórbico. Quando se aumenta a concentração de vitamina C, ao se utilizar a concentração de 200mg de ácido ascórbico durante a desidratação osmótica de figos, observou-se um aumento na impregnação de vitamina C nas amostras de figos, cerca de 5 e 3 vezes respectivamente, em base úmida e em base seca.

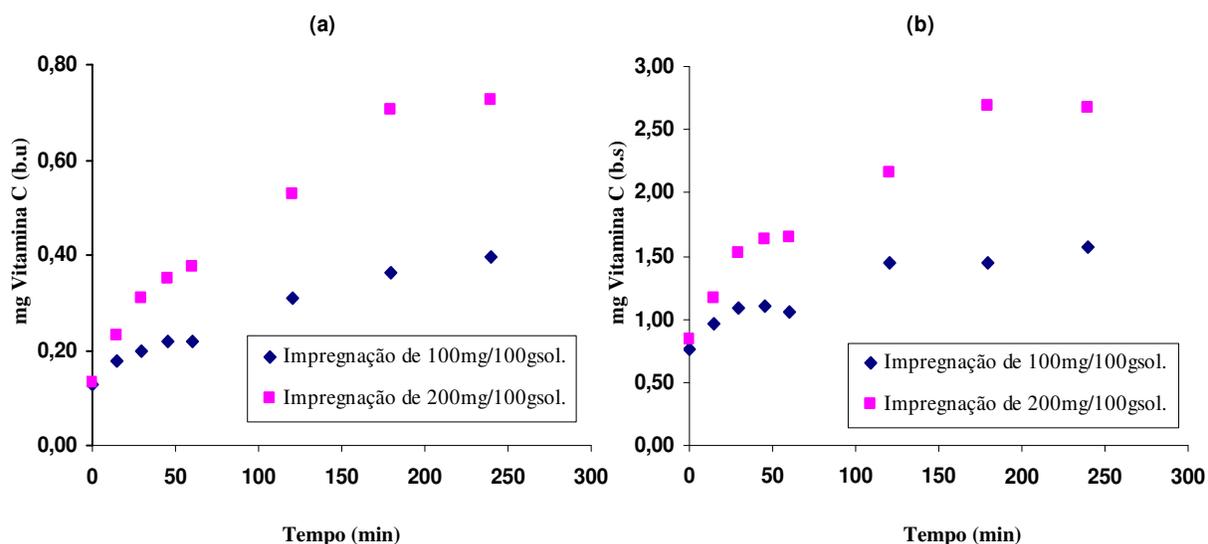


Figura 4.1 – Curva dos valores do conteúdo de ácido ascórbico, em base úmida (a) e base seca (b) em figos durante desidratação osmótica com adição ácido ascórbico na concentração 100 e 200mg/100gsolução

Nas Figuras de 4.2 e 4.3 encontram-se respectivamente, as curvas obtidas dos valores dos conteúdos de umidade em base seca, e dos valores de atividade de água, obtidos do

processo de desidratação osmótica utilizando a temperatura de 44°C e concentração da solução de 36% de sacarose, com adição de ácido ascórbico na concentração de 100 e 200mg/100gsolução. Observa-se que houve influência no processo de desidratação osmótica, com a adição da vitamina C.

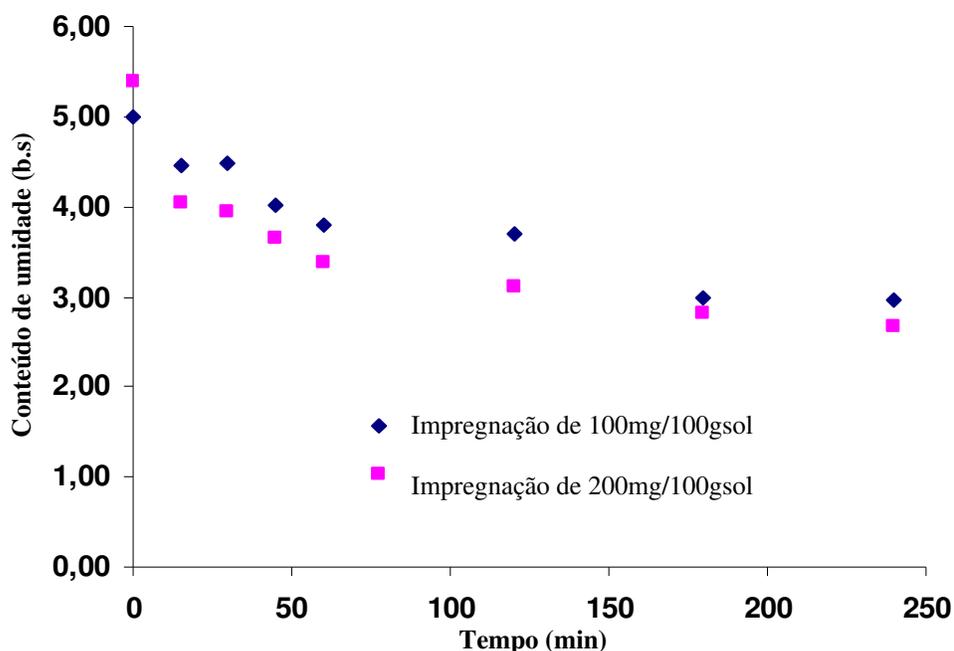


Figura 4.2 – Curva dos valores do cont do de umidade em figos durante desidrata o osmótica com adic o ácido ascórbico na concentra o 100 e 200mg/100gsolu o

Comparando o cont do de umidade com as Tabelas 4.1, 4.2 e Figura 4.2, verifica-se que houve decréscimo do cont do de água ao longo do processo. No entanto, essa redu o não garante estabilidade microbiológica e enzimática, uma vez que, no final o processo apresenta uma perda total, em rela o   amostra *in natura* na base seca, de 40,86% e 50,37% quando se utilizou impregna o de 100 e 200mg de ácido ascórbico, respectivamente. Contudo, pode-se observar uma perda mais efetiva logo na primeira hora de processo, cujos valores representam respectivamente, 59,13% e 73,59% da perda total, para impregna o de 100 e 200mg de ácido ascórbico na soluço de sacarose.

Pode-se constatar uma queda maior do conteúdo de água, quando se utilizou 200mg de vitamina C na solução de sacarose.

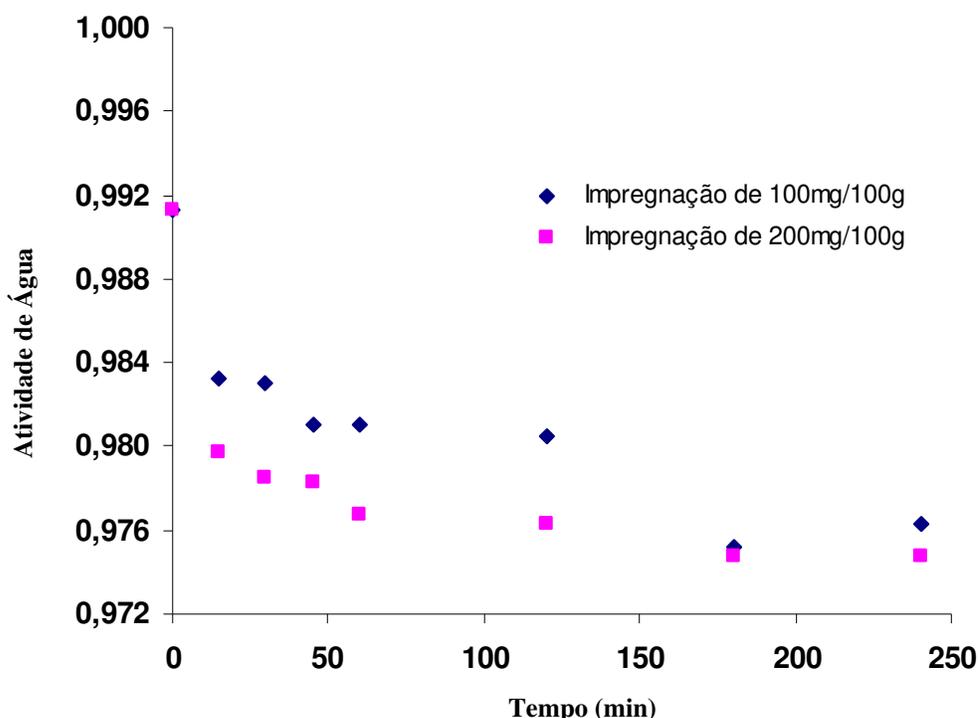


Figura 4.3 – Curva dos valores de atividade de água em figos durante desidratação osmótica com adição ácido ascórbico na concentração 100 e 200mg/100gsolução

Com relação à atividade de água representada pela Figura 4.3, verifica-se com impregnação de 100mg de ácido ascórbico, a maior variação nos primeiros 15 minutos de desidratação osmótica, que tende a se estabilizar. Contudo no final do processo, verifica-se uma queda 1,51% em relação à amostra *in natura*. Na impregnação de 200mg de ácido ascórbico, verifica-se que a variação da atividade de água deu-se gradativamente entre a primeira hora e a terceira hora de processo apresentando uma queda de 1,7% ao longo do processo em relação a mostra *in natura*.

Também se constatou uma queda maior na atividade de água, se utilizando uma impregnação de 200mg de vitamina C na desidratação osmótica.

Para uma melhor compreensão do processo de incorporação de vitamina C durante a desidratação osmótica, já que neste processo se elimina água e se incorporam sólidos, calculou-se os conteúdos de vitamina C numa base fixa, neste caso os sólidos inertes ( $X_i$ ) do material, ou seja, os sólidos que não foram transferidos durante a desidratação osmótica.

Os sólidos secos em qualquer tempo da desidratação osmótica, são compostos por sólidos inertes ( $X_i$ ), vitamina C ( $X_{VitC}$ ) e açúcares totais ( $X_{Aç}$ ), Assim:

$$X_{ss} = X_i + X_{VitC} + X_{Aç} \quad (4.1)$$

Logo:

$$X_i = X_{ss(t)} - (X_{VitC(t)} + X_{Aç(t)}) \quad (4.2)$$

Dividindo pelo conteúdo em fração de sólidos secos, tem-se ( $X'_i$ ) que é a fração de sólidos inertes fixos nos sólidos secos.

$$X'_i = \frac{X_i}{X_{ss}} = 1 - \frac{X_{VitC}}{X_{ss}} - \frac{X_{Aç}}{X_{ss}} = 1 - X'_{VitC(bs)} - X'_{Aç(bs)} \quad (4.3)$$

Logo pode-se calcular a quantidade de vitamina C retida em base aos sólidos inertes como:

$$X_{VitC(g / g\text{ inerte})} = \frac{X_{VitC} / X_{ss}}{X_i / X_{ss}} = \frac{X_{VitC(bu)} / (1 - X_{água(bu)})}{1 - X'_{VitC} - X'_{Aç}} = \frac{X'_{VitC}}{1 - X'_{VitC} - X'_{Aç}} = \frac{X'_{VitC}}{X'_i} \quad (4.4)$$

Multiplicando a equação 4.4 pelo valor de inertes em base nos sólidos secos no tempo zero, pode-se calcular a quantidade de vitamina C/g sólidos secos iniciais:

$$\frac{X'_{VitC(t)}}{X'_{i(t)}} * X'_{i(0)} = \text{Massa VitC/Massa sólidos secos iniciais} = gX_{VitC}/gssi_{(t=0)}$$

Em que:

$X_{Aç}$  – fração de açúcares;  $X_{ss}$  – fração de sólidos secos;  $X_{vitC}$  – fração de vitamina C.

Na Tabela 4.3 são mostrados o conteúdo de vitamina C por grama de sólido total no tempo zero.

Pode-se observar na Tabela oscilações dos dados de sólido seco inerte em base seca, provavelmente por se tratar de um fenômeno complexo, onde se incorporam sólidos diferentes, como a sacarose e ácido ascórbico, e açúcares redutores são perdidos.

De acordo com a Tabela a seguir, calculado o conteúdo de vitamina C na base fixa de sólidos inertes, verifica-se a confirmação do aumento da vitamina nas amostras de figos no

processo de desidratação osmótica. A mudança de base, neste caso, não alterou muito os valores, visto que, nestas condições de desidratação osmótica não há muita incorpora o de a ugar (Tabela 4.1 e 4.2).

Tabela 4.3 – Valores do conteúdo de inertes em matéria seca e ácido ascórbico corrigido em fun o do valor de inertes, em figos desidratados osmoticamente   44 C – 36% de sacarose com adi o de 100 e 200mg/100gsolu o de ácido ascórbico

Tempo (minutos)	Impregna�o de 100mg/100sol		Impregna�o de 200mg/100gsol	
	X' <sub>i</sub> Inertes (mgI/gss)	mgVitC/gss <sub>inicial</sub>	X' <sub>i</sub> Inertes (mgI/gss)	mgVitC/gss <sub>inicial</sub>
0	277,3	0,759	325,9	0,844
15	283,8	0,939	291,8	1,304
30	307,7	0,976	258,3	1,924
45	255,4	1,195	256,0	2,082
60	259,4	1,127	296,5	1,805
120	229,2	1,752	339,1	2,084
180	235,0	1,703	344,0	2,541
240	278,2	1,562	330,8	2,630

ss - sólido seco; I, i – inertes; g – grama; VitC – vitamina C; sol – soluço.

A Figura 4.5 mostra o comportamento do conteúdo de ácido ascórbico em fun o do conteúdo da matéria seca inicial para impregna o de 100 e 200mg/100g de ácido ascórbico na soluço.

De acordo com a Figura 4.5, que representa o conteúdo de vitamina C na base fixa de sólidos iniciais, verifica-se que quando se utilizou a impregna o de 100mg de ácido ascórbico, houve um aumento significativo do conteúdo de vitamina C com rela o   amostra *in natura*, até as duas primeiras horas de processo. Após esse período, verifica-se uma tendência a uma incorpora o mais lenta do conteúdo da vitamina na desidrata o

osmótica, uma vez que apresenta valores maiores com relação à mostra *in natura*. O conteúdo de vitamina C, neste caso, é aproximadamente duplicado. Quando se aumentou a concentração para 200mg de vitamina C na desidratação osmótica, verificou-se um aumento efetivo da incorporação desta vitamina nas amostras de figos ao longo do processo, chegando a triplicar este conteúdo.

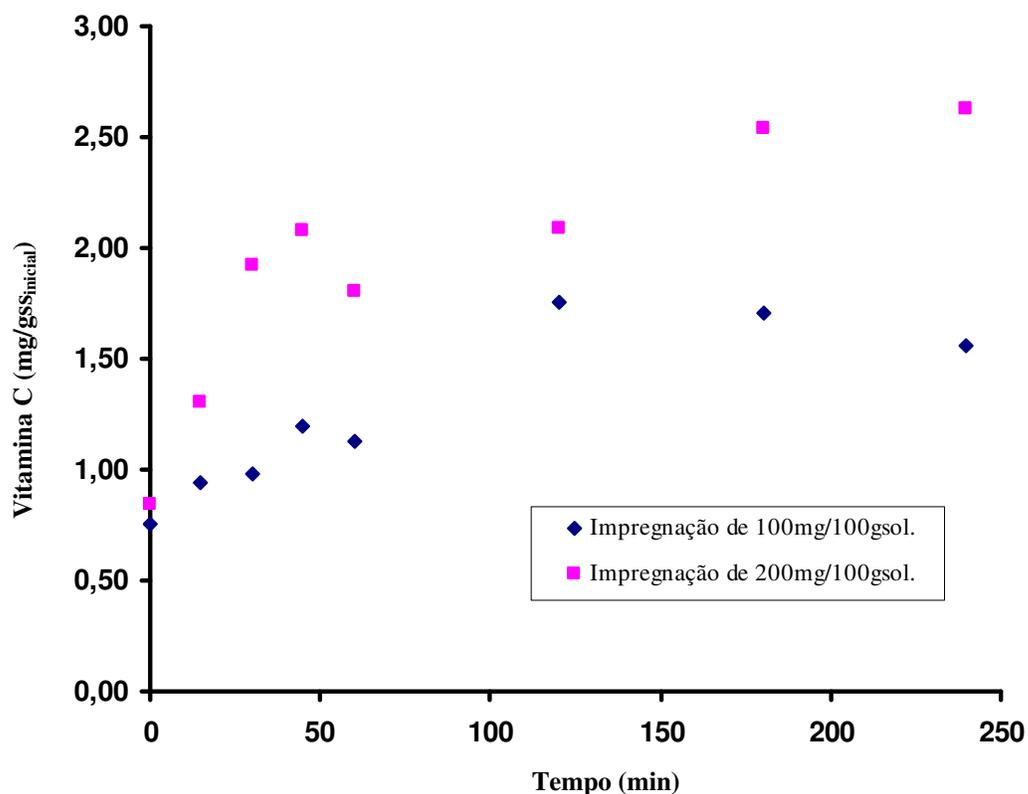


Figura 4.5 – Curvas dos valores do conteúdo de vitamina C em função dos sólidos iniciais em figos durante desidratação osmótica com adição de ácido ascórbico na concentração de 100 e 200mg/100gsolução

#### 4.3.2 – Difusividade

Na Tabela 4.4 encontram-se os valores experimentais adimensionalizados e os preditos, bem como a difusividade aparente e os coeficientes de determinação, para a impregnação

de ácido ascórbico durante desidratação osmótica a 36% de sacarose e temperatura de 44°C, com adição de 100 e 200mg de ácido ascórbico/100g de solução, obtidos pelo modelo de Fick (equação 2.3), usando dez termos da série, considerando equilíbrio estático de 24 horas, cuja concentração final de vitamina C foi igual a 46,23mg/100g de amostra para impregnação de 100mg de vitamina C por 100g de solução e 83,60mg/100g de amostra para impregnação de 200mg de vitamina C por 100g de solução desidratante.

Tabela 4.4 – Valores experimentais e preditos pelo modelo de Fick, durante desidratação osmótica com adição de ácido ascórbico

Tempo (min)	Impregnação de 100mg/100gsolução						Impregnação de 200mg/100gsolução					
	VitC	$\frac{C_t - C_e}{C_0 - C_e}$	Pred	Dap $\times 10^{11}$	SE	R <sup>2</sup>	VitC	$\frac{C_t - C_e}{C_0 - C_e}$	Pred	Dap $\times 10^{11}$	SE	R <sup>2</sup>
0	12,65	1,00	0,98	0,83	0,03	0,98	13,20	1,00	0,98	1,02	0,03	0,98
15	17,60	0,85	0,81				23,11	0,86	0,79			
30	19,80	0,79	0,73				30,82	0,75	0,70			
45	22,00	0,72	0,67				35,21	0,69	0,64			
60	22,00	0,72	0,62				37,38	0,66	0,58			
120	30,80	0,46	0,47				52,84	0,44	0,41			
180	36,09	0,30	0,35				70,43	0,19	0,29			
240	39,01	0,20	0,27				72,62	0,16	0,21			

VitC – Vitamina C em mg/100g amostra em b.u; C<sub>t</sub> – Conteúdo de vitamina C com o tempo; C<sub>e</sub> - Conteúdo de vitamina C no equilíbrio; C<sub>0</sub> – Conteúdo de vitamina C no início do processo; Pred – Preditos; Dap – Difusividade aparente (m<sup>2</sup>/s); SE – Somatória dos erros quadráticos; R<sup>2</sup> – Coeficiente de determinação.

Observa-se na Tabela que quando se utilizou 200mg de ácido ascórbico na solução de sacarose, a difusividade foi um pouco maior que com 100mg, com valor de 1,02x10<sup>-11</sup>m<sup>2</sup>/s.

A Figura 4.6 mostra as curvas do ajuste dos dados experimentais adimensionalizados e os preditos pelo modelo de Fick, para a incorporação de vitamina C durante o processo de desidratação osmótica com adição de ácido ascórbico.

Utilizando a equação de Fick na impregnação de ácido ascórbico no processo de desidratação osmótica, verifica-se que o ajuste dos dados não foi muito bom, ainda que o

coeficiente de determinação seja igual a 98% para as duas concentrações de ácido ascórbico utilizadas na desidratação osmótica.

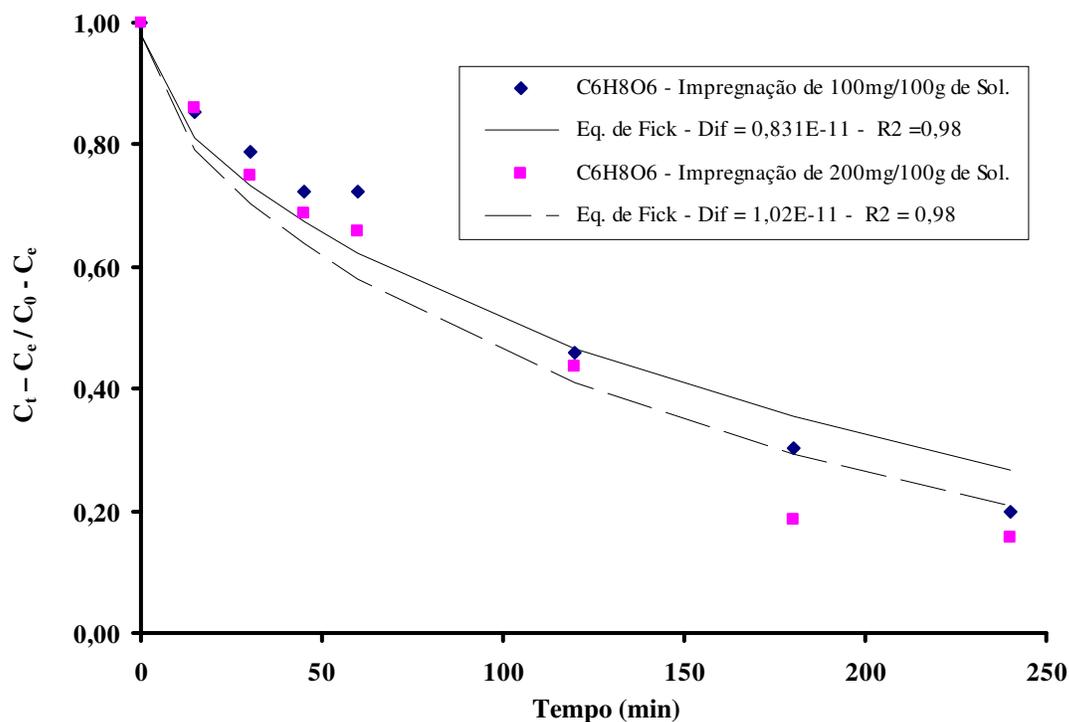


Figura 4.6 – Curvas do modelo de Fick em figos durante desidratação osmótica, com adição de ácido ascórbico na concentração de 100 e 200mg/100gsolução

Deve-se ressaltar que na equação não se considerou o fluxo global, que não é nulo, devido à grande saída de água comparada à entrada de açúcares. Assim, a impregnação é mais lenta até a primeira hora de processo, onde o fluxo global de saída é máximo. Além disso, as condições de equilíbrio foram determinadas em um tempo muito longo de processo, e as amostras podem ter sofrido danos em sua estrutura permitindo uma incorporação muito maior do que deveria ocorrer normalmente, o que pode ter comprometido o ajuste da equação de Fick aos dados.

### 4.3.3 – Cinética de Secagem de Figos - Degradação de Ácido Ascórbico

Após estudo de desidratação osmótica com adição de ácido ascórbico, foi escolhida a condição do processo de 200mg de vitamina C por 100g de solução, para estudo da secagem, a fim de se verificar o comportamento de degradação de ácido ascórbico nas condições estudadas.

Amostras desidratadas osmoticamente com impregnação de ácido ascórbico por 60 minutos, foram submetidas à secagem a temperatura de 40°C, e comparadas com amostras secas de figos *in natura*.

A Tabela 4.5 mostra os valores do conteúdo de umidade e de ácido ascórbico durante a secagem.

Tabela 4.5 – Dados da secagem de figo após DO com impregnação de ácido ascórbico e figos *in natura*

Tempo (h)	Figos com DO + impregnação de VitC				Figos sem DO			
	XH <sub>2</sub> O (b.u)	XH <sub>2</sub> O (b.s)	XVitC (b.u)	XVitC (b.s)	XH <sub>2</sub> O (b.u)	XH <sub>2</sub> O (b.s)	XVitC (b.u)	XvitC (b.s)
0	0,74	2,79	0,35	1,33	0,83	4,77	0,18	1,01
1	0,68	2,11	0,31	0,95	0,79	3,67	0,18	0,82
3	0,57	1,33	0,31	0,71	0,72	2,55	0,16	0,58
5	0,50	1,00	0,34	0,68	0,67	2,05	0,17	0,53
7	0,44	0,78	0,30	0,53	0,61	1,53	0,21	0,53
9	0,37	0,60	0,31	0,49	0,54	1,18	0,22	0,47
23	0,12	0,14	0,22	0,25	0,30	0,43	0,17	0,25

VitC – vitamina C; DO – desidratação osmótica; XH<sub>2</sub>O – fração de água em g/g; XvitC – fração de vitamina C em mg/g; b.u – base úmida; b.s – base seca.

A Figura 4.7 mostra as curvas do comportamento da degradação da vitamina C durante a secagem.

Até as cinco horas de processo, tanto as amostras *in natura* como as amostras tratadas por desidratação osmótica, apresentaram uma perda de ácido ascórbico acentuada, revelando uma perda de aproximadamente 47 e 49% respectivamente em relação à amostra inicial que foram respectivamente 1,33 e 1,01 (mgVitC/gss). Esses resultados parecem indicar durante a secagem, que a pré-secagem osmótica não atuou como agente protetor contra oxidação do ácido ascórbico inserido por impregnação. Estes resultados não reproduzem os encontrados por diversos autores como Buchweitz (2005), que verificou em kiwi que, embora tenha encontrado perdas do conteúdo de vitamina C durante desidratação osmótica, as maiores perdas deste componente, durante a secagem, foram encontradas nas amostras submetidas à secagem direta, ou seja, sem a desidratação osmótica.

Piga *et al.* (2004) observaram perdas severas de ácido ascórbico na secagem de figos e ressaltam que, como o figo não é utilizado como fruta rica em ácido ascórbico, essas perdas poderiam não ser consideradas como significantes.

Segundo Jayaraman e Das Gupta (1995) a retenção de vitaminas durante a secagem depende da natureza dos alimentos. Hawlader *et al.* (2006), trabalhando com mamão e goiaba, encontraram maior retenção de vitamina C em mamão do que em goiabas nas mesmas condições de secagem. Karatas e Kamish (2007), encontraram menor conteúdo de vitamina C em abricó maduro que em semi-maduro, em dois sistemas diferentes de secagem. Outro fator que pode influenciar a perda de ácido ascórbico é a área de superfície exposta. El-Beltagy, Gamea e Amer Essa (2007) verificaram que em morangos secos inteiros houve maior retenção da vitamina C do que quando secos cortados. Neste trabalho, embora não tenha sido registrado em termos numéricos, verificou-se que quando a amostra foi armazenada triturada até realização da análise, a perda de ácido ascórbico foi maior, sendo esta perda menos acentuada quando a mostra foi congelada.

Verifica-se também neste trabalho, uma tendência de atingir o mesmo conteúdo de ácido ascórbico no final da secagem, ou seja, os valores do conteúdo de ácido ascórbico a partir das sete horas de processo estão muito próximos como é mostrado na Figura 4.7.

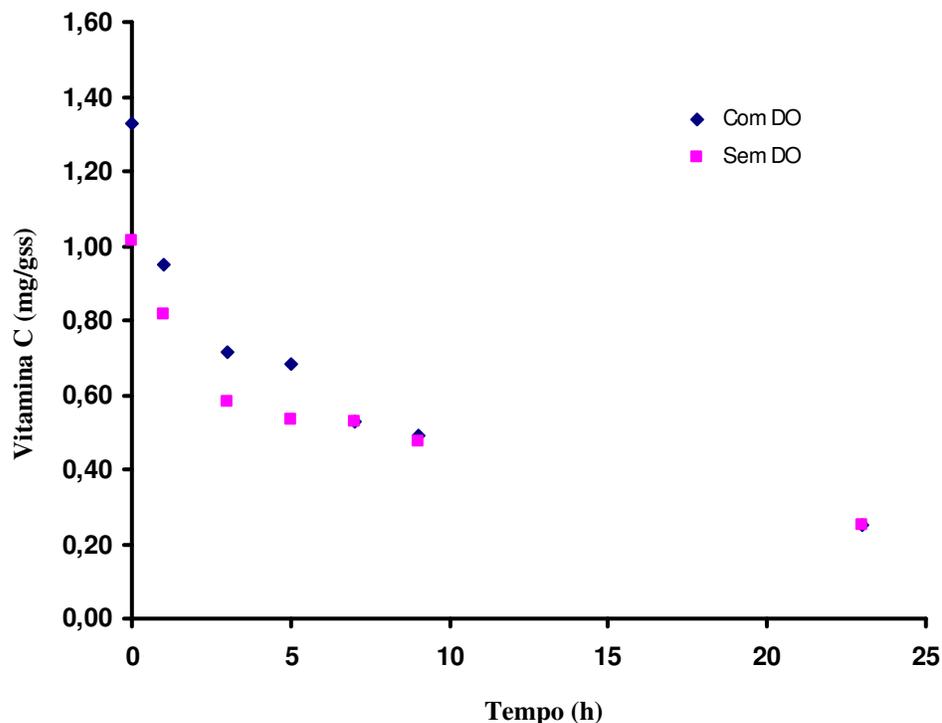


Figura 4.7 – Curvas do conteúdo de ácido durante secagem após desidratação osmótica, com adição de ácido ascórbico

A degradação do conteúdo de ácido ascórbico no início do processo se dá em função do conteúdo de umidade. Pode-se constatar que as amostras desidratadas osmoticamente para atingir conteúdo de umidade de 25% durante a secagem, valor máximo estabelecido pela ANVISA (Resolução 12/78) para frutas secas, demora um tempo aproximado de 12 horas, quando o conteúdo de vitamina C é aproximadamente 49mg/100gss, o que representa aproximadamente a metade do conteúdo no figo *in natura* que foi 101mgvitC/100gss. No entanto, comparando com os dados reportados na literatura por Franco (1996), pode-se verificar que o conteúdo de vitamina C residual aqui presente, quando atinge a umidade de armazenamento, é equivalente ao valor apresentado pelo autor para figo fresco. Quando se compara a secagem dos figos desidratados osmoticamente, com a secagem dos figos *in natura*, se verifica que para as amostras *in natura*, atingirem 25% do conteúdo de umidade, seria necessário um tempo maior que 23 horas de secagem, quando o conteúdo de ácido ascórbico seria menor que 25mg/100gss. Assim, o enriquecimento inicial com vitamina C resulta em um produto a umidade intermediária com atividade de água aproximadamente

0,6 e com um conteúdo razoável de vitamina C. Contudo, comparando os valores de vitamina C nos figos secos *in natura*, pode-se verificar que os dados aqui presentes, apresentam valores mais altos que os valores encontrados por Piga *et al.* (2004) após a secagem de figos, que foi 2mg/100gss.

Vale ressaltar que, segundo Valle *et al.* (1998), o ganho de sólidos pode ocorrer por difusão para o interior das células, penetração da solução osmótica nos espaços intercelulares e/ou retenção na superfície dos produtos, este último caso poderia ocasionar uma perda da vitamina com maior facilidade durante a secagem. Como pode ser observado neste trabalho, ao final de 23 horas de processo o conteúdo de vitamina C, para amostras frescas e tratadas osmoticamente, praticamente igual, confirmando que nas amostras que foram submetidas ao processo de impregnação, a perda da vitamina pode ser mais fácil. Mas, como essas amostras atingem a umidade de armazenamento mais rapidamente, pode-se considerar que uma quantidade razoável de vitamina C foi preservada quando os figos foram pré-tratados osmoticamente.

#### **4.4 – Conclusões**

Houve maior incorporação de vitamina C nos figos, durante desidratação osmótica com a impregnação de 200mg da vitamina na solução desidratante.

A impregnação de vitamina C durante o processo de desidratação osmótica compensou as perdas ocorridas durante a secagem subsequente, uma vez que as amostras de figos secos até umidade de armazenamento apresentaram conteúdo de vitamina C praticamente metade do valor do figo *in natura*, sendo considerado um valor alto quando comparado com a literatura.

O processo de desidratação osmótica com adição de vitamina C pode ser uma boa alternativa para o enriquecimento de figos com a vitamina, bem como compensar as perdas deste componente durante o processo de secagem.

## **Capítulo 5: Isotermas**

## 5.1 – Resumo

Neste capítulo são apresentadas as isotermas de dessecção de figos maduros desidratados osmoticamente e *in natura*, determinadas para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C, utilizando o método estático gravimétrico, na faixa de atividade de água de 0,02 a 0,96. Quatro modelos matemáticos de sorção, amplamente usados na literatura (GAB, Halsey, OSWIN e PELEG) foram ajustados aos dados experimentais por regressão não linear. A avaliação do melhor modelo de ajuste foi realizada pela obtenção do maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e menor somatória dos desvios quadráticos (SE), sendo os modelos de GAB e Halsey que apresentaram menor somatória dos desvios quadráticos e maior coeficiente de determinação. O modelo de GAB foi escolhido para representar as curvas de equilíbrio por ser um modelo semi-empírico, triparamétrico, capaz de descrever a sorção numa faixa de atividade de água de 0 a 0,95.

## 5.2 – Material e Métodos

### 5.2.1 - Matéria Prima

A matéria prima utilizada foi, frutas de figo (*Ficus carica*, L), variedade gigante, provenientes do município de Valinhos – SP.

A determinação das isotermas de dessecção de umidade em figos *in natura* e desidratado osmoticamente, processo já descrito no Capítulo 3, item 3.2.4, foi estudada baseando-se no método estático gravimétrico, de acordo com o procedimento descrito por Gabas (1998). As umidades relativas foram obtidas com soluções salinas saturadas correspondendo à faixa de atividade de água de 0,02 a 0,96, que podem ser calculadas através das equações de regressão, estudadas por Labuza *et al.* (1985) e Yong, (1967). Os sais utilizados e suas respectivas equações de regressão encontram-se na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Sais e suas respectivas equações em função da temperatura

Sais	Equações
NaOH	$UR = 0,081 - 1,128 \times 10^{-3}T + 3,929 \times 10^{-5}T^2 - 5,092 \times 10^{-7}T^3$
LiCl	$UR = 0,113 + 3,200 \times 10^{-5}T - 3,570 \times 10^{-6}T^2 + 3,704 \times 10^{-8}T^3$
MgCl <sub>2</sub>	$UR = 0,365 - 2,523 \times 10^{-3}T + 5,071 \times 10^{-5}T^2 - 4,166 \times 10^{-7}T^3$
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$UR = (0,272 \exp(145,0/T + 273)) \times 100$
MgNO <sub>3</sub>	$UR = (0,162 \exp(356,6/T + 273)) \times 100$
NaNO <sub>2</sub>	$UR = 0,687 - 1,028 \times 10^{-3}T - 3,750 \times 10^{-5}T^2 + 4,629 \times 10^{-7}T^3$
NaCl	$UR = 0,714 + 3,56 \times 10^{-3}T - 9,107 \times 10^{-5}T^2 + 6,481 \times 10^{-7}T^3$
KCl	$UR = 0,900 - 2,781 \times 10^{-3}T + 2,143 \times 10^{-5}T^2 - 4,629 \times 10^{-8}T^3$
BaCl <sub>2</sub>	$UR = 0,908 + 4,011 \times 10^{-4}T - 2,786 \times 10^{-5}T^2 + 2,037 \times 10^{-7}T^3$
CuSO <sub>4</sub>	$UR = 0,954 + 1,989 \times 10^{-3}T - 5,964 \times 10^{-5}T^2 + 3,611 \times 10^{-7}T^3$

Fonte: Labuza (1985) e Yong (1967), apud Gabas (1998).

As amostras de figo *in natura* e osmodesidratadas a 50% de sacarose, 40°C por 6 horas, foram pesadas em triplicatas em cápsulas de plástico e colocadas em recipientes herméticos

individuais contendo soluções salinas saturadas. Em seguida, os recipientes contendo as amostras foram deixados dentro de estufa com circulação de ar e temperatura controlada, para obtenção da umidade de equilíbrio a diferentes temperaturas (40, 50, 60 e 70°C), realizando-se pesagens periódicas em balança analítica até atingir peso constante, determinando-se assim a umidade de equilíbrio, ou seja, a quantidade de água que cada amostra desorveu por unidade de matéria seca.

Os valores de umidade de equilíbrio foram correlacionados em função da atividade de água do ambiente onde as amostras foram equilibradas.

Quatro modelos matemáticos de sorção de produtos higroscópicos foram ajustados aos dados experimentais (GAB, HALSEY, OSWIN e PELEG) utilizando-se o Software *Statistica 5.0*, para estimar as constantes dos modelos estudados. A avaliação dos melhores ajustes foi efetuada através do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e da somatória dos erros quadráticos (SE).

### 5.3 – Resultados e Discussão

#### 5.3.1 – Isotermas de Dessorção

Os dados de caracterização de figos para as isotermas de dessorção estão apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Caracterização do figo fresco e desidratado osmoticamente (40°C, 50%, 6h)

Composição	Figo <i>in natura</i>	Figo DO
Conteúdo de umidade (kg/kgss)	5,2±0,18 a 7,00±0,06	3,17±0,07 a 3,65±0,04
Açúcares totais (% b.u)	13,68±0,08 a 15,39±0,06	30,98±0,57 a 32,75±0,32
Açúcares redutores (% b.u)	12,9±0,13 a 14,91±0,13	25,96±0,40 a 32,29±0,36

Na Tabela 5.3 e 5.4, encontram-se os valores médios de umidade de equilíbrio de figos osmodesidratados e *in natura*, respectivamente, a diferentes temperaturas, para a construção das isotermas de dessorção.

Tabela 5.3 – Dados experimentais de umidade de equilíbrio de sorção em base seca, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C em figos desidratados osmoticamente e suas respectivas atividades de água

Sais	40°C		50°C		60°C		70°C	
	Aw	XeDO	Aw	XeDO	Aw	XeDO	Aw	XeDO
NaOH	0,066	0,10±0,02	0,059	0,07±0,00	0,045	0,04±0,00	0,020	0,01±0,00
LiCl	0,111	0,07±0,04	0,110	0,07±0,00	0,110	0,11±0,02	0,110	0,05±0,01
MgCl <sub>2</sub>	0,319	0,14±0,05	0,314	0,10±0,01	0,307	0,03±0,02	0,294	0,06±0,00
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,432	*	0,432	0,06±0,00	0,432	0,11±0,08	0,432	0,06±0,01
MgNO <sub>3</sub>	0,506	*	0,489	0,11±0,04	0,473	0,23±0,04	0,458	0,17±0,03
NaNO <sub>2</sub>	0,615	0,22±0,10	0,599	0,15±0,04	0,590	*	0,587	0,12±0,03
NaCl	0,753	0,38±0,06	0,746	0,33±0,01	0,740	0,29±0,04	0,739	0,40±0,06
KCl	0,820	0,53±0,12	0,809	0,42±0,00	0,800	0,26±0,11	0,795	0,47±0,03
BaCl <sub>2</sub>	0,893	0,74±0,09	0,884	*	0,876	0,73±0,01	0,870	*
CuSO <sub>4</sub>	0,961	1,60±0,03	0,949	1,38±0,10	0,936	1,10±0,28	0,925	*

Xe – umidade de equilíbrio em g/gss; DO – desidratação osmótica, Aw – atividade de água; \* - não determinado.

Tabela 5.4 – Dados experimentais de umidade de equilíbrio de sorção em base seca, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C em figos *in natura* e suas respectivas atividades de água

Sais	40°C		50°C		60°C		70°C	
	Aw	XeN	Aw	XeN	Aw	XeN	Aw	XeN
NaOH	0,066	0,11±0,02	0,059	0,08±0,00	0,045	0,06±0,00	0,020	0,01±0,00
LiCl	0,111	0,08±0,31	0,110	0,08±0,00	0,110	0,15±0,07	0,110	0,04±0,02
MgCl <sub>2</sub>	0,319	0,11±0,01	0,314	0,10±0,01	0,307	0,07±0,03	0,294	0,06±0,00
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,432	*	0,432	0,10±0,02	0,432	0,07±0,02	0,432	0,07±0,01
MgNO <sub>3</sub>	0,506	*	0,489	0,16±0,03	0,473	0,28±0,01	0,458	0,19±0,06
NaNO <sub>2</sub>	0,615	0,19±0,08	0,599	0,19±0,08	0,590	*	0,587	0,14±0,01
NaCl	0,753	0,59±0,02	0,746	0,33±0,07	0,740	0,32±0,13	0,739	0,37±0,00
KCl	0,820	0,52±0,08	0,809	0,45±0,05	0,800	0,36±0,01	0,795	0,50±0,11
BaCl <sub>2</sub>	0,893	1,09±0,01	0,884	*	0,876	0,76±0,12	0,870	*
CuSO <sub>4</sub>	0,961	2,64±0,58	0,949	1,46±0,36	0,936	1,41±0,10	0,925	*

Xe – umidade de equilíbrio em g/gss; N – figo *in natura*, Aw – atividade de água; \* - não determinado.

Observa-se nas Tabelas 5.3 e 5.4, que para temperatura de 40°C, a umidade de equilíbrio variou de 0,068 a 1,595 e de 0,082 a 2,643 kga/kgss, para figos osmodesidratados e *in natura* respectivamente, em uma faixa de umidade relativa de 6,6 a 96,1%. Para 50°C, a umidade de equilíbrio variou de 0,061 a 1,377 e de 0,080 a 1,460 kga/kgss, para umidades relativas entre 5,9 a 94,9% para figos osmodesidratados e *in natura* respectivamente. Pode-se observar também a variação da umidade de equilíbrio de 0,032 a 1,103; 0,063 a 1,406; de 0,007 a 0,465 e de 0,008 a 0,504 kga/kgss, para figos osmodesidratados e *in natura* em uma faixa de umidade relativa entre 4,5 a 93,6% e de 2,0 a 79,5% para as temperaturas de 60 e 70°C, respectivamente.

### 5.3.2 – Modelos Matemáticos

Para predizer o comportamento de dessecção de umidade em figos (Tabelas 5.3 e 5.4), quatro modelos descritos, amplamente utilizados na literatura (GAB, HALSEY, OSWIN e PELEG) foram ajustados aos dados experimentais. Nas Tabelas 5.5 e 5.6 são mostrados os parâmetros dos modelos, bem como os resultados da análise estatística que são o coeficiente de determinação  $R^2$  e a somatória dos erros quadráticos (SE), para figos osmodesidratados e *in natura* respectivamente.

Nas Figuras 5.1 a 5.4 se observam os ajustes dos dados experimentais aos modelos descritos nas Tabelas 5.5 e 5.6. A avaliação do melhor modelo de ajuste foi feita pelo maior coeficiente de determinação e o menor somatório dos desvios quadráticos.

Verificou-se o efeito da temperatura, ou seja, à medida que a temperatura aumenta, a umidade de equilíbrio das amostras deveria decrescer com a temperatura para uma determinada umidade relativa do ar. Entretanto, as tendências apresentadas não são muito claras. O efeito da temperatura sobre a umidade de equilíbrio também foi observado por Pacco (2003) na dessecção de figos, por Vullioudi *et al.* (2004) em estudos com cereja doce e cereja ácida, Simal *et al.* (2007) na dessecção de abacaxi e por Kaymak-Ertekin e Gedik (2004) em maçã, batata, uva e abricó numa faixa de atividade de 0,6 a 0,8. Para atividade de água acima de 0,8 os autores verificaram que o conteúdo de umidade de equilíbrio aumentou com o aumento da temperatura para maçã e abricó por causa do aumento da

solubilização dos açúcares. O efeito da temperatura também foi estudado por Nguyen *et al.* (2004) em peras armazenadas a baixas temperaturas e alta Aw (0,96 0,98).

No presente trabalho, foi observado também que as amostras osmodesidratadas apresentaram valores do conteúdo de umidade de equilíbrio mais baixos do que nas amostras *in natura*, para a maioria das condições, tanto para as amostras armazenadas em alta umidade relativa como nas amostras armazenadas em baixa umidade relativa. Park *et al.* (2001b), no estudo de secagem de pêras, encontraram valores de umidades de equilíbrio mais baixos nas amostras osmodesidratadas do que nas amostras *in natura*, em médias umidades relativas. No entanto, Baroni (2004), no estudo de dessorção de tomates, encontrou que amostras osmodesidratadas armazenadas em altas umidades relativas, apresentaram conteúdos de umidade de equilíbrio mais altos do que as amostras *in natura*, que foi atribuído à solubilização da sacarose. Garcia, Mauro e Kimura (2007), estudando o processo de desidratação osmótica em abóbora, verificaram conteúdos de umidade de amostras pré-tratadas com sacarose mais alto que as amostras não tratadas. Segundo alguns autores isto ocorre devido à alta capacidade de retenção de água pela sacarose, em comparação a celulose ou proteína, compostos com baixo conteúdo de umidade (CHIRIFE; FONTAN; BENMERCUI; 1980; PAPADAKIS *et al.*, 1993; BULL, 1944).

Todos os modelos testados representaram bem as isotermas de dessorção de figos, com valores do coeficiente de determinação  $R^2$ , acima de 96% de ajuste. Contudo, os modelos de GAB e Halsey, apresentaram um melhor ajuste (acima de 97%) com valores muito semelhantes, tanto para as amostras osmodesidratadas como para as amostras *in natura*. Estes resultados encontraram apoio no trabalho de Pacco (2003), de secagem de figos, onde o autor encontrou o melhor ajuste com o modelo de GAB, mas o mesmo não ocorreu com o modelo de Halsey. O modelo de GAB também foi usado para determinação da umidade de equilíbrio de figos por Babalis e Belessiotis (2004), por Babalis *et al.* (2006) e Xanthopoulos *et al.* (2007); e para bananas por Bains e Langrish (2007). Vullioudi *et al.* (2004), trabalhando com dessorção de cereja doce e cereja ácida, encontraram que o modelo de GAB embora não tenha apresentado o melhor ajuste, representou satisfatoriamente os dados experimentais. Simal *et al.* (2007), verificaram que o modelo de GAB ajustou satisfatoriamente os dados experimentais na dessorção de abacaxi. Kaymak-Ertekin e Gedik (2004) observaram que o modelo de Halsey se ajustou bem aos dados de

uva, abricó, maçã e batata e que o modelo de GAB se ajustou bem aos dados de uva e batata. Nguyen *et al.* (2004) também observaram que o modelo de GAB se ajustou bem aos dados de pêra em atividade de água acima de 0,95. O melhor ajuste com a equação de GAB para desorção de frutas e hortaliças também foi observado por Moraga *et al.* (2004) e Moraga *et al.* (2006), com morangos e kiwi respectivamente, Phomkong *et al.* (2006) com pêssego, ameixa e nectarina e por Akambi *et al.* (2006) em tomates.

Tabela 5.5 – Parâmetros de ajuste da isoterma de sorção de figos com DO

Modelos	Temperatura (°C)	Parâmetros				R <sup>2</sup>	SE
		Xm	C	K			
Gab	40	0,098	43,916	0,976	0,999	0,004	
		0,076	25,697	0,996			
	50	0,081	28,006	0,991	0,977	0,045	
	70	0,132	0,985	0,987	0,973	0,011	
Halsey	40	A	B	0,999	0,004		
		0,075	1,369				
	50	0,075	1,121	0,997	0,008		
	60	0,075	1,158	0,978	0,046		
70	0,128	0,815	0,973	0,011			
Oswin	40	A	B	0,998	0,008		
		0,182	0,675				
	50	0,128	0,812	0,997	0,010		
	60	0,136	0,783	0,975	0,051		
70	0,128	0,978	0,973	0,011			
Peleg	40	K <sub>1</sub>	n <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	n <sub>2</sub>	0,971	0,103
		0,992	6,792	0,992	6,792		
	50	0,946	6,300	0,946	6,300	0,984	0,044
	60	0,861	6,792	0,861	6,792	0,955	0,093
70	0,451	2,875	0,451	2,875	0,966	0,614	

DO – desidratção osmótica.

Tabela 5.6 – Parâmetros de ajuste da isoterma de sorção de figos *in natura*

Modelos	Temperatura (°C)	Parâmetros				R <sup>2</sup>	SE
Gab	40	Xm	C	K	0,996	0,046	
		0,118	12,208	0,994			
	50	0,085	40,139	0,993	0,999	0,003	
	60	0,087	20,344	1,003	0,988	0,035	
	70	0,076	3,511	1,079	0,979	0,009	
Halsey	40	A	B	0,996	0,045		
		0,119	1,124				
	50	0,082	1,165	0,999	0,003		
	60	0,095	1,064	0,987	0,041		
	70	0,132	0,808	0,979	0,009		
Oswin	40	A	B	0,995	0,051		
		0,179	0,840				
	50	0,148	0,781	0,997	0,008		
	60	0,137	0,865	0,983	0,053		
	70	0,132	0,981	0,977	0,010		
Peleg	40	K <sub>1</sub>	n <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	n <sub>2</sub>	0,980	0,215
		1,869	9,427	1,868	9,427		
	50	0,990	6,122	0,990	6,122	0,978	0,067
	60	1,141	7,698	1,141	7,698	0,960	0,124
	70	0,451	2,784	0,451	2,784	0,964	0,015

Os modelos de GAB e Halsey, no presente trabalho, se destacaram também por apresentarem menor somatória dos desvios quadráticos, tanto para as amostras osmodesidratadas como para as amostras *in natura*.

Sendo o modelo de GAB triparmétrico e, de acordo com Baroni (2004), por ser um modelo semi-empírico, seus parâmetros podem ser relacionados com fenômenos físicos observados. Sendo assim, este foi o modelo escolhido para ajustar as curvas de equilíbrio de figos osmodesidratados e *in natura*.

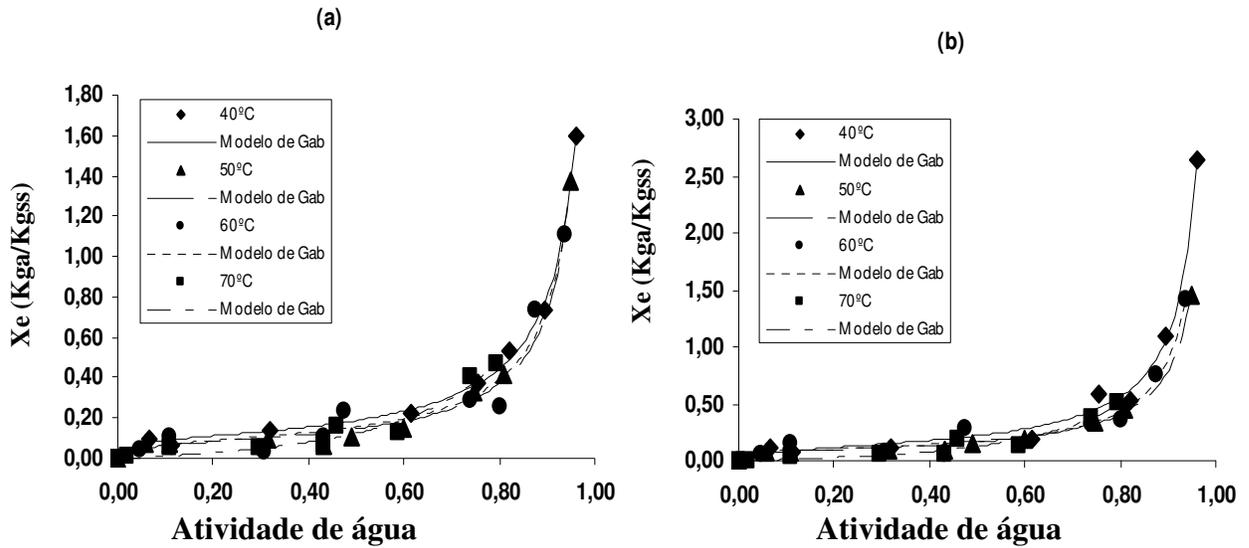


Figura 5.1 – Isotermas de dessecção de figos (a) com desidratação osmótica e (b) *in natura*, a diferentes temperaturas ajustadas pelo modelo de Gab

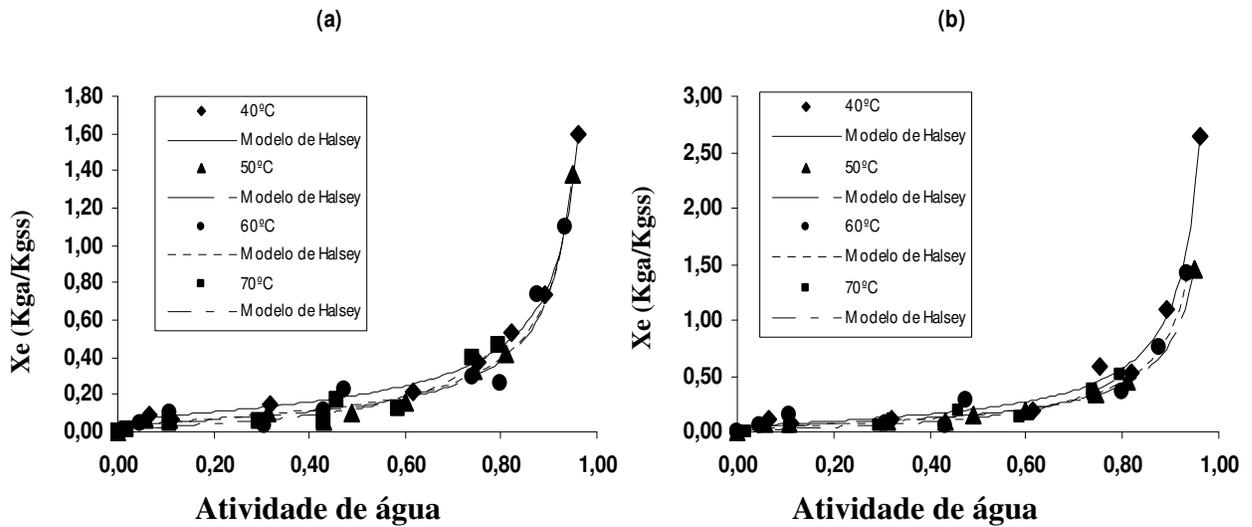


Figura 5.2 – Isotermas de dessecção de figos (a) com desidratação osmótica e (b) *in natura*, a diferentes temperaturas ajustadas pelo modelo de Halsey

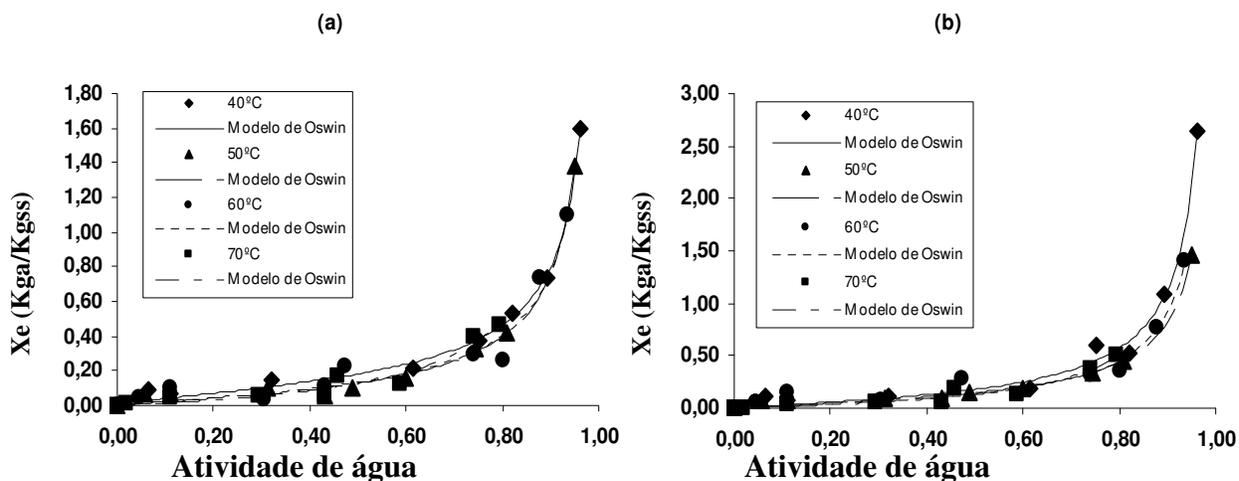


Figura 5.3 – Isotermas de desorção de figos (a) com desidratação osmótica e (b) *in natura*, a diferentes temperaturas ajustadas pelo modelo de Oswin

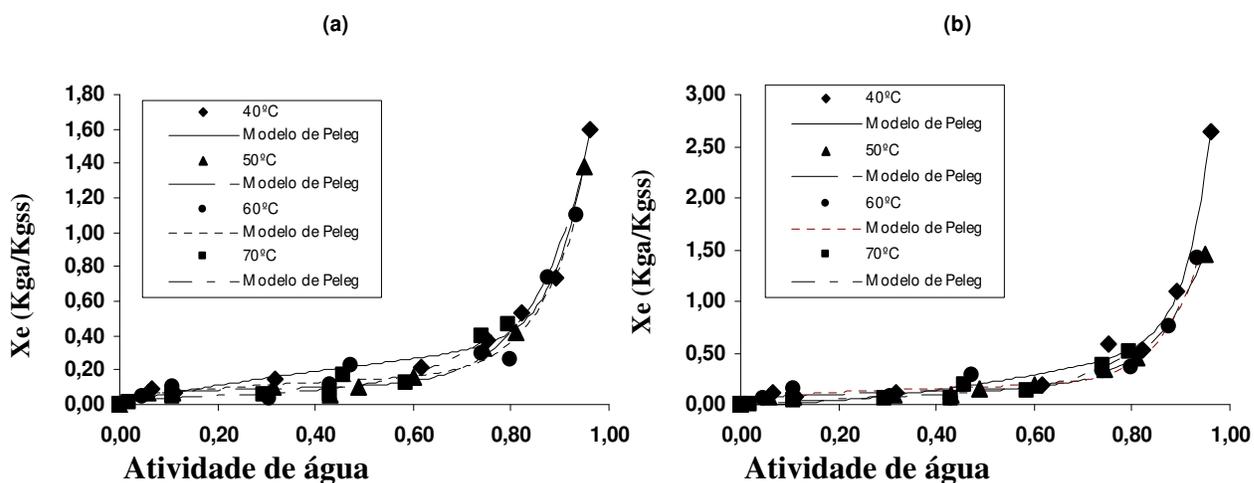


Figura 5.4 – Isotermas de desorção de figos (a) com desidratação osmótica e (b) *in natura*, a diferentes temperaturas ajustadas pelo modelo de Peleg

Analisando-se os resultados obtidos para a umidade na camada monomolecular do modelo de GAB ( $X_m$ ), observa-se que as amostras osmodesidratadas apresentam valores mais baixos que nas amostras *in natura*. Contudo, nas amostras *in natura*, verifica-se o efeito mais evidente da temperatura, sendo que, nas amostras osmodesidratadas, esse efeito não foi bem definido, apresentando flutuações aleatórias. Flutuações aleatórias também foram observadas por Araújo *et al.* (2002) e Gouveia *et al.* (2004) na determinação de

umidade em monocamada do modelo de GAB para isotermas de dessecção de polpa de goiaba e de banana, respectivamente. Já Simal *et al.* (2007) estudando dessecção de abacaxi, Phomkong *et al.* (2006), pêssego, ameixa e nectarina, e Akambi, Adeyemi e Ojo (2006), em tomates, encontraram uma dependência da temperatura para o conteúdo de umidade da monocamada. Contudo, no presente trabalho, na temperatura de 70°C, verificou-se um aumento significativo da umidade da monocamada de amostras osmodesidratadas. Este fato deve-se provavelmente à falta de valores dos últimos pontos da curva de dessecção (verificado com simulações aleatórias de substituição dos dados).

O parâmetro C do modelo de GAB decresceu com o aumento da temperatura, exceto para 60°C para figos desidratados osmoticamente e 50 e 60°C para os figos *in natura*. A dependência da temperatura para este parâmetro também foi encontrado por Simal *et al.* (2007).

#### 5.4 – Conclusões

O conteúdo de umidade de equilíbrio higroscópico de figos sofreu influência da temperatura, ou seja, à medida que se aumenta a temperatura, a umidade de equilíbrio sofre uma pequena variação.

As amostras tratadas osmoticamente apresentaram valores de umidade de equilíbrio menores do que as amostras *in natura*.

Os modelos de Gab e Halsey apresentaram os melhores ajustes para as isotermas de dessecção de figos devido ao maior coeficiente de determinação e menor somatória dos desvios quadráticos.

Os demais modelos também se ajustaram satisfatoriamente aos dados experimentais de isotermas, podendo ser empregados para o cálculo de umidade de equilíbrio higroscópico de figos.

## **Capítulo 6: Secagem e Propriedades Físicas de Figs**

## 6.1 - Resumo

Neste capítulo estudou-se a influência da desidratação osmótica na secagem de figos. A cinética de secagem de figos pré-tratados osmoticamente e *in natura* foi modelada matematicamente através da equação de difusão de Fick, do modelo de Page e do modelo exponencial com dois termos, obtendo-se coeficientes de transferência de massa durante o processo. O tratamento osmótico influenciou as taxas de secagem e os coeficientes de difusão, apresentando maiores taxas nos figos *in natura*. A difusividade não foi constante durante todo o período de secagem, sendo necessário o cálculo de três difusividades distintas ao longo da curva, obtendo-se os maiores valores do coeficiente de difusão no primeiro período de secagem. Ao longo de toda a curva as amostras *in natura* apresentaram maiores valores do coeficiente de difusão. Durante a secagem determinou-se também a diminuição das dimensões das amostras verificando que a espessura foi mais influenciada pelo processo de secagem que o diâmetro, indicando uma tendência de fluxo praticamente unidirecional. O modelo que apresentou melhor ajuste foi o modelo exponencial com coeficientes de determinação mais elevados. O processo de desidratação osmótica promoveu redução do tempo de secagem em todas as temperaturas de processo.

## **6.2 - Material e Métodos**

### **6.2.1 - Matéria Prima**

A matéria prima utilizada foi, frutas de figo (*Ficus carica*, L), variedade gigante, provenientes do município de Valinhos – SP.

### **6.2.2 - Preparação e Análise da Amostra**

Os figos foram lavados e selecionados de forma a se obter um produto o mais uniforme possível quanto ao grau de maturação, tendo como padrão, as frutas que apresentaram cor característica, roxo intenso e peso mais aproximado (cerca de 80g).

Os figos foram cortados em fatias de aproximadamente de 0,009 a 0,011m de espessura, da porção mediana da fruta, e em seguida, uma parte foi imersa em solução de sacarose a uma concentração de 50% por um tempo determinado de 6h a temperatura de 40°C. Após o processo de desidratação osmótica, as fatias de figo foram drenadas e secas superficialmente, pesadas e levadas ao secador para dar início ao processo de secagem. Paralelamente, amostras sem tratamento osmótico, previamente pesadas, foram submetidas às mesmas condições de secagem.

Antes do processo de secagem, amostras de figo com e sem tratamento osmótico foram coletadas para análise do conteúdo de umidade, açúcares totais (%) e açúcares redutores (%), de acordo com as metodologias descritas no capítulo 3 (item 3.2.6).

### **6.2.3 – Secagem**

As fatias de figo desidratadas osmoticamente bem como as não submetidas ao processo, foram dispostas em camada delgada em bandejas de tela de alumínio, e levadas a um secador de bandejas, de forma que o fluxo de ar incidia transversalmente ao produto com

velocidade do ar de secagem de 1,5m/s. A secagem foi conduzida a quatro temperaturas (40, 50, 60 e 70°C) durante tempos longos até as amostras apresentarem peso constante.

A umidade do sólido em função do tempo foi determinada através da determinação do conteúdo inicial de umidade e do acompanhamento da perda de peso, realizando-se sucessivas pesagens em balança eletrônica analítica marca Marte A200.

#### 6.2.4 - Umidade de Equilíbrio

As umidades de equilíbrio de figos desidratados osmoticamente e *in natura* foram calculadas a partir das isotermas de sorção determinadas nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C, utilizando o método estático apresentado no capítulo 5. A Tabela 6.1 ilustra os dados de umidade de equilíbrio, obtidos para as temperaturas e umidades relativas utilizadas na secagem.

Tabela 6.1 - Umidade de equilíbrio obtidas do processo de secagem de figo

Temperatura (°C)	Figo DO	Figo <i>in natura</i>	UR (%)
40°C	0,12±0,04	0,11±0,02	25,53
50°C	0,07±0,00	0,10±0,01	11,76
60°C	0,06±0,01	0,10±0,03	7,18
70°C	0,01±0,00	0,02±0,01	5,04

DO – Desidratação osmótica; UR – Umidade relativa.

#### 6.2.5 - Tratamento Matemático

Estudou-se a cinética de secagem de figos frescos e após tratamento osmótico. Considerando as fatias de figo como placa plana, utilizou-se a equação de Fick (equação 2.3) para determinação do coeficiente de difusão, considerando dez (10) termos da série, utilizando-se como ferramenta o programa computacional *Statistica 5.0*.

Correlações empíricas também foram utilizadas para representar as curvas de secagem de figo. Foi utilizado o modelo exponencial com dois termos (equação 2.4) para o ajuste dos dados de secagem de figos. Optou-se também pela equação de Page (equação 2.5) que,

por possuir dois parâmetros e conseqüentemente, elevada capacidade de ajuste, é muito utilizada para representar dados de secagem de alimentos.

### 6.2.6 – Encolhimento

As medidas das dimensões (diâmetro e espessura) das fatias de figos durante a secagem, foram determinadas pela média de quatro medidas das amostras utilizando um paquímetro.

## 6.3 - Resultados e Discussão

### 6.3.1 - Caracterização da Matéria Prima

Os dados de caracterização de figos para o processo de secagem estão apresentados na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Caracterização da matéria prima

Composição	Figo <i>in natura</i>	Figo DO
Conteúdo de umidade (kg/kgss)	4,9±0,09 a 6,2±0,04	1,7±0,06 a 1,9±0,07
Açúcares totais (% b.u)	15,0±0,10 a 15,4±0,15	30,5±0,61 a 32,7±0,13
Açúcares redutores (% b.u)	13,7±0,23 a 15,0±0,14	25,4±0,91 a 26,0±0,58

### 6.3.2 - Cinética de Secagem

A Figura 6.1 mostra os valores do conteúdo de umidade em base seca e a Figura 6.2, seus respectivos adimensionais, todos em função do tempo para diferentes temperaturas de secagem.

Foi observado que ao final do processo de secagem de figos *in natura* e desidratados osmoticamente, os respectivos valores do conteúdo de umidade estão muito próximos, como mostra a Tabela 6.1.

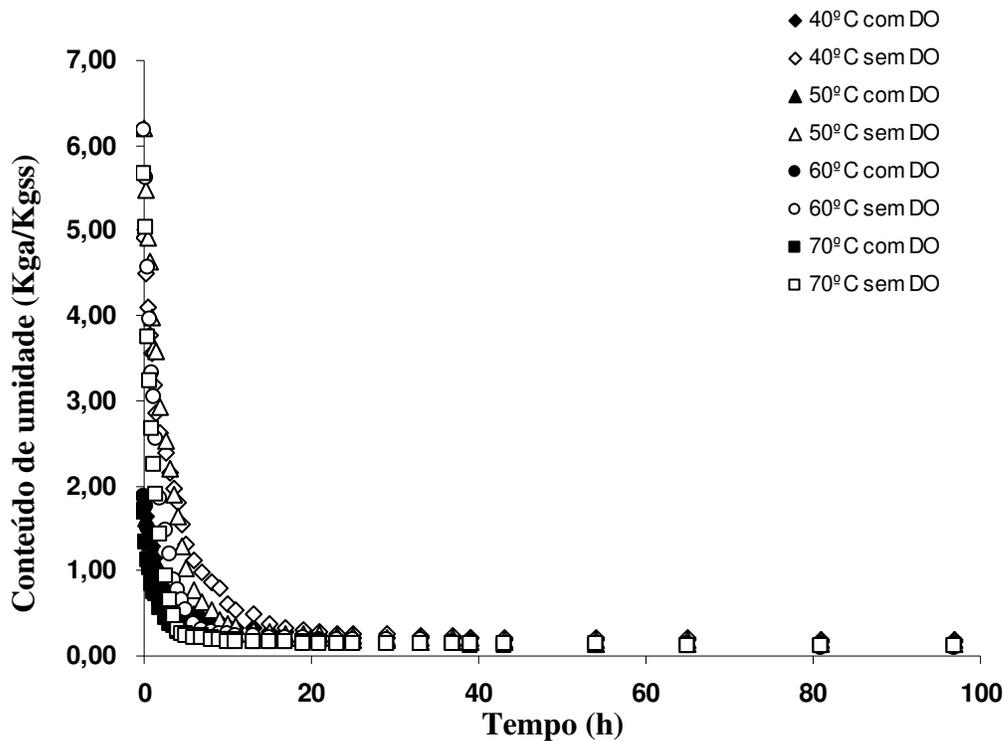


Figura 6.1 - Conteúdo de umidade durante secagem de figo com desidratação osmótica com  $X_0$  variando de 1,69 a 1,87 e *in natura* com  $X_0$  variando de 4,91 a 6,21

Na Figura 6.2 se apresentam os dados do conteúdo de umidade adimensionalizados em função do tempo de secagem, onde percebe-se que existe uma tendência a atingir a umidade final constante a partir de aproximadamente 30 horas de secagem tanto para amostras *in natura* quanto para as amostras pré-tratadas osmoticamente. As amostras *in natura* apresentam taxa de secagem maior que as amostras previamente desidratadas com sacarose. Esse comportamento dos dados encontra apoio no trabalho de Azoubel (2002) em secagem de caju e El-Aouar (2005), em secagem de mamão.

Analisando as Figuras 6.1 e 6.2, pode-se perceber que quanto maior a temperatura do processo, mais acentuada é a curva de secagem. Este fato pode ser observado nas amostras que foram submetidas ao processo de desidratação osmótica, mas principalmente nas amostras *in natura*, que sofreram maior influência da temperatura.

O aumento da taxa de secagem com o aumento da temperatura é uma tendência amplamente verificada para a maioria dos produtos. A influência da temperatura na secagem de figos também foi observada por Pacco (2003); Babalis e Belessiotis (2004); e por Babalis *et al.* (2006); Xanthopoulos *et al.* (2007), e em outras frutas por Nguyen e Price (2007) e Nimmol *et al.* (2007) em banana; Goyal *et al.* (2007) com ameixa; Ochoa *et al.* (2007) com cereja doce; Schultz *et al.* (2007) com maçã.

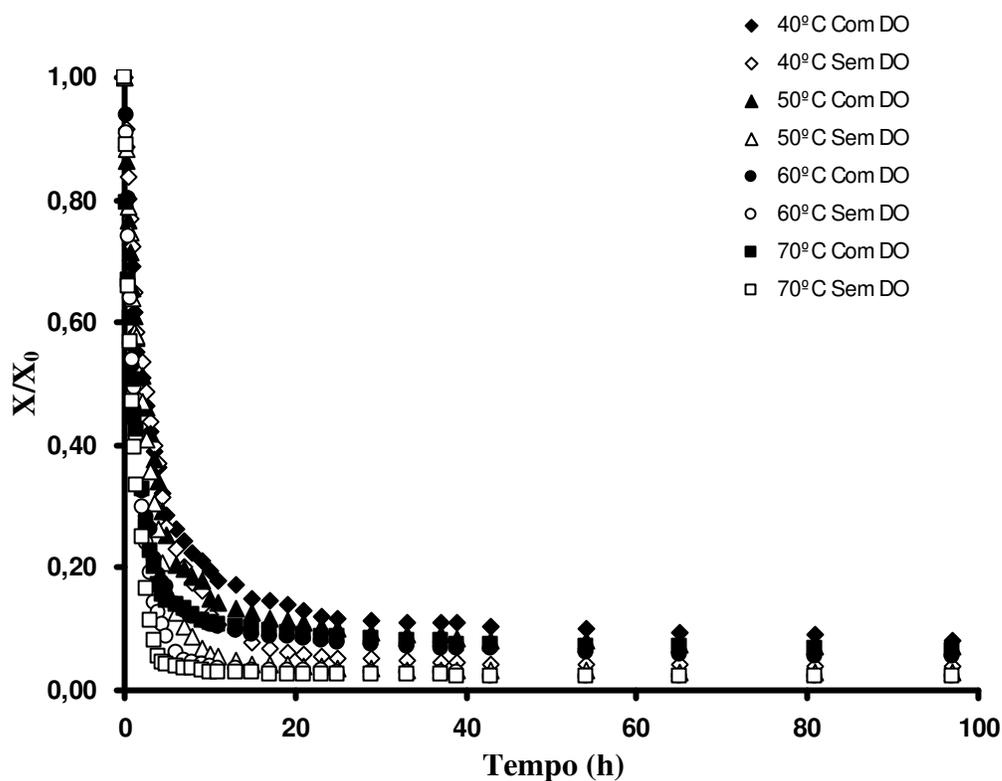


Figura 6.2 – Adimensional do conteúdo de umidade durante secagem de figo com e sem desidratação osmótica

### 6.3.3 - Modelagem Matemática de Secagem

As curvas de secagem inicialmente foram correlacionadas usando a equação de Fick com 10 termos da série, considerando difusividade constante e geometria de placa plana para o cálculo da difusividade aparente. O ajuste usando a equação de Fick é mostrado na Figura 6.3. As curvas apresentam valores calculados pela equação 2.3.

A equação de Fick tem sido extensamente usada para descrever o processo de secagem de diversos produtos agrícolas para diferentes condições de secagem como Azoubel (2002) com caju; Pacco (2003), Babalis e Belessiotis (2004), e Doymaz (2005) com figo, Akanbi, Adeyemi e Ojo (2006) com tomate; Bialobrzewski (2006) com maçã; Hawlader *et al.* (2006) com goiaba e mamão; Goyal *et al.* (2007) com ameixa; Bains e Langrish (2007) com banana; Doymaz (2007) com cereja; Margaritis e Ghiaus (2007) com uva; Hassini *et al.* (2007) com batata; Srikiatden e Roberts (2006) com batata e cenoura.

No entanto, neste trabalho não houve um bom ajuste dos dados, principalmente para tempos longos, onde a curva da equação de Fick apresentou taxas de secagem mais elevadas do que a curva dos dados experimentais. A Figura 6.3 mostra o ajuste da equação de Fick aos dados experimentais, bem como seus respectivos coeficientes de determinação. Uma discrepância entre os dados experimentais e preditos também foi observada por Srikiatden e Roberts (2006) em batata e cenoura usando a equação de Fick.

Isto sugere que a difusividade cai fortemente com a umidade e não é possível considerar uma difusividade constante para todo o período.

Conseqüentemente, consideraram-se três períodos diferentes de secagem para estimativas da difusividade, e por regressão não linear foram determinadas as respectivas difusividades para cada intervalo de tempo:  $D_1$  (primeiro período de secagem),  $D_2$  (segundo período de secagem) e  $D_3$  (terceiro período de secagem) para as diferentes temperaturas estudadas. Nas temperaturas de 40 e de 50°C com e sem tratamento osmótico, determinou-se a difusividade para o período de ( $D_1$ ) de 0 a 5 horas, ( $D_2$ ) de 6 horas a 10 horas de secagem, e ( $D_3$ ) foi calculada a partir de 11 horas de secagem. Nas temperaturas de 60 e 70°C, as difusividades foram uma função mais acentuada do tempo de secagem. Assim os períodos considerados deveriam ser mais curtos. Portanto, calculou-se a ( $D_1$ ) de 0 a 3,5 horas, e ( $D_2$ ) de 4 a 8 horas de secagem, e ( $D_3$ ) a partir de 9 horas até 97 horas de secagem. Em cada período de secagem os dados experimentais de umidade foram adimensionalizados considerando  $X_0$  a umidade inicial de cada período, considerada esta como constante. As umidades adimensionais assim geradas foram ajustadas pela equação de Fick, em função do tempo de cada período. Para graficar os três períodos, as umidades adimensionais dos foram recalculadas com base na umidade inicial da curva no tempo zero. Os coeficientes de difusão em função da temperatura de secagem de figos, com e sem

tratamento osmótico são apresentados nas Tabelas 6.2 e 6.3, juntamente com seus respectivos coeficientes de determinação. Analisando o coeficiente de determinação, verifica-se que, na maioria das condições estudadas, os valores encontrados estão próximos de 1. A Figura 6.4 mostra a difusividade em cada período de secagem de figo, enquanto que as Figuras 6.5 a 6.11 apresentam os resultados obtidos de cada período individual de secagem.

A difusividade no período de secagem ( $D_1$ ), tanto para as amostras com desidratação osmótica e *in natura*, como esperado, aumentaram com a temperatura, exceto a temperatura de 50°C. Nessa temperatura também se verifica menor encolhimento das amostras (item 6.3.4). No segundo período ( $D_2$ ), as difusividades aumentam com a temperatura até 60°C sofrendo um decréscimo para 70°C, nos figos *in natura*. Esta tendência se verifica também nos figos com desidratação osmótica, exceto para a temperatura de 50°C que novamente apresenta valores mais baixos. Já no terceiro período, existe uma inversão completa do comportamento das difusividades em relação à temperatura. Em ambos os materiais as difusividades caíram com a temperatura.

Diferentes difusividades ao longo do período de secagem, também foram observadas por Hawlader *et al.* (1991) e por Akanbi, Adeyemi e Ojo (2006) em tomates.

Observa-se nas Tabelas 6.2 e 6.3 e na Figura 6.4, que os valores de difusividade ( $m^2/s$ ), nos três estágios de secagem, obtidos para figos maduros *in natura* e desidratados osmoticamente, encontram-se dentro da faixa de ordem de grandeza dos encontrados na literatura para diferentes frutas. Babalis e Belessiotis (2004); e Doymaz (2005), trabalhando com figo respectivamente, encontraram diferentes difusividades ( $6,48 \times 10^{-10}$  a  $2,73 \times 10^{-9}$  e  $2,47 \times 10^{-10}$ ); Goyal *et al.* (2007) encontraram que a difusividade em ameixa variou de  $3,04 \times 10^{-10}$  a  $4,41 \times 10^{-10}$ ; Bains e Langrish (2007) e Nguyen e Price (2007) encontraram uma variação na difusividade em banana, respectivamente de 1,23 a  $1,58 \times 10^{-9}$  e 1,3 a  $7,8 \times 10^{-10}$ ; a difusividade determinada por Margaritis e Ghiaus (2007) em uvas foi  $6,44 \times 10^{-10}$ ; Doymaz (2007) determinou a difusividade em cereja ácida cujo valor foi de  $4,75 \times 10^{-10}$  a  $1,03 \times 10^{-9}$ ; Hawlader (2006) encontrou que a difusividade em goiaba e mamão respectivamente, variou de 6,09 a  $10,55 \times 10^{-10}$  e 6,61 a  $7,69 \times 10^{-10}$ ; e Bialobrzewski (2006) verificou que a difusividade em maçã variou de 1,01 a  $3,10 \times 10^{-9}$ . Contudo as difusividades determinadas

neste trabalho apresentam-se superiores aos valores encontrados por Nguyen *et al.* (2006) que variaram de 0,55 a  $435,9 \times 10^{-13}$  em peras.

Pode-se verificar que tanto a desidratação osmótica como a temperatura de secagem influenciam os valores obtidos de difusividade. De acordo com a Tabela 6.2 e 6.3 e Figura 6.4, os maiores valores de difusividade foram obtidos para as amostras *in natura*. Esse comportamento pode ser devido ao alto conteúdo de umidade inicial presente nas amostras, facilitando o fluxo de saída de água do interior da fruta, e ao efeito limitante do açúcar superficial no figo desidratado osmoticamente.

Tabela 6.2 - Parâmetros de ajuste do modelo difusional de Fick durante a secagem (40 e 50°) de fatias de figos *in natura* e pré-tratado osmoticamente com solução de sacarose.

Temperatura (°C)	D <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> /s) 0 – 5h	R <sup>2</sup>	D <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> /s) 6 – 10h	R <sup>2</sup>	D <sub>3</sub> (m <sup>2</sup> /s) 11 – 97h	R <sup>2</sup>
40°C C/DO	6,20E <sup>-10</sup>	0,994	1,14E <sup>-10</sup>	0,965	6,68E <sup>-11</sup>	0,960
40°C N	6,66E <sup>-10</sup>	0,988	2,77E <sup>-10</sup>	0,945	1,44E <sup>-10</sup>	0,909
50°C C/DO	4,36E <sup>-10</sup>	0,998	4,19E <sup>-11</sup>	0,831	2,86E <sup>-11</sup>	0,963
50°C N	6,35E <sup>-10</sup>	0,990	3,52E <sup>-10</sup>	0,972	4,86E <sup>-11</sup>	0,878

C/DO – com desidratação osmótica; N – *in natura*; D<sub>1,2,3</sub> – difusividade nos diferentes períodos de secagem (m<sup>2</sup>/s); R<sup>2</sup> – coeficiente de determinação.

Tabela 6.3 - Parâmetros de ajuste do modelo difusional de Fick durante a secagem (60 e 70°C) de fatias de figos *in natura* e pré-tratado osmoticamente com solução de sacarose.

Temperatura (°C)	D <sub>1</sub> (m <sup>2</sup> /s) 0 – 3,5h	R <sup>2</sup>	D <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> /s) 4 – 8h	R <sup>2</sup>	D <sub>3</sub> (m <sup>2</sup> /s) 10 – 97h	R <sup>2</sup>
60°C C/DO	8,73E <sup>-10</sup>	0,968	1,61E <sup>-10</sup>	0,959	3,64E <sup>-11</sup>	0,979
60°C N	1,16E <sup>-09</sup>	0,978	7,40E <sup>-10</sup>	0,981	5,86E <sup>-11</sup>	0,984
70°C C/DO	9,30E <sup>-10</sup>	0,997	8,49E <sup>-11</sup>	0,992	1,29E <sup>-11</sup>	0,971
70°C N	2,03E <sup>-09</sup>	0,983	2,87E <sup>-10</sup>	0,973	1,35E <sup>-11</sup>	0,956

C/DO – com desidratação osmótica; N – *in natura*; D<sub>1,2,3</sub> – difusividade nos diferentes períodos de secagem (m<sup>2</sup>/s); R<sup>2</sup> – coeficiente de determinação.

Em todo o período do processo de secagem, verifica-se que valores mais elevados de difusividade foram encontrados no primeiro período do processo (até 5 horas para as temperaturas de 40 e 50°C e até 3,5 horas para 60 e 70°C respectivamente).

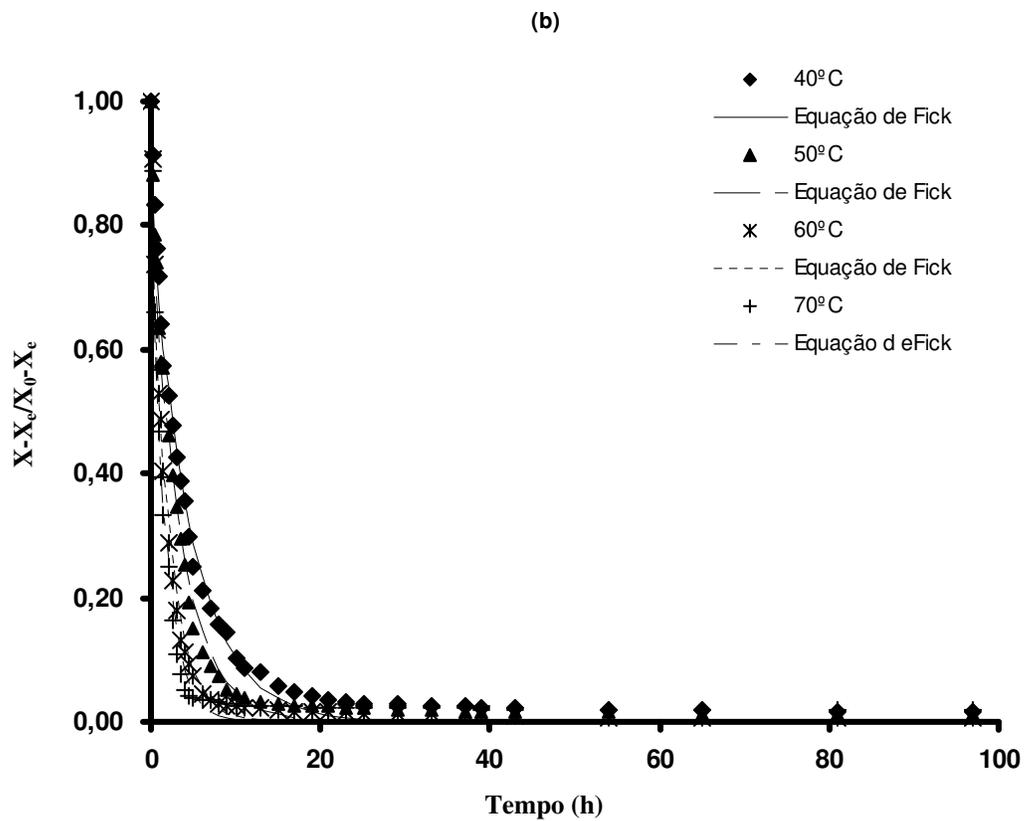
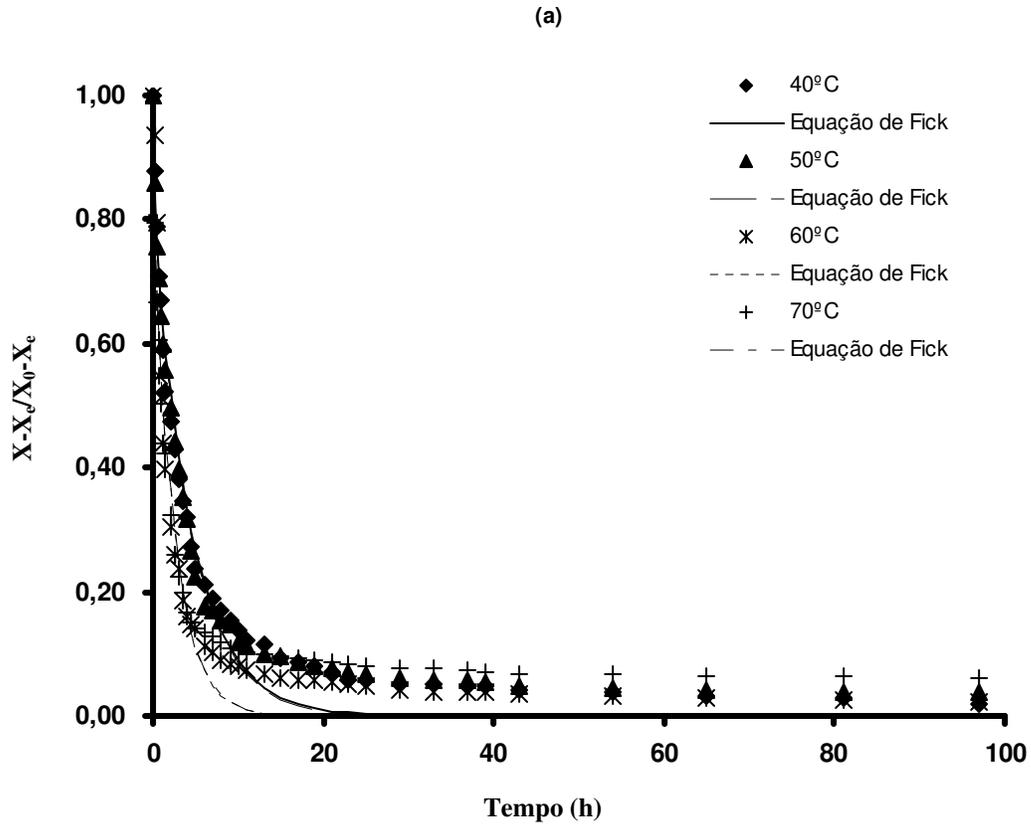


Figura 6.3 – Adimensional do conteúdo de umidade durante secagem de figo osmodesidratados (a) e *in natura* (b), ajustado ao modelo de Fick

Esses dados encontram apoio no trabalho de Akanbi, Adeyemi e Ojo (2006), em secagem de tomate, em que a difusividade foi maior no primeiro período de secagem. As difusividades do segundo e terceiro períodos de secagem foram bem mais baixas do que o primeiro período, e essa diferença se torna mais evidente com temperaturas mais altas (60 e 70°C). Foi verificado também que as difusividades de figos pré-tratados também foram mais baixas do que nos figos *in natura*, no segundo e terceiro períodos de secagem. Assim a difusividade é uma função fortemente decrescente com a umidade do produto. A dependência da umidade também foi observada por Azoubel (2002) e por Rui-López e García-Alvarado (2007).

Difusividades mais baixas são geralmente verificadas nos produtos que foram desidratados com açúcares e podem ser explicados pela penetração do soluto no tecido da fruta durante a desidratação osmótica. Diversos autores demonstraram que limites da penetração de sacarose ocorrem a poucos milímetros da superfície (SALVATORI *et al.*, 1999; MONERAT *et al.*, 2005), assim uma concentração elevada de sacarose na superfície da fruta pode formar uma crosta dificultando a difusão de água, especialmente em temperaturas mais elevadas.

Uma redução da difusividade também foi verificada por Rodrigues (2003); Karathanos *et al.* (1995); Saravacos (1995); e Simal *et al.* (1997) trabalhando com maçãs.

El-Aouar (2005), estudando secagem de mamão, encontrou que amostras pré-tratadas com xarope de milho tiveram valores de difusividade maiores que amostras pré-tratadas com sacarose e, conseqüentemente, amostras secas sem tratamento osmótico mostraram valores de difusividade ainda maiores. Segundo o autor, esse fato ocorreu porque as amostras desidratadas com sacarose perderam mais água e incorporaram mais sólido durante o pré-tratamento e, conseqüentemente, o conteúdo de água livre foi menor, bem como a taxa de transferência de massa.

Mazza (1983), estudando secagem de cenoura, observou que o aumento do ganho de sólidos durante a pré-secagem osmótica promove o decréscimo da taxa de secagem em função da dissolução e cristalização da sacarose sobre a superfície do produto, que reduz a pressão de vapor de água e conseqüentemente diminui a difusividade de água.

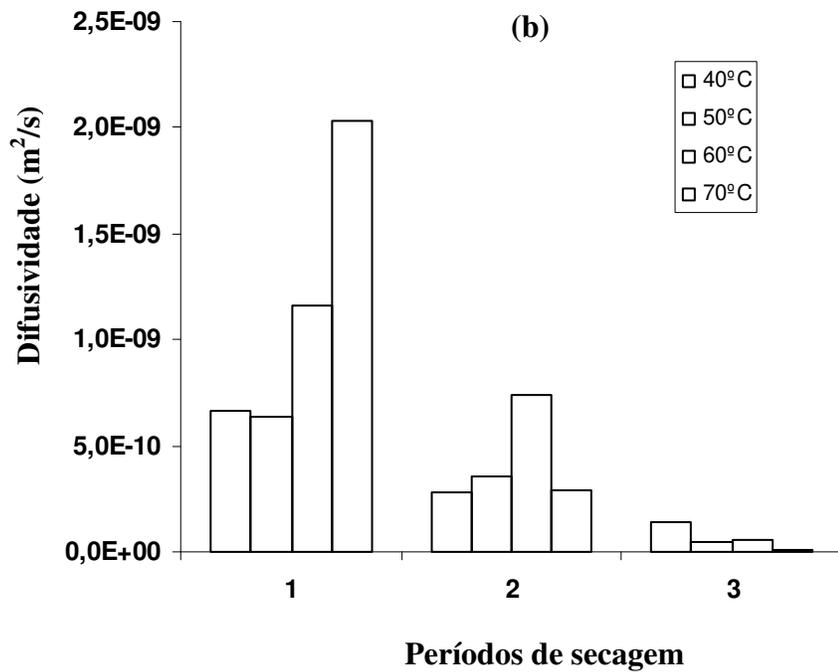
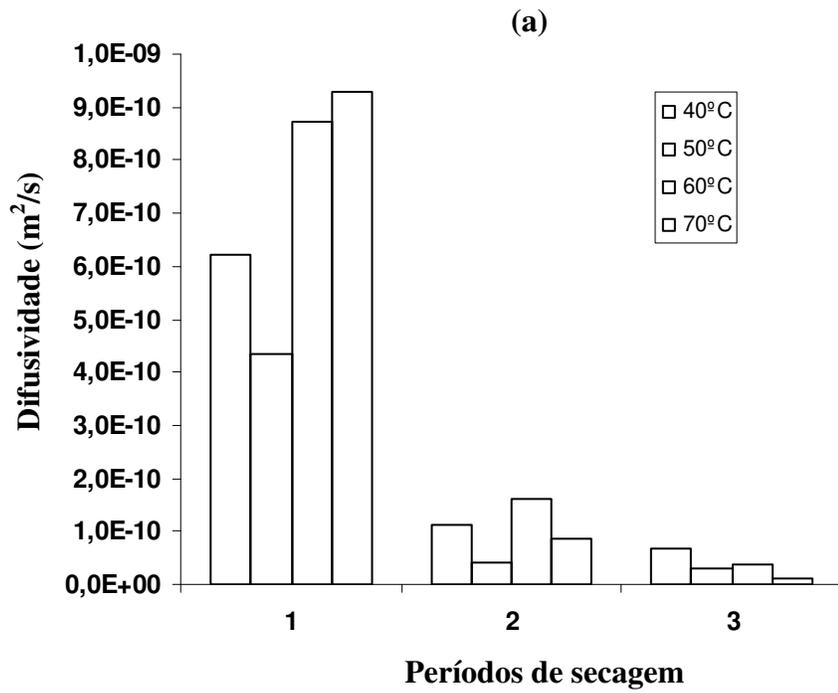


Figura 6.4 – Difusividade de figos durante a secagem de figos osmodesidratados (a) e *in natura* (b)

Azoubel (2002), estudando secagem de pedúnculo de caju, Araújo (2005) em estudo de secagem de nectarina e El-Aouar (2005) com mamão, encontraram maiores valores de difusividade quando os produtos foram submetidos à secagem sem pré-tratamento osmótico, variando respectivamente de 10,82 a 25,00 e 8,23 a 15,68 x 10<sup>-10</sup>m<sup>2</sup>/s; de 6,94 a 16,11 e 3,66 a 7,09 x 10<sup>-10</sup>m<sup>2</sup>/s e de 2,64 a 8,67 e 0,69 a 1,51 x 10<sup>-9</sup>m<sup>2</sup>/s, para as fruta *in natura* e osmodesidratadas respectivamente.

Contudo, uma tendência diferente da difusividade foi encontrada por Park *et al.* (2003) trabalhando com pêras, e Argandoña (2005), em estudo com goiabas. Os autores atribuíram este fato, ao encolhimento e endurecimento das frutas *in natura* durante a secagem o que impediu a migração de umidade.

Segundo Piga *et al.* (2004) frutas ricas em açúcar podem sofrer endurecimento da superfície porque os açúcares se movimentam da polpa para a superfície.

As Figuras 6.5 a 6.11 mostram o ajuste das curvas para os diferentes períodos do processo de secagem, bem como para o período completo, usando a lei de Fick.

Observa-se nas figuras 6.5, 6.7 e 6.9 a influência da temperatura do ar de secagem sobre a taxa de secagem, sendo mais evidente nas amostras *in natura*, especialmente nos dois primeiros períodos de secagem, como mostra as Figuras 6.5 (b) e 6.7 (b). Contudo uma inversão das curvas é observada no final do período de secagem (Figura 6.9), onde temperaturas mais altas apresentam taxas mais baixas tanto nas amostras osmodesidratadas como as amostras *in natura*.

Foi verificado também que em todos os períodos de secagem as amostras *in natura* apresentaram taxas mais elevadas que as amostras osmodesidratadas (Figuras 6.6, 6.8 e 6.10), apenas com exceção do primeiro período de secagem para a temperatura de 40°C, em que as amostras osmodesidratadas apresentaram taxas mais elevadas.

Na Figura 6.11 se apresenta o ajuste dos dados para todo o período de secagem utilizando as difusividades obtidas (Tabelas 6.2 e 6.3) em função do adimensional de umidade em função das condições iniciais de secagem (t=0). Observa-se um bom ajuste nos diversos períodos.

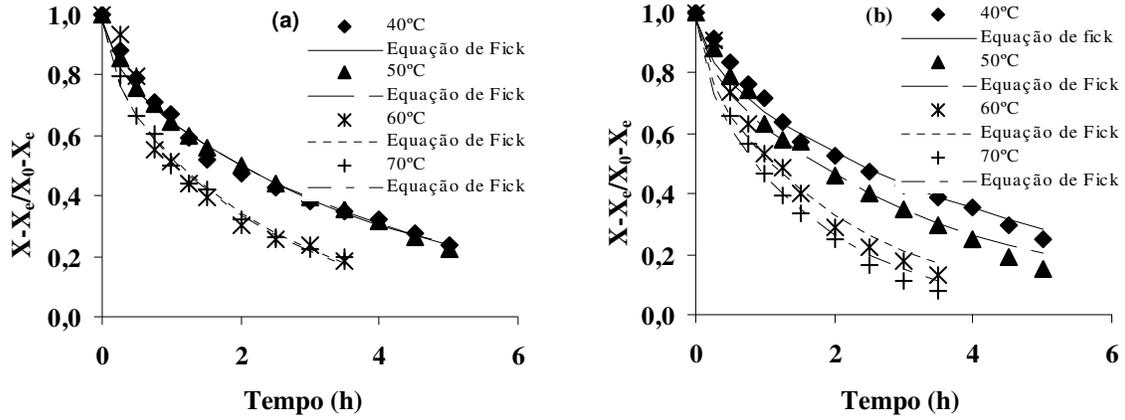


Figura 6.5 – Curvas de secagem para D<sub>1</sub> (1<sup>o</sup> período), de figos tratados osmoticamente (a) e *in natura* (b) em diferentes temperaturas (40, 50, 60 e 70°C)

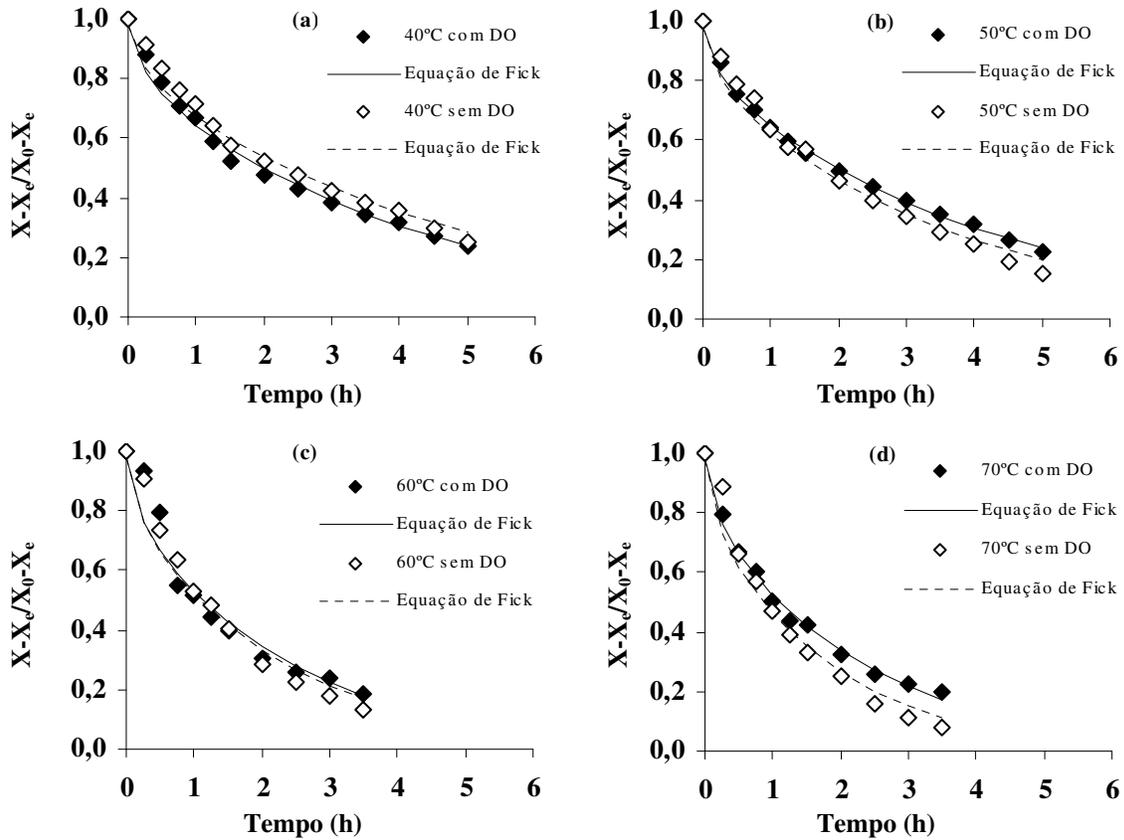


Figura 6.6 – Comparação entre as curvas de secagem para D<sub>1</sub> (1<sup>o</sup> período), de figos tratados osmoticamente e *in natura* em diferentes temperaturas 40 (a), 50 (b), 60 (c) e 70°C (d)

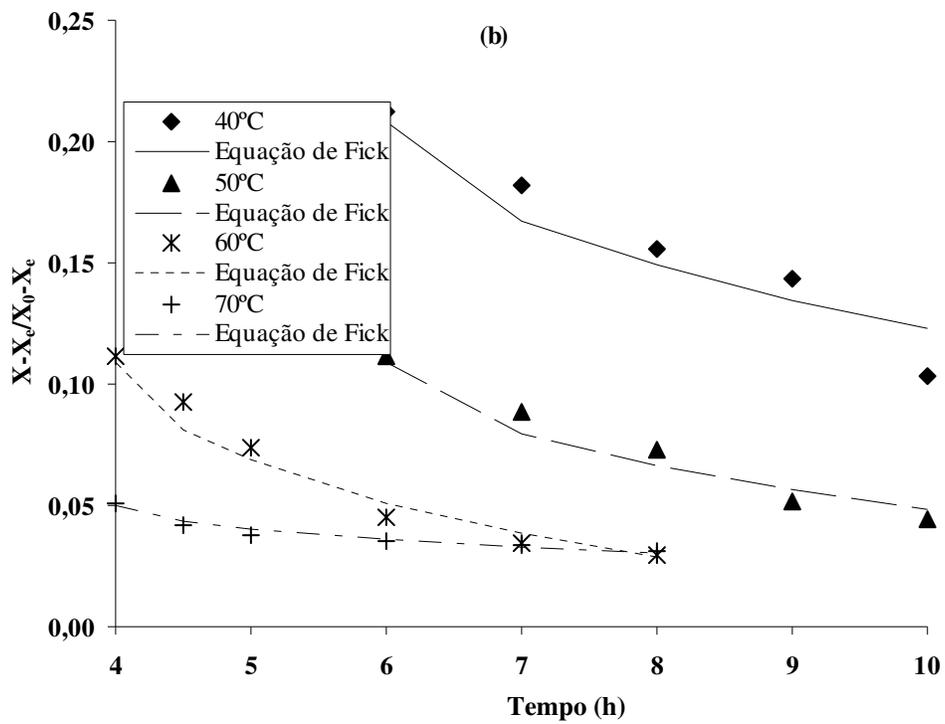
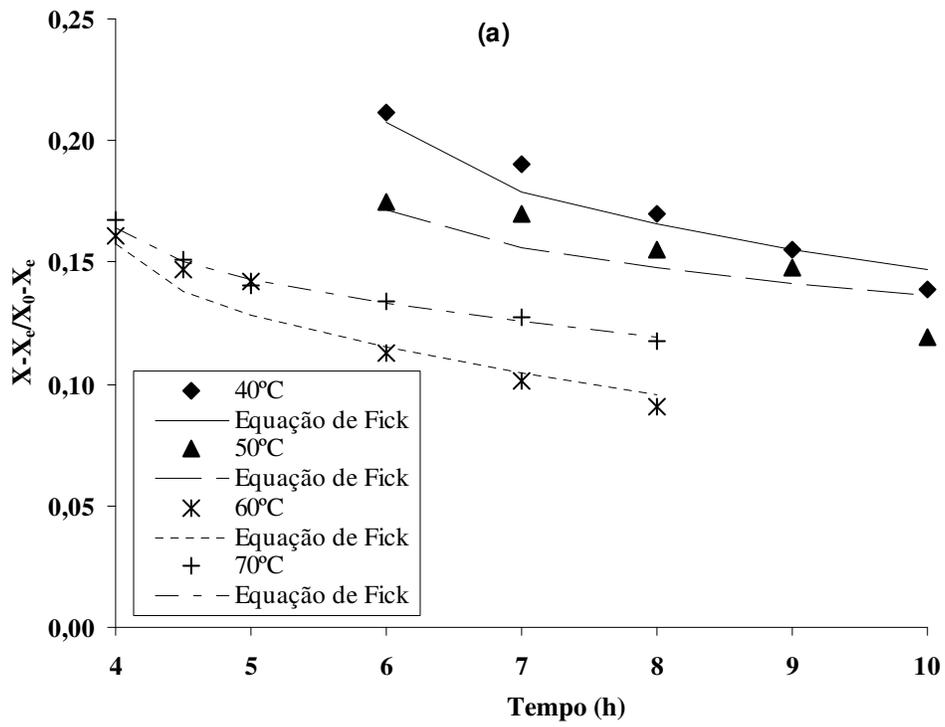


Figura 6.7 – Curvas de secagem para D<sub>2</sub> (2º período), de figos tratados osmoticamente (a) e *in natura* (b) em diferentes temperaturas (40, 50, 60 e 70°C)

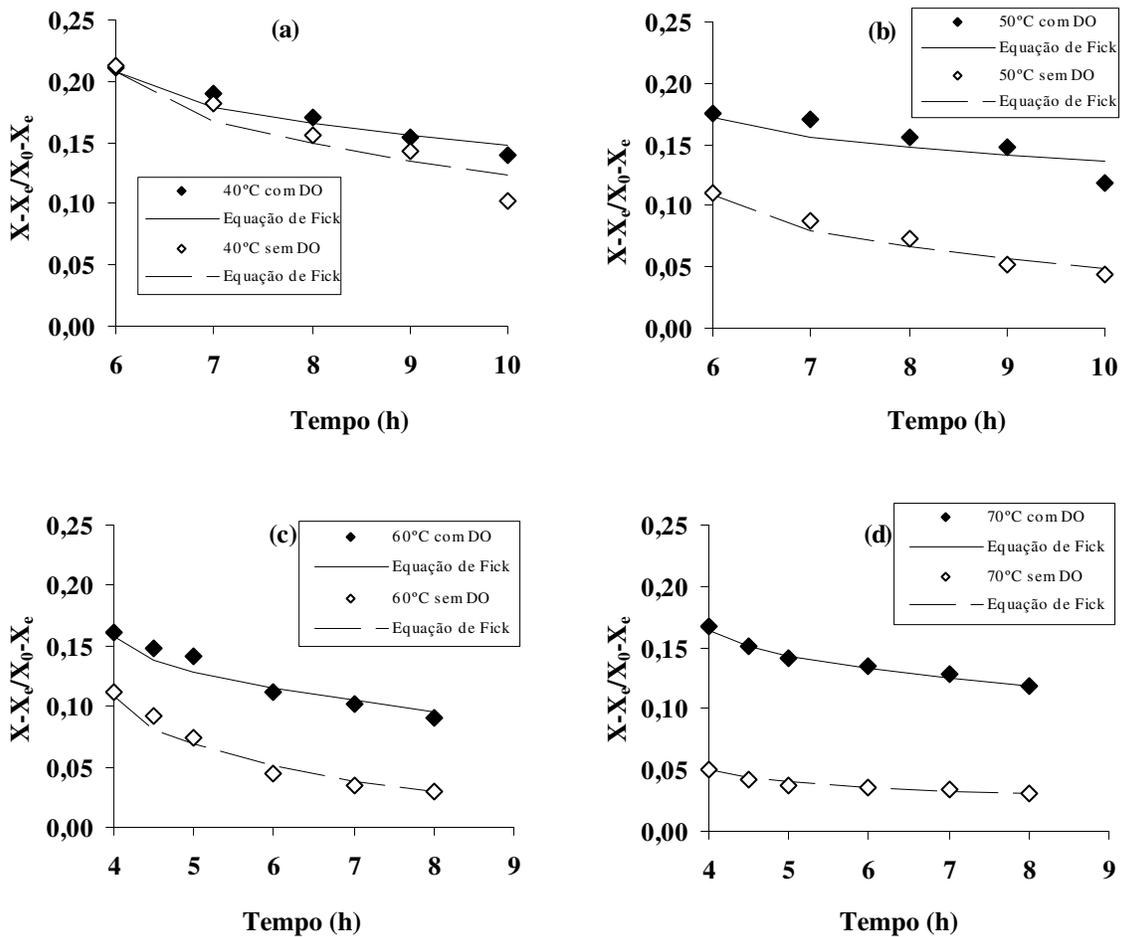


Figura 6.8 – Comparação entre as curvas de secagem para  $D_2$  (2º período), de figos tratados osmoticamente e *in natura* em diferentes temperaturas 40 (a), 50 (b), 60 (c) e 70°C (d)

Verifica-se, durante o cruzamento da curva de 70°C, que esta apresenta taxas mais baixas que as demais temperaturas tanto nas amostras desidratadas osmoticamente como nas amostras *in natura* (Figura 6.11), e que a taxa cai rapidamente e tende a se estabilizar mais rápido na temperatura de 70°C.

Para finalidades práticas, é geralmente mais adequado, o ajuste de dados experimentais com equações mais simples. Foi feito também um ajuste das curvas de cinética de secagem das amostras de figos com e sem pré-tratamento osmótico com a equação empírica de Page, usando as mesmas temperaturas.

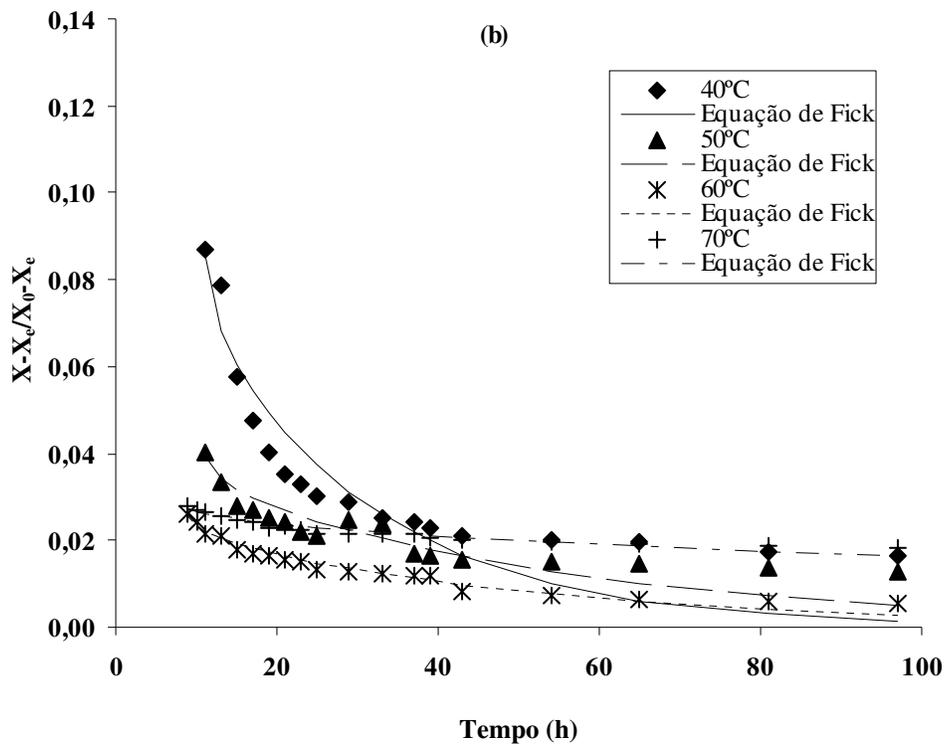
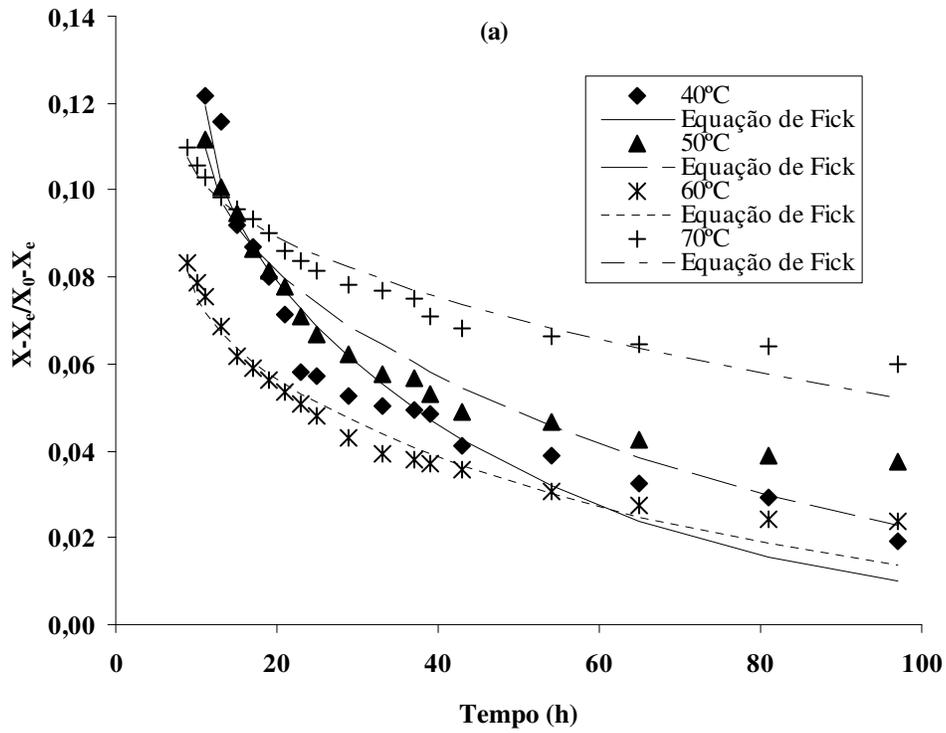


Figura 6.9 – Curvas de secagem para D<sub>3</sub> (3º período), de figos tratados osmoticamente (a) e *in natura* (b) em diferentes temperaturas (40, 50, 60 e 70°C)

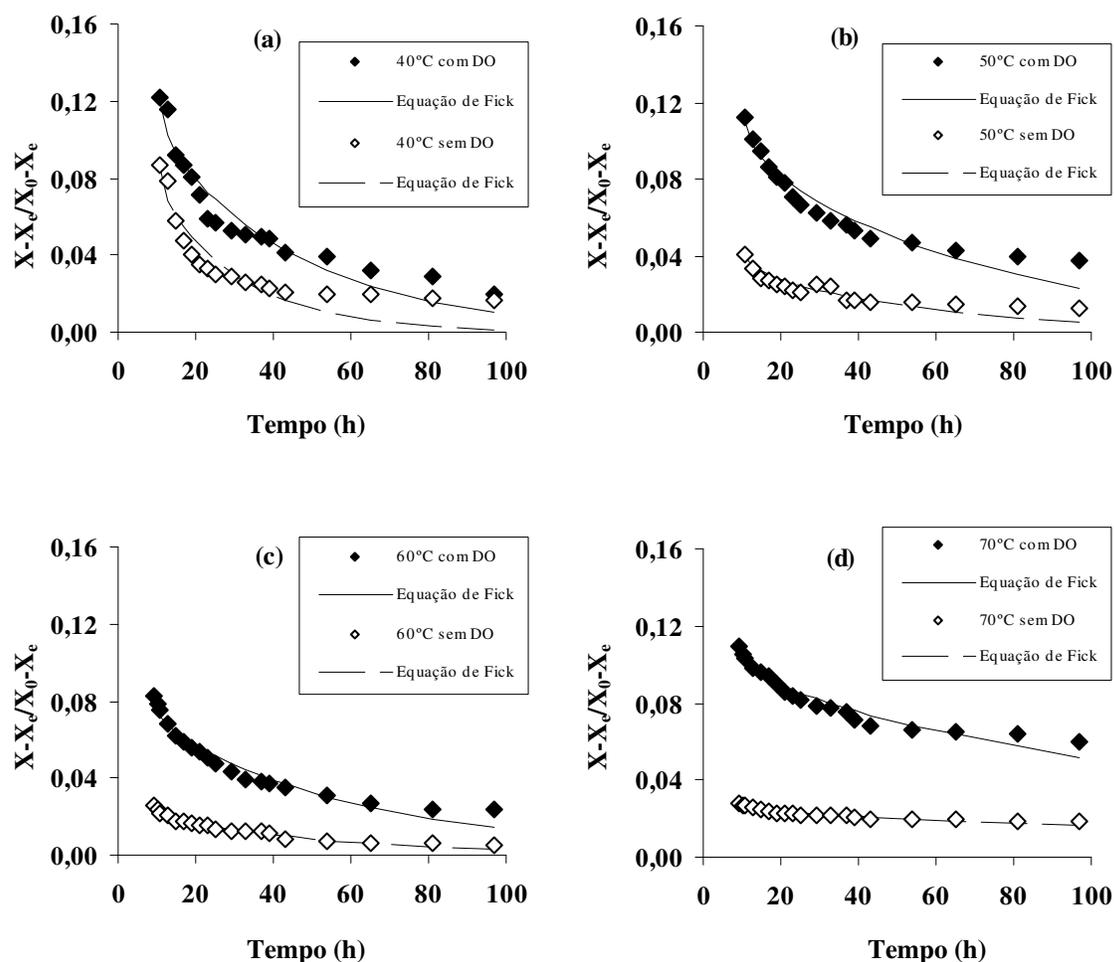


Figura 6.10 – Comparação entre as curvas de secagem para  $D_3$  (3º período), de figos tratados osmoticamente e *in natura* em diferentes temperaturas 40 (a), 50 (b), 60 (c) e 70°C (d)

O modelo de Page também foi utilizado por diversos autores como Pacco, 2003; Babalis *et al.*, 2006; Doymaz, 2005, em figos; Hawlader *et al.*, 2006 em goiaba e mamão; Doymaz, 2006, em uva; El-beltagy; Gamea; Amer Essa, 2007, em morango; Goyal *et al.*, 2007, em ameixa; Bains e Langrish, 2007, em banana; Margaritis e Ghiaus, 2007, em uva; Doymaz, 2007, em cereja.

Na Tabela 6.4 encontram-se os parâmetros obtidos utilizando a equação empírica de Page, em que K e n são importantes parâmetros no estudo de secagem. A Figuras 6.12 apresenta o ajuste do modelo para fatias de figos com e sem e pré-tratamento osmótico.

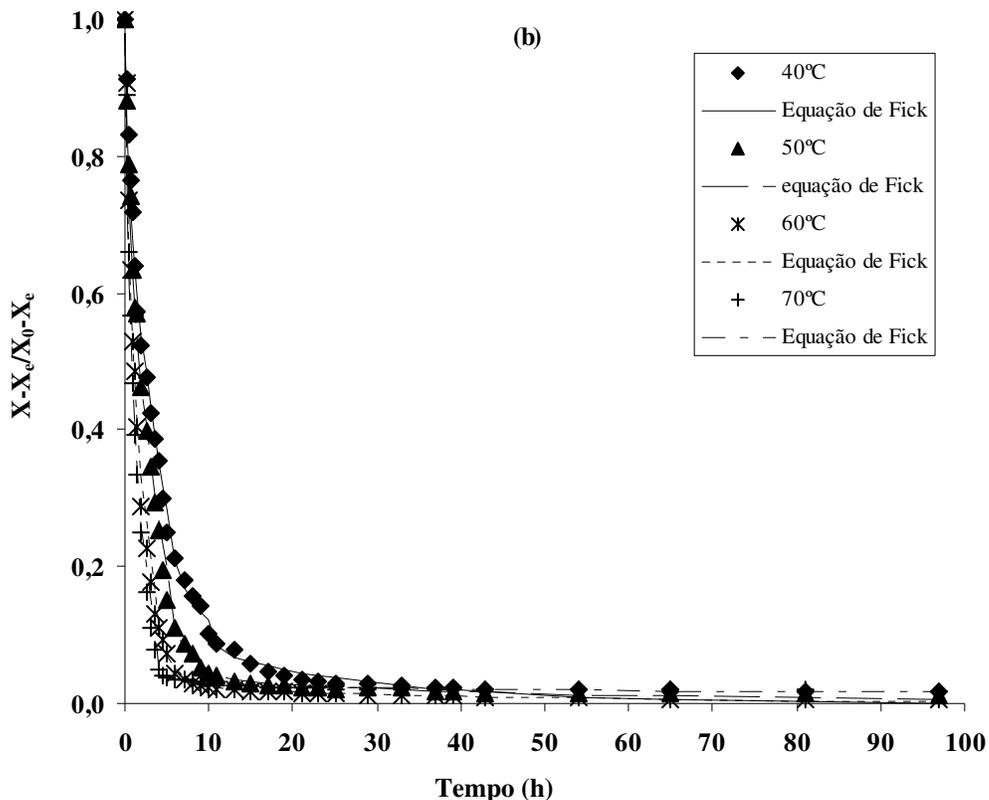
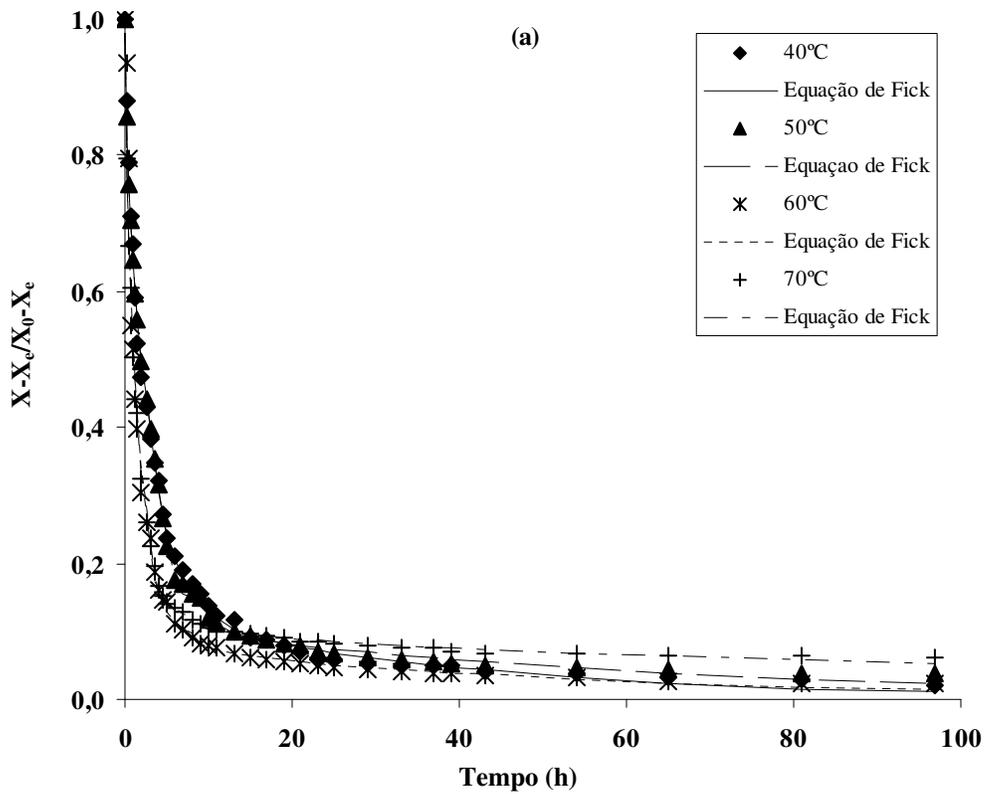


Figura 6.11 – Curvas de secagem em função do tempo, calculadas a partir dos diferentes períodos de secagem com a equação de Fick, a diferentes temperaturas (40, 50, 60, 60 e 70°C) para figos após desidratação osmótica (a) e *in natura* (b)

**Tabela 6.4** – Parâmetros de ajuste do modelo de Page durante a secagem de fatias de figos *in natura* e pré-tratado osmoticamente com solução de sacarose

Temperatura (°C)	Parâmetros do modelo			R <sup>2</sup>
	C	K	n	
40°C C/DO	1,04	0,50	0,61	0,995
40°C N	1,02	0,38	0,76	0,998
50°C C/DO	1,03	0,49	0,62	0,993
50°C N	1,00	0,42	0,88	0,998
60°C C/DO	1,06	0,69	0,69	0,985
60°C N	1,02	0,63	0,93	0,998
70°C C/DO	1,05	0,76	0,51	0,976
70°C N	1,02	0,76	0,96	0,996

C/DO – com desidratação osmótica; N – *in natura*; R<sup>2</sup> – coeficiente de determinação.

De acordo com a Figura 6.12, pode-se observar que a equação de Page apesar de apresentar coeficientes de determinação acima de 99% para a maioria das condições estudadas, não representa um bom ajuste aos dados experimentais. Na Tabela 6.4 observa-se que os valores dos coeficientes de determinação para os figos pré-tratados são menores que nos figos *in natura*.

Verifica-se que os parâmetros da equação são dependentes da temperatura do processo e do conteúdo inicial de umidade do produto. Os valores de “K e n” obtidos apresentam uma tendência a sofrer um pequeno aumento, para a maioria das condições estudadas, com o aumento da temperatura de secagem. Os valores dos parâmetros são um pouco diferenciados para figos com pré-tratamento (**k** de 0,49 a 0,76 e **n** de 0,61 a 0,96) e sem pré-tratamento (**k** de 0,38 a 0,76 e **n** de 3,51 a 0,96).

Esse efeito também foi verificado em trabalho de secagem de uva Itália desenvolvido por Gabas (1997) e Argandoña (2005), em goiabas. Azzouz *et al.* (2002), em secagem de uvas, verificaram que **n** é função da velocidade do ar de secagem e da umidade inicial do produto, e **k** é função da temperatura e do conteúdo inicial de umidade.

O efeito da desidratação osmótica e temperatura do processo também é mostrado na Figura 6.12. Nota-se que as amostras *in natura* apresentam melhor ajuste do que as amostras que foram submetidas ao pré-tratamento osmótico.

Também foi utilizado o modelo exponencial com dois termos para o ajuste dos dados de secagem de figos para as mesmas condições estudadas anteriormente.

Os parâmetros obtidos com o ajuste das curvas através do modelo exponencial encontram-se na Tabela 6.5 e as Figuras 6.13 mostram a modelagem do referido modelo para fatias de figos frescos e pré-tratados osmoticamente com solução de sacarose.

**Tabela 6.5** – Parâmetros de ajuste do modelo exponencial durante a secagem de fatias de figos *in natura* e pré-tratado osmoticamente com solução de sacarose

Temperatura (°C)	Parâmetros do modelo				R <sup>2</sup>
	C <sub>1</sub>	K <sub>1</sub> (min <sup>-1</sup> )	C <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> (min <sup>-1</sup> )	
40°C C/DO	0,73	0,50	0,24	0,05	0,998
40°C N	0,64	0,46	0,34	0,11	0,999
50°C C/DO	0,80	0,39	0,13	0,02	0,998
50°C N	0,94	0,38	0,03	0,01	0,999
60°C C/DO	0,13	0,04	0,90	0,79	0,996
60°C N	0,03	0,03	0,98	0,64	0,999
70°C C/DO	0,12	0,01	0,84	0,73	0,998
70°C N	0,02	0,003	0,99	0,79	0,999

C/DO – com desidratação osmótica; N – *in natura*; R<sup>2</sup> – coeficiente de determinação.

Pode-se verificar um melhor ajuste obtido para a equação exponencial com coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) mais elevados.

O modelo exponencial com dois termos também foi usado no ajuste da secagem por Pacco (2003), Doymaz (2005) e Babalis *et al.* (2006) em figos, Bains e Langrish (2007) em bananas, Doymaz (2006) em uvas, e Doymaz (2007) com cereja ácida, demonstrando bom desempenho no ajuste dos dados experimentais.

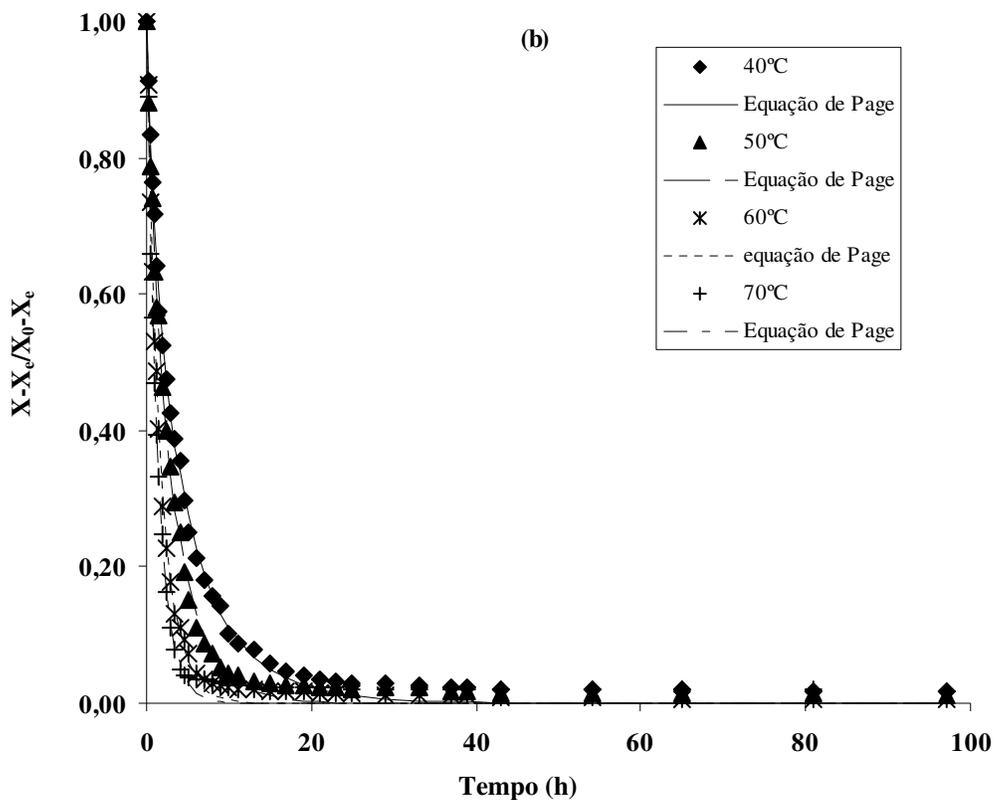
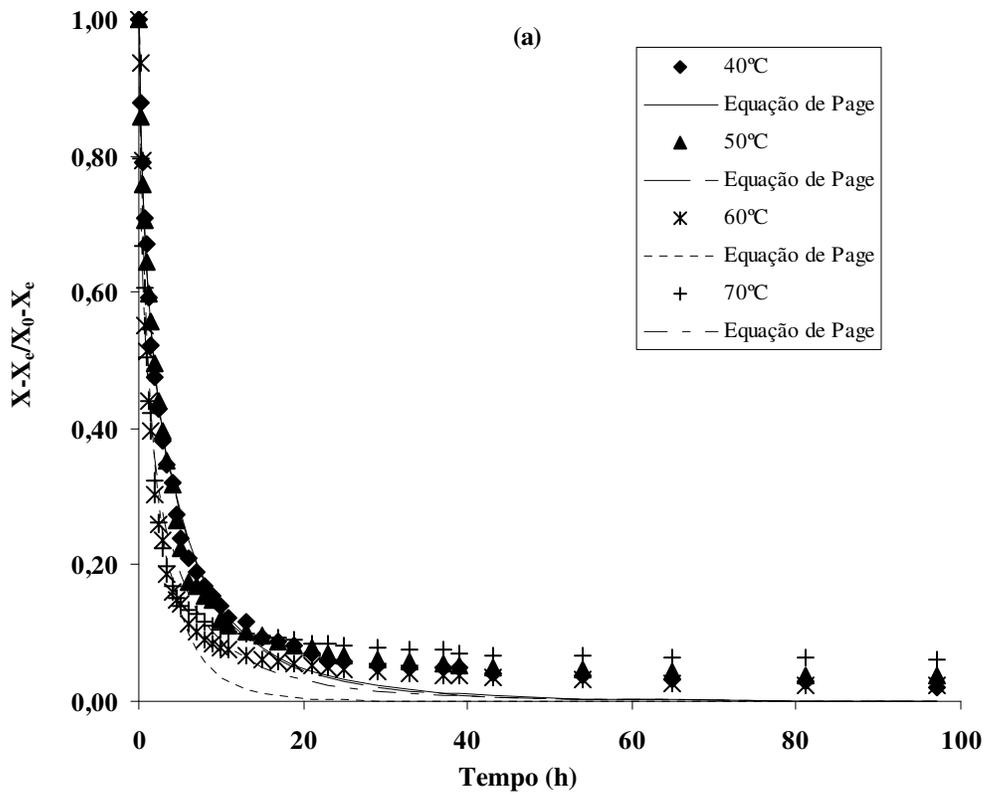


Figura 6.12 – Curvas de secagem de fatias de figos a diferentes temperaturas (40, 50, 60 e 70°C) com pré-tratamento osmótico (a) e sem pré-tratamento osmóticas (b), ajustadas pelo modelo de Page

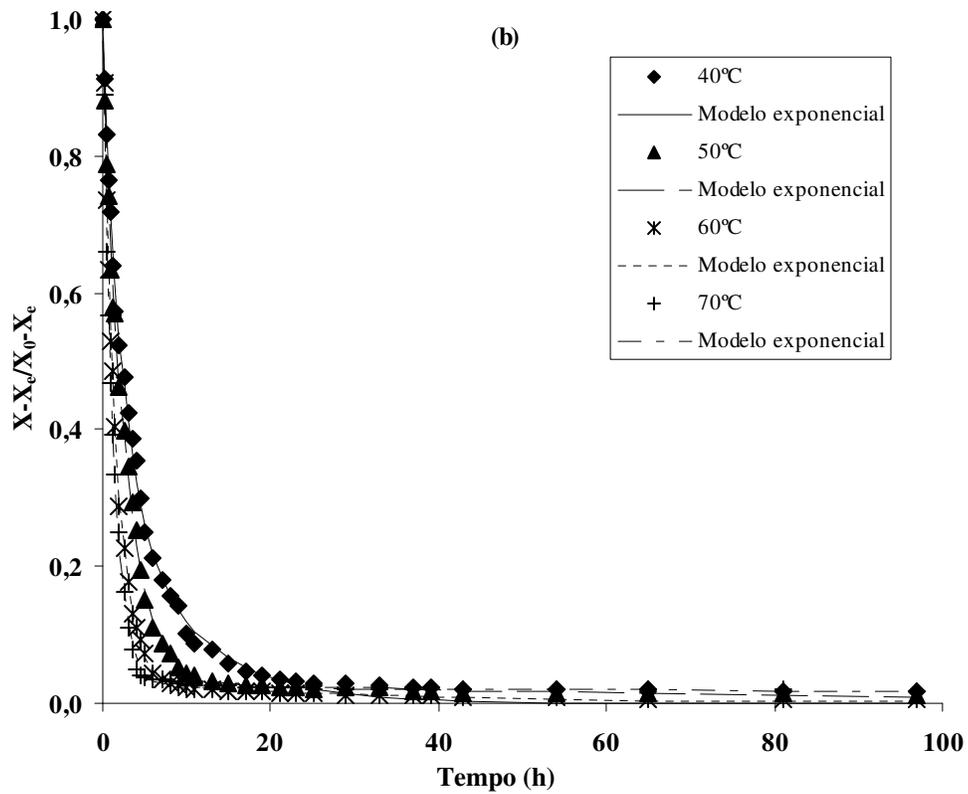
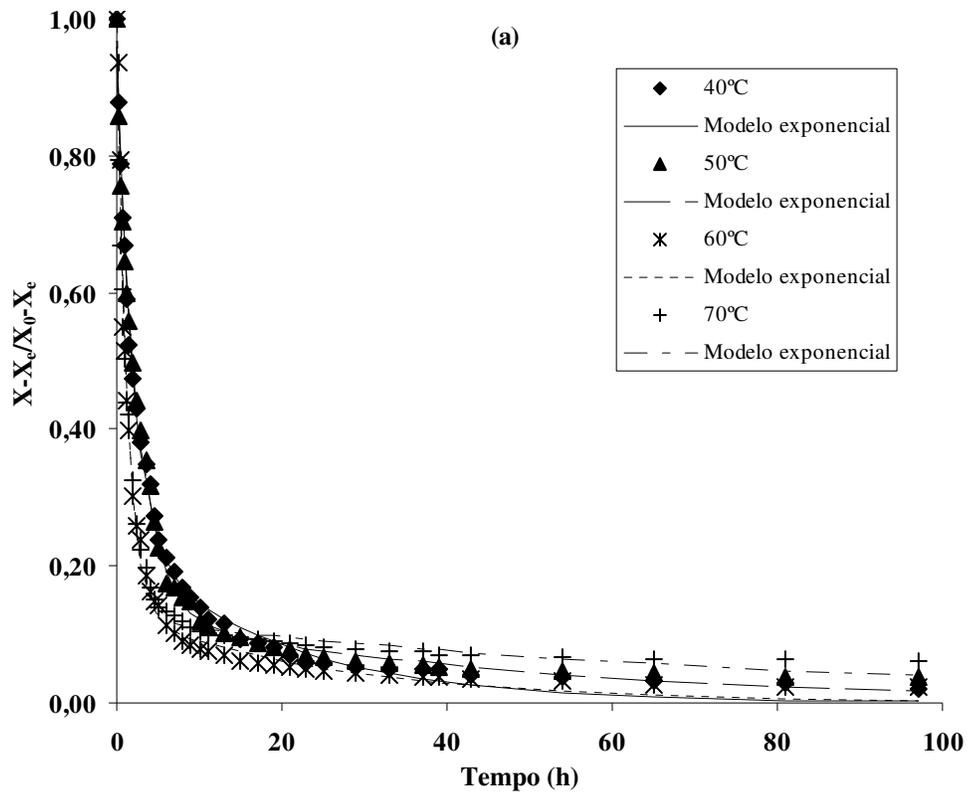


Figura 6.13 – Curvas de secagem de fatias de figos a diferentes temperaturas (40, 50, 60 e 70°C) com pré-tratamento osmótico (a) e sem pré-tratamento osmóticas (b), ajustadas pelo modelo exponencial

### 6.3.4 - Encolhimento Durante a Secagem

As Figuras 6.14 e 6.15 mostram respectivamente, a variação em cada dimensão (diâmetro e espessura) das amostras em função do conteúdo de umidade adimensional, durante a secagem de figos frescos e pré-tratados.

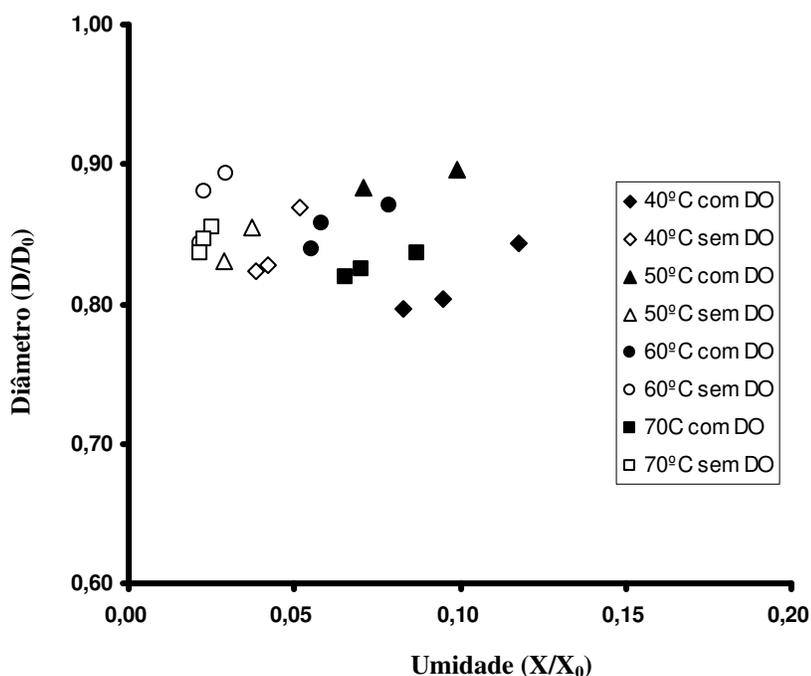


Figura 6.14 - Variação do diâmetro em função da umidade adimensional durante secagem de figos a diferentes temperaturas, com valor inicial igual a 1

De acordo com a Figura 6.14, percebe-se que o diâmetro sofreu uma contração máxima de 11,70 a 20,32% do diâmetro inicial. As amostras que foram submetidas ao pré-tratamento osmótico, em geral sofreram maior redução do diâmetro durante o processo de secagem do que as amostras *in natura*. É possível que a desidratação osmótica tenha provocado certa ruptura da estrutura que não foi compensada pela entrada de sacarose, uma vez que boa parte desta deixava a fruta após ser hidrolisada em açúcares redutores.

Pode-se verificar também que a variação do diâmetro durante a secagem ocorre ligeiramente em função da temperatura. Observa-se também que as amostras secas a uma maior temperatura e com maior difusividade no terceiro período foram as que mais contraíram enquanto que as amostras secas a 50°C foram as que sofreram menor contração.

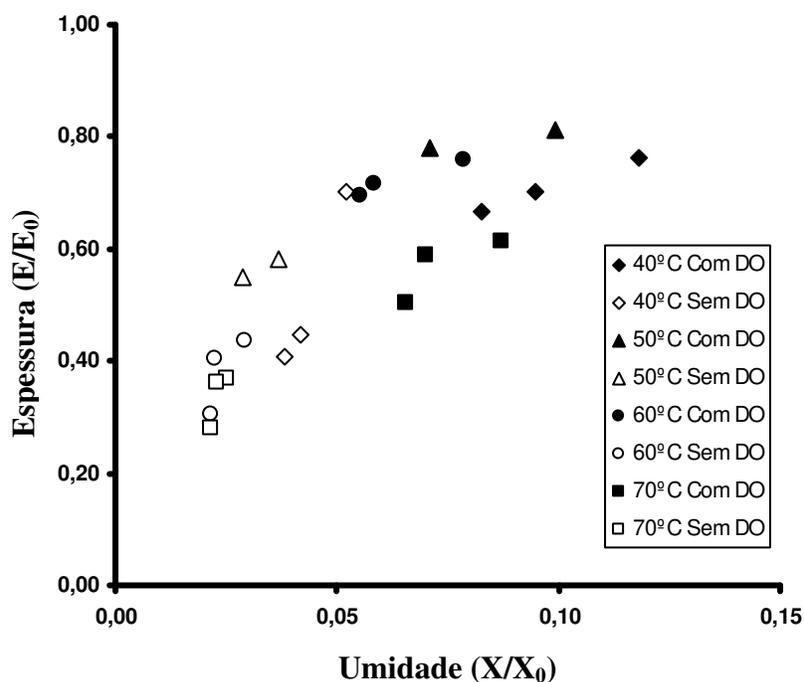


Figura 6.15 - Variação da espessura em função da umidade adimensional durante secagem de figos a diferentes temperaturas, com valor inicial igual a 1

Analisando a Figura 6.15, nota-se que a espessura das amostras de figos sofreu grande redução à medida que a água foi eliminada, que foi muito maior que a apresentada pelo diâmetro.

A maior variação da espessura durante a secagem, resulta do fato de que o fluxo de saída de água das amostras tende a ser unidirecional, uma vez que a casca restringe a evaporação de água e a contração da rodela.

Comparando os tratamentos, nota-se que as amostras *in natura* sofreram redução mais acentuada da espessura no final da secagem do que as amostra desidratadas osmoticamente. As amostras com desidratação osmótica sofrem uma redução máxima de até 49% de sua espessura original (70°C) e no caso das amostras sem desidratação osmótica chega a

aproximadamente 30% de espessura original, no final da secagem. Este comportamento pode estar relacionado à mobilidade da matriz sólida do material, pelo fato de, as amostras terem sofrido impregnação na desidratação osmótica, fez com que as mesmas entrassem na etapa de secagem já com uma mobilidade menor de sua matriz sólida, o que certamente dificultou o encolhimento das amostras desidratadas osmoticamente.

El-Aouar (2005), trabalhando com mamão, encontrou que a variação das dimensões da fruta, durante a secagem, não foi influenciada pela temperatura e sim pelo conteúdo de umidade das amostras, ainda que a espessura tenha variado mais que as demais dimensões (comprimento e profundidade) durante a secagem. Influência da umidade sobre o encolhimento também foi verificada por Ochoa *et al.* (2007) em cereja doce, por Ruiz-López e García-Alvarado (2007) em fatias de manga e por Bains e Langrish (2007) em bananas.

No caso do figo observa-se uma influência da temperatura, onde as amostras secadas a 40 e 70°C sofrem maior contração da espessura, tanto as desidratadas osmoticamente como as *in natura*, nesta última condição, se observa que as amostras secas a 40°C também apresentam uma redução significativa da espessura. Nestes dois casos limites, pode acontecer tanto a 40°C, temperatura baixa, onde a secagem é muito lenta, assim como a 70°C, pela remoção da água muito rápida. Ambos os fenômenos poderiam retardar a formação de uma crosta superficial que limita a contração.

### **6.3.5 - Comparação de Processos**

O tempo de secagem pode ser comparado para ambos os processos em condições semelhantes, com atividade de água aproximadamente igual a 0,6, a qual é considerada como bom limite para o armazenamento a temperatura ambiente. A umidade inicial das amostras osmodesidratadas foi determinada a partir dos dados obtidos do processo de desidratação osmótica e a umidade final, tanto das amostras osmodesidratadas quanto das amostras *in natura*, foi determinada a partir das curvas de dessorção de equilíbrio para 40°C, a temperatura mais próxima da ambiente aqui determinada. O tempo de secagem para

cada temperatura de processo, foi determinado a partir das curvas de secagem em secador de bandejas a diferentes temperaturas de processo (item 6.3.2).

Tabela 6.6 – Comparação de processos

	Temperatura (°C)	$X_0$	$A_{w_f}$	$X_f$	Tempo de secagem (h)
Com DO	40	1,86	0,6	0,22	23
	50	1,87			17
	60	1,87			8
	70	1,69			7
Sem DO	40	4,91	0,6	0,19	81
	50	6,21			54
	60	6,18			23
	70	5,67			9

$X_0$  – umidade inicial do processo,  $A_{w_f}$  – atividade de água final e  $X_f$  – umidade final, calculada a partir das isotermas de equilíbrio (40°C) para  $A_w = 0,6$ .

Analisando a Tabela acima, pode-se verificar que em todas as amostras secas com prévia desidratação osmótica, houve uma redução do tempo de secagem em relação às amostras sem tratamento, de aproximadamente 72, 68, 65 e 22% respectivamente para as temperaturas de 40, 50 60 e 70°C. Portanto, é válido salientar que o processo de desidratação osmótica é vantajoso quando se deseja obter um produto a uma umidade intermediária, porém quando se deseja um produto com baixa umidade, os tempos de secagem são muito próximos para ambos os processos. No entanto, quando se trata de preservar a qualidade do produto, o processo de desidratação osmótica é uma alternativa que pode satisfazer essa exigência.

De acordo com a Tabela 6.6, verifica-se também, nos figos desidratados osmoticamente, que embora a temperatura de 70°C apresente o menor tempo de secagem, a melhor condição de processo está representada pela temperatura de 60°C, com um tempo de

8 horas de secagem, visto que esta condição pode causar menor dano à estrutura celular (Pacco, 2003).

## **6.5 - Conclusões**

Foi verificada a influência da desidratação osmótica sobre as taxas de secagem. Além disso, a difusividade não foi constante durante todo o período de secagem, tanto para os figos *in natura* como para os figos desidratados osmoticamente, sendo necessário o cálculo de três difusividades distintas ao longo de toda a curva. As difusividades calculadas para os três períodos de secagem decresceram ao longo do tempo. Os figos desidratados osmoticamente apresentaram coeficientes de difusão da Lei de Fick menores que os figos não tratados ao longo de toda a curva de secagem.

O processo de desidratação osmótica reduziu consideravelmente o tempo de secagem em todas as temperaturas de processo, variando aproximadamente de 72 a 22%, para as temperaturas de 40 a 70°C, respectivamente, em relação à amostra *in natura*.

A contração das rodela de figo durante a secagem foi influenciada pela temperatura, sendo a espessura a dimensão que sofreu maior contração em relação ao diâmetro durante a secagem.

## **Capítulo 7: Conclusão Geral e Sugestões para Trabalhos Futuros**

## 7.1 – Conclusão Geral

As condições ótimas de desidratação osmótica que geraram um produto final com menor atividade de água e menor conteúdo de umidade para dois tipos de produtos: um produto de alto conteúdo de açúcares e outro de menor conteúdo de açúcares. Para o primeiro, foram obtidos valores ótimos para a temperatura de 39,7°C e 63,1% de concentração de sacarose, maximizando o conteúdo de açúcares e minimizando a atividade de água e o conteúdo de umidade. Para o segundo, minimizando o conteúdo de açúcares, a atividade de água e o conteúdo de umidade, os valores ótimos foram obtidos na temperatura de 35,3°C e concentração de sacarose de 64,1%.

A produção de figos desidratados osmoticamente enriquecidos com vitamina C foi possível, com a impregnação da vitamina durante a desidratação osmótica, o que proporcionou também compensar em parte, as perdas da vitamina ocorridas durante a secagem subsequente, uma vez que as amostras de figos secos até umidade de armazenamento apresentaram conteúdo de vitamina C aproximadamente 50% em relação ao figo fresco, sendo considerado um valor alto quando comparado com a literatura.

Amostras osmodesidratadas apresentaram valores do conteúdo de umidade de equilíbrio mais baixos, que as amostras *in natura*, para a maioria das condições estudadas, tanto para as amostras armazenadas em alta umidade relativa como nas amostras armazenadas em baixa umidade relativa.

Na secagem com prévia desidratação osmótica, houve redução do tempo de residência no secador, especialmente para umidades intermediárias para todas as temperaturas de processo, sendo a temperatura de 60°C que representa a melhor condição de secagem, por apresentar menor tempo de residência no secador, com relação às temperaturas mais baixas e menor contração que a temperatura de 70°C, o que pode causar maior dano às amostras, de natureza física e química.

## 7.2 - Sugestões para Trabalhos Futuros

- Estudo de identificação das enzimas presentes no figo e a influência no processamento, e a possível inativação da mesma sem danificar ou com o mínimo de danos à estrutura da fruta;
- Estudar a influência do processo de DO sobre a estrutura do figo;
- Estudo de DO em figos com outros açúcares;
- Realizar processo de DO utilizando impregnação de vitamina C para diferentes concentrações de sacarose e/ou outros açúcares;
- Impregnação de vitamina C para diferentes frutas com propriedades antioxidante, mas que não são fontes de vitamina C;
- Estudo da viabilidade da retenção de vitamina C após o processamento.

## REFERÊNCIAS

ABCDASAÚDE. Disponível em <<http://www.abcdasaude.com.br/artigo>> Acesso em 01 de maio de 2007.

ABREU, L.F.; FARIA, J.A.F. Influência da temperatura e do ácido ascórbico sobre a estabilidade físico-química e atividade enzimática da água de coco (*Cocos nucifera* L.) acondicionada assepticamente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.2, p.226-232, 2007.

ABUGOCH, L.; GUARDA, A.M. Estudio de la perdida de acido ascórbico total en rodajas de kiwi, durante la deshidratacion osmotica. **Alimentos**, Santiago, v.16, n.5, 1991.

AKANBI, C.T.; ADEYEMI, R.S.; OJO, A. Drying characteristics and sorption isotherm of tomato slices. **Journal of Food Engineering**, 73, p.157-163, 2006.

ALZAMORA, S.M.; GERSCHENSON, L.N.; VIDALES, S.L.; NIETO, A. Structural Changes in the Minimal Processing of Fruits: Some Effects of Blanching and Sugar Impregnation. In: FITO, P.; ORTEGA-RODRIGUES, E.; BARBOSA-CANOVAS, G. **Food Engineering 2002**, New York; Ed. Chapman and Hall, 1997. p. 117-139.

ANGELINI, R. **Desidratação Osmótica de Kiwi (*Actinidia deliciosa* L.): Estudo da Reutilização da Solução Osmótica**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002, 72f.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Regulamento Técnico sobre Frutas Secas ou Dessecadas. Resolução n. 12, de 24 de julho de 1978. **Documento**, Brasília, p. 1-2. 1978.

ARAÚJO, E.A.F. **Estudo do processo de desidratação osmótica e secagem de nectarina (*Prunus pérsica*)**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005, 113p.

ARAÚJO, M.E.R.; ALMEIDA, F.A.C.; GOUVEIA, J.P.G.; SILVA, M.M. Avaliação da temperatura e velocidade do ar na secagem de goiaba. **Revista Brasileira Agropecuária**, Campina Grande, v.4, n.1, p.141-149, 2002.

ARGANDOÑA, E.J.S.A. **Desidratação-Impregnação de Goiaba por Imersão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999, 102f.

ARGANDOÑA, E.J.S.A. **Goiabas Desidratadas Osmoticamente e Secas: Avaliação de um Sistema Osmótico Semicontínuo, da Secagem e da Qualidade**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005, 157p.

AZOUBEL, P.M. **Influência de Pré-tratamentos na Obtenção de Produtos Secos do Caju (*Anardium occidentale*, L.)**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002, 136p.

AZZOUZ, S.; GUIBAN, A.; JOMAA, W.; BELGHITH, A. Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes. **Journal of Food Engineering**, v.55, p.323-330, 2002.

BABALIS, S.J.; BELESSIOTIS, V.G. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. **Journal of Food Engineering**, 65, p.449-458, 2004.

BABALIS, S.J.; PAPANICOLAOU, E.; KIRIAKIS, N.; BELESSIOTIS, V.G. Evaluations of thin-layer drying models for describing drying kinetics of figs (*Ficus carica*). **Journal of Food Engineering**, 75, p.205-214, 2006.

BAINI, R.; LANGRISH, T.A.G. Choosing an appropriate drying model for intermittent and continuous drying of bananas. **Journal of Food Engineering**, 79, p.330-343, 2007.

BARONI, A.F. **Propriedades Mecânicas, Termodinâmicas e de Estado de Tomate Submetido à Desidratação Osmótica e Secagem**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004, 226p.

BIALOBRZEWSKI, I. Simultaneous heat and mass transfer in shrinkage apple slab during drying. **Drying Technology**, 24, p.551-559, 2006.

BISWAL, R.N.; BOZORGMEHR, K. Mass transfer in mixed solute osmotic dehydration of apple rings. **American Society of Agricultural Engineers**, v.35 n.1, p.257-262, 1992.

BISWAL, R.N.; BOZORGMEHER, 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.

BLUESTEIN, P.M.; LABUZA, T.P. Effects of moisture removal on nutrients. In: **Nutritional Evaluation of Food Processing**, Karmas, E., Harris, R.R., Eds., Van Nostrand Reinhold: New York, 1988, 289-322.

BOBBIO, P.A.; BOBBIO, F.O. **Introdução à Química de Alimentos**. São Paulo, Ed. Varela, 1995, 223p.

BOBBIO, P.A.; BOBBIO, F.O. **Química do processamento de alimentos**. São Paulo, Ed. Varela, 2001, 143p.

BORGES, S.V.; MENEGALLI, F.C. Influência da desidratação osmótica sobre a cinética de secagem de manga. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília – DF**, v.29, n.4, p.637-642, 1994.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and Storage of Grains Oilseeds**. New York, The AVI Van Nostrand Reinhold, 1992, 450p.

BRUIN, S.; LUYBEN, K.C.A.M. Drying of Food Materials: A Review of Recent Developments. In: **Advances in Drying**, ed. Arum S. Mujundar, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, v.1, p.155-215, 1980.

BUCHWEITZ, P.R. **Avaliação da Pré-secagem Osmótica de Kiwi: (*Actinidia deliciosa* L.) Complementada por Processos Convencionais**. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005, 224p.

BULL, H.B. Adsorption of water vapor by proteins. **Journal of Food of the American Chemical Society**, 66, p.1499-1507, 1994.

- CAO, H.; ZHANG, M.; MUJUNDAR, A.S.; DU, W.H.; SUN, J.C. Optimization of osmotic dehydration of kiwifruit. **Drying Technology**, v.24, p.89-94, 2006.
- CASTRO, D.; TRETO, O.; FITO, P.; PANADES G.; NUÑES, M.; FERNANDEZ C. BARAT, J.M.. Deshidratación osmótica de piña a cacio pulsante. Estudio de las variables del proceso. **Alimentaria**, mayo p.27-32, 1997.
- CHIRIFE, J.; FONTAN, C.F.; BENMERCUI, E.A. The prediction of water activity in aqueous solutions in connection with intermediate moisture foods. IV. Aw prediction in aqueous non electrolyte solutions. **Journal of Food Technology**, 15, p.59-70, 1980.
- CORZO, O.; GOMEZ, E.R. Optimization of osmotic dehydration of cataloupe using desired function methodology. **Journal of Food Engineering**, v. 64, p. 213– 219, 2004.
- CRANK, J. The Mathematics of Diffusion. 2 ed. Great Britain. Clarendon Press, Oxford, 1975.
- CYBERDIET. Disponível em <<http://www.uol.com.br/cyberdiet>> Acesso em 01 de maio de 2007.
- DAUDIN, J.D. Calcul des Cinétiques de Sécage par L'air Chaud des Produits Biologiques Solides. **Science des Aliments**, v.3, n.1, p.1-36, 1983.
- DENG, Y.; ZHAO, Y. Effects of pulsed-vacuum and ultrasound on the osmodehydration kinetics and microstructure of apples (fuji). **Journal of Food Engineering**, v.85, p.84-93, 2008.
- DERMESONLOUOGLOU, E.K.; GIANNAKOUREOU, M.C.; TAOKIS, P. Stability of dehydrofrozen tomatoes pretreated with alternative osmotic solutes. **Journal of Food Engineering**, v.78, p.272-280, 2007.
- DERRINGER, G.C.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several response variables. **Journal of Quality Technology**, v.12, n.10, p.214-219, 1980.

DOYMAZ, I. Drying kinetics of black grapes treated with different solutions. **Journal of Food Engineering**, 76, 212-217, 2006.

DOYMAZ, I. Influence of pretreatment solution on the drying of sour cherry. **Journal of Food Engineering**, 78, p.591-596, 2007.

DOYMAZ, I. Sun drying of figs : an experimental study. **Journal of Food Engineering**, 71, p.403-407, 2005.

EL-AOUAR, Â.A. **Estudo do Processo de Secagem de Mamão Formosa (*Carica papaya* L.) Fresco e Pré-tratado Osmoticamente**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005, 215p.

EL-BELTAGY, A.; GAMEA, G.R.; AMER ESSA, A.H. Solar drying characteristics of strawberry. **Journal of Food Engineering**, 78, 456-464, 2007.

ERLE, U.; SCHUBERT, H. Combined Osmotic and Microwave-Vacuum Dehydration of Apples and Strawberries. **Journal of Food Engineering**, v.49, 193-199, 2001.

FARMACOPÉIA BRASILEIRA. Andrei editora S.A., São Paulo. 3ed. 1977.

FERRARI, C.C. **Estudo da transferência de massa e qualidade do melão desidratado osmoticamente em soluções de sacarose e maltose**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005, 98p.

FITO, P.; CHIRALT, A.; BETORET, N.; GRAS, M.; CHÁFER, M.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; ANDRÉS, A.; VIDAL, D. Vacuum Impregnation and Osmotic Dehydration in Matrix Engineering. Application in Functional Fresh Food Development. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.175-183, 2001.

FLOURY, J.; LE BAIL, A.; PHAM, Q.T. A three-dimensional numerical simulation of the osmotic dehydration of mango and effect of freezing on the mass transfer rates. **Journal of Food Engineering**, v.85, p.1-11, 2008.

FORTES, M.; OKOS, M. Drying Theories: Their Bases and Limitations as Applied to Foods and Grains. In: **Advances in Drying**, ed. Arum S. Mujundar, Hemisphere Publishing Corporation. Washington. v.1, p.119-154, 1980.

FRANÇA, V.C.; NARAIN, N. Caracterização química dos frutos de três matrizes de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, n.2, p.157-160, 2003.

FRANCO, G. **Tabela de Composição de Alimentos**. Rio de Janeiro, 9ed., 1996, 307p.

FUSCO, A.J.; AVANZA, J.R.; AGUERRE, R.J.; GABITTO, J.F. A Diffusional Model for Drying with Volume Change. **Drying Technology**, v.9, n.2, p.397-417, 1991.

GABAS, A.L.; TELIS-ROMERO, J.; MENEGALLI, F.C. Cinética de degradação do ácido ascórbico em ameixas liofilizadas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23(supl), p.66-70, 2003.

GABAS, A.L. **Influência das condições de secagem de ameixa (*Prunus domestica*) na qualidade do produto**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002, 155p.

GABAS, A.L. **Secagem de uva Itália em leito fixo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998, p.

GARCIA, C.C.; MAURO, M.A.; KIMURA M. Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (*Cucurbita moschata*). **Journal of Food Engineering**, 82, p.284-291, 2007.

GOULA, A.M.; ADAMOPOULOS, K.G. Retention of ascorbic acid during of tomato halves and tomato pulp. **Drying Technology**, v.24, p.57-64, 2006.

GOUVEIA, J.P.G.; NASCIMENTO, J.; ALMEIDA, F.A.C.; SILVA, M.M.; FARIAS, E.S., SILVA, F.L.H. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.799-806, 2004.

GOYAL, R.K.; KINGSLY, A.R.P.; MANIKANTAN, M.R.; ILYAS, S.M. Mathematical modelling of thin layer drying kinetics of plum in a tunnel dryer. **Journal of Food Engineering** 79, p.176-180, 2007.

GRABOWSKI, S.; MARCOTTE, M.; QUAN, D.; TAHERIAN, A.R.; ZAREIFARD, M.R.; POIRIER, M.; KUDRA, T. Kinetics and quality aspects of Canadian blueberries and cranberries dried by osmo-convective method. **Drying Technology**, v.25, p.367-374, 2007.

HASSINI, L.; AZZOUZ, S.; PECZALSKI, R.; BELGHITH, A. Estimation of potato moisture diffusivity from convective drying kinetics with correction for shrinkage. **Journal of Food Engineering**, 79, p.47-56, 2007.

HAWLADER, M.N.A.; PERERA, C.O.; TIAN, M.; YEO, K.L. Drying of guava and papaya: Impact of different drying methods. **Drying Technology**, 24, p.77-87, 2006.

HAWLADER, M.N.A.; UDDIN, M.S.; HO, J.C.; TENG, A.B.W. Drying characteristics of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, 14, 259-268, 1991.

HENG, K.; GUILBERT, S.; CUQ, J.L. Osmotic dehydration of papaya: Influence of process variables on the product quality. **Science des Aliments**, v.10, p.831-848, 1990.

HOWARD, L.A.; WONG, A.D.; PERRY, A.K.; KLEIN, B.P. Beta-carotene and ascorbic acid retention in fresh and processed vegetables. **Journal of Food Science**, v.64, n.5, p.929-936, 1999.

ISLAN, M.N.; FLINK, J.M. Dehydration of Potato II. Osmotic Concentration and its Effects on Air Drying Behavior. **Journal of Food Technology**, v.17, p.387-403, 1982.

ITO, A.P. **Estudo do processo de desidratação osmótica a pulso de vácuo (PVOD) para manga**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007, 150p.

JAYARAMAN, K.S.; DAS GUPTA, D.K. Drying of fruits and vegetables. In **Handbook of Industrial Drying**, v.1, 2ed., Mujundar, A.S., Ed., Marcel Dekker, Inc. : New York, 1995, 643-690.

JAYARAMAN, K.S.; DAS GUPTA, O.K. Dehydration of Fruits and Vegetables. Recent Developments in Principles and Techniques. **Drying Technology**, v.10, n.1, p.1-50, 1992.

KARATAS, F.; KAMISH, F. Variations of vitamins (A, C and E) and MDA in apricots dried in IR and microwave. **Journal of Food Engineering**, v.78, p.662-668, 2007.

KARATHANOS, V.T.; KOSTRAPOULOS, A.E.; SARAVACOS, G.D. Air-drying of osmotically dehydrated fruits. **Drying Technology**, 13, (5-7), p.1503-1521, 1995.

KAYMAK-ERTEKIN, F.; GEDIK, A. Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. **Lebensm-Wiss. u.-Technol**, 37, p.429-438, 2004.

KEEY, R.B. **Drying: Principles and Practice**. International Series of Monographs in Chemical Engineering. Oxford: Pergamon, 1972.

KHIN, M.M.; ZHOU, W.; PERERA, C.O. Impact of process conditions and coatings on the dehydration efficiency and cellular structure of apple tissue during osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v.79, p.817-827, 2007.

KHRAISHEH, M.A.M.; MCMINN, W.A.M.; MAGEE, T.R.A. Quality and structural changes in starchy foods during microwave and convective drying. **Food Research International**, v.37, p.497-503, 2004.

KHRAISHEH, M.A.M.; COOPER, T.J.R.; MAGEE, T.R.A. Shrinkage Characteristics of Potatoes Dehydrated Under Combined Microwave and Convective Air Conditions. **Drying Technology**, v.15, p.1003-1022, 1997.

KHURI, A. J.; CORNELL, F.A. **Response surfaces: design and analyses**, New York: Marcel Dekker, New York, 510p., 1996.

KINGSLY, A.R.P.; MEENA, H.R.; JAIN, R.K.; SINGH, D.B. Shrinkage of Ber (Zizyphus Mauritian L.) Fruits During Sun Drying. **Journal of Food Engineering**, v.79, p.6-10, 2007.

KROKIDA, M.K.; KARATHANOS, V.T.; MAROULIS, Z.B. Effect of osmotic dehydration on viscoelastic properties of apple and banana. **Drying Technology**, v.18, n.4-5, p.951-966, 2000.

KROKIDA, M.K.; MAROULIS, Z.B. Effect of Drying Method on Shrinkage and Porosity. **Drying Technology**, v.15, p.2441-2458, 1997.

LABUZA, T.P.; KAAANANE, A.; CHEN, J.Y. Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. **Journal of Food Science**, v.50, p.385-391, 1985.

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**, v.31, p.315-324, 1997.

LENART, A.; LEWICKI, P.P. Osmotic dehydration of apples at high temperature. In: *Drying'89* ed. A.S. Mujundar, **Hemisphere Publishing Corporation**, New York, p.501-508, 1990.

LENART, A. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: Technology and application, **Drying Technology**, New York, v.14, n.2, p.391-413, 1996.

LEWICK, P.P.; POZECKA-PAWLAK, R. Effect of osmotic dewatering on apple tissue structure. **Journal of Food Engineering**, v.66, p.43-50, 2005.

LI, H.; RAMASWAMY, H.S. Osmotic dehydration of apple cylinders: I. Conventional batch processing conditions. **Drying Technology**, v.24, p.619-630, 2006.

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

MACCARTHY, O.J. **Physical Properties of Foods and Packaging Materials - An Introduction**; Food and Packaging Engineering I Course Material, Department of Food Technology, Massey University: Palmerston North, 1997.

MANELA-AZULAY, M.; LACERDA, C.A.M.; PEREZ, M.A.; FIGUEIRA, A.L.; CUZZI, T. Vitamina C. **Educação Médica Continuada**, 78(3), p.265-274, 2003.

MARGARIS, D.P.; GHIAUS, A.G. Experimental study of hot air dehydration of sultana grapes. **Journal of Food Engineering**, 79, 1115-1121, 2007.

MARTINEZ, V.Y.; NIETO, A.B.; CASTRO, M.A.; SALVATORI, D.; ALZAMORA, S.M. Viscoelastic characteristics of granny smith apple during glucose osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v.83, p.394-403, 2007.

MATTIUZ, B.H.; DURIGAN, J.F.; ROSSI JUNIOR, O.D. Processamento mínimo de goiabas 'paluma' e 'pedro sato'. 2. Avaliação química, sensorial e microbiológica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, n.3, p.409-413, 2003.

MAYOR, L.; SERENO, A.M. Modeling Shrinkage during convective drying of food materials: A Review. **Journal of Food Engineering**, v.61, p.373-386, 2004.

MAZZA, G. Dehydration of carrots. Effects of pre-drying treatments on moisture transport and product quality. **Journal of Food Engineering**, 18, p.113-123, 1983.

MELO, A.A.M.; VILAS BOAS, E.V.B. Inibição do escurecimento enzimático de banana maçã minimamente processada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, n.1, p.110-115, 2006.

MONNERAT, S.M.; PIZZI, T.R.M.; MAURO, M.A.; MENEGALLI, F.C. Spatial Distribution of solutes and water in sucrose solution dehydrated apples. **Drying Technology**, 23, 2289-2299, 2005.

MORAGA, G.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; CHIRALT, A. Water sorption isotherms and glass transition in strawberries: influence of pretreatment. **Journal of Food Engineering**, 62, p.315-321, 2004.

MORAGA, G.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; CHIRALT, A. Water sorption isotherms and phase transitions in kiwifruit. **Journal of Food Engineering**, 72, 147-156, 2006.

MOTA, R.V. Avaliação da qualidade físico-química e aceitabilidade de passas de pêsego submetidas a desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25,n.1, p.789-794, 2005.

MULET, A. Drying Modeling and Water Diffusivity in Carrots and Potatoes. **Journal of Food Engineering**, v.22, p.329-348. 1994.

NEVES, M.J.B. **Processo de seca-Aeração**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa (tese de mestrado), 1982.

NGUYEN, M.H.; PRICE, W.E. Air-drying of banana: Influence of experimental parameters, slab thickness, banana maturity and harvesting season. **Journal of Food Engineering**, 79, p.200-207, 2007.

NGUYEN, T.A.; VERBOVEN, P.; DAUDIN, J.D.; NICOLAI, B.M. Measurement and modelling of water sorption isotherms of “Conference” pear flesh tissue in the high humidity range. **Postharvest Biology and Technology**, 33, p.229-241, 2004.

NGUYEN, T.A.; VERBOVEN, P.; SCHEERLINCK, N.; VANDEWALLE, S.; NICOLAI, B.M. Estimation of effective diffusivity of pear tissue and cuticle by means of a numerical water diffusion model. **Journal of Food Engineering**, 72, 63-72, 2006.

NICOLETI, J.F.; SILVEIRA JR., V.; TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V.R.N. Influence of drying conditions on ascorbic acid during convective drying of whole persimmons. **Drying Technology**, v.25, p.891-899, 2007.

NIETO, A.B.; SALVATORI, D.M.; CASTRO, M.A.; ALZAMORA, S.M. Structural changes in apple tissue during glucose and sucrose osmotic dehydration: shrinkage, porosity, density and microscopic features. **Journal of Food Engineering**. v.61,p.269-278, 2004.

NIMMOL, C.; DEVAHASTIN, S.; SWASDISEVI, T.; SOPONRONNARIT, S. Drying of banana slices using combined low-pressure superheated steam and far-infrared radiation. **Journal of Food Engineering**, 81, 624-633, 2007.

OCHOA, M.R.; KESSELER, A.G.; PIRONE, B.N.; MÁRQUEZ, C.A.; DE MICHELIS, A. Analysis of shrinkage phenomenon of whole sweet cherry fruits (*Prunus avium*) during convective dehydration with very simple models. **Journal of Food Engineering**, 79, 657-661, 2007.

OCHOA-MARTINEZ, C.I.; RAMASWAMY, H.S.; AYALA-APONTE, A.A. ANN-based models for moisture diffusivity coefficient and moisture loss at equilibrium in osmotic dehydration process. **Drying Technology**, v.25, p.775-783, 2007b.

OCHOA-MARTINEZ, C.I.; RAMASWAMY, H.S.; AYALA-APONTE, A.A. Artificial neural network modeling of osmotic dehydration mass transfer kinetics of fruits. **Drying Technology**, v.25, p.85-95, 2007a.

PACCO, H.C.; VIGNEAULT, C.; DE CASTRO, L.R.; MENEGALLI, F.C.; CORTEZ, L.A.B. Temperature effect on drying kinetics of “Gigante de Valinhos” figs. **Journal of Food, Agriculture e Environment**. v. 5, n.1, 2007.

PACCO, H.C. **Secagem de figo (*Ficus carica* L) da variedade “Gigante de Valinhos” em secador de bandejas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003, 125f.

PANACÉIAS. Disponível em <<http://www.drauziovarella.ig.com.br/artigos/panaceias>> Acesso em 11 de junho de 2007.

PAPADAKIS, S.E.; BAHU, R.E.; MCKENZIE, K.A.; KEMP, I.C. Correlations for the equilibrium moisture content of solids. **Drying Technology**, 11(3), p.543-553, 1993.

PARK, K.J.; BIN, A.; BROD, F.P.R. Drying of pear d'anjou with and without osmotic dehydration . **Journal of Food Engineering**, v.56, p.97-103, 2003.

PARK, K.J.; BIN, A.; BROD, F.P.R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus sp*) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, V.21, n.1, p.73-77, 2001b.

PARK, K.J.; BIN, A.; BROD, F.P.R.; PARK, T.H.K.B. Osmotic dehydration kinetics of pear D'anjou (*Pyrus communis* L.). **Journal of Food Engineering**, v.52, p.293-298, 2002.

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

PEREIRA, L.M.; FERRARI, C.C.; MASTRANTONIO, S.D.S.; RODRIGUES, A.C.C. Kinetic aspects, texture, and color evaluation of some tropical fruits during osmotic dehydration. **Drying Technology**, v.24, p.475-484, 2006.

PEREIRA, L.M. **Influencia da desidratação osmótica com aditivos na estrutura celular e na manutenção da qualidade de goiabas minimamente processadas**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006, 178p.

PEREIRA, L.M.; RODRIGUES, A.C.C.; SARANTÓPOULOS, C.I.G.L.; JUNQUEIRA, V.C.A.; CUNHA, R.L.; HUBINGER, M.D. Influence of Modified Atmosphere Packaging and Osmotic Dehydration of Minimally Processed Guavas. **Journal of Food Science**, v.69, n.4, p. 172-177, 2004.

PHOMKONG, W.; SRZEDNICKI, G.; DRISCOLL, R.H. Desorption isotherms for stone fruit. **Journal of Food Engineering**, 24, 201-210, 2006.

PIGA, A.; PINNA, I.; OZER, K.B.; AGABBIO, M.; AKSOY, U. Hot air dehydration of figs (*Ficus carica* L.) : drying kinetics and quality loss. **International Journal of Food Science and Technology**, 39, 793-799, 2004.

RAHMAN M.S.; LAMB J. Osmotic dehydration of pineapple. **Journal of Food Science Technology**, v.27, n.3, p.150-152, 1990.

RAHMAN, M.S. Dried Food Properties: Challenges Ahead. **Drying Technology**, v.23, p.695-715, 2005.

RAHMAN, M.S.; MCCARTHY, O.J. Classification of food properties. **International Journal of Food Properties**, 2 (2), 1-6, 1999.

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

RAOULT-WACK, A.L.; LENART, A.; GUILBERT, S. Recent advances in dewatering through immersion in concentrated solutions. In: **Drying of Solids**. ed. A. S. Mujundar. International Science Publishers, New York, p.211-251, 1992.

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

RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S.; NIRANJAN, K.; KNORR, D. Recent Developments in Osmotic Dehydration: Methods to Enhance Mass Transfer. **Trends in Food Science e Technology**, v. 13, p. 48-59, 2002.

RASTOGI, N.K.; RAGHAVARAO, K.S.M.S; NIRANJAN, K. Mass transfer during osmotic dehydration of banana: Fickian Diffusion in Cylindrical configuration. **Journal of Food Engineering**, v.31, p.423-432, 1997.

RASTOGI, N.K.; RAGHAVARAO, K.S.M.S. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering Fickian diffusion in cubical configuration. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v.37,p.43-47, 2004.

REDY, M.B.; LOVE, M. The impact of food processing on the nutritional quality of vitamins and minerals. **Impact of Processing on Food Safety**, v.459, p.99-106, 1999.

ROBBERS, M.; SINGH, R.P.; CUNHA, L.M. Osmotic-convective dehydrofreezing process for drying kiwifruit. **Journal of Food Science**. Chicago, v.62, n.5, p.1039-1047, 1997.

RODRIGUES, A.C.C. **Estudo da desidratção osmótica com aditivos e do acondicionamento sob atmosfera modificada de pedaços de mamão formosa**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005, 192p.

RODRIGUES, A.C.C.; CUNHA, R.L.; HUBINGER, M.D. Rheological properties and colour evaluation of papaya during osmotic dehydration processing. **Journal of Food Engineering**, v.59, p.129-135, 2003.

RODRIGUES, A.E. Osmotic dehydration and drying of apple-I Tissue behaviour in osmotic solutions-II Mathematical modeling of diffusion. Magister thesis. IBILCE-UNESP 2003.

RUIZ-LÓPEZ, I.I.; GARCÍA-ALVARADO, M.A. Analytical solution for food-drying kinetics considering shrinkage and variable diffusivity. **Journal of Food Engineering**, 79, 208-216, 2007.

SABLANI, S.S.; RAHMAN, M.S. Effect of syrup concentration, temperature and sample geometry on equilibrium distribution coefficients during osmotic dehydration of mango. **Food Research International**. V.36, p.65-71, 2003.

SACILIK, K.; ELICIN, A.K. The thin layer drying characteristics of organic apple slices. **Journal of Food Engineering**, 73, 281-289, 2006.

SADHU, M.K.. 1990. Fig. In T.K. Kose e S.K. Mitra (Eds.), **Fruits: Tropical and Subtropical** (pp.650-663). Calcutta: Naya Prokash.

SALVATORI, D.; ANDRES, A.; CHIRALT, A.; FITO, P. Osmotic dehydration progression in apple tissue 1 : spacial distribution of solutes and moisture content. **Journal of Food Engineering**, 42, p.125-132, 1999.

SCHULTZ, E.L.; MAZZUCO, M.M.; MACHADO, R.A.F.; BOLZAN, A.M.; QUADRI, M.B.; QUADRI, M.G.N. Effect of pre-treatments on drying, density and shrinkage of apple slices. **Journal of Food Engineering**, 78, 1103-1110, 2007.

SILVA, M.A.; PINEDO, R.A.; KIECKBUSH, T.G. Ascorbic acid thermal degradation during hot air drying of camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.)) slices at different air temperatures. **Drying Technology**, v.23, p.2277-2287, 2005.

SILVA, P.T., LOPES, M.L.M., VALENTE-MESQUITA, V.L. Efeito de diferentes processamentos sobre o teor de ácido ascórbico em suco de laranja utilizado na elaboração de bolo, pudim e geléia. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, n.3, p.678-682, 2006.

SIMAL, S.; DEYA, E.; FRAU, M.; ROSSELLO, C. Simple modelling of air drying curves of fresh and osmotic pré-dehydrated apple cubes. **Journal of Food Engineering**, v.33, p.139-150, 1997.

SIMAL, S.; FEMENIA, A.; CASTELL-PALOU, A.; ROSSELLÓ, C. Water desorption thermodynamic properties of pineapple. **Journal of Food Engineering**, 80, 1293-1301, 2007.

SIMAL, S.; ROSSELLÓ, C.; BERNA, A.; MULET, A. Drying of Shrinkage Cylinder-shaped Bodies. **Journal of Food Engineering**, v.37, n.34, p.423-435, 1998.

SOLOMON, A.; GOLUBOWICZ, S.; YABLOWICZ, Z.; GROSSMAN, S.; BERGMAN, M., GOUTTLIEB, H.E.; ALTMAN, A.; KEREM, Z.; FLAISHMAN, M.A. Antioxidant activities and anthocyanin content of fresh fruits of common fig (*Ficus carica* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.54, p.7717-7723, 2006.

SOUSA, P.H.M.; SOUZA NETO, M.A.; MAIA, G.A.; SOUZA FILHO, M.S.M.; FIGUEIREDO, R.W. Desidratação osmótica de frutos. **Bol. sbCTA**, Campinas, v.37(supl.), p.94-100, 2003.

SOUSA, S. **Desenvolvimento Experimental de Passas de Umbu Dissertação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1999, 98f.

SRIKIATDEN, J.; ROBERTS J.S. Measuring moisture diffusivity of potato and carrot (core and cortex) during convective hot air and isothermal drying. **Journal of Food Engineering**, v.74, p.143-152, 2006.

STRUMILLO, C.; ADAMIEC, J. Advanced in of Biosynthesis Products. Anais do XIX Encontro Sobre Escoamento em Meios Porosos, Campinas – SP, v.1, p.17-61, 1991.

SUZUKI, K.; KUBOTA, K.; HASEGAWA, T.; HOSAKA, H. Shrinkage in Dehydration of Root Vegetables. **Journal of Food Science**, v.41, p.1189-1193, 1976.

TACO-**Tabela brasileira de composição de alimentos / NEPA-UNICAMP**.- Versão II. - 2.ed. - Campinas, SP: NEPA-UNICAMP, 2006. 104p.

TALENS, P.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; FITO, P.; CHIRALT, A. Changes in Optical and Mechanical Properties during Osmodehydrofreezing of Kiwi Fruit. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 3, p. 191-199, 2002.

TODAFRUTA. Disponível em <<http://www.todafruta.com.br>> Acesso em 02 maio 2007.

TORREGGIANI, D.; FORNI, E.; MAESTRELLI, A.; QUADRI, F. Influence of osmotic dehydration on texture pectic composition of kiwifruit slices. **Drying Technology**, v.17, n.7/8, p.1387-1397, 1999.

TORREGGIANI, D.; BERTOLO, G. Osmotic Pré-treatments in Fruit Processing: Chemical, Physical and Structural Effects. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.247-253, 2001.

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

TOUS, J.; FERGUSON, L. (1996). Mediterranean fruits. In Janick (Ed.), **Progress in new crops** (pp. 416-430). Arlington. VA: ASHS Press.

UDDIN, M.S.; HAWLADER, M.N.A.; DING, L.; MUJUNDAR, A.S. Degradation of ascorbic acid in dried guava during storage. **Journal of Food Engineering**, v.51, p.21-26, 2002.

UDDIN, M.S.; HAWLADER, M.N.A.; ZHOU, L. Kinetics of ascorbic acid degradation in dried kiwifruits during storage. **Drying Technology**, v.19, p.437-446, 2001.

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

VIAL, C.; GUILBERT, S.; CUQ, J.L. Osmotic dehydration of kiwi fruits: influence of process variables on the color and ascorbic acid content. **Sciences des Aliments**, v.11, n.1, p.63-84, 1991.

VIDEV, K.; TANCHEV, S.; SHARMA, R.C.; JOSHI, V.K. Effect of sugar syrup concentration and temperature on the rate of osmotic dehydration of apples. **Journal of Food Science and Technology**, v.27, n.5, 307-308, 1990.

VULLIOUDI, M.; MÁRQUEZ, C.A.; DE MICHELIS, A. Desorption isotherms for sweet and sour cherry. **Journal of Food Engineering**, 63, p.15-19, 2004.

WAANANEN, K.M.; LITCHFIELD, J.B.; OKOS, M.R. Classification of Drying Models for Porous Solids. **Drying Technology**, v.17, n.1, p.1-40, 1993.

WELTI, J.; PALOU, A.; LÓPEZ-MALO; BALSEIRA, A. Osmotic Concentration-drying of Mango Slices. **Drying Tchnology**, v.13, n.18-2, p.405-416, 1995.

XANTHOPOULOS, G.; OIKONOMOU, N.; LAMBRINOS, G. Applicability of a single-layer drying model to predict the drying rate of whole figs. **Journal of Food Engineering**, 81, p.553-559, 2007.

YONG, J.F. Humidity control in the laboratory using salt solutions: A review. **Journal of Applied Chemistry**, v.17, n.9, p.241-245, 1967.