

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE PROCESSOS**

**ESTUDO DE PRÉ-TRATAMENTOS PARA A OBTENÇÃO DE  
TOMATE DESIDRATADO EM FATIAS**

**Autora : Lecsi Maricela Romero Peña**  
**Orientador: Prof. Dr. Theo Guenter Kieckbusch**

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade  
de Engenharia Química como parte dos Requisitos  
exigidos para a obtenção do título de  
Mestre em Engenharia Química

8914183

Campinas - São Paulo- Brasil  
Maio - 1999



UNICAMP	BC
N.º UNICAMP	2011.100
V.	2011
EX.	38163
TOMSO BC/	38163
PROC.	229/99
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	23/07/99
N.º CPD	

CM-00125672-4

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

R664e Romero Peña, Leci Maricela  
Estudo de pré-tratamentos para a obtenção de tomate desidratado em fatias. / Leci Maricela Romero Peña.-- Campinas, SP: [s.n.], 1999.

Orientador: Theo Guenter Kieckbusch  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química

1. Tomate - Secagem. 2. Tomate - Tratamento. 3. Tomate - Desidratação. I. Kieckbusch, Theo Guenter. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Química. III. Título.

*Ofereço este trabalho aos meus pais,  
Círo e Haydeé, aos meus irmãos Miríam,  
Jaime, Líliam e Alex, aos meus sobrinhos,  
porque a distância foi nada perante o amor,  
fonte da minha inspiração*

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DEFENDIDA E APROVADA EM 12 DE MAIO DE  
1999 PELA BANCA EXAMINADORA CONSTITUÍDA PELOS PROFESSORES  
DOUTORES:**



---

**Prof. Dr. Theo Guenter Kieckbusch  
(Orientador)**



---

**Profa. Dra. Fernanda Elizabeth Xidieh Murr  
(titular)**



---

**Profa. Dra Sandra Cristina dos Santos Rocha  
(titular)**

Esta versão corresponde à redação final da Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, defendida pela Engenheira Química Lecsi Maricela Romero Peña e aprovada pela Comissão Julgadora em 12 de Maio de 1999.



---

Prof. Dr. Theo Guenter Kieckbusch  
(Orientador)

## AGRADECIMENTOS

*Ao Prof. Dr. Theo Guenter Kieckbusch pela oportunidade, orientação segura, entusiasmo no trabalho, e especialmente pela paciência na revisão da Tese e na correção do idioma.*

*À Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP e aos seus funcionários pela colaboração.*

*Ao programa de Bolsas CAPES pelo apoio financeiro.*

*Aos funcionários da oficina da FEQ pelo apoio na manutenção do equipamento.*

*A todos os amigos com quem compartilhamos momentos de amizade e estudo,  
A todos os amigos que colaboraram para a realização deste trabalho.*

# SUMÁRIO

<b>NOMENCLATURA.....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>xi</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xv</b>
<b>CAPITULO 1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. CARACTERÍSTICAS DO TOMATE.....</b>	<b>5</b>
2.1.1. CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO.....	5
2.1.2. CULTIVAR.....	6
2.1.3. PRODUÇÃO DE TOMATE.....	7
2.1.4. O TOMATE E A SUA INDUSTRIALIZAÇÃO.....	9
2.1.4.1. COR.....	11
2.1.4.2. QUALIDADE SENSORIAL.....	11
2.1.4.3. TEXTURA.....	12
2.1.4.4. VALOR NUTRITIVO.....	13
2.1.5. HISTOLOGIA DO TOMATE.....	13
2.1.6. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO TOMATE.....	16
2.1.6.1. CAROTENÓIDES.....	18
2.1.7. MODIFICAÇÕES COM O AMADURECIMENTO.....	20
2.1.7.1. EFEITOS DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS NO AMADURECIMENTO.....	22
<b>2.2. DESIDRATAÇÃO DE TOMATES.....</b>	<b>23</b>
2.2.1. MUDANÇAS FÍSICO-QUÍMICAS DURANTE A DESIDRATAÇÃO.....	26
2.2.2. PRÉ-TRATAMENTOS.....	27
2.2.2.1. BRANQUEAMENTO TÉRMICO.....	27
2.2.2.2. INFILTRAÇÃO DE SOLUTOS.....	28
a) IMERSÃO EM SOLUÇÃO DE CaCl <sub>2</sub> .....	29
b) IMERSÃO EM BIOPOLÍMEROS.....	30
2.2.2.3. PRÉ-SECAGEM A TEMPERATURAS ALTAS.....	31

2.3. CINÉTICA DA SECAGEM.....	31
2.3.1. MODELOS MATEMÁTICOS.....	32
2.3.2. CINÉTICA DA SECAGEM DO TOMATE.....	34
2.4. ISOTERMA DE ADSORÇÃO DE UMIDADE.....	36
2.4.1. MODELOS DE AJUSTE DAS ISOTERMAS DE SORÇÃO.....	38
<b>CAPITULO 3 - MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS.....</b>	<b>41</b>
3.1. PROCESSAMENTO DO TOMATE.....	41
3.1.1. MATÉRIA PRIMA.....	41
3.1.1.1. PREPARAÇÃO E SELEÇÃO DA MATÉRIA PRIMA.....	43
3.1.1.2. CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA.....	43
3.1.2. RETIRADA DA PELE.....	43
3.1.3. FATIAMENTO.....	44
3.1.4. PRE-TRATAMENTOS.....	45
3.1.4.1. BRANQUEAMENTO TÉRMICO.....	45
a) IMERSÃO EM ÁGUA FERVENTE.....	45
b) IMERSÃO EM VAPOR DE ÁGUA.....	45
c) IMERSÃO EM SALMOURA FERVENTE.....	45
3.1.4.2. INFILTRAÇÃO COM SOLUTOS.....	46
a) IMERSÃO EM SOLUÇÃO DE AMIDO.....	46
b) IMERSÃO EM SOLUÇÃO DE CaCl <sub>2</sub> .....	46
3.1.4.3. PRÉ-SECAGEM A ALTAS TEMPERATURAS.....	46
3.1.5. SECAGEM.....	46
3.1.6. PERFURAÇÃO DAS FATIAS.....	47
3.2. EQUIPAMENTO.....	47
3.3. ANÁLISE E CONTROLES NO PROCESSO.....	51
3.3.1. ANÁLISE DO TOMATE <i>IN NATURA</i> .....	52
3.3.1.1. ACIDEZ.....	52
3.3.1.2. DETERMINAÇÃO DE SAL (NaCl).....	53
3.3.1.3. AÇÚCARES TOTAIS.....	54
3.3.1.4. pH.....	55
3.3.1.5. SÓLIDOS TOTAIS (TSS).....	55
3.3.1.6. TEOR DE UMIDADE.....	55
3.3.2. MONITORAMENTO NA SECAGEM DAS FATIAS DE TOMATE.....	56
3.3.2.1. CINÉTICA DE SECAGEM DO TOMATE.....	56
3.3.2.2. DETERMINAÇÃO DA COR.....	56
3.3.2.3. ÁCIDO ASCÓRBICO.....	58
3.3.3. ANÁLISE DAS FATIAS SECAS DE TOMATES.....	59

3.3.3.1. REIDRATAÇÃO.....	59
3.4.3.2. DENSIDADE REAL.....	60
3.3.3.3. DETERMINAÇÃO DE ISOTERMA DE SORÇÃO.....	61
3.4. ESTUDO DA RESISTÊNCIA DA PELE.....	63
3.4.1. PERMEABILIDADE DA PELE.....	63
3.4.2. TRATAMENTO COM SOLUÇÕES DE NaOH.....	63
3.4.3. PERFURAÇÃO DA PELE.....	64
<b>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>65</b>
4.1. CONTEÚDO DE UMIDADE DOS TOMATES <i>IN NATURA</i> E APÓS PRÉ-TRATAMENTOS.....	65
4.2. CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA.....	67
4.2.1. TAMANHO DO TOMATE.....	67
4.2.2. ESPESSURA DO PERICARPO DO TOMATE.....	69
4.2.3. DETERMINAÇÃO DE pH, NaCl, ACIDEZ, °BRIX, ÁCIDO ASCÓRBICO.....	69
4.3. FATORES QUE INFLUENCIAM NA CINÉTICA DE SECAGEM DO TOMATE EM FATIAS.....	71
4.3.1. INFLUÊNCIA DA PELE, TAMANHO DE FATIAS E CORTE.....	71
4.3.1.1. PRESENÇA DA PELE.....	71
4.3.1.2. TAMANHO DE FATIAS.....	72
4.3.1.3. TIPO DE CORTE.....	72
4.3.2. INFLUENCIA DA PRESENÇA DAS DIFERENTES PARTES ESTRUTURAIS DO TOMATE.....	74
4.3.3. INFLUENCIA DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DE SECAGEM.....	75
4.3.3.1. VELOCIDADE DO AR DE SECAGEM.....	75
4.3.3.2. TEMPERATURA DO AR DE SECAGEM.....	75
4.3.4. INFLUÊNCIA DOS PRÉ-TRATAMENTOS.....	76
4.3.4.1. BRANQUEAMENTO.....	76
4.3.4.2. IMERSÃO EM SOLUÇÕES DE CaCl <sub>2</sub> .....	78
4.3.4.3. PRÉ-TRATAMENTO COM DIFERENTES TIPOS DE AMIDO.....	79
4.3.4.4. COMPARAÇÃO DA CINÉTICA DE SECAGEM DAS FATIAS DE TOMATE COM DIFERENTES PRÉ-TRATAMENTOS.....	79
4.3.4.5. INFLUENCIA DOS DIFERENTES NÍVEIS DE TEMPERATURA DURANTE A SECAGEM.....	81
4.3.4.6. INFLUENCIA DE PERFURAÇÕES NA CINÉTICA DE SECAGEM DE FATIAS DE TOMATE.....	82
4.3.5. MONITORAMENTO DA SECAGEM DAS FATIAS DE TOMATE.....	87
4.3.5.1. VARIAÇÃO NA COR.....	87
4.3.5.2. VARIAÇÃO DE ÁCIDO ASCORBICO.....	91

4.3.6. QUALIFICAÇÃO DO PRODUTO DESIDRATADO.....	92
4.3.6.1. REIDRATAÇÃO.....	93
4.3.6.1.1. REIDRATAÇÃO DE FATIAS DE TOMATE <i>IN NATURA</i> SECAS SOB TEMPERATURAS DIFERENTES.....	94
4.3.6.1.2. REIDRATAÇÃO DE FATIAS DE TOMATE PRÉ-TRATADAS SECAS.....	96
4.3.6.2. DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE.....	98
4.4. RESISTÊNCIA A TRANSFERÊNCIA DE MASSA DA PELE DO TOMATE.....	99
4.4.1. PERMEABILIDADE DA PELE.....	99
4.4.2. TRATAMENTO COM SOLUÇÕES DE NaOH.....	101
4.4.3. EFEITO DE PERFURAÇÕES.....	104
4.5. ISOTERMA DE ADSORÇÃO DO TOMATE <i>IN NATURA</i> SECO.....	105
4.6. MODELAGEM DAS CINÉTICAS DE SECAGEM DO TOMATE <i>IN NATURA</i> .....	109
<b>CAPÍTULO 5- CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....</b>	<b>115</b>
5.1. CONCLUSÕES.....	115
5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	117
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>119</b>
<b>APÊNDICE A - AFERIÇÃO DE TERMOPARES.....</b>	<b>127</b>
<b>APÊNDICE B - DISTRIBUIÇÃO DA VELOCIDADE DO AR DE SECAGEM                     NOS SECADORES.....</b>	<b>129</b>

## NOMENCLATURA

$A$	área da superfície externa do tomate, ( $\text{cm}^2$ )
$Aa$	ácido ascórbico, ( $\text{mg}/100\text{g}$ )
$Ac$	acidez expressa como ácido cítrico, (%)
$\text{água}_{\text{absorvida}}$	percentagem de água absorvida, (%)
$C_o$	concentração inicial de água, ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
$C$	concentração de água em equilíbrio com o ar de secagem, ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
$D$	difusividade da água no sólido, ( $\text{m}^2/\text{s}$ )
$D_{\text{ef}}$	difusividade efetiva, ( $\text{m}^2/\text{s}$ )
$C, k$	constantes relacionadas a efeitos de temperatura
$L$	espessura inicial da amostra, (mm)
$L'$	espessura reduzida, (mm)
$m$	massa da amostra, (g)
$m_{\text{evap}}$	quantidade de água evaporada, (g)
$m_0$	massa inicial da amostra, (g)
$m_t$	massa da amostra no tempo $t$ , (g)
$m_i$	massa inicial das fatias de tomate desidratadas, (g)
$m_f$	massa final das fatias de tomate desidratadas após a imersão, (g)
$m_s$	massa do sólido, (g)
$n$	efeito combinado de temperatura e encolhimento
$N$	Normalidade do álcali, (g/L)
$p_{\text{int}}$	pressão de vapor de água junto à superfície interna da pele, (atm)
$p_{\text{ext}}$	pressão de vapor de água junto à superfície externa da pele, (atm)
$P_w$	pressão parcial da água na fase vapor, (atm)
$P_w^o$	pressão de saturação da água pura, (atm)

$t$	tempo, (s)
$V$	volume aferido, (mL)
$V_A$	volume da alíquota, (mL)
$V_S$	volume do sólido, (mL)
$V_t$	volume titulado na padronização da solução indicadora, (mL)
$V_T$	volume de titulação, (mL)
$x$	umidade do sólido no tempo $t$ , (g/g b.s.)
$x_o$	conteúdo de umidade da monocamada, (g/g b.s.)
$x_e$	umidade de equilíbrio do sólido, (g/g b.s.)
$x_0$	umidade inicial, (g/g b.s.)
$y_w$	fração molar da água na mistura gasosa.

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 2.1-</b> Estrutura interna do tomate.....	14
<b>FIGURA 2.2-</b> Micrografias eletrônicas do tomate.....	15
<b>FIGURA 2.3-</b> Absorção de $\text{CaCl}_2$ em concentrações e tempos de imersão Diferentes.....	30
<b>FIGURA 3.1-</b> Processo da secagem de fatias de tomate.....	42
<b>FIGURA 3.2-</b> Esquema da retirada da pele dos tomates.....	44
<b>FIGURA 3.3-</b> Tipo de cortes do tomate.....	44
<b>FIGURA 3.4-</b> Esquema do secador de bandejas.....	49
<b>FIGURA 3.5-</b> Fotografia do secador de bandejas.....	50
<b>FIGURA 3.6-</b> Controles do tomate durante os ensaios de secagem.....	51
<b>FIGURA 3.7-</b> Escala de cor Hunter Lab.....	58
<b>FIGURA 3.8-</b> Unidades de isolamento para obtenção dos pontos da isoterma das fatias de tomate secos.....	62
<b>FIGURA 4.1-</b> Histogramas e Distribuição Normal das dimensões de tomates <i>in natura</i> .....	68
<b>FIGURA 4.2-</b> Histograma e Distribuição Normal das medidas da espessura do pericarpo dos tomates.....	69
<b>FIGURA 4.3-</b> Cinética de secagem do tomate inteiro e em fatias.....	72
<b>FIGURA 4.4-</b> Visual do tomate seco, com diferentes condições de corte.....	73
<b>FIGURA 4.5-</b> Cinética de secagem do tomate em fatias, contendo diferentes partes estruturais.....	74
<b>FIGURA 4.6-</b> Cinética de secagem de fatias de tomate com diferentes condições de operação.....	76
<b>FIGURA 4.7-</b> Cinética de secagem das fatias de tomate pré-tratadas com diferentes tipos de branqueamento.....	77

<b>FIGURA 4.8-</b> Cinética de secagem das fatias de tomate pré-tratadas por imersão em soluções de $\text{CaCl}_2$ .....	78
<b>FIGURA 4.9-</b> Pré-tratamento com diferentes tipos de amido.....	79
<b>FIGURA 4.10-</b> Cinética de secagem de fatias de tomate com diferentes pré-tratamentos.....	80
<b>FIGURA 4.11-</b> Cinética de secagem de fatias de tomate com temperaturas de início de secagem mais altas.....	81
<b>FIGURA 4.12-</b> Comparação da cinética de secagem das fatias de tomate, <i>in natura</i> , com furos e sem furos.....	83
<b>FIGURA 4.13-</b> Comparação das cinética de secagem de tomates com pré-tratamentos diferentes e temperatura de secagem de 60°C. Furos nos 60min. ....	84
<b>FIGURA 4.14-</b> Comparação das cinética de secagem das fatias de tomate com pré-tratamentos diferentes, pré-secagem a 80°C por 50min, furos aos 40min.....	85
<b>FIGURA 4.15-</b> Comparação das cinética de secagem das fatias de tomate com pré-tratamentos diferentes e pré-secagem de 100°C por 30 min, furos aos 20min.....	86
<b>FIGURA 4.16-</b> Variação da cor $\Delta E$ com o tempo e com o teor de umidade nas fatias de tomate durante o processo da secagem.....	88
<b>FIGURA 4.17-</b> Variação do fator $\Delta a$ da cor com o tempo (A), e com o teor de umidade (B).....	89
<b>FIGURA 4.18-</b> Variação do fator $\Delta L$ da cor com o tempo (A), e com o teor de umidade (B).....	89
<b>FIGURA 4.19-</b> Diferença de cor das fatias secas a diferentes temperaturas.....	91
<b>FIGURA 4.20-</b> Variação de ácido ascórbico durante a secagem das fatias de tomate a temperaturas diferentes.....	92
<b>FIGURA 4.21-</b> Comportamento da reidratação nas fatias <i>in natura</i> , secas a diferentes temperaturas.....	95

<b>FIGURA 4.22-</b> Comportamento da reidratação nas fatias de tomate secas com diferentes pré-tratamentos à temperatura de 60°C e perfuração das fatias nos 60 min.....	96
<b>FIGURA 4.23-</b> Comportamento da reidratação nas fatias de tomate secas com diferentes pré-tratamentos à temperatura de pré-secagem de 100°C por 30min e furo das nos 20min.....	97
<b>FIGURA 4.24-</b> Mudança da temperatura na superfície interna do tomate <i>in natura</i> .....	101
<b>FIGURA 4.25-</b> Superfície de Resposta do efeito das variáveis Concentração da solução de NaOH, Tempo de imersão, e Temperatura de solução.....	103
<b>FIGURA 4.26-</b> Cinética de secagem do tomate inteiro, <i>in natura</i> .....	105
<b>FIGURA 4.27-</b> Isoterma do tomate <i>in natura</i> seco.....	107
<b>FIGURA 4.28-</b> Ajuste dos modelos de BET e GAB à isoterma de sorção a 25°C, de tomate <i>in natura</i> seco.....	108
<b>FIGURA 4.29-</b> Correlação com o modelo de Fick, dos dados experimentais da secagem a 60°C e 80°C de fatias de tomate (oitavos).....	111
<b>FIGURA 4.30-</b> Correlação para obtenção dos parâmetros do modelo de Hawlader, para a cinética de secagem de fatias de tomate <i>in natura</i> a 60°C e 80°C.....	112
<b>FIGURA 4.31-</b> Modelagem da cinética de secagem do tomate <i>in natura</i> a temperatura de 60°C.....	113
<b>FIGURA 4.32-</b> Modelagem da cinética de secagem do tomate <i>in natura</i> a temperatura de 80°C.....	113
<b>FIGURA A.1-</b> Aferição de termopares.....	130
<b>FIGURA B.1-</b> Exemplo de distribuição de velocidades na bandeja.....	131

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 2.1-</b> Área, produção e produtividade de tomate no Brasil, 1990-96 (Agroanalysis: IBGE - Síntese Estatística de Produção Agrícola, 1991-1997).....	8
<b>TABELA 2.2-</b> Área, produção e produtividade de tomate e principais estados produtores, média 1993 - 1994 (IBGE - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola citado por PIRES DE CAMARGO et ali., 1996).....	8
<b>TABELA 2.3-</b> Estimativas de perdas para algumas regiões do Brasil, enfocando níveis específicos de mercado .....	9
<b>TABELA 2.4-</b> Importações brasileiras de tomate e derivados, Brasil, 1994 e 1995*.....	10
<b>TABELA 2.5-</b> Composição geral do tomate.....	16
<b>TABELA 2.6-</b> Constituintes vitamínicos do tomate.....	17
<b>TABELA 2.7-</b> Constituintes minerais do tomate.....	17
<b>TABELA 2.8-</b> Constituintes ácidos do tomate.....	18
<b>TABELA 2.9-</b> Distribuição de carotenóides .....	19
<b>TABELA 2.10-</b> Algumas mudanças de composição associadas ao amadurecimento do tomate <sup>a</sup> . (SALUNKE e DESAI, 1984).....	21
<b>TABELA 2.11-</b> Mudanças na pigmentação com o grau de amadurecimento .....	22
<b>TABELA 2.12-</b> Pré-tratamentos do tomate, para uso em secador de bandeja.....	25
<b>TABELA 2.13-</b> Absorção de CaCl <sub>2</sub> em concentrações e tempos de imersão Diferentes.....	30
<b>TABELA 3.1-</b> Características das câmaras de secagem.....	48
<b>TABELA 3.2-</b> Sais usados para a determinação da isoterma de sorção das fatias.....	61
<b>TABELA 3.3-</b> Variáveis usadas no planejamento em estrela de dois níveis.....	64
<b>TABELA 4.1-</b> Conteúdo de umidade (base úmida) de tomates <i>in natura</i> e de tomates expostos a diferentes pré-tratamentos.....	66

<b>TABELA 4.2-</b> Determinações de composição no tomate <i>in natura</i> .....	70
<b>TABELA 4.3-</b> Reidratação de fatias de tomate <i>in natura</i> secas <i>in natura</i> a 60°C.....	93
<b>TABELA 4.4-</b> Efeitos das temperaturas de secagem e dos furos nas fatias secas <i>in natura</i> .....	94
<b>TABELA 4.5-</b> Densidade das fatias de tomate seco.....	98
<b>TABELA 4.6-</b> Secagem de Tomates inteiros.....	100
<b>TABELA 4.7-</b> Variáveis e Difusividade para os tomates inteiros com pele, no estudo da resistência da pele.....	102
<b>TABELA 4.8-</b> Valores de umidade de equilíbrio para diferentes umidades relativas, a temperatura de 25°C.....	106
<b>TABELA 4.9-</b> Parâmetros de ajuste das Equações B.E.T. e G.A.B.....	107
<b>TABELA 4.10-</b> Parâmetros estatísticos de correlação das equações BET e GAB.....	108
<b>TABELA 4.11-</b> Condições de operação do processo da secagem.....	109
<b>TABELA 4.12-</b> Parâmetros estatísticos de correlação das equações da cinética de secagem para temperaturas de 60 e 80°C.....	114

## RESUMO

Buscou-se a otimização dos parâmetros do processo de secagem de fatias de tomate da variedade Santa Clara, com ênfase em pré-tratamentos que realcem as características funcionais e organolépticas do produto final. A temperatura do ar (de 60 a 120°C) mostrou ter mais influência do que a velocidade (de 1,0 a 3,0m/s). O tipo de fatiamento e a manutenção de diferentes partes estruturais do tomate influenciaram a cinética de desidratação, a pele constituindo-se no fator determinante. Pré-tratamentos como branqueamentos em água fervente, em vapor de água e em salmoura (1%, 2% e 3%) em ebulição; imersão em soluções de amido (polvilho doce e polvilho azedo, 2,5%) e em soluções de  $\text{CaCl}_2$  (0,5%, 1% e 2%), foram combinados com secagens a dois níveis de temperatura (pré-secagens: 80°C(50min), 90°C(40min), 100°C(30min), ou 150°C(8min) seguidas de uma secagem até peso constante a 60°C) assim como o uso de perfurações das fatias (9 furos de 0,8mm por  $\text{cm}^2$ ). Em todos os ensaios, a reidratação foi rápida, a perfuração das fatias melhorou as taxas de transferência de massa, aumentou a capacidade de reidratação e diminuiu a densidade real das fatias. A densidade das fatias mostrou ser diretamente proporcional à temperatura de secagem. Durante a secagem, fez-se acompanhamento de cor, confirmando que temperaturas de 60°C mantêm melhor a qualidade da cor. O conteúdo de ácido ascórbico se manteve em todos os casos estudados. Uma pré-secagem a 80°C por 50 min seguida de perfurações, usando fatias de tomate sem pele, *in natura* ou pré-tratadas com salmoura e amido exigiu um tempo de secagem inferior a 200min obtendo-se um produto final com umidade em torno de .0,10g/g (b.s.)

A cinética de secagem seguiu o Modelo da Difusão de Fick com correção devido ao encolhimento. A isoterma de sorção para as fatias secas, foi melhor correlacionada com o modelo G.A.B., sugerindo uma umidade da monocamada de 0,086g/g (b.s.).

Ensaio visando aumentar a baixa permeabilidade da pele ( $1,2 \times 10^{-5} \text{g/s cm}^2 \text{atm}$ ) através de contatos com soluções de NaOH não produziram efeito, dando-se assim, preferência para as perfurações.

Palavras-chave: secagem, tomate, fatias, pré-tratamentos.

## ABSTRACT

The parameters optimization in the hot-air dehydration of tomatoes (Santa Clara) slices were considered, with emphasis on pre-treatments that enhance the functional and sensorial characteristics of the final product.

The air temperature (from 60 to 120°C) showed stronger influence than its velocity (from 1,0 to 3,0m/s). The slicing procedures and the presence of the different structural constituents of the tomato affected the dehydration kinetics, the skin acting as the most prominent factor.

Pre-treatment like blanching in hot water, steam or boiling brine (1%, 2%, 3% w/w), dipping in starch solutions (2,5% w/w) and in CaCl<sub>2</sub> solutions (0,5%, 1%, 2%) were combined with two-stage drying (80°C for 50min, 90°C por 40min, 100°Cpor 30min or 150°C for 8 min, finishing by drying at 60°C), and the use of perforations (9 holes of 0,8mm per cm<sup>2</sup>) In all tests, the reconstitution in water was fast, the perforations improved the mass transfer rates, increased the rehydration capacity and decreased the density of the slices. The density of the product was directly proportional to the drying temperature. The color was monitored during the drying and confirmed that using air temperature at 60°C preserved the color quality. The ascorbic acid content was preserved in all treatments. A pre-drying at 80°C for 50min, followed by perforation in tomatoes slices without skin, natural or pre-treated with brine and starch required less than 200min to achieved a final water content of 0,10g/g.

The drying kinetics followed the Fick Difusion Model, with a correction due to shrinkage. The GAB sorption isotherm produce the best fit to the equilibrium data, suggesting a monolayer water content of 0,086g/g.

Dipping the tomatoes in NaOH solution aiming to increase the low skin permeability ( $1,2 \times 10^{-5} \text{g/s cm}^2 \text{atm}$ ) proved ineffective, and preference was given to skin perforations.

Keywords: drying, tomato, slices, pre-treatments.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

O tomate é a segunda hortaliça em área cultivada no mundo, e a primeira em volume industrializado. No Brasil, em importância econômica, dentre os produtos agrícolas está em decimo segundo lugar

Segundo SALUNKHE et al., 1984 e CARVALHO et al., 1980, o tomate ocupa um primeiro lugar como contribuinte de vitaminas e minerais na dieta e o valor nutritivo é devido principalmente, ao seu teor da vitamina C. Os carotenóides, outro dos constituintes do tomate, além de ser responsáveis pela cor vermelha dos tomates maduros, atraem a atenção dos pesquisadores pelas funções que lhe são atribuídas como precursores da vitamina A (MATHEUS-ROTH, 1985; OLSON, 1989).

O tomate é um fruto altamente perecível, com perdas após colheita da ordem de 25% a 50% variando muito de região a região, (BARRETT, 1990). No Brasil, o tomate é principalmente industrializado como concentrado e molhos especializados, e a expectativa para o consumo doméstico do tomate processado continua crescente, fazendo-se necessária a diversificação dos produtos derivados.

Um dos processos mais importantes de preservação de alimentos por abaixamento de atividade de água é a desidratação ou secagem. A secagem pode significar também considerável economia no transporte, no manuseio e na estocagem do produto, além de prover um efetivo método de prolongamento de sua vida útil. O

interesse por alimentos desidratados tem crescido paralelamente com o aumento da demanda de consumo por alimentos prontos (OGIHARA, 1989).

A grande maioria dos alimentos são higroscópicos e apresentam dificuldades na secagem devido a sua natureza termoplástica, formando produtos pouco atraentes, pegajosos, não-crocantes, de difícil manuseio durante a operação e com baixa capacidade de reidratação.

A secagem do tomate tem sido um desafio devido ao teor de umidade alto, próximo a 95%, e à sua característica estrutural peculiar. A secagem de tomate *in natura* deve ser realizada a temperaturas inferiores a 65°C a fim de preservar a cor e o sabor, o que torna o processo demorado exigindo um tempo superior a 10 horas para se atingir uma umidade final inferior a 8%, necessária para um armazenamento adequado.

Com alguns vegetais é possível um controle da contração e da deformação que ocorrem durante a secagem, sobretudo no período final da mesma, fazendo uso de uma programação na temperatura do ar de secagem). Esse é o caso de alimentos que dispõem de uma estrutura celular mais rígida, como a cenoura. O uso de uma alta temperatura inicial, e conseqüentemente altas taxas de secagem enrijece a superfície das fatias de cenoura, definindo uma estrutura (armadura) que se mantém durante o processo. Essa casca endurecida (*case hardening*) na cenoura é porosa, permitindo a saída da água e a matriz úmida remanescente no interior da fatia deve se acomodar ao formato da superfície, criando-se poros, vazios e grandes, que facilitam muito a secagem (JEN et. al 1989; JAYARAMAN e GUPTA, 1992; ACHANTA e OKOS, 1996).

O tomate não dispõe dessa estrutura celular rígida e a aplicação direta dessa técnica geraria um *case hardening* impermeável e que se retrairia tornando o processo inviável. Experiências exploratórias, realizadas no Laboratório de Engenharia de Processos de Produtos Naturais (DTF/FEQ) indicam entretanto, ser possível induzir uma estrutura rígida na superfície de fatias de polpa de tomate através da infiltração no espaço intracelular e/ou absorção de biopolímeros e sais (CaCl<sub>2</sub> sobretudo), pela

parede celular seguida de uma pré-secagem rápida. O *case hardening* continua sendo impermeável, podendo ocorrer expansão de volume, mas esse problema é resolvido por meio de perfurações na superfície.

A presente pesquisa visa otimizar os parâmetros deste processo de secagem, com ênfase nos pré-tratamentos para melhorar as características funcionais do produto final.

A presente apresentação, está organizada da seguinte maneira:

No Capítulo 2, apresenta-se a revisão bibliográfica que abrange aspectos gerais sobre o tomate, dando-se ênfase à produção e à industrialização, histologia e composição química, além da desidratação. Abordou-se também aspectos teóricos da secagem, com aplicações específicas para a secagem do tomate.

Os equipamentos, materiais e métodos usados durante o desenvolvimento da pesquisa são descritos em detalhe no Capítulo 3.

Os resultados obtidos, assim como as discussões respectivas, são mostrados no Capítulo 4. As conclusões e sugestões para futuros trabalhos estão no Capítulo 5.

## CAPITULO 2

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo abrange os aspectos gerais concernentes ao tomate, como, a sua classificação e descrição, produção e industrialização, histologia e composição química, além de aspectos teóricos da secagem com aplicação específica para o tomate.

#### 2.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO TOMATE

##### 2.1.1. CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO

O tomate é o fruto do tomateiro, que pertence à família Solanácea, originária do Peru. É cultivada no mundo inteiro graças ao seu fruto alimentar (AURELIO, 1975).

A planta é uma dicotiledônia da ordem *Tubiflorae*, gênero *Lycopersicom*, com os sub-gêneros (SALUNKHE e DESAI, 1984):

- *Eulicopersicum* que incluem às espécies: *L. pimpinellifolium*, *L. esculentum f. pyriforme*, *L. esculentum f. cerasiforme*.
- *Eriopersicum* com as espécies: *L. cheesemanii*, *L. glandulosum*, *L. hirsutum*, *L. Peruvianum*.

A *L. esculentum* é a espécie cultivada e as demais são utilizadas em programas de melhoramento (BARRETT, 1990).

Em 1893, nos E.U.A., como resultado de uma disputa tarifária, o tomate foi proclamado oficialmente pela Corte Suprema como uma hortaliça, mas botanicamente, ele é um fruto (MARGEN citado por BARRETT, 1998). Os frutos, de estrutura carnosa, podem ser vermelhos, amarelos e cor de rosa dependendo das espécies.

A forma individual do tomate é determinada geneticamente, com algumas influências das condições ambientais e nutricionais. A forma varia amplamente, dependendo do tipo de cultivar.

Após a colheita, o tomate apresenta-se como um fruto altamente perecível. O tomate maduro tem uma vida média de prateleira de 1 semana e com perdas pós colheita da ordem de 25-50%. O tomate parcialmente maduro, tem uma vida média de prateleira maior (de 1 a 2 semanas) e perdas pós colheita de 20-40% (SIGRIST, citado por BARRETT, 1990).

### **2.1.2. CULTIVAR**

Os tipos de tomate cultivados comercialmente pertencem à espécie *Lycopersicon esculentum*. Há uma separação dos cultivares de tomate em dois grupos: para a indústria e para a mesa (ou consumo *in natura*).

No Brasil, até 1970, os cultivares do tomate usados, tanto para fins industriais como para mesa, eram do grupo Santa Cruz, com uma pequena produção do tomate caqui ou salada. A partir desta época, foram introduzidos cultivares próprios para a indústria, provenientes da Califórnia, EUA, pois a qualidade industrial do Santa Cruz não era satisfatória (TAVARES DE MELO, 1992).

Hoje, são inúmeros os cultivares de tomate existentes no mercado, principalmente para a indústria. Os cultivares mais amplamente usados na indústria são UC82B, Rio Grande, Rio Fuego, Petomech II, Vf 134, Europeel, Séries Agrocica, e também se inclui

tipos locais do IPA (IPA-5 e IPA-6) que representam atualmente mais do 60% do total de áreas de produção do nordeste. Em São Paulo, existe uma crescente aceitação do cultivar IPA-5 (TAVARES DE MELO, 1992).

Os frutos de cultivar utilizados na indústria devem apresentar alguns requisitos mínimos: maturação uniforme, alto teor de sólidos solúveis, polpa de pH baixo, cor vermelha, baixo teor de cascas e sementes.

### **2.1.3. PRODUÇÃO DE TOMATE**

O tomateiro é a segunda hortaliça em área cultivada no mundo e a primeira em volume industrializado. No Brasil, e principalmente em São Paulo, ocorreu intensa evolução tecnológica na produção de tomate (rasteiro e envarado) e o mercado mostrou-se competitivo e dinâmico nos últimos vinte anos. Dentre as olerícolas, o tomate e a batata serão os produtos que deverão sofrer maiores ajustes na produção e abastecimento no Cone Sul do Continente Americano, em razão de suas características peculiares e dos aspectos históricos de produção e de consumo (PIRES DE CAMARGO e MAZZEI, 1996).

Levando em conta a importância econômica, o tomate está em décimo-segundo lugar dentre os produtos agrícolas no Brasil, de acordo com NAGAI, citado por GUIMARÃES e CAIXETA (1996).

A produção Brasileira de tomate foi de 2 252 676 ton (média 1989-93) segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). O tomate para indústria participou com 719 000 ton, 32% do total. Esse tipo de tomate foi produzido no Brasil em três grandes pólos: norte de São Paulo (37%), Pernambuco-Bahia (32%) e Minas Gerais-Goiás (31%), (vide Tabelas 2.1 e 2.2). O Estado de São Paulo constitui-se no principal produtor e no maior mercado consumidor da América Latina do tomate de mesa.

**TABELA 2.1-** Área, produção e produtividade de tomate no Brasil, 1990-96 (Agroanalysis: IBGE - Síntese Estatística de Produção Agrícola, 1991-1997)

ANO	ÁREA (ha)	PRODUÇÃO (t)	PRODUTIVIDADE (t/ha)
1990	60 904	2 260,781	37,12
1991	60 904	2 343,811	38,48
1992	52 210	2 141,345	41,01
1993	53 726	2 348,201	43,71
1994	61 555	2 678,147	43,51
1995	61 409	2 700,000	43,97
1996	59 500	2 639,000	44,35

Em 1995, o Estado de São Paulo produziu 33% do total brasileiro de tomate, cultivando cerca de 6 000 hectares para a indústria e 11 500 hectares para consumo *in natura* com produção de 857 640 toneladas, (PIRES DE CAMARGO e MAZZEI, 1996).

**TABELA 2.2-** Área, produção e produtividade de tomate e principais estados produtores, média 1993 - 1994 (IBGE - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola citado por PIRES DE CAMARGO e MAZZEI, 1996)

ESTADO	ÁREA (ha)	PRODUÇÃO (t)	PRODUTIVIDADE (kg/ha)	PARTICIPAÇÃO (%)
São Paulo	17 415	857 640	48 413	33
Minas Gerais	6 098	291 373	47 782	11
Pernambuco	8 174	298 367	36 502	11
Bahia	7 106	232 968	32 785	09
Goiás	5 243	263 300	50 219	10
Rio de Janeiro	3 450	179 856	52 219	07
Brasil	60 482	2 606 604	43 097	100
Outros	12 696	483 100	38 054	19

No Brasil, o plantio de tomate inicia-se, geralmente no mês de janeiro ou fevereiro. A colheita se dá aproximadamente 80 a 120 dias após o plantio, sendo que a safra sempre acontece entre maio e outubro, época em que a indústria trabalha ininterruptamente, prolongando-se, às vezes, quase até dezembro (JARDIM, 1991).

As perdas registradas para o tomate variam muito de região para região. Algumas estimativas feitas para várias regiões do País enfocam níveis específicos do mercado. Nota-se que as maiores perdas ocorrem ao nível do varejo, o que explica o fato de algumas estimativas terem sido realizadas especificamente para este setor (Tabela 2.3).

**TABELA 2.3-** Estimativas de perdas para algumas regiões do Brasil, enfocando níveis específicos de mercado (GUIMARÃES e CAIXETA, 1996).

REGIÃO	ANO	PERDAS (ESTIMAT.) %	NÍVEL DE MERCADO	FONTE
BRASIL	1988	20,00	toda a comercialização	FUND. GETÚLIO VARGAS (1988)
BRASIL	1992	40,00	toda a cadeia	SÃO PAULO (1993)
MANAUS	1973	15,30	varejo	BRANDT et al. (1974)
NATAL	1972	16,80	varejo	SUPERINTENDÊNCIA(1972a)
NATAL	1972	5,90	atacado	SUPERINTENDÊNCIA (1972a)
TERESINA	1972	11,10	varejo	SUPERINTENDÊNCIA (1972b)
TERESINA	1972	10,60	atacado	SUPERINTENDÊNCIA (1972b)
FORTALEZA	1972	14,00	varejo	SUPERINTENDÊNCIA (1972c)
FORTALEZA	1972	7,00	atacado	SUPERINTENDÊNCIA (1972c)
FLORIANÓPOLIS	1979	8,18	varejo	WERNER(1979)
FLORIANÓPOLIS	1979	1,68	atacado	WERNER(1979)
MINAS GERAIS	1978	35,00	toda a cadeia	RESENDE(1979)
MINAS GERAIS	1990	40,50	toda a cadeia	RESENDE(1992)
MINAS GERAIS	1979	3,90	produtor	QUEIROZ (1979)
MINAS GERAIS	1979	1,89	atacado	QUEIROZ (1979)
MINAS GERAIS	1979	10,91	varejo	QUEIROZ (1979)
SÃO PAULO (CID.)	1973/74	14,00	varejo	UENO (1976)
SÃO PAULO (CID.)	1991/92	11,80	varejo	TSUNECHIRO (1994)

#### 2.1.4. O TOMATE E A SUA INDUSTRIALIZAÇÃO

A indústria de tomate no Brasil tem sofrido mudanças rápidas desde 1975. O produto processado mais importante é a pasta concentrada. Em anos recentes a demanda por molhos especializados tem aumentado rapidamente, devido às mudanças nas preferências do consumidor. Em 1989, a receita do tomate processado foi de aproximadamente US\$ 300 milhões e o setor cresceu 7,0%. A expectativa para o consumo doméstico de tomate processado continua crescente.

Atualmente, o total de indústrias tomateiras que operam no Brasil tem capacidade para processar aproximadamente 15 000 t de tomate fresco por dia (49% no nordeste, 39,2% para o sudeste, e 11,5% no Brasil central), sendo que somente 4 indústrias suprem 90% do mercado. Cerca de 25 plantas industriais estão operando em todo o país, distribuídas geograficamente próximas às três áreas de produção, (TAVARES DE MELO, 1992).

Apesar desses números impressionantes, o Brasil também importa tomates e seus derivados. O valor das importações brasileiras de tomate e derivados do Chile, em 1995, foi de US\$ 41,4 milhões, comparativamente a US\$ 23,3 milhões em 1994. A Argentina contribuiu com US\$2,3 milhões. O complexo agro-industrial do tomate importou 18% a mais em 1995 relativamente a 1994. A pasta de tomate predominou nos negócios com 50,9%. A maior expansão foi a do *catchup*, (Tabela 2.4).

**TABELA 2.4-** Importações brasileiras de tomate e derivados, Brasil, 1994 e 1995\* (PIRES DE CAMARGO e MAZZEI, 1996)

ANO	1 9 9 4		1 9 9 5	
	MIL US\$	ton.	MIL US\$	ton.
Tomate in natura	318,2	6 831,2	488,3	3 097,4
Tomate Rasteiro/pedaços	413,3	662,0	4 792,2	8 316,1
Pasta de tomate	30 573,3	30 059,4	27 647,3	31 839,2
Massa	12 749,4	15 033,7	16 640,4	17 923,5
Catchup	552,4	359,4	1 898,4	1 349,3
<b>TOTAL</b>	<b>44 687,6</b>	<b>52 945,7</b>	<b>51 466,6</b>	<b>62 525,5</b>

\* janeiro a novembro.

A projeção futura para a indústria de processamento de tomate no Brasil é promissora e é razoável predizer que o setor se expandirá globalmente, tanto quanto cresce a demanda dos consumidores em nível mundial. No entanto, deverão ser incentivados os esforços de pesquisas para obtenção de variedades melhoradas e implementar práticas de colheita, para assegurar a continuidade do crescimento desta indústria. Com a tendência à mecanização das operações pós-colheita, existe um

grande potencial para diversificar e melhorar os produtos processados, enquadrando-os dentro das tendências do consumo de alimentos do Brasil no ano 2000 (análise de CONDE, 1996), visando inclusive o ingresso ao mercado mundial com produtos novos, de qualidade competitiva.

A principal preocupação no processamento de alimentos é a manutenção da qualidade dos produtos. No caso de polpa de tomate é preciso dar a devida consideração à cor (provavelmente a característica de maior apelo ao consumidor), ao sabor, à textura e a seu valor nutritivo.

#### **2.1.4.1. COR**

Os tomates, quando amadurecem, produzem uma cor vermelha típica, e na proximidade da completa maturidade, a cor é associada com o fator da qualidade e textura sensorial desejável.

Em tomates amadurecidos naturalmente, a cor verde desaparece devido à decomposição da clorofila; o processo é acompanhado pela produção simultânea de carotenos, principalmente licopeno e beta-caroteno. Os carotenóides produzidos, além de servir como um índice de amadurecimento, são aparentemente uma fonte de aromas voláteis importantes e, portanto, contribuem à qualidade sensorial do tomate (FRENKEL et al.1989).

#### **2.1.4.2. QUALIDADE SENSORIAL**

A percepção de sabor e aroma pelo sentido olfativo pode determinar o valor comestível dos tomates. A qualidade sensorial da fruta é quantificada por avaliações subjetivas usando painéis de provadores em teste de gosto e sabor. Medidas objetivas também podem ser usadas, pelo menos com os métodos complementares de avaliação.

O tomate contém em média de 5 a 6% de sólidos solúveis, na maior parte açúcares. Os ácidos orgânicos compreendem ao redor de 1/10 dos sólidos totais. O

alto conteúdo de açúcar e de ácidos tem sido indicado como o maior atributo da qualidade sensorial do tomate, e, além disso, promove a intensificação do sabor característico do tomate. Foi demonstrado que a frutose contribui mais do que a glucose na doçura, enquanto que o ácido cítrico tem a maior influência na acidez. Alto conteúdo de açúcar e baixo teor de ácido fornece um gosto insípido, enquanto que a relação contrária, resulta numa fruta ácida.

O sabor característico do tomate reflete, em parte, a contribuição dos aromas voláteis da fruta. A definição do sabor de tomate, em termos da composição de voláteis, é extremamente complexa. Mais de uma centena de componentes do aroma já foram catalogados e quantificados, e novos componentes vão sendo descobertos continuamente. Alguns componentes (ex.: cis-3-hexanol, 2 isobutilthiazole, e beta ionones) atraíram atenção especial, e são considerados como fatores principais na definição do sabor característico de tomate, (FRENKEL et al. 1989).

#### **2.1.4.3. TEXTURA**

A textura dos tomates é a sua mais importante característica de qualidade em termos industriais, sendo que o amolecimento é necessário para tornar a fruta comestível e para liberar o aroma e sabor durante a mastigação.

Um fruto firme, sem ser duro, é desejável tanto pelos distribuidores comerciais quanto pelos consumidores. A firmeza da fruta é de importância considerável durante o manuseio, já que são menos susceptíveis a danos mecânicos, e, conseqüentemente, enrugamento e apodrecimento. A preferência do consumidor é por fruta firme, que não perde o suco durante o seu preparo, (FRENKEL et al. 1989).

#### 2.1.4.4. VALOR NUTRITIVO

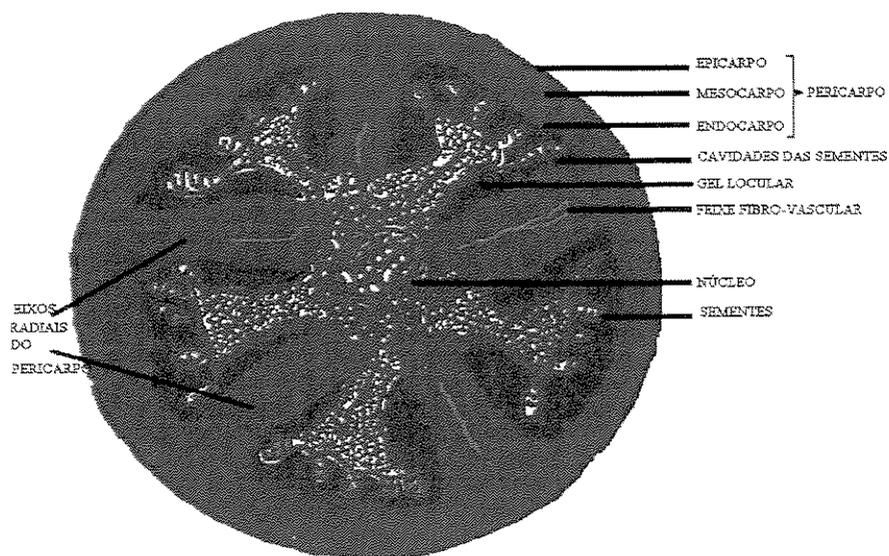
Os tomates são valorizados como uma importante fonte de minerais e vitaminas embora o conteúdo de carboidratos, particularmente açúcar, seja também significativo, nutricionalmente.

Segundo SALUNKHE e DESAI (1984), tomando-se um grupo de 10 vitaminas e minerais, o tomate é o décimo sexto em concentração desses nutrientes, mas o primeiro em sua contribuição para a dieta. CARVALHO et al. (1980), relatam que o valor nutritivo do tomate pode ser atribuído quase que totalmente à vitamina C.

O interesse dos pesquisadores e dos técnicos em alimentos para a conservação dos níveis de ácido ascórbico nos produtos durante o processamento é crescente. No processamento do suco, ketchup, e concentrado de tomate, dependendo das condições de operação, o ácido ascórbico é parcialmente destruído, principalmente por oxidação, que pode ser enzimática ou não enzimática e que são catalisadas por íons cobre. A taxa de oxidação é dependente do oxigênio dissolvido, conteúdo de enzimas, cobre dissolvido e temperaturas do suco. Pesquisas com tomate inteiro enlatado sem pele, indicam que a perda de ácido ascórbico é bem menor do que nos processamentos descritos acima (GOULD, 1974).

#### 2.1.5. HISTOLOGIA DO TOMATE

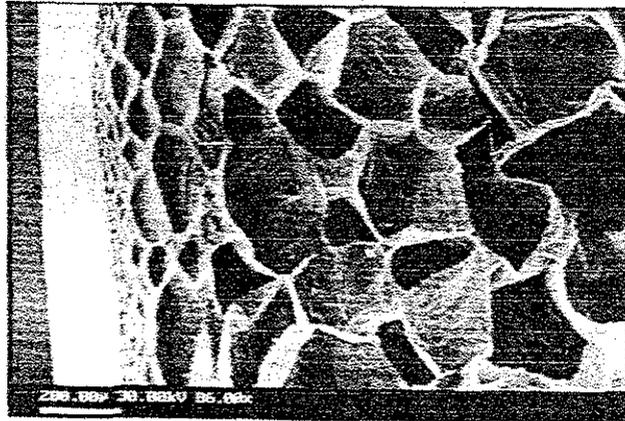
A Figura 2.1, mostra um diagrama da seção transversal de um fruto de tomate maduro evidenciando as várias regiões e estruturas: O pericárpio (que inclui a pele), eixos radiais e a columela ou núcleo. No tomate, como em outros frutos o pericarpo não é bem diferenciado, não existindo uma distinção clara entre epicarpo, mesocarpo, e endocarpo. Os feixes fibro-vasculares estão distribuídos através do pericarpo e servem para levar os nutrientes às diferentes partes do fruto (GOULD, 1974; BARRETT et al. 1998).



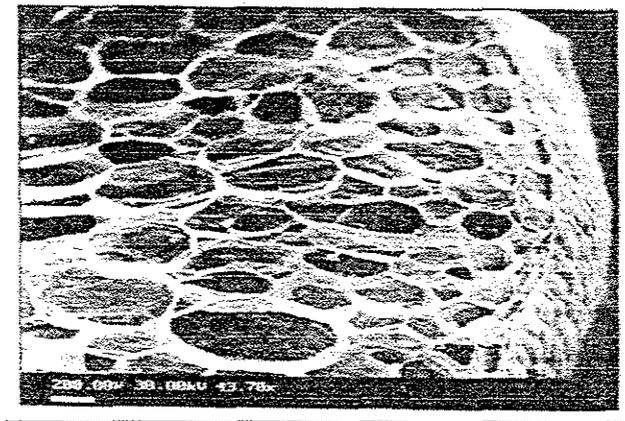
**FIGURA 2.1-** Estrutura interna do tomate. GOULD et al. (1974) e BARRETT et al. (1998).

A pele do tomate é composta de uma camada fina de células epidérmicas cutinizadas e duas ou mais camadas de células planas, relativamente pequenas, referidas por alguns autores como células hipodérmicas (CHU et al. 1972; REEVE 1970).

As células localizadas na porção principal do pericarpo (parte central do pericarpo periferal, Figura 2.1) são maiores que as células da pele e geralmente têm forma poliedral, sendo constituídas de finas paredes que são separadas por espaços intercelulares. As células do pericarpo próximas à pele (Figura 2.2.A) e as adjacentes à epiderme interior, limitando os lóculos (Figura 2.2.B), são menores que as células na porção central do pericarpo periferal.



A) Micrografia eletrônica das células do tomate maduro entre a pele e o pericarpo principal.



B) Micrografia eletrônica das células do tomate, entre o pericarpo central e o pericarpo adjacente às cavidades locais.

**FIGURA 2.2-** Micrografias eletrônicas do tomate. BARRETT et al. (1998)

A seção transversal do tomate apresenta de 2 a 25 lóculos, isto é, cavidades contendo as sementes, dependendo do cultivar do tomate, (SALUNKHE e DESSAI, 1984). As cavidades locais do tomate maduro contem um gel (massa locular) envolvendo as sementes

Os eixos radiais presentes no tomate e a sua espessura dão resistência à deformação da fruta. As cavidades locais que na fruta madura estão preenchidas de material gelificado, são entretanto, menos resistentes à deformação.

### 2.1.6. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO TOMATE

As Tabelas 2.5, 2.6, 2.7 e 2.8, relacionam os principais constituintes vitamínicos, minerais e ácidos encontrados no tomate maduro por diferentes autores. As diferenças particulares encontradas, são devido aos diferentes cultivares de tomates usados nas análises.

**TABELA 2.5-** Composição geral do tomate.

CONSTITUINTE	AUTORES		
	GOULD, (1974)(*)	BALASUBRAMANIAM, (1984)(**)	PETRÓ TURZA, (1989a)(***)
Energia alimentar	22 cal		
Matéria seca	7,0 - 8,0 %	4,40-5,96 %	
Sólidos insolúveis	1 %		2,50 - 3,82 g/100g
Sólidos solúveis (ss)	4,0 - 6,0 %		5,66 - 7,52 g/100g
Água	93,5 %		
Carboidratos:	4,7 g		
Fibras	0,5 g		
Açúcar	2,0 - 3,0 %	1,50-2,80 %	56,7-64,7 g/100gss
Ácidos tituláveis	0,3 - 0,5 %	8,10-13,38 meq/100g	0,622-0,740g/100g
Proteínas solúveis e aminoácidos	0,8 -1,2 %	6,84-13,0 mg/100g	
Proteínas	1,1 g		1,49-2,28 g/100g <sup>(1)</sup>
Aminoácidos	45,1 g		
Cinzas	0,51 - 0,70 g	0,5 mg	7,0-7,2 g/100gss

(\*) Em 100 g de tomate maduro fresco

(\*\*) Na faixa foi considerada as variações dos constituintes de 8 cultivares diferentes de tomate.

(\*\*\*) Na faixa foi considerada as variações dos constituintes de 4 cultivares diferentes de tomate.

<sup>(1)</sup> PETRÓ-TURZA, 1989b.

**TABELA 2.6-** Constituintes vitamínicos do tomate

VITAMINA	AUTORES			
	DAVIES e HOBSON, (1981)		GOULD, (1974)	
Vitamina A	833 -1667	IU	900	IU
Vitamina B <sub>1</sub>	16 - 80	µg	0,06	mg
Vitamina B <sub>2</sub>	20 - 78	µg	0,04	mg
Vitamina B <sub>3</sub>	280 - 340	µg	0,7	mg
Vitamina B <sub>6</sub>	0,074 - 0,15	mg		
Vitamina C	8,4 - 59	mg		

Em 100 g de tomate maduro fresco.

**TABELA 2.7-** Constituintes minerais do tomate

MINERAL	AUTORES		
	DAVIES e HOBSON, (1981)*	GOULD, (1974)*	PETRÓ TURZA, (1989a)
Total		0,3 - 0,6 %	
Sal (NaCl)		0,05 - %	
Potássio	92 -376 mg	244 mg	4,9-5,8 g/100gss
Fósforo	7,7 - 53 mg	27 mg	
Cálcio	4,0 - 21 mg	13 mg	
Magnésio	5,2 - 20,4 mg		0,115-0,120 g/100gss
Sódio	1.2 - 32.7 mg	3 mg	
Ferro	0.35 - 0,95 mg	0,5 mg	
Alumínio	0.5 - 2,95 mg		
Boro	0,04 - 0,13 mg		
Cobre	0,05 - 0,2 mg		
Chumbo	0,02 - 0,05 mg		
Manganês	0,04 - 0,30 mg		
Zinco	0 - 0,25 mg		
Cloretos	24 - 69 mg		1,1-1,38g/100g ss

(\*) em 100 g de tomate maduro fresco.

**TABELA 2.8-** Constituintes ácidos do tomate

ÁCIDO	AUTORES	
	GOULD, (1974)	OUTROS
Ascórbico	23 mg/100g	16,3 – 25,7 mg/100g (1)
Nicotínico		3,0 - 8,5 mg (2)
Fólico		7,4 - 8,6 µg (2)
Acético	1,06 meq/l	
Láctico	1,37 meq/l	
Sucínico	0,60 meq/l	
Pirrolino – carboxílico	0,81 meq/l	0,59-0,85 g/100g (3)
Alfa – cetoglutósico	1,10 meq/l	
Málico	3,72 meq/l	
Cítrico	60,92 meq/l	0,67-0,8 g/100g (3)

(1) BALASUBRAMANIA (1984)

(2) DAVIES e HOBSON (1981)

(3) PETRÓ-TURZA (1989)

### 2.1.6.1. CAROTENÓIDES

Os carotenóides são objeto de investigação desde o século passado e ainda hoje atraem a atenção dos pesquisadores das mais diversas áreas, devido às funções que lhe são atribuídas. Foram inicialmente estudados em alimentos por causa de sua coloração atraente, variando desde o amarelo pálido no maracujá e abacaxi, até o vermelho forte do tomate, pimentão e camarão. Um sistema de ligações duplas conjugadas constitui o cromóforo responsável pela cor. A coloração do alimento depende do tipo e quantidade dos carotenóides presentes (TAVARES e RODRIGUEZ-AMAYA, 1994).

A descoberta de que alguns carotenóides são transformados biologicamente em vitamina A, dirigiu muito os estudos apenas para os carotenóides precursores desta categoria vitamínica.

O interesse na determinação dos Carotenóides pró-vitamina A se mantém devido à persistência da sua deficiência em países em desenvolvimento e pesquisas recentes

atribuem-lhe uma maior importância e uma maior ação biológica sobre o organismo humano, (CARVALHO et al. 1992). Outros estudos demonstraram entretanto que a capacidade de seqüestrar oxigênio, (KRINSKY et al. 1990) e a ação inibidora contra alguns tipos de câncer (MATHEWS-ROTH, 1985; OLSON, 1989), não está limitada aos carotenóides provitamínicos. Conseqüentemente, a quantificação de todos os carotenóides nos alimentos assumiu maior importância.

O sistema de ligações duplas conjugadas, tão importante para suas funções ou ações é, ao mesmo tempo, o responsável pelos problemas associados aos carotenóides: a grande suscetibilidade à isomerização e à oxidação, que leva à perda de sua cor, da atividade provitamínica A e das demais funções. Por esta razão, a retenção dos carotenóides é uma preocupação durante o processamento e a estocagem dos alimentos (TAVARES e RODRIGUEZ-AMAYA, 1994).

Os carotenóides que contém somente carbono e hidrogênio na molécula são chamados de carotenos e os que além destes elementos possuem também oxigênio são chamados de xantofilas. Na Tabela 2.9, relaciona-se a distribuição e os tipos de carotenóides presentes no tomate maduro de três cultivos.

**TABELA 2.9-** Distribuição de carotenóides (TAVARES e RODRIGUEZ-AMAYA, 1994).

CAROTENÓIDES ( $\mu\text{g/g}$ peso seco)	VARIEDADE DE TOMATE		
	Early red chief	Summer sunrise	New yorker
Fitoeno	19,7	9,2	25,0
Fitoflueno	8,4	7,8	5,0
$\beta$ - caroteno	2,3	6,9	5,7
$\zeta$ - caroteno	2,0	1,7	1,1
$\gamma$ - caroteno	0,5	0,5	0,8
Neurosporeno	0,4	0,1	0,2
Licopeno	66,7	73,7	62,2
Carotenóides totais	950,0	1700,0	922,0

### 2.1.7. MODIFICAÇÕES COM O AMADURECIMENTO

O amadurecimento do tomate envolve mudanças drásticas na cor, textura, aroma, flavor e composição. Durante o amadurecimento, há aumento na produção de etileno, a respiração começa a incrementar e a mudança de cor ocorre na região locular.

A clorofila é substituída por carotenos cuja deposição ocorre provavelmente nas membranas internas por serem mais eletro-densas. Na etapa de semi-amadurecimento (cor do tomate vermelho claro) os alfa- e beta- carotenos atingem a maior concentração. Na fruta totalmente madura, o conteúdo de licopeno aumenta consideravelmente, representando 50 a 76% do total dos carotenos (DAVIES e HOBSON, 1981).

Essa mudança é acompanhada pela redução de membranas no estroma, mudança da cor e desenvolvimento do cromoplasto, que coincidem com outros aspectos típicos do amadurecimento, como por exemplo, mudanças na textura e no sabor, aumento nos teores de açúcares, aparecimento da coloração vermelha, alterações no metabolismo de ácidos orgânicos e perda da firmeza devida à despolimerização (remoção de grupos metil do polímero péctico) que é acompanhada por uma redução da viscosidade de seus sóis (BARRETT et al. 1998). Durante o amadurecimento ocorre também produção dos componentes de aroma e flavor, sendo que mais de 200 desses constituintes voláteis tem sido descritos (NELSON e HOFT, 1969; 1972; GOULD et al. 1974; SALUNKHE et al. 1976; KADER et al. 1978; DAVIES e HOBSON, 1981; FRENKEL et al. 1989; PETRÓ TURZA et al. 1987, 1989a, 1989b).

A firmeza do fruto verde é devido à protopectina, principal constituinte da fração péctica insolúvel, a qual é solubilizada durante o amadurecimento, formando pectina solúvel e outros produtos. Acredita-se que esta hidrólise quebre a complexa rede dos polissacarídeos da parede celular, provocando a perda das ligações entre as células e da firmeza do fruto, (MALIS-ARAD et al. 1983).

SALUNKHE e DESAI (1984), apresentam as mudanças de composição mais importantes, associadas ao amadurecimento do tomate, vide Tabelas 2.10 e 2.11: no tomate totalmente maduro, o conteúdo de ácidos orgânicos, licopeno, açúcares redutores, voláteis e substâncias redutíveis a voláteis atingem seus valores máximos, porém os conteúdos de amido e nitrogênio protéico diminuem a valores mínimos, e a clorofila e os  $\beta$ -carotenos, desaparecem quase que totalmente. Baixos teores de xantofilas também são encontrados (vide Tabela 2.11). A cor vermelha do fruto é conferida pelo licopeno. Os carotenos e xantofilas são pigmentos amarelos.

**TABELA 2.10-** Algumas mudanças de composição associadas ao amadurecimento do tomate<sup>a</sup>. (SALUNKHE e DESAI, 1984)

COMPOSIÇÃO <sup>b</sup>	ETAPAS DE AMADURECIMENTO				
	VERDE INTENSO	APARECE COR DE ROSA	COR DE ROSA	VERMELHO	VERMELHO MADURO
Material seco (%)	6,40	6,20	5,81	5,80	6,20
Acidez titulável(%)	0,285	0,310	0,295	0,270	0,285
Ácidos orgânicos (%)	0,058	0,127	0,144	0,166	0,194
Acido ascórbico (mg%)	14,5	17,0	21,0	23,0	22,0
Clorofila (mg%)	45,0	25,0	9,0	0,0	0,0
Beta-caroteno (mg%)	50,0	242,0	443,0	10,0	0,0
Licopeno (mg%)	8,0	124,0	230,0	374,0	412,0
Açúcares redutores(%)	2,40	2,90	3,10	3,45	3,65
Pectinas (%)	2,34	2,20	1,90	1,74	1,62
Amido (%)	0,61	0,14	0,14	0,18	0,07
Voláteis(ppb)	17,0	17,9	22,3	24,6	31,2
Substâncias redutíveis a voláteis(mg%)	248,0	290,0	251,0	278,0	400,0
Amino-ácidos (mol%)	nr <sup>c</sup>	2358,0	3259,0	2941,0	2723,0
Nitrogênio protéico (mg N/g peso seco)	9,44	10,00	10,27	10,27	6,94

<sup>a</sup> Cultivar Fireball

<sup>b</sup> Expresso com relação ao produto natural. (a menos que seja especificado).

<sup>c</sup> valor não fornecido.

BARRETT (1990) afirma que uma perda de peso também pode ser verificada no amadurecimento pós-colheita.

BAKER, citado por SALUNKHE e DESAI (1984), considera o fruto do tomate maduro somente quando uma consistência gel se forma ao redor das sementes. Quando a fruta amadurece, os grânulos de amido desaparecem e os glóbulos osmofílicos aumentam em número e tamanho.

**TABELA 2.11-** Mudanças na pigmentação com o grau de amadurecimento (SALUNKHE e DESAI, 1984).

<b>NÍVEIS DE AMADURECIMENTO</b>	<b>CAROTENO<sup>a</sup></b>	<b>LICOPENO<sup>a</sup></b>	<b>XANTOFILAS<sup>a</sup></b>	<b>CLOROFILA<sup>a</sup></b>
Verde	1,270	0,000	0,194	2,869
Branco esverdeado	0,966	0,000	0,214	2,055
Branco esverdeado com matizes avermelhadas.	1,431	0,195	0,979	1,701
Maduro, vermelho escuro	428 340,0	2 589 510,0	17 062,500	1,194

<sup>a</sup> Arbitrariamente expressa como OD unidades por 100 g de peso fresco.

### **2.1.7.1. EFEITOS DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS NO AMADURECIMENTO**

DAVIES e HOBSON, (1981), reportaram que a firmeza do tomate é fortemente afetada por condições ambientais. A produção de etileno, a atividade poligalacturonase e a síntese de carotenos e de licopenos são inibidas na faixa de temperatura de 30 a 40°C. Esses autores sugerem que a tolerância a altas temperaturas varia entre cultivares e com temperatura e tempo de exposição. Assim as injúrias causadas pelas altas temperaturas são reversíveis em condições específicas: 2 dias a 40 °C, 4 dias a 35°C ou 6 dias a 30°C, se os tomates foram transferidos a temperaturas ótimas de amadurecimento (20°C a 25°C).

Por outro lado, os tomates também são sensíveis a temperaturas de congelamento ( $-1^{\circ}\text{C}$ ) e resfriamento (acima de  $-1^{\circ}\text{C}$  e abaixo de  $12,5^{\circ}\text{C}$ ). (GRIERSON et al. 1986). Sintomas de injúrias por resfriamento e congelamento incluem a aparência encharcada, maior maciez, e secagem do material gelatinoso dos lóculos.

A severidade das injúrias do resfriamento depende das temperaturas e tempos de exposição. Quando o resfriamento é feito nos tomates os sintomas aparecem somente após leva-los à temperatura de amadurecimento. Como consequência de injúrias por resfriamento tem-se um amadurecimento irregular, o amolecimento prematuro e o aparecimento de manchas e buracos na superfície, escurecimento das sementes e um apodrecimento incrementado.

## 2.2. DESIDRATAÇÃO DE TOMATES

Poucos produtos processados tem um conteúdo de umidade *in natura* tão alto quanto o tomate (cerca de 95%, b.u.) e a sua desidratação tem sido um desafio. A secagem solar de fatias de tomate é prática comum entre agricultores, mas as exigências crescentes do mercado consumidor por produtos de melhor qualidade motivou uma série de pesquisas sobre o assunto. Os resultados entretanto, parecem não ter sido encorajadores, pois ainda é muito pequena a participação de produto desidratado na linha de ofertas de tomate processado.

Pesquisas iniciais se concentraram na produção de tomate em pó. KAUFMAN et al. (1955), desenvolveram procedimentos de secagem a vácuo para produção de suco de tomate desidratado, partindo da pasta de alta densidade (30% de sólidos) seja na forma direta ou utilizando a secagem *split*, na qual o soro e a polpa são secados separadamente e depois recombinados. Foram adicionadas pequenas quantidades de bissulfito de sódio à alimentação, e aumentando-se o limite da temperatura de secagem de  $65,6^{\circ}\text{C}$  até  $87,8^{\circ}\text{C}$ , diminuiu-se o tempo de secagem de 2,5h para 1h, para atingir um conteúdo final de umidade de 3%.

LAZAR et al. (1956), obtiveram pó de tomate usando uma modificação da secagem *spray*. O pó obtido apresentou 2% de umidade final após 2h de secagem. Bissulfito de sódio e cloreto de sódio foram adicionados para auxiliar a secagem e evitar a tendência de agregação do produto, que, no entanto, reteve menor flavor e não reconstituiu-se facilmente com água, o que tornou-o pouco atrativo para uso em bebidas. As pastas produzidas por esse método, porém, apresentaram cor, flavor e consistência aceitáveis. Pelos inconvenientes gerados devido à natureza higroscópica e termoplástica da pasta e pó de tomate que ficavam depositados às paredes do secador, KARATAS e ESSIN (1990) procederam à instalação de um par de lâminas rotatórias para raspar o pó aderido dentro da câmara do *spray dryer*, e o uso de NaCl e amido possibilitou uma alimentação de menor densidade (15% de sólidos), obtendo-se produtos de melhor qualidade.

Tentativas foram feitas usando a secagem em camada de espuma (MORGAN et al. 1959; LAWLER, 1962; GINETTE et al. 1963) partindo-se de concentrados de 30% de sólidos. Dentre os vários tipos de estabilizantes testados, o monoestearato de glicerol mostrou melhor comportamento. Com a secagem por liofilização (HAMED citado por GUPTA e NATH, 1984), partindo-se da pasta e sucos concentrados de tomate, obteve-se pó com conteúdo final de umidade de 2,5% - 3%, livre de odores e sabores estranhos, e com boa retenção da cor na reidratação.

Foram pesquisados também outros tipos de produtos entre eles o tomate em flocos (LAZAR e MIERS, 1971), produzidos por uma modificação do secador tipo tambor (LAZAR E MORGAN, 1966). Empregou-se como alimentação, concentrados de tomate com 20% de sólidos. A remoção de umidade foi feita em 2 etapas com temperaturas diferentes. Temperatura de 138°C até atingir umidade de 5-7% e 35°C até a umidade final de 2,5-3%. Conseguiu-se produto de boa qualidade.

A secagem solar de fatias de tomates tem sido praticada em muitos países mediterrâneos, como na Itália, estendendo-se para a Índia e a zona oeste da África. No entanto, os produtos apresentam cor escura e fraca reconstituição, além de

apresentarem, em algumas ocasiões, contaminação por microrganismos (OLORUNDA, et al. 1990).

BASSUONI, et al. (1982); GUPTA e NATH (1984), OLORUNDA et al. (1990), e BETCHLUFFT et al. (1996) procuraram melhorar a qualidade da secagem de tomate em fatias fazendo uso de tratamentos pré-secagem como o branqueamento em salmoura ou água fervente obtendo-se tempos de secagem menores e com melhor nível de reconstituição. TRIPATHI e NATH (1989) tentaram a imersão em soluções de amido contendo ou não, bissulfitos (vide Tabela 2.12.), o que melhorou a qualidade do produto final conseguindo-se menores tempos de secagem, porém ainda altos do ponto de vista industrial.

**TABELA 2.12-** Pré-tratamentos do tomate, para uso em secador de bandeja.

AUTORES	TRATAMENTOS	Tempo de tratamento	Temp. de secagem (°C)	Tempo de secagem (h)	umidade final (%b.u).	Taxa de reidrat. (%)
GUPTA e NATH (1984)	fatias de 1 cm: velocidade de ar 135 m/min		70	8,50	8,1	4,00
	<i>In natura</i>		80(3h)-70	5,5	8,5	4,40
	<i>In natura</i>		70	8,25	6,1	4,50
	Branq. em salmoura 2,5%. Branq. em salmoura 2,5%	10s 10s	80(3h)-70 80(3h)-70	5,25 5,25	6,0 6,0	4,85 4,85
TRIPATHI e NATH (1989)	Fatias de 1.5 cm:					
	<i>In natura</i>		78(4h)-53	7h	5,5	3,5
	KMS 5%	2min	78(4h)-53	7h	4,8	3,6
	Amido 1%+KMS 2,5%	2min	78(4h)-53	7h	4,1	4,0
	Branq. Água	60S	78(4h)-53	7h	3,6	3,4
	+ Glicerol 20%	60S +2min	78(4h)-53	7h	3,5	3,2
	+ KMS 5%	60S +2min	78(4h)-53	7h	3,6	4,4
	+ KMS 5%+amido 1%	60S +2min	78(4h)-53	7h	3,5	3,6
	+ CaCl <sub>2</sub> +KMS 5% + amido 1%.	60S +2min	78(4h)-53	7h	3,3	4,3
	Branq. em salmoura 2,5%	60S	78(4h)-53	7h	3,3	4,2
	+ KMS 5%	60S +2min	78(4h)-53	7h	3,3	4,7
	+ KMS 5%+amido 1%	60S +2min	78(4h)-53	7h	4,2	4,3
	+ CaCl <sub>2</sub> + KMS 5% + amido 1%.	60S +2min	78(4h)-53	7h	3,6	3,8

KMS: metabisulfito de potássio

### 2.2.1. MUDANÇAS FÍSICO-QUÍMICAS DURANTE A DESIDRATAÇÃO

As mudanças físico-químicas durante a desidratação de frutas e vegetais, incluem mudanças na estrutura e composição da matéria prima, encolhimento durante a secagem, perda de componentes voláteis, reações de oxidação perda de nutrientes, degradação dos pigmentos e da textura total. A exceção da estrutura e composição da matéria prima, esses fatores são diretamente influenciados pelas condições usadas durante a desidratação (JEN et al. 1989).

Segundo REEVE (1970), a textura das frutas e vegetais frescos é determinada pela estrutura histológica (tamanho de célula, componentes intercelulares, espessura da célula) e pela composição da parede celular. As microfibrilas celulósicas que deram sustentação a estrutura da parede celular podem incluir algumas pentosanas, variando amplamente em orientação, graus de cristalinidade e espessura. Os espaços entre as fibrilas são ocupados por substâncias que incrustam a celulose. Estas substâncias incrustantes incluem polissacarídeos amorfos, pectina, e hemicelulose. Além disso substâncias pécticas e ar na lamela média e nos espaços intercelulares podem estar presentes.

As mudanças físico-químicas que ocorrem durante a desidratação, pela aplicação de calor às paredes celulares, são devido à dissolução da pectina, que as debilita, resultando na sua quebra. O produto perde o turgor e torna-se menos crocante. Durante o processo de desidratação, a água intercelular é removida, resultando no colapso das paredes da célula. O colapso pode ser total e irreversível no caso de vegetais com alto conteúdo de umidade tal como o aipo, tomate e alface que têm paredes celulares muito frágeis. Por este motivo os produtos reidratados somente absorvem uma fração da quantidade original de água. Para estes vegetais a umidade absorvida na reidratação é somente intercelular; além disso, a textura do produto reidratado é polposa (JEN et al. 1989).

## 2.2.2. PRÉ-TRATAMENTOS

O alto teor de umidade do tomate e a sua fraca estrutura celular, dificultam a obtenção de produtos desidratados de boa qualidade em termos de cor, sabor, rápida reidratação e estabilidade durante a armazenagem. Alguns pesquisadores, tentaram melhorar esses problemas mediante o uso de pré-tratamentos que fortalecem as condições estruturais do tomate para diminuir os danos térmicos na secagem.

Pré-tratamentos como branqueamento térmico com soluções salinas (2,5%), desidratação osmótica, imersão em soluções de amido e/ou pré-secagem a altas temperaturas levam à formação de uma superfície rígida que dificulta a saída da água remanescente no interior da fatia, que permanece úmido e macio durante a secagem. A continuação da secagem nestas circunstâncias é ineficiente, embora o produto obtido permaneça atraente (JEN et al. 1989).

No Laboratório de Engenharia de Processos de Produtos Naturais da FEQ/UNICAMP, já foram realizadas pesquisas exploratórias sobre o efeito de pré-tratamentos de secagem de fatias de tomate, com resultados animadores (BECHTLUFFT et al. 1996).

### 2.2.2.1. BRANQUEAMENTO TÉRMICO

O branqueamento térmico é uma operação muito importante na desidratação de vegetais. Esta operação detém o ataque de enzimas responsáveis por mudanças não desejáveis na cor, odor e textura e ajuda também na preservação do conteúdo de vitaminas.

O branqueamento pode ser realizado em água ou salmoura (2,5% em peso), ferventes ou a uma temperatura próxima ao ponto de ebulição, ou em vapor vivo a 100°C. O branqueamento a temperaturas maiores não é desejável devido ao efeito de cocção sobre o produto e além disto, a utilização de água pode dissolver algumas das substâncias minerais valiosas e vitaminas. Pesquisadores têm realizado comparações entre o branqueamento de vegetais em vapor e na água fervente. Eles encontraram

perdas de 15 a 30 % dos constituintes solúveis no branqueamento em água; as perdas foram muito pequenas no branqueamento em vapor vivo, (DUNCAN, 1942).

TRIPATHI e NATH (1989), constataram experimentalmente que o branqueamento de tomates inteiros em água ou salmoura (2.5%) durante 45 segundos não produziu qualquer mudança visível tanto na pele quanto na polpa da fruta. Em 60 segundos de branqueamento, as peles foram moderadamente afetadas, mas a polpa não sofreu qualquer dano aparente. Entretanto, o branqueamento efetuado por 75s e 90s causou diversos danos na pele e na polpa, e o fatiamento do tomate tornou-se difícil.

A atividade da pectina metil estearase (PME) foi reduzida em 70% durante 60s de branqueamento, não ocorrendo maior efeito com o branqueamento em tempos maiores. Foi demonstrado também que o branqueamento não impede o escurecimento das fatias.

#### **2.2.2.2. INFILTRAÇÃO DE SOLUTOS**

Baseados em estudos da microestrutura e no mecanismo da remoção de umidade na desidratação e na absorção de água durante a reconstituição, a qualidade dos produtos desidratados reconstituídos depende das seguintes características: As células não devem estar totalmente colapsadas, as paredes das células deverão permanecer intactas e os espaços intercelulares devem ser mantidos no produto seco. O último fator permitirá a ação capilar para succionar a água para dentro das células durante o processo de reidratação. A água pode ser difundida através da parede da célula intacta e para dentro das células e restabelecer o turgor, como sucede, por exemplo, na secagem da cenoura e batata (JEN et al. 1989).

Vários pré-tratamentos de secagem foram testados para melhorar a qualidade e características de reidratação dos produtos, em processos de desidratação com ar quente de frutas e hortaliças (JAYARAMAN et al. 1992).

O tomate não tem uma estrutura adequada que consiga manter intactas as paredes das células durante a secagem. Esse problema deve ser sanado mediante

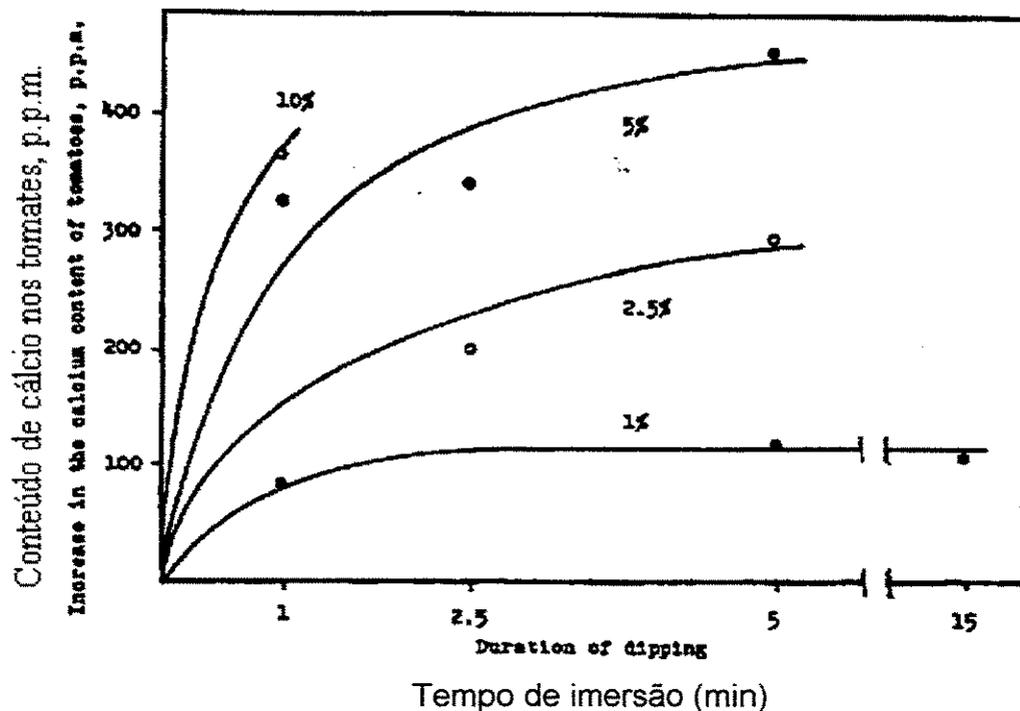
tratamentos de pré-secagem das amostras por: adição de sais de cálcio, controle da atividade das enzimas pécticas, adição de alcoóis poliédricos, desidratação osmótica, polimerização *in situ* com poliacrilamida (JEN et al. 1989), ou imersão em biopolímeros, logrando uma infiltração de solutos para dentro das células, permitindo que os espaços livres deixados pela água durante a secagem fiquem compensados com a presença dos solutos, diminuindo o colapso das paredes e melhorando a qualidade do produto seco tanto na capacidade de reidratação quanto na cor (TRIPATHI e NATH, 1989).

#### **a). IMERSÃO EM SOLUÇÃO DE $\text{CaCl}_2$**

Os tratamentos térmicos resultam na perda de integridade da textura que, em muitos casos, é essencial que seja mantida, como nos tomates inteiros sem pele. Nesses casos, a adição de pequenas quantidades de sais de cálcio, que atuam como agentes de firmeza, pode produzir efeitos surpreendentes. Devido ao fato do cálcio ser um cátion divalente, ele pode se unir aos grupos carboxila livres de polímeros de pectinas e criar uma rede tridimensional mais estável, que dá uma firmeza adicional ao tecido celular. A adição de sais de cálcio aos tomates causa a formação do gel pectato de cálcio, que suporta os tecidos e minimiza o amaciamento do mesmo.

Como agentes de firmeza os seguintes sais tem sido usados: cloreto de cálcio purificado, sulfato de cálcio, citrato de cálcio, monofosfato de cálcio ou misturas deles.

KERTESZ et al. (1940) fizeram muitos dos primeiros estudos dos efeitos do sal de cálcio na firmeza dos tomates pelados inteiros e enlatados. Eles concluíram que as taxas de absorção de cálcio, de soluções de qualquer concentração, não incrementa significativamente, após os 2 ou 3 minutos iniciais de imersão, conforme indicado na Figura 2.3. Baseados nesses resultados, os autores sugerem tratamentos de 2 a 3 minutos para tomates inteiros em solução de 2% de cloreto de cálcio.



**FIGURA 2.13-** Absorção de  $\text{CaCl}_2$  em concentrações e tempos de imersão diferentes (KERTESZ et al. 1940).

Embora a quantidade de  $\text{Ca}^{++}$  absorvido aumenta com um aumento da temperatura da solução, esta prática não é recomendada porque os tomates amolecem em soluções quentes (BARRETT et al. 1998).

### **b). IMERSÃO EM BIOPOLIMEROS**

TRIPATHI e NATH (1989) e OLORUNDA et al. (1990) obtiveram produtos de boa qualidade usando imersão em soluções de amido como tratamento pré-secagem em fatias de tomate, e melhores ainda quando os métodos de branqueamento em salmoura e imersão são combinados

TRIPATHI E NATH (1989) observaram que o pré-tratamento de secagem de fatias de tomate usando glicerol não melhora a qualidade da cor e da forma do produto final, além de diminuir as taxas de reidratação.

### 2.2.2.3. PRÉ-SECAGEM A TEMPERATURAS ALTAS

Temperaturas altas (160-180°C) por tempos curtos (8min) foram usadas num secador pneumático como tratamento preliminar à secagem convencional, para conseguir maiores taxas de secagem e reidratação, desenvolvendo produtos rígidos e porosos. Este método é possível com vegetais com alto conteúdo de amido (batata, cenoura, ervilha, batata doce) uma vez que as estruturas celulares contendo amido são importantes para conseguir a rigidez das paredes celulares na secagem (JAYARAMAN et al. 1982).

Na secagem a temperaturas altas de produtos impregnados com biopolímeros forma-se uma película superficial rígida que é impermeável, conservando o flavor e voláteis do material. A película impermeável e condições de secagem extremas, resultam numa rápida vaporização da umidade e causa grandes pressões internas resultando num produto expandido. Se o produto se mantém intato, terá uma longa vida útil e boas qualidades de reidratação. No entanto durante a etapa de expansão a pressão interna pode causar fissuras na superfície, permitindo escape do vapor confinado no seu interior, perdendo sua impermeabilidade e reduzindo a expansão. (JEN et al. 1989; ACHANTA e OKOS, 1996).

### 2.3. CINÉTICA DA SECAGEM

A cinética de secagem esta ligada às mudanças de umidade e temperatura em função do tempo que ocorrem no material durante a secagem, e permite conhecer a quantidade de umidade evaporada, tempo de secagem, consumo de energia, etc. A mudança do conteúdo de umidade em um material é controlada por transferência de calor e massa entre a superfície do corpo e o meio de secagem e depende muito das dimensões do produto (STRUMILLO e KUDRA, 1986).

As cinéticas de secagem completas apresentam um período de taxa constante e um período de taxa decrescente. O período de taxa constante representa a remoção da água livre no material e continua enquanto a água for fornecida à superfície tão

rapidamente como é evaporada. A temperatura na superfície do material é aproximadamente a temperatura de bulbo úmido. A taxa de secagem é influenciada significativamente por parâmetros do processo de secagem, como temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e pressão total (CHEN e JOHNSON, 1969).

O período de taxa decrescente é indicativo de uma resistência crescente tanto à transferência de massa quanto à transferência de calor e inicia-se quando não existe mais água superficial no material. A taxa passa a ser governada pelo fluxo interno de líquido ou vapor (CHEN e JOHNSON, 1969), e a água do interior é transportada à superfície por difusão através do material (BARBOSA-CÁNOVAS e VEGA-MERCADO, 1996). O ponto de início deste período é chamado de ponto crítico.

A taxa decrescente pode ser dividida em duas etapas: a primeira corresponde à diminuição contínua dos pontos úmidos na superfície; a segunda etapa começa quando a superfície já está totalmente seca e o plano de evaporação traslada-se ao interior do material. O calor necessário para a remoção desta umidade é fornecido pelo fluxo de ar escoando pelo sólido. A quantidade de água removida neste período pode ser relativamente pequena, e o tempo requerido pode ser alto. (GEANKOPLIS citado por BARBOSA-CÁNOVAS e VEGA-MERCADO, 1996).

### 2.3.1. MODELOS MATEMÁTICOS

Os modelos matemáticos que descrevem a evaporação da água na secagem de um sólido, consideram como mecanismo principal a difusão baseada na segunda Lei de Fick.

A Lei de Fick para um sistema unidimensional e homogêneo, é dada pela seguinte equação: (CRANK, 1975).

$$\frac{\partial x}{\partial t} = D \frac{\partial^2 x}{\partial X^2} \quad (2.1)$$

A solução da Equação (2.1), para uma placa plana infinita, e na ausência de qualquer resistência externa (isto é, a umidade na superfície é a umidade de equilíbrio com o ar de secagem), é a seguinte:

$$\frac{x - x_e}{x_0 - x_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left(- (2n-1)^2 \frac{\pi^2 Dt}{L^2}\right) \quad (2.2)$$

Na Equação (2.2), assume-se que a temperatura e espessura da amostra são constantes durante a secagem. Para condições nos quais  $\frac{\pi^2 Dt}{L^2}$  for maior do que 1,2 a seguinte simplificação pode ser feita:

$$\frac{x - x_e}{x_0 - x_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(- \frac{\pi^2 Dt}{L^2}\right) \quad (2.3)$$

onde:

- x = umidade do sólido no tempo t, g/g b.s.
- x<sub>e</sub> = umidade de equilíbrio do sólido, g/g b.s.
- x<sub>0</sub> = umidade inicial, g/g b.s.
- D = difusividade, m<sup>2</sup>/s
- t = tempo, s
- L = espessura, m

O coeficiente de difusão D pode ser medido pela inclinação das linhas retas representadas por  $\ln(x-x_e)$  em função de  $\left(\frac{\pi^2 t}{L^2}\right)$ . Os valores de D permitem um estudo quantitativo das características de secagem em relação a variáveis experimentais controladas tais como fluxo de ar e temperatura.

O comportamento da transferência de umidade na secagem de sólidos alimentícios normalmente não satisfaz as simplificações assumidas na solução da 2ª Lei de Fick: o sólido tem uma estrutura celular heterogênea, a transferência não é unidirecional, a difusão pode ocorrer sob vários mecanismos (na fase gasosa, e/ou líquida, em poros de várias dimensões), a temperatura do alimento aumenta durante o processo e ocorre o encolhimento com a evaporação da água. Para representar esse

afastamento das suposições iniciais, é comum e as vezes suficiente, substituir a difusividade, por um coeficiente de difusão efetivo,  $D_{ef}$ , a ser determinado experimentalmente, pelo ajuste aos dados da Equação (2.3).

DINCER e DOST (1995) e HAWLADER et al. (1991), observaram que as taxas decrescentes de diferentes materiais, poderiam ser devidas a encolhimento e endurecimento superficial e propuseram modelos que consideram esses fenômenos.

### 2.3.2. CINÉTICA DA SECAGEM DO TOMATE

O trabalho mais pertinente à pesquisa aqui proposta é o de HAWLADER et al. (1991), que estudaram, as características de secagem de fatias de tomates usando um secador de bandeja com recirculação de ar sob condições controladas de temperatura e de fluxo de ar. Esse estudo com base na Lei de Fick, (Equações 2.1 a 2.3), sob as condições de operação, assumiu que o conteúdo de umidade de equilíbrio, não precisava ser considerada, simplificando-se a Equação (2.3) da forma:

$$\ln\left(\frac{x}{x_0}\right) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \frac{\pi^2 D_{ef} t}{L^2} \quad (2.4)$$

A locação de pontos experimentais da forma  $\ln\left(\frac{x}{x_0}\right)$  em função de  $\left(\frac{t}{L^2}\right)$  ou  $t$  não apresentava uma variação linear, como era de se esperar. A temperatura da amostra e o efeito de encolhimento foram relacionados ao conteúdo de umidade da amostra. Um modelo de encolhimento em função de perda de água foi proposto:

$$L' = L \left(\frac{m_t}{m_0}\right)^n \quad (2.5)$$

Na Equação:

- $L'$  = espessura reduzida, mm
- $L$  = espessura inicial da amostra, mm
- $m_t$  = massa da amostra no tempo  $t$ , g
- $m_0$  = massa inicial da amostra, g

$n$  = efeito combinado de temperatura e encolhimento: se  $n=1$ , não há encolhimento; se  $n=0$  indicaria que o volume de encolhimento é igual à perda de água.

Quando locados os pontos experimentais usando os valores de  $L'$  ao invés de  $L$ , obteve-se uma linha reta, quando  $n=0,14$ .

Com a introdução da Equação (2.5) na Equação (2.4) e com os arranjos necessários tem-se:

$$t = \frac{60 L^2}{-\pi^2 D_{ef}} \left( \frac{m_t}{m_o} \right)^{0,28} \ln \left( \frac{x}{x_o} \right) \quad (2.6)$$

Os resultados obtidos na pesquisa de Hawlader indicam que:

- Com o aumento de temperatura do meio de secagem, o potencial de secagem cresce e a taxa de remoção da umidade também cresce. Efeito similar foi obtido quando a taxa de fluxo de ar foi aumentada, mantendo a temperatura constante.
- Para as condições experimentais dadas, as amostras não apresentaram taxa de secagem constante.

O trabalho preliminar feito por ROMERO et al. (1997), mostrou diferenças nas taxas de secagem quando se empregou diferentes tipos de corte, diferentes tamanhos das fatias e presença ou não da pele no tomate. O comportamento das curvas de secagem apresentado sugeriu algumas simplificações que permitiram uma estimativa da permeabilidade da pele de tomates. A equação de difusão em regime permanente através de membranas foi usada para definir uma permeabilidade,  $\Pi$  (CUSSLER, 1997):

$$\frac{dm_{evap}}{dt} = \frac{\Delta m_{evap}}{\Delta t} = \Pi A (p_{int} - p_{ext}) \quad (2.7)$$

Na equação (2.7):

$A$  = área da superfície externa do tomate;

$p_{int}$  = pressão de vapor de água junto à superfície interna da pele e pode ser

calculada pela lei de Raoult, assumindo os solúveis como mono-sacarídeos;  
 $P_{ext}$  = pressão de vapor d'água junto à superfície externa da pele, obtida da umidade relativa do ar.

Utilizando a Equação 2.7, a permeabilidade da pele de tomate calculada nestas condições foi de  $1,2 \times 10^{-5}$  g /s cm<sup>2</sup> atm.

Na secagem de tomates sem pele, é possível determinar a difusividade da água usando um tempo de operação suficientemente curto para se poder assumir as condições de transferência de massa em um sólido semi-infinito. Para uma placa plana, a equação é obtida de CUSSLER (1984):

$$m_{evap} = A \sqrt{\frac{4Dt}{\pi}} (C_o - C_{\infty})$$

(2,8)

Onde:

$m_{evap}$  = quantidade de água evaporada, g

$D$  = difusividade da água no sólido, g/cm<sup>2</sup>

$C_o$  = concentração inicial de água, g/cm<sup>3</sup>

$C_{\infty}$  = concentração de água em equilíbrio com o ar de secagem, g/cm<sup>3</sup>

Usando tomates inteiros e desconsiderando um período inicial de acomodação de cerca de 20 min, observou-se que os pontos experimentais se ajustavam bem a uma correlação  $m_{evap}$  em função de  $\sqrt{t}$ , confirmando o modelo da Equação 2.8. Da inclinação das retas obtidas, e assumindo uma densidade da polpa de tomate igual a 1 g/cm<sup>3</sup>, o valor calculado para a difusividade foi  $0,65 \times 10^{-5}$  cm<sup>2</sup>/s.

#### 2.4. ISOTERMA DE ADSORÇÃO DE UMIDADE

Um aspecto fundamental na preservação de alimentos, é a maneira como a água está ligada ao alimento e não a quantidade de água contida pelo mesmo (BARBOSA-CANOVAS e VEGA-MERCADO, 1996). É comum pensar que a maior estabilidade dos produtos naturais está associada com conteúdos de umidade mínimos. Embora seja verdade para uma maioria de produtos, em muitos outros casos tem-se observado uma

faixa ótima de umidade não associada necessariamente com níveis mínimos (ROCKLAND e NISHI, 1980).

A introdução do conceito de atividade de água  $a_w$  por SCOTT em 1957 propiciou um método adequado para comparar a estabilidade de produto alimentício. A interação da água com os outros constituintes do alimento é considerada em condições de equilíbrio termodinâmico.

A atividade de água é um fator chave no crescimento microbiano, produção de toxinas, e nas reações enzimáticas e não enzimática (TROLLER, 1980; BEUCHAT, 1981; SPERBER, 1983, LEUNG, 1986).

A partir da Energia livre de Gibbs para um sistema ideal, e aplicando a Lei de Raoult, a atividade da água pode ser expressa (BARBOSA-CANOVAS e VEGAMERCADO, 1996) como:

$$a_w = \frac{P_w}{P_w^o} = y_w \quad (2.9)$$

Na Equação:

$P_w$  = pressão parcial da água na fase vapor

$P_w^o$  = pressão de saturação da água pura

$y_w$  = fração molar da água na mistura gasosa.

No equilíbrio, a atividade de água se relaciona com a umidade relativa (UR) do meio da forma:

$$a_w = \frac{UR}{100} \quad (2.10)$$

A atividade de água está relacionada com o conteúdo de umidade de um alimento (a temperatura constante), por meio de sua isoterma de sorção

As isotermas estão divididas em três zonas de acordo com o valor de  $a_w$ . A Zona I na faixa de 0 a 0,25 representa água fortemente ligada a sítios polares, difícil de eliminar durante a secagem e que não congela mesmo a  $-40^\circ\text{C}$ , comportando-se como

parte do sólido. O limite da Zona I e II, é associado ao conteúdo de umidade da monocamada do alimento e representa provavelmente a fração de água que interage diretamente com a superfície dos grupos polares. A Zona II da isoterma, aproximadamente a níveis de  $a_w$  entre 0,25 - 0,80, corresponde a água adsorvida em camadas adicionais (multicamada) sobre a monocamada. Esta água tem propriedades diferentes das da água pura. O conteúdo de água das Zonas I e II combinadas, constituem ao redor de 5% da água total, em um alimento de alta umidade. A Zona III corresponde a valores de  $a_w$  maiores e aproximadamente 0,80. A água existente nesta zona, é conhecida como água livre, e tem propriedades similares a água pura: pode congelar, serve como solvente e é suficientemente abundante para permitir reações químicas deteriorantes e o crescimento microbiano. Esta água chega a constituir mais de 95% da água total num alimento de umidade alta. É importante notar que os limites para cada uma das zonas são aproximados, inclusive, pode ter intercâmbio de água entre as diferentes zonas (LABUZA, 1968; CALVO e DURÁN, 1997).

Através de isotermas de sorção é possível conhecer a umidade de equilíbrio do produto a diferentes condições de umidade relativa e tempo de secagem.

#### **2.4.1. MODELOS DE AJUSTE DAS ISOTERMAS DE SORÇÃO**

A teoria de Brunauer-Emmet-Teller (BRUNAUER et al. 1938), para adsorção de multicamadas de vapor e gases, geralmente denominada Equação BET, tem sido amplamente usada para estimar a quantidade de água ligada a sítios polares específicos em sistemas de alimentos desidratados, assim como uma associação com a estabilidade dos alimentos secos, (TOUPIN et al. 1983). A equação dá um valor aproximado da monocamada de água adsorvida em um material. Este valor da monocamada corresponde ao conteúdo de umidade na qual muitos sistemas alimentícios apresentam uma estabilidade máxima. Embora a teoria esteja baseada em algumas considerações que não são verdadeiras para a maioria dos materiais, o modelo BET mostrado na Equação (2.11), proporciona uma ferramenta útil na análise de isotermas em alimentos (LABUZA, 1968; OKOS, 1986). A isoterma BET geralmente

gera bons resultados na faixa de atividade de 0,1 a 0,5. Essa faixa é suficiente para se obter o valor da monocamada.

$$\frac{a_w}{(1-a_w)x_e} = \frac{1}{x_m c_{BET}} + \frac{(c_{BET} - 1)}{x_m c_{BET}} a_w$$

(2.11)

Na Equação (2.11):

$x_e$  = conteúdo de umidade no equilíbrio (b. s.)

$x_m$  = conteúdo de umidade da monocamada (b. s.)

$c_{BET}$  = constante

$$c_{BET} = c_o \exp(H/RT) \text{ (BARBOSA e CÁNOVAS, 1996)}$$

$c_o$  = constante

$H$  = calor de sorção

$R$  = conste universal dos gases

$T$  = temperatura absoluta, K

Pela locação de  $\frac{a_w}{(1-a_w)}$  em função de  $a_w$ , obtém-se uma linha reta com inclinação  $\frac{(c_{BET} - 1)}{x_m c_{BET}}$  e intercepto  $\frac{1}{x_m c_{BET}}$  e a partir daí, valores da monocamada  $x_m$  e da constante  $c_{BET}$ .

Mais de 200 equações de isotermas tem sido propostas para materiais biológicos (VAN DEN BERG e BRUIN, 1981; CHIRIFE e IGLESIAS, 1978). Algumas das equações são baseadas no modelo de sorção da equação BET, outras, no entanto são simplesmente equações empíricas com 2 ou 3 parâmetros de ajuste.

A equação de sorção de acordo ao modelo de Gugenhein-Anderson-De Boer (Equação de GAB), considerada uma extensão do modelo BET, tem sido proposta para materiais alimentícios por VAN DEN BERG e BRUIN (1981) e seu uso é recomendado pelo Grupo de Projetos Europeus COST 90, sobre propriedades físicas dos alimentos. A Equação GAB foi reportada ser útil no ajuste de dados em uma faixa mais ampla de atividade de água (0,1 a 0,9) do que a faixa usada com a Equação BET.

A Equação de GAB é:

$$\frac{x_e}{x_m} = \frac{cka_w}{(1 - ka_w)(1 - ka_w + cka_w)} \quad (2.12)$$

Na Equação (2.12):

$x_e$  = conteúdo de umidade no equilíbrio ( b.s.);

$x_m$  = conteúdo de umidade da monocamada ( b.s.)

$c, k$  = constantes relacionadas a efeitos de temperatura através da equações (VAN DER BERG, 1981):

Os parâmetros são estimados por locação dos pontos experimentais, usando o método de regressão polinomial da Equação 2.12 transformada como mostrada na equação 2.13. (BIZOT, 1983, SHAR E RUEGG, 1985):

$$\frac{a_w}{x_e} = \alpha a_w^2 + \beta a_w + \gamma \quad (2.13)$$

onde :

$$\alpha = \frac{k}{x_m} \left( \frac{1}{c} - 1 \right); \quad \beta = \frac{1}{x_m} \left( 1 - \frac{2}{c} \right); \quad \gamma = \frac{1}{x_m ck} \quad (2.14)$$

Com os valores de  $\alpha, \beta$  e  $\gamma$  obtidos por correlação do gráfico polinomial e por substituição na Equação 2.14, obtém-se os valores respectivos de  $c, x_m$  e  $K$ .

Também pode-se usar o método de regressão não-linear direta da Equação (2.12) e para isto, existem diferentes pacotes já disponíveis.

# **CAPÍTULO 3**

## **MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS**

Neste capítulo descreve-se os materiais e equipamentos empregados, o processamento e os métodos de análise utilizados para avaliação das diferentes variáveis envolvidas neste trabalho.

### **3.1. PROCESSAMENTO DO TOMATE**

No Figura 3.1, mostra-se de maneira geral as diferentes etapas realizadas no processamento da obtenção de fatias secas de tomate. Cada etapa é explicitada a seguir.

#### **3.1.1. MATÉRIA PRIMA**

Para a elaboração dos ensaios foi dada preferência à variedade Santa Clara da espécie industrial *Lycopersicum esculentum*,. Para tanto foram feitos contatos com o CEASA-Campinas (São Paulo) e adquiriu-se 1 caixa por vez, contendo um total de 190-230 tomates dos quais geralmente 20% a 40% eram descartados por apresentar, doenças, manchas e injúrias mecânicas.

Os tomates foram adquiridos do mesmo fornecedor durante toda a pesquisa.

O trabalho experimental foi realizado com a safra de fevereiro 1998 a fevereiro de 1999.

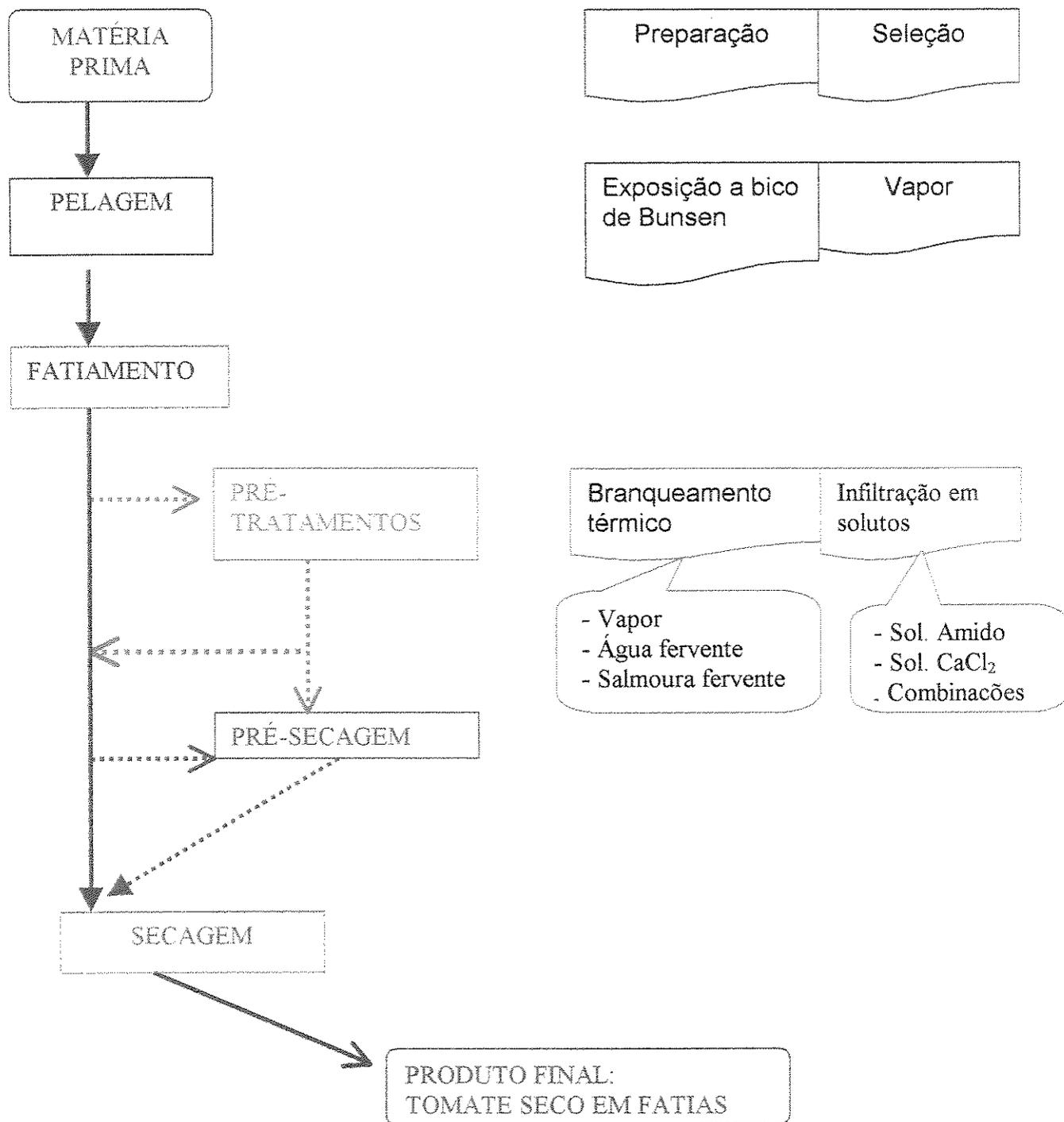


FIGURA 3.1- Processo da secagem de fatias de tomate.

### **3.1.1.1. PREPARAÇÃO E SELEÇÃO DA MATÉRIA PRIMA**

Os tomates foram lavados em água clorada, deixados amadurecer a temperatura ambiente de aproximadamente 25°C, sem contato direto com os raios solares, até intensificar a cor vermelha típica. Selecionou-se os tomates que durante o amadurecimento não apresentavam doenças ou apodrecimentos.

Os tomates considerados no trabalho experimental apresentavam cor vermelha intensa, sinal de amadurecimento completo, textura firme, boa qualidade e aparência.

### **3.1.1.2. CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA**

A caracterização dos tomates utilizados no trabalho experimental foi feita por meio da determinação do tamanho dos tomates, conteúdo de umidade e quantidade de sólidos solúveis expresso pelo °Brix.

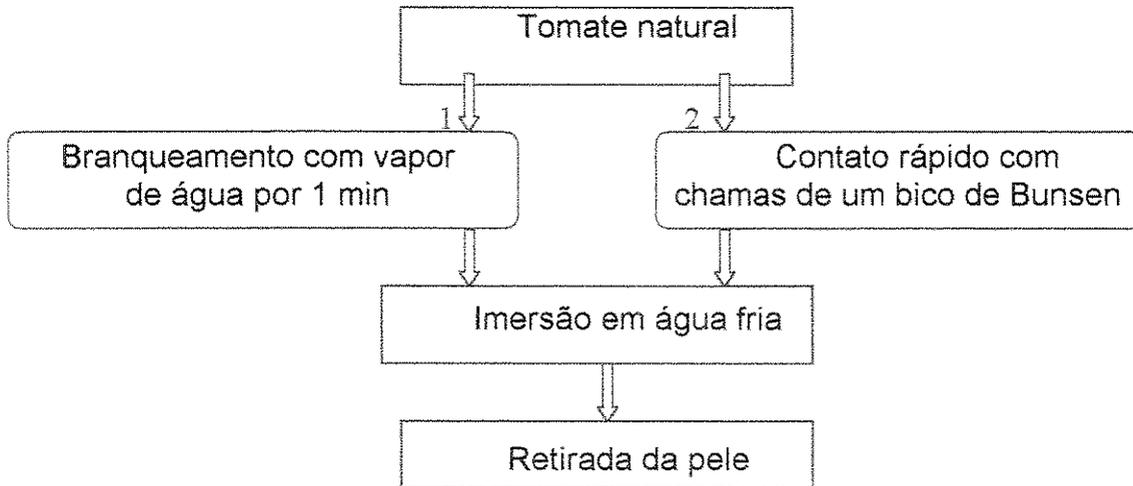
As análises eram feitas a cada nova compra.

### **3.1.2. RETIRADA DA PELE**

Durante a pesquisa trabalhou-se com tomates com pele e sem pele. Para se obter os tomates sem pele, seguiu-se o esquema da Figura 3.2.

Após o tratamento térmico, os tomates foram mergulhados em água fria para interromper a cocção e rachar as peles, conforme sugerido por GREENSMITH, (1971).

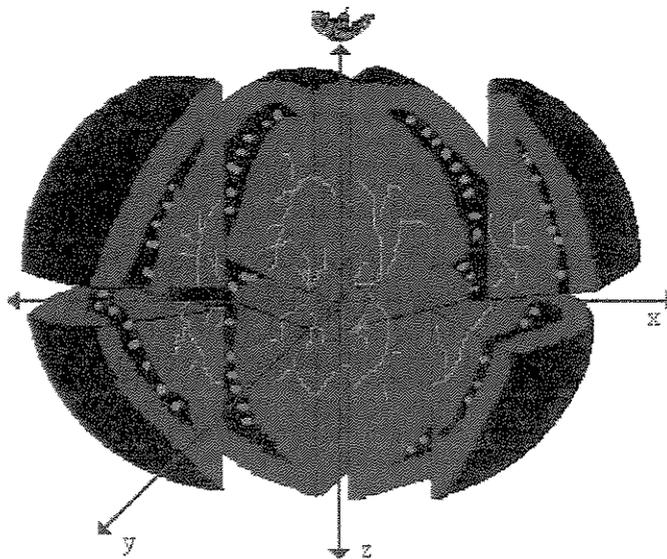
A retirada da casca foi feita manualmente, com uma faca fina de aço inoxidável, tendo-se o cuidado de não rachar o pericarpo central do tomate.



**FIGURA 3.2-** Esquema da retirada da pele dos tomates.

### 3.1.3. FATIAMENTO

As fatias foram obtidas manualmente, com o uso de uma faca de aço. No caso de tomates sem pele, o fatiamento era feito após a pelagem. Os cortes eram realizados nas direções axial e/ou radial, como mostrado na Figura 3.3, conseguindo-se fatias de diferentes formas e tamanhos.



**FIGURA 3.3-** Tipo de cortes do tomate.

### 3.1.4. PRE-TRATAMENTOS

Os pré-tratamentos ensaiados se classificam em 3 grupos, podendo haver interação entre eles. Esses grupos são:

1. Branqueamento térmico
2. Infiltração com solutos
3. Pré-secagem

#### 3.1.4.1. BRANQUEAMENTO TÉRMICO

O branqueamento foi feito pelo contato do tomate com pele com:

- a) Água fervente;
- b) Vapor de água;
- c) Salmoura fervente.

##### a) IMERSÃO EM ÁGUA FERVENTE

Fervia-se aproximadamente 1 000 mL de água destilada num becker de 2 000 mL, usando uma placa aquecedora (Fisatom). O tempo de imersão do tomate foi de 1 min.

##### b) IMERSÃO EM VAPOR DE ÁGUA

Usou-se uma panela de fundo falso, que continha água fervente. O tomate foi colocado em contato com o vapor formado, por 1 min.

##### c) IMERSÃO EM SALMOURA FERVENTE

Uma solução com 2,5% (em peso) de NaCl, (TRIPATHI e NATH, 1989; GUPTA e NATH, 1984) era levada a ebulição e o tomate era imerso por 1 min.

Nos três casos anteriores, logo após o tratamento térmico, mergulhava-se o tomate em água fria, até atingir a temperatura ambiente.

### **3.1.4.2. INFILTRAÇÃO COM SOLUTOS**

A infiltração era realizada mediante a imersão do tomate em:

- a) Solução de amido
- b) Solução de  $\text{CaCl}_2$

#### **a) IMERSÃO EM SOLUÇÃO DE AMIDO**

Preparou-se uma solução de amido 2,5% (em peso) (TRIPATHI e NATH, 1989) aquecendo-se uma dispersão de amido (polvilho doce, ou polvilho azedo) em água, sobre placa aquecedora com agitação (Fisatom), até alcançar uma temperatura próxima de  $70^\circ\text{C}$ , para iniciar a gelatinização. Em seguida toda a solução era resfriada a temperatura ambiente.

As fatias de tomate foram mergulhadas totalmente no amido gelatinizado por 2min, retiradas, e deixadas escorrer numa peneira.

#### **b) IMERSÃO EM SOLUÇÃO DE $\text{CaCl}_2$**

Preparou-se soluções de  $\text{CaCl}_2$  com concentrações 1, 2 e 3% (em peso). A imersão do tomate foi feita a temperatura ambiente ( $25^\circ\text{C}$ ), por 20 min ou em ebulição por 1min.

### **3.1.4.3. PRÉ-SECAGEM A ALTAS TEMPERATURAS**

A pré-secagem a alta temperatura foi feita no secador de bandejas com insuflamento de ar ascendente, com temperatura de  $150^\circ\text{C}$ , por 8min.

### **3.1.5. SECAGEM**

A secagem das fatias de tomate foi feita em um secador de bandejas (Figura 3.4). Como processo padrão, considerou-se a secagem com ar a  $60^\circ\text{C}$  e velocidade superior a 2m/s, pois OLORUNDA et. al., (1990) usando essas condições obtiveram produtos finais de melhor qualidade em termos de reidratação e cor.

Foram feitos ensaios em que a temperatura do ar começava a níveis mais altos (até 100°C) por um período de tempo pré-estabelecido, e era então abaixado para 60°C.

### 3.1.6. PERFURAÇÃO DAS FATIAS

Como a provável impermeabilização da superfície poderia constituir na única resistência à migração de água, procedeu-se a uma perfuração uniforme da superfície das fatias de tomate por meio de um sistema especificamente construído para esta avaliação e que consistia de uma placa plana de área 8,5X6,5cm<sup>2</sup> na que se sujeitaram agulhas de 0,8mm de diâmetro, distribuídas com uma densidade aproximada de 9 agulhas por cm<sup>2</sup>. A perfuração das fatias foi feita manualmente, após os tempos previamente estabelecidos para cada temperatura de pré-secagem.

## 3.2. EQUIPAMENTO

Utilizou-se dois secadores com insuflamento ascendente de ar construídos no Departamento de Termofluidodinâmica da Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP e que estão apresentados nas Figuras 3.4 e 3.5.

As câmaras de secagem estão unidas ao corpo do secador por uma flange e uma união que permitem perfeito encaixe.

As câmaras de secagem consistem em uma seção cilíndrica construída de chapa de ferro com as características especificadas na Tabela 3.1, com abertura nas extremidades superiores onde era acoplado uma tubulação de PVC para direcionar a saída do ar quente.

As câmaras eram dotadas de aberturas com portas (Figura 3.5.B), por onde se colocava as bandejas, que repousavam sobre segmentos tronco-cônicos, soldados, soldados horizontalmente, abaixo das aberturas. Esses anéis tronco-cônicos dirigiam o fluxo de ar para o fundo das bandejas e impediam a saída do mesmo ao se abrirem as portas, durante as pesagens.

**TABELA 3.1-** Características das câmaras de secagem.

CARACTERÍSTICAS	SECADOR 1	SECADOR 2
<b>Câmara:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• diâmetro interno</li> <li>• altura</li> </ul>	18cm 72cm	18cm 50cm
<b>Aberturas laterais para a retirada das bandejas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• número</li> <li>• Distância da base</li> <li>• Dimensões</li> </ul>	02 26cm e 44cm 12 x 34cm	03 6cm, 19cm e 32cm 7,5 X 34cm
<b>Cones internos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• número</li> <li>• diâmetro interno</li> </ul>	02 15 cm	03 16,5cm
<b>Sist. de aquecimento:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistências</li> <li>• Proteção do sist.</li> <li>• Variac</li> </ul>	10 de 700W cada uma: 1 resistência separada 2 resistências em paralelo 3 resistências em paralelo, (ligadas ao variac). 4 resistências em paralelo Disjuntores de 25A. 2500watts	07 de 700WV cada uma: 1 resistência separada 2 resistências em paralelo 4 resistências em paralelo (ligadas ao variac). Disjuntores de 25A 5000watts
<b>Sistema de proteção geral:</b>	Chave magnética 32A.	Chave magnética 32A.

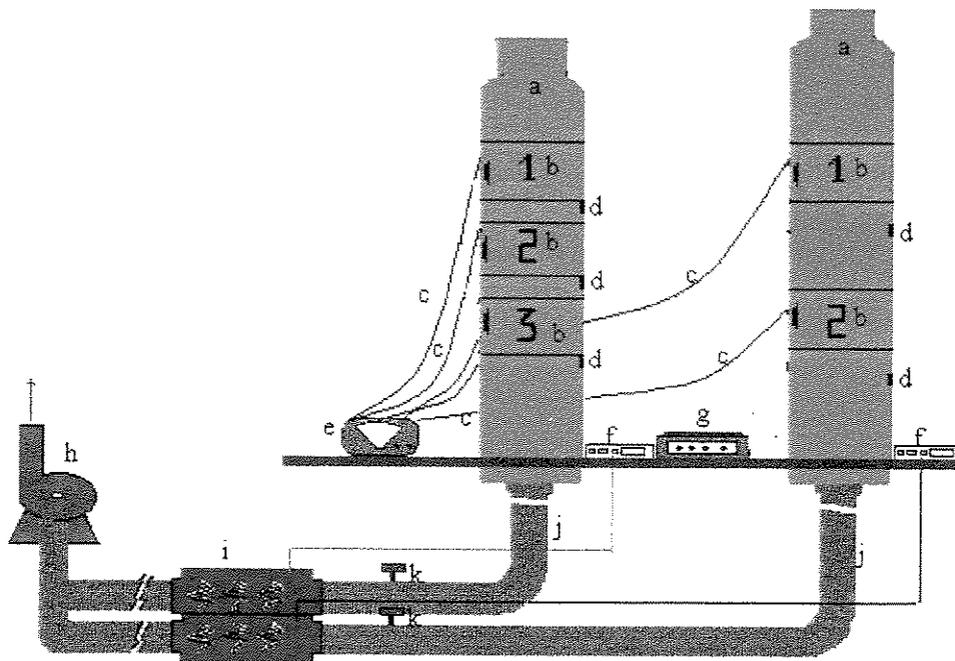
As resistências podem ser ligadas em conjunto ou separadamente, em 220 volts.

O dispositivo utilizado para a movimentação do ar é um ventilador centrífugo, ligado a um motor de indução trifásico de marca Eberle, modelo S112 M2/MA, com uma potência de 7,5 cv; vazão máxima de 0,9 m<sup>3</sup>/min e rotação de 3460 rpm.

A velocidade do ar é medida, manualmente, na saída da câmara de secagem por um anemômetro marca Velocicheck - Air velocity meter - TSI Incorporated, modelo 8330; e corrigida pela Equação:

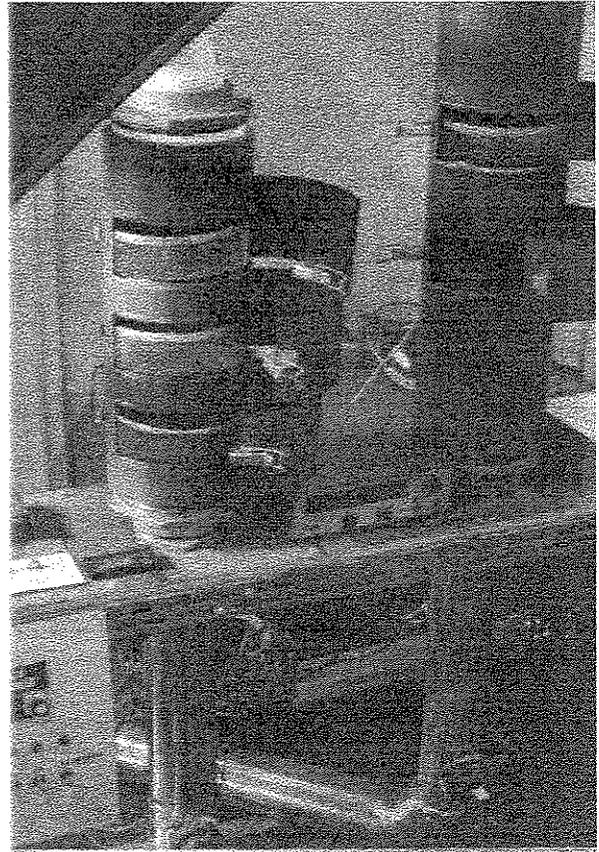
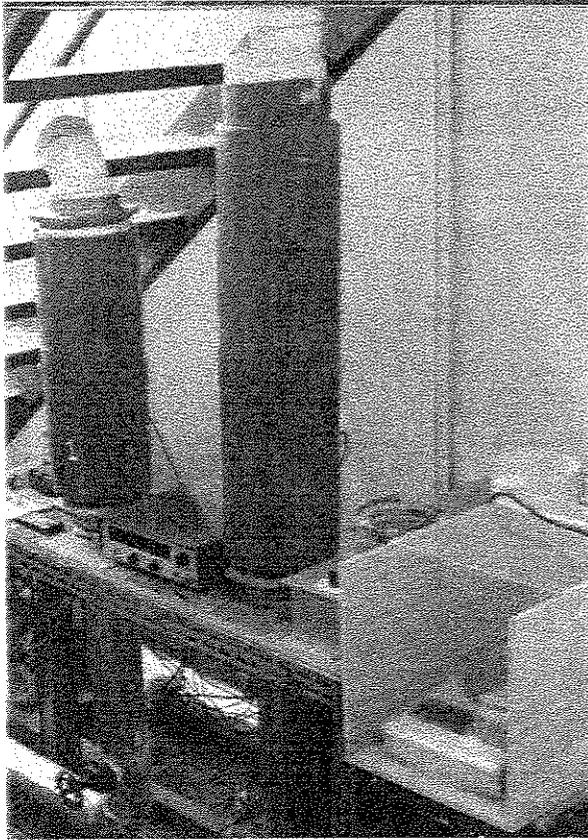
$$V_{real} = V_{padr\tilde{a}o} \left( \frac{273+T}{273+21,2} \right) \frac{101,4}{p}$$

onde:  $T$  = temperatura real, °C;  $P$  = Pressão real, kPa.

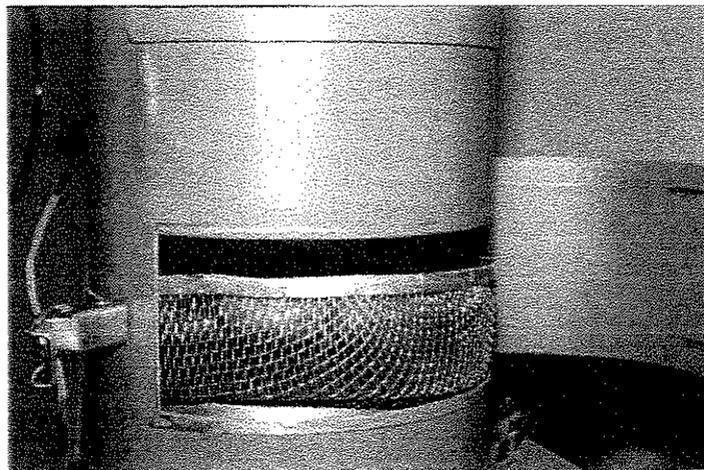


- a) Saída do ar
- b) Bandejas
- c) Termopares
- d) Acesso para medidas de vazão de ar e/ou temperatura de bulbo umido
- e) Indicador digital de temperatura
- f) Variador manual de tensão elétrica
- g) Balança digital
- h) Soprador
- i) Sistema de aquecimento de ar
- j) Fluxo de ar quente
- k) Controle de fluxo de ar

**FIGURA 3.4-** Esquema do secador de bandejas.



A) Secadores de bandeja com insuflamento de ar ascendente, com portas fechadas(esquerda), com portas abertas (direita).



B) Detalhe de uma das portas e bandejas do secador

FIGURA 3.5- Fotos do secador

A leitura de temperatura do ar é realizada por um registrador de temperatura da marca ROBERTSHAW, modelo T4WM, no qual estão conectados 5 termopares tipo T (cobre-constantan), colocados na altura de cada cone de sustentação

As bandejas com diâmetro de 18cm foram feitas de tela de aço inoxidável, com abertura de malha 5x3mm, e são sustentadas pelos cones internos, garantindo, a passagem de ar exclusivamente através do leito.

### 3.3. ANÁLISE E CONTROLES NO PROCESSO

As análises e controles físicos e químicos das variáveis do processo estão indicados na Figura 3.6.

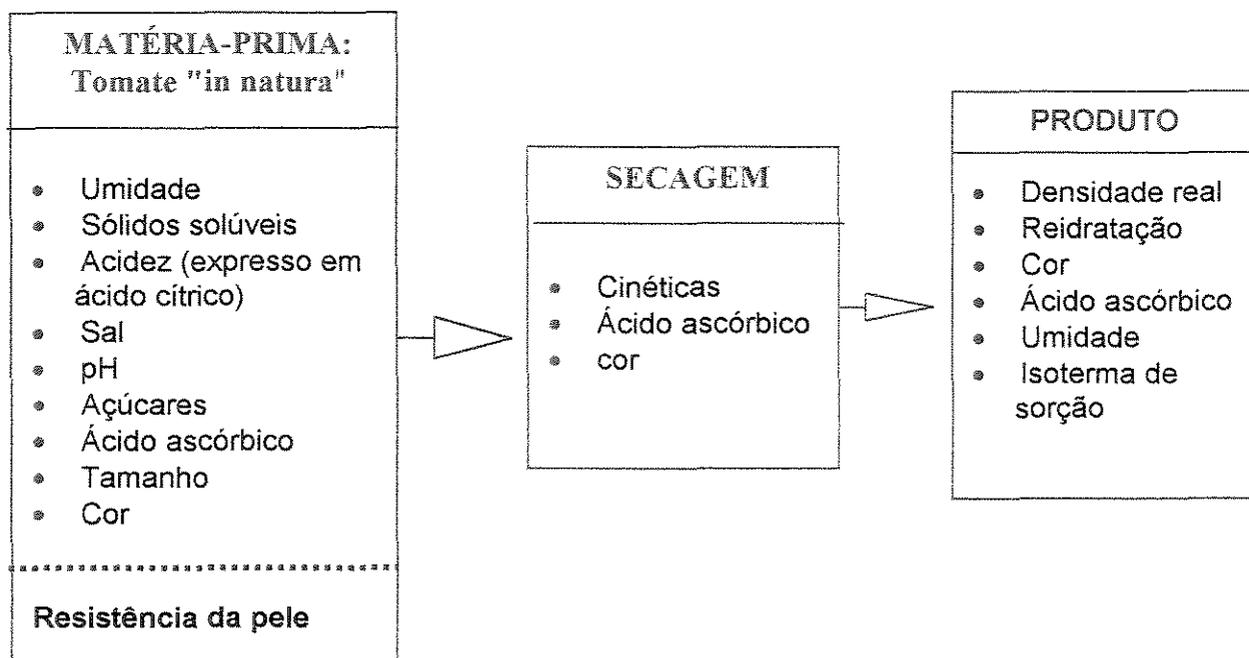


FIGURA 3.6- Controles do tomate durante os ensaios de secagem

Os métodos de análises químicas estão baseados, principalmente, nos procedimentos propostos por RANGANNA, (1978).

### 3.3.1. ANÁLISE DO TOMATE *IN NATURA*

No tomate *in natura* foram feitas as determinações seguintes: acidez, conteúdo de NaCl, conteúdo de açúcares redutores, teor de umidade, pH e sólidos totais.

Para as três primeiras determinações os reagentes usados foram:

- NaOH 0,1N, MERCK;
- NaOH 1N, MERCK;
- HCl 2N, MERCK;
- NaOH, PA-ACS, SYNTH;
- Ácido 3,5-dinitrosalicílico, PA, MERCK;
- Fenol, PA-ACS, MERCK;
- Metabissulfito de sódio, MERCK;
- Tartrato de potássio, P.A, MERCK;
- Nitrato de prata, PA-ACS, SYNTH;
- Sacarose PA, SYNTH.

**Indicadores :**

- Fenolftaleína PA – ACS, SYNTH;
- Cromato de potássio PA, SYNTH.

#### 3.3.1.1. ACIDEZ

A acidez foi determinada pelo método da titulação direta baseada no método de MOHR, expressa em percentagem de ácido cítrico.

Pesou-se 15g do purê obtido da polpa de tomate, misturou-se com 200mL de água destilada recém fervida, esfriou-se e transferiu-se num balão volumétrico de 250mL e levou-se à marca com água. O líquido foi filtrado, e tomou-se como alíquota 100mL de filtrado, que foram titulados com 0,1N NaOH usando fenolftaleína como indicador.

A quantidade de ácido cítrico presente foi calculada pela seguinte Equação

$$\% \text{ Ac} = \frac{(64)(100)(V_T)(N)(V)}{(1000)(V_A)(m)} \quad (3.1)$$

Na Equação (3.1):

- $Ac$  : Acidez expressa como ácido cítrico (%);  
 $V_T$  : Volume gasto na titulação da amostra (mL);  
 $N$  : Normalidade do álcali (g/L);  
 $V$  : Volume aferido (mL);  
 $V_A$  : Volume da alíquota (mL);  
 $m$  : massa da amostra (g).

### 3.3.1.2. DETERMINAÇÃO DE SAL (NaCl)

O conteúdo de NaCl foi determinado pelo método de MOHR Modificado.

Pesou-se 10g de tomate triturado e adicionou-se 100mL de água destilada, o material foi homogeneizado e agitado por 30min e então transferido para um balão volumétrico de 250mL e aferido. Filtrou-se usando papel filtro No 1.

Uma alíquota de 50mL foi titulada com nitrato de prata, usando 0,5mL de cromato de potássio à 5%, como indicador. A titulação foi feita em duplicata.

Como titulação em branco usou-se 100mL de água destilada e 1mL de indicador.

O conteúdo de sal foi calculado por:

$$\%NaCl = \frac{(58,45)(V_T - V_{BT})(N)(V)(100)}{(V_A)(m)(1000)} \quad (3.2)$$

- $V_T$  : Volume gasto na titulação da amostra (ml);  
 $V_{BT}$  : Volume gasto na titulação do branco (ml);  
 $N$  : Normalidade do álcali (Eq-g/L);  
 $V$  : Volume aferido (ml);  
 $V_A$  : Volume da alíquota (ml);  
 $m$  : Massa da amostra (g).

### 3.3.1.3. AÇÚCARES TOTAIS

Foi utilizado o método de MILLER, (1959). Para a leitura, usou-se um espectrofotômetro FEMTO modelo 432 e os seguintes reagentes:

- HCl 2N
- NaOH 2N
- DNS (dinitrosalisílico): dissolveu-se a quente 10,6g de ácido 3,5-dinitrosalicílico e 19,8g NaOH com 1416ml de água destilada. Adicionou-se 7,6 ml de fenol (fundido a 50°C) e 8,3g de metabissulfito de sódio.
- Tartrato de potássio 15,1g/L.

Como solução padrão usou-se solução 3% de sacarose P.A.

A partir da solução padrão, preparou-se outras soluções de concentrações 0,2, 0,4, 0,6, 1,0, 1,2, 1,4 e 1,6% para se obter a curva padrão.

Transferiu-se num balão volumétrico de 50mL, 5g da polpa de tomate triturada, que foi aferido com água destilada. Manteve-se em banho com agitação a 30°C por 1 hora. Filtrou-se com papel filtro Nro 1.

A 1mL do filtrado, acrescentou-se 1mL de HCl 2N, que foi levado a banho de água fervente por 5min e imediatamente após em banho em água com gelo por 5min. Acrescentou-se 1mL de NaOH 2N.

A 1 mL da solução anterior, acrescentou-se 1mL do DNS, e levado a banho de água fervente por 5min e logo submerso em banho de água com gelo por outros 5 min.

Acrescentou-se 16 mL de solução tartrato de potássio, para estabilização da cor, tampou-se com filme plástico e agitou-se.

A leitura do conteúdo de açúcar das amostras foi feita no espetofotômetro no comprimento de onda de 540nm.

#### 3.3.1.4. pH

Realizou-se por leitura direta no pHmetro digital WTW, modelo pH320, da polpa do tomate liquidificada e homogeneizada

#### 3.3.1.5. SÓLIDOS TOTAIS (TSS)

A percentagem de sólidos totais presentes no tomate *in natura* é expresso pelo °Brix e foi determinada utilizando-se um refratômetro digital ATAGO modelo PALETTE PR-101, com compensação automática de temperatura. O tomate foi esmagado em um espremedor e logo misturado até obter-se uma massa homogênea. Colocou-se uma pequena quantidade dessa massa no prisma do refratômetro e realizou-se a leitura, seguindo as recomendações dos fabricantes.

O número de tomates, e as leituras de cada amostra foram feitas em triplicata. Os resultados apresentados são a média aritmética das leituras obtidas.

#### 3.3.1.6. TEOR DE UMIDADE

Em uma balança analítica OHAUS (analytical plus), com precisão de 0,0001g, pesou-se as amostras em um pesa-filtro de vidro com tampa esmerilhada, previamente tarado, e deixou-se durante 5 dias em uma estufa FANEM modelo 315SE, a 70°C. As amostras foram retiradas da estufa e colocadas em dessecadores mantidos à temperatura de 25°C até a equalização das temperaturas, e então pesadas novamente.

Para a comparação dos efeitos dos diferentes pré-tratamentos na umidade das fatias de tomate, as determinações foram feitas com nove repetições. Nos outros casos, as análises foram feitas em triplicata, e os resultados são a média aritmética desses valores.

### **3.3.2. MONITORAMENTO NA SECAGEM DAS FATIAS DE TOMATE**

Durante a secagem das fatias de tomate *in natura*, foram feitas determinações das cinéticas de secagem, variações de cor e conteúdo de ácido ascórbico.

#### **3.3.2.1. CINÉTICA DE SECAGEM DO TOMATE**

A perda de umidade do tomate era acompanhada pela variação do peso da bandeja contendo as amostras de tomate, que era retirada rapidamente durante a secagem, e pesada em intervalos de 10min na primeira hora, aumentando-se gradativamente esse tempo no decorrer da secagem. A pesagem era realizada em uma balança, Ohaus, Precision Advanced, com precisão de 0,01g.

#### **3.3.2.2. DETERMINAÇÃO DA COR**

A cor é definida de forma geral usando escalas de cor tridimensionais que descrevem os diferentes componentes da cor. A luz refletida de um cor-objeto é composta de um componente claro ou escuro, além dos componentes vermelho ou verde e azul ou amarelo.

A determinação da cor das fatias de tomate foi feita a intervalos regulares de tempo durante a secagem. Para isso, usaram-se fatias *in natura*, sem pele, que foram secas a temperaturas de 60°C, 80°C e 100°C.

O equipamento usado para a medida de cores foi o colorQUEST II Sphere System que usa a escala Hunter L,a,b, pertencente ao Laboratório do DEPAN da Faculdade de Alimentos da UNICAMP.

A escala de contrastes do Hunter Lab mede os graus de claridade (L) e varia de 100 para o branco perfeito a zero para o preto, as dimensões cromáticas (a e b) que projetam as cores seguintes:

a: mede o avermelhado quando positivo, cinzento quando zero e esverdeado quando negativo.

b: mede o amarelado quando positivo, cinzento quando zero, e azulado quando negativo.

As cores são tanto mais saturadas quanto mais separados se encontram os pontos que as definem do centro do gráfico mostrado na Figura 3.7.

A diferença de cor total Hunter Lab ( $\Delta E$ ) e a diferença de cromaticidade ( $\Delta C$ ) é calculada como segue (CALVO e DURÁN, 1997; MABON, 1993, Manual do colorQUEST II Sphere Sistem):

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (3.3)$$

$$\Delta C = \sqrt{\Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (3.4)$$

$$\Delta L = L_{\text{amostra}} - L_{\text{padrão}} \quad (3.5)$$

(se  $\Delta L > 0$ , amostra é mais clara que o padrão  
se  $\Delta L < 0$ , amostra é mais escura que o padrão)

$$\Delta a = a_{\text{amostra}} - a_{\text{padrão}} \quad (3.6)$$

(se  $\Delta a > 0$ , amostra é mais vermelho que o padrão  
se  $\Delta a < 0$ , amostra é mais verde que o padrão)

$$\Delta b = b_{\text{amostra}} - b_{\text{padrão}} \quad (3.7)$$

(se  $\Delta b > 0$ , amostra é mais amarelo que o padrão  
se  $\Delta b < 0$ , amostra é mais azul que o padrão)

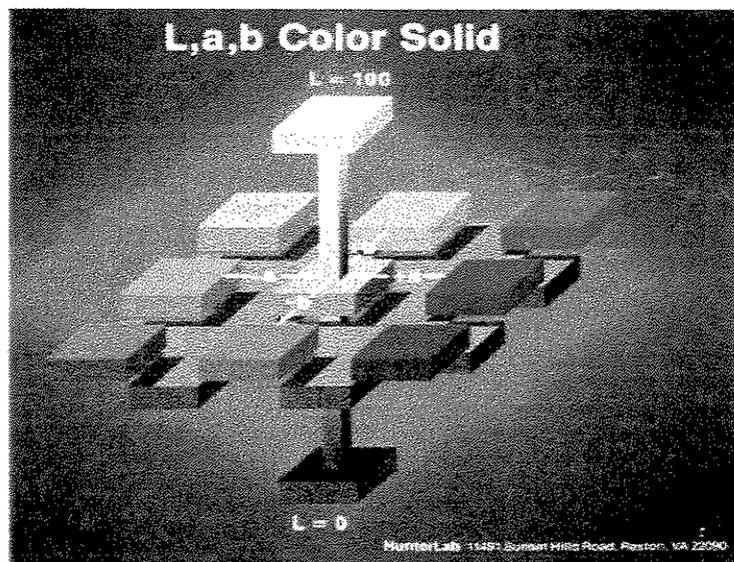


FIGURA 3.7- Escala de cor Hunter Lab

### 3.3.2.3. ÁCIDO ASCÓRBICO

Para a análise do ácido ascórbico usou-se 8 fatias procedentes do mesmo tomate, as quais foram retiradas do secador uma a uma após intervalos de 10, 20, 30, 60, 120, 180 e 240min de secagem respectivamente.

A determinação foi feita mediante o método de titulação com 2,6-Dichlorophenol-Indophenol.

- Indicador: Dissolveu-se 50mg de 2,6-diclorofenol-indofenol em aproximadamente 150mL de água destilada quente contendo 42mg de bicarbonato de sódio. Resfriou-se e diluiu-se com água destilada até 200mL. Guardou-se no refrigerador e padronizou-se antes do seu uso, titulando-se 5mL de ácido ascórbico padrão (100 mg/L), adicionou-se 5mL de  $\text{HPO}_3$ , foi titulado com a solução indicadora até aparecer a cor-de-rosa persistente, pelo menos por 15s.

Para a análise de ácido ascórbico no tomate, 1g de tomate triturado era aferido a 50mL com 3%  $\text{HPO}_3$  e filtrado.

Uma alíquota de 10mL era titulada com a solução indicadora padronizada, até observar a viragem a cor-de-rosa persistente pelo menos 15s.

Para o cálculo da quantidade de ácido ascórbico usa-se Equação:

$$Aa = \frac{(V_T)(0,5 / V_i)(V)(100)}{(V_A)(m)} \quad (3.13)$$

Na Equação (3.3):

- $Aa$  : ácido ascórbico (mg/100g);  
 $V_T$  : volume de titulação (mL);  
 $V_i$  : Volume titulado na padronização da solução indicadora (mL);  
 $V$  : volume aferido (mL);  
 $V_A$  : volume da alíquota (mL);  
 $m$  : massa do tomate (g).

As análises foram feitas em duplicata, e os resultados apresentados são a média desses valores.

### 3.3.3. ANÁLISE DAS FATIAS SECAS DE TOMATES

Nas fatias de tomate secas, foram realizadas as seguintes determinações:

#### 3.3.3.1. REIDRATAÇÃO

A reidratação que é a capacidade de absorção de água pelas fatias de tomate desidratadas foi determinada pela imersão em água em ebulição.

Pesou-se 1 a 2g do tomate seco com precisão de 0,0001g. Esse material foi colocado num béquer de 500mL contendo 300mL de água fervente, tampado com um vidro de relógio.

As fatias reidratadas foram separadas rapidamente da água mediante um funil de sucção a vácuo, enxugadas em papel toalha e logo pesadas. A percentagem de absorção de água foi determinada pela Equação abaixo:

$$\% \text{ água absorvida} = \frac{m_f - m_i}{m_i} \times 100 \quad (3.4)$$

Na Equação (3.4):

$\text{água}_{\text{absorvida}}$  : percentagem de água absorvida (%);

$m_i$  : massa inicial das fatias de tomate desidratadas (g);

$m_f$  : massa final das fatias de tomate desidratadas após a imersão (g).

Com os valores obtidos na reidratação foi feita a curva % de água absorvida em função do tempo.

### 3.4.3.2. DENSIDADE REAL

A densidade real é uma medida representativa da expansão de volume, e foi determinada por deslocamento de tolueno em picnômetro.

Utilizou-se um picnômetro com capacidade de 25mL. Como fluido foi usado o tolueno (P.A., MERCK) por apresentar as seguintes vantagens: pouca tendência em penetrar no sólido; baixa tensão superficial; pouca ação do solvente nos constituintes do sólidos; alto ponto de ebulição ( $110,06 \pm 1^\circ\text{C}$ ); não muda a sua gravidade específica e viscosidade quando exposto à atmosfera.

O picnômetro foi previamente calibrado com água destilada a  $25^\circ\text{C}$ . Antes de cada análise, o picnômetro foi tarado em balança analítica. Colocou-se de 1,0 a 1,5 gramas de amostra dentro do picnômetro, obtendo-se a massa do picnômetro mais a amostra. Em seguida, o volume do picnômetro foi completado com tolueno até a marca de aferição. O excesso de tolueno que escorria na parte externa do picnômetro foi cuidadosamente seco com papel absorvente. O picnômetro foi então novamente pesado em balança analítica, obtendo-se a massa total.

Calculou-se a densidade real das fatias de tomate pela relação

$$\rho = \frac{ms}{V_s} \quad (3.4)$$

Na Equação (3.4):

$ms$  : massa do sólido (g);

$V_s$  : volume do sólido (mL)

Os volumes das fatias de tomate foram determinados sabendo-se a densidade real do tolueno,  $0,866 \text{ g/cm}^3$  a  $25^\circ\text{C}$ , a massa de sólido colocada dentro do picnômetro e o volume do tolueno necessário para completar o picnômetro até a marca de aferição. Esse valor foi subtraído do volume real do picnômetro previamente estabelecido por meio da calibração com água, encontrando desta forma o volume real do sólido contido.

### 3.3.3.3. DETERMINAÇÃO DE ISOTERMA DE ADSORÇÃO

As isotermas de adsorção permitem calcular o conteúdo de umidade que pode ser teoricamente removido do material pelo agente de secagem nas condições dadas (STRUMILLO e KUDRA, 1986), permitindo fazer a escolha adequada do ponto final do processo de secagem, isto é, a obtenção de um teor de umidade residual ótimo do produto final (GAL, 1987).

A determinação dos pontos para a isoterma de adsorção, foi feita pelo uso de soluções saturadas das sais electrolíticos mostradas na Tabela 3.2.

**TABELA 3.2-** Sais usados para a determinação da isoterma de sorção das fatias de tomate.

SAIS	$\phi$ a $25^\circ\text{C}$	SAIS	$\phi$ a $25^\circ\text{C}$
LiCl	0,113	MgNO <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O	0,529
CH <sub>3</sub> KOH	0,226	NaCl	0,753
MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O(*)	0,332	KCl	0,843
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,438	BaCl <sub>2</sub>	0,903

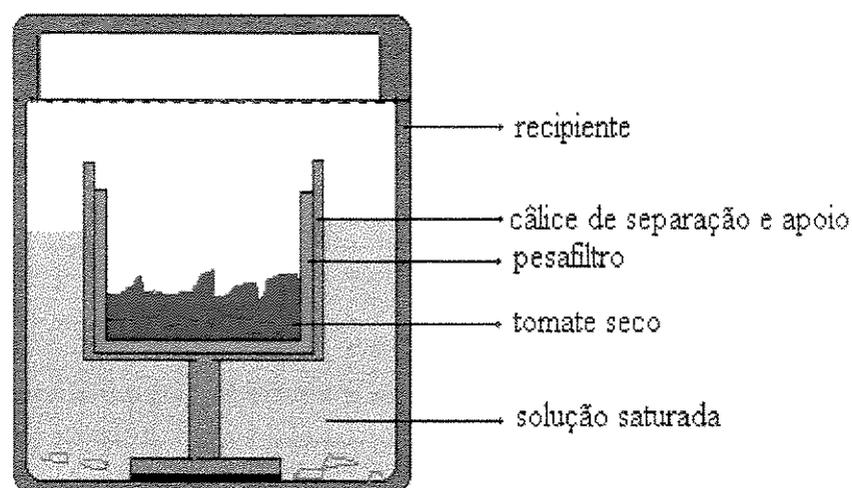
WELTI e VERGARA, 1997  
 (\*) HUBBARD et al., 1957

As fatias de tomate sem pré-tratamento foram secas no secador mostrado na Figura 3.4, até peso constante à temperatura e velocidade do ar de secagem de 65°C e 2,5 m/s, respectivamente.

Os pesos iniciais das amostras de tomate seco, foram obtidos mediante a pesagem dos pesafiltros previamente tarados nos quais estavam contidas as fatias. Cada pesafiltros sem tampa, foi acomodado numa unidade de isolamento (potes de plástico de 150ml de parede dupla, com tampa rosqueável) como mostrado na Figura 3.8, dentro dos quais se criou atmosferas com diferentes valores de umidades relativas, correspondentes às soluções saturadas dos sais. Estas unidades por sua vez foram colocadas dentro de uma caixa de isopor, mantida a temperatura ambiente de 25°C.

Foram feitas pesagens das amostras, em intervalos de 25-30 dias até atingir o equilíbrio.

Foram usados 4 potes para cada condição de equilíbrio. Cada pote continha 1 a 2g de amostra.



**FIGURA 3.8-** Unidades de isolamento para obtenção dos pontos da isoterma de adsorção das fatias de tomate secos.

### **3.4. ESTUDO DA RESISTÊNCIA DA PELE**

Neste estudo, considerou-se a medida da permeabilidade da pele do tomate, assim como o tratamento químico com soluções de NaOH em diferentes condições e o tratamento físico mediante a perfuração da mesma, visando diminuir essa permeabilidade.

#### **3.4.1. PERMEABILIDADE DA PELE**

Para determinar a permeabilidade da pele, foi considerado o sistema de ALZAMORA, (1979), para o qual, usou-se um termopar de arame fino, que foi introduzido no tomate até que a sua ponta fique na face oposta e limitando com a superfície interna da pele. O termopar, por sua vez estava conectada a um leitor de temperatura digital, que ia registrando a variação da temperatura sob a pele do tomate.

O ensaio foi feito a temperatura de secagem de 60°C e velocidade de ar a 1m/s. em duplicata e o resultado apresentado é a média desses valores.

Durante esse ensaio, foram feitas medidas da variação da temperatura como explicado acima, e variação na massa do tomate usando o método gravimétrico. Para isso, a pesagem durante a secagem, era realizada em uma balança, Ohaus, Precision Advanced, com precisão de 0,01g.

#### **3.4.2. TRATAMENTO COM SOLUÇÕES DE NaOH**

A fim de avaliar a possibilidade de aumentar a permeabilidade da pele do tomate com tratamentos químicos, foram feitos alguns ensaios de secagem de tomates inteiros, tratados em soluções de NaOH.

Baseado nos estudos do FEMENIA et al., (1998) e em testes preliminares realizou-se um planejamento em estrela de dois níveis, considerando-se como parâmetros a velocidade e a temperatura do ar de secagem de 10m/s e 60°C respectivamente, além das variáveis e as suas variações mostradas na Tabela 3.3.

**TABELA 3.3-** Variáveis usadas no planejamento em estrela de dois níveis

VARIÁVEIS	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO
Concentração do NaOH	2%	4%
Tempo de imersão	20s	60s
Temperatura da solução	30°C	60°C

Nas respostas considerou-se as características da cinética de secagem, e o aspecto visual após a secagem.

### 3.4.3. PERFURAÇÃO DA PELE

Para este estudo, se montaram sistemas de perfuração, consistentes de um conjunto de agulhas de 0,8mm de diâmetro, empacotadas de tal modo a se obter diferentes densidades: 60agulhas/cm<sup>2</sup>, 72agulhas/cm<sup>2</sup> e 99agulhas/cm<sup>2</sup>.

Com esses sistemas, ensaio-se manualmente a perfuração uniforme da pele dos tomates inteiros *in natura* que logo eram levados a pré-secagem com temperatura de 90°C por 40 min, e logo a secagem a temperatura de 70°C até peso constante, a velocidade do ar de secagem foi de 10m/s.

O ensaio foi feito em duplicata.

# **CAPÍTULO 4**

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste capítulo são apresentados os resultados experimentais, sua análise e discussões pertinentes.

### **4.1. CONTEÚDO DE UMIDADE DOS TOMATES *IN NATURA* E APÓS PRÉ-TRATAMENTOS**

Os resultados das determinações de umidade do tomate *in natura*, e do produto após os diferentes pré-tratamentos, são apresentados na Tabela 4.1, e indicam o seguinte:

O valor médio do conteúdo de umidade do tomate usado para os diferentes ensaios é próximo de 95% (b.u.), o que concorda com os resultados de umidade de 94%, 92%- 95%, 95% e 97%, obtidos por FEMENIA (1998), DAVIES e HOBSON (1981), KIRANOUDIS et al. (1993), e HAWLADER (1991), respectivamente. As diferenças podem ser atribuídas, principalmente, à variação entre os cultivares de tomate.

Pode-se observar também, que a retirada das sementes e da massa locular praticamente não afetam o valor dessa umidade. A retirada da pele incrementa o teor de umidade da polpa na ordem de 0,002%. Esse valor é inferior à variação do desvio padrão.

**TABELA 4.1-** Conteúdo de umidade (base úmida) de tomates *in natura* e de tomates expostos a diferentes pré-tratamentos.

ESPECIFICAÇÕES DA AMOSTRA	UMIDADE ( g/g, b.u.)		
	$\bar{x}$		s
<b>TOMATE <i>IN NATURA</i></b>			
Com pele, com semente	0,9471	±	0,0046
Com pele, sem semente	0,9538	±	0,0029
Sem pele, com semente	0,9493	±	0,0028
Sem pele, sem semente	0,9568	±	0,0026
<b>TOMATE PRÉ-TRATADO POR:</b>			
<b>Branqueamento com vapor</b>			
Inteiro			
Com pele, com semente	0,9547	±	0,0027
Sem pele, sem semente	0,9468	±	0,0003
Fatias			
Com pele, sem semente	0,9424	±	0,0023
Sem pele, sem semente	0,9476	±	0,0006
<b>Branqueamento com água fervente</b>			
Inteiro			
Com pele, sem semente	0,9526	±	0,0062
Sem pele, com semente	0,9534	±	0,0039
Sem pele, sem semente	0,9501	±	0,0014
Fatias			
Com pele, sem semente	0,9471	±	0,0027
Sem pele, sem semente	0,9572	±	0,0012
<b>Branqueamento com salmoura</b>			
Inteiro			
Com pele, sem semente	0,9518	±	0,0034
Sem pele, com semente	0,9511	±	0,0022
Sem pele, sem semente	0,9538	±	0,0023
Fatias			
Com pele, sem semente	0,9539	±	0,0016
Sem pele, sem semente	0,9511	±	0,0030
<b>Imersão em amido</b>			
Fatias, sem pele, sem semente	0,9527	±	0,0016
<b>Branq. em vapor, imersão em amido</b>			
Fatias, sem pele, sem semente	0,9485	±	0,0036
<b>Imersão em CaCl<sub>2</sub></b>			
Fatias, sem pele, sem semente	0,9598	±	0,0002

Os resultados mostrados na Tabela 4.1, indicam que as diferenças entre os valores de umidade obtidos dos tomates expostos a pré-tratamentos, quando comparados com a umidade do tomate *in natura* mediante o teste de TUKEY; (DOWDY e WEARDEN, 1983) na grande maioria dos casos em estudo, mostraram não ser significativas. As exceções foram o branqueamento com água fervente feito em tomates sem pele, e após os cortes, além do pré-tratamento por imersão em  $\text{CaCl}_2$ , sendo que esse último apresentou o maior efeito.

Com os outros pré-tratamentos, evidencia-se um pequeno ganho de umidade. O menor acréscimo ocorreu no branqueamento em água fervente do tomate inteiro sem pele, e o maior corresponde ao branqueamento com salmoura, que em todos os casos apresenta maior teor de umidade devido a absorção da água durante o pré-tratamento.

Os resultados da Tabela 4.1, permitem adotar um valor médio de referência de 95% de umidade para o tomate *in natura* e pré-tratados. Esse valor corresponde a 19,00g de água por g de sólido seco.

## 4.2. CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA

### 4.2.1. TAMANHO DO TOMATE

A análise estatística do tamanho do tomate, baseadas na medida do comprimento no sentido axial e radial, feito com um paquímetro (Mitutoyo), produziu a distribuição apresentada na Figura 4.1.

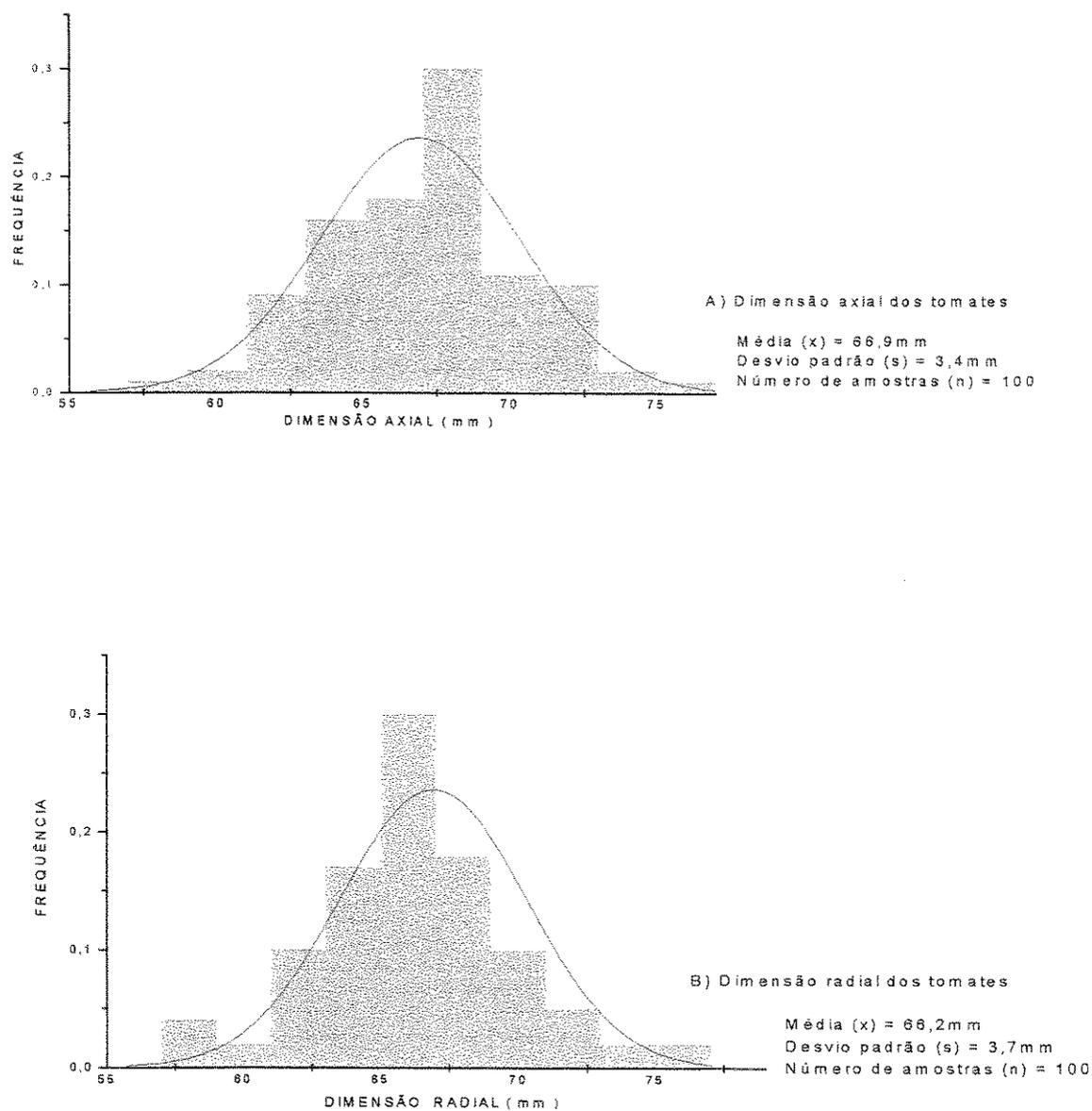
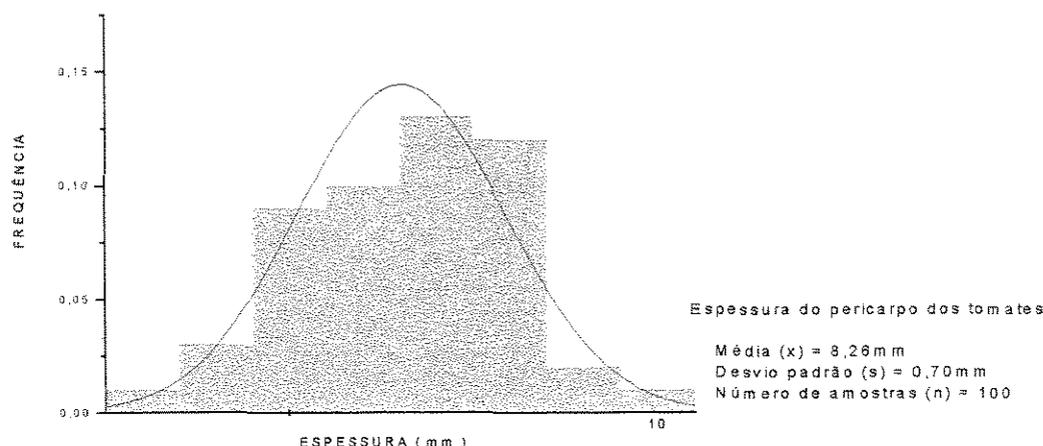


FIGURA 4.1- Histogramas e Distribuição Normal das dimensões de tomates *in natura*

Para padronização dos tamanhos das amostras durante a pesquisa, considerou-se as distribuições das medidas mostradas nas Figuras 4.1.A e B e decidiu-se trabalhar com tomates cujas dimensões estejam na faixa  $\bar{x} \pm s$ , que inclui 68,26% das amostras.

#### 4.2.2. ESPESSURA DO PERICARPO DO TOMATE

Foram feitas varias determinações de espessura do pericarpo de tomates *in natura* que cumpriam com as especificações de maturidade, cor e tamanho, obtendo-se valores que são comparados com uma distribuição normal, na Figura 4.2.



**FIGURA 4.2-** Histograma e Distribuição Normal das medidas da espessura do pericarpo dos tomates.

Na Figura 4.2, pode-se observar que a espessura do tomate varia numa faixa de  $8,26 \pm 0,70$ mm, o que, em termos relativos, representa uma variação maior do que a do tamanho.

#### 4.2.3. DETERMINAÇÃO DE pH, NaCl, ACIDEZ, °BRUX, ÁCIDO ASCÓRBICO.

A Tabela 4.2, contém os valores obtidos nas determinações de pH, NaCl, acidez (expresso como ácido cítrico), ácido ascórbico e °Brix.

A faixa de pH de  $4,45 \pm 0,087$ , inclui o valor de pH de 4,31 relatado por PETRÓTURZA (1989a).

O teor de sal encontrado é próximo aos valores da faixa de 0,05-0,1% informadas por GOULD (1974).

A acidez, expressa em % de ácido cítrico, é menor do que os valores encontrados por PETRÓ-TURZA (1989a) que registram 0,67-0,8%.

A faixa de sólidos solúveis expresso pelo °BRIX de  $3,91 \pm 0,52$  está próxima da faixa 4-6% determinada por GOULD (1974)

O teor de açúcar determinado,  $2,8\% \pm 0,6$ , está na faixa relatada por GOULD (1974), BALASUBRAMANIAM (1984) e PETRÓ-TURZA (1989a), de 2-3%, 1,5-2,80 e 2,83-3,23 respectivamente.

O conteúdo de ácido ascórbico está dentro da faixa relatada pelos mesmos autores.

As diferenças nos resultados podem ser explicadas, pelos diferentes tipos de cultivos de tomate e pelos métodos de determinação usados.

**TABELA 4.2-** Determinações de composição no tomate *in natura*.

PROPRIEDADES	Média	Desvio Padrão	No. amostras
- pH	4,45	0,09	20
- Sólidos solúveis (°BRIX)	3,91	0,52	54
- Sal (%)	0,023	0,004	10
- Acidez expressa em % de ácido Cítrico	0,19	0,08	10
- Ácido Ascórbico (mg/100g m. s.)	0,29	0,09	8
- Açúcar %	2,8	0,6	4

### **4.3. FATORES QUE INFLUENCIAM NA CINÉTICA DE SECAGEM DO TOMATE EM FATIAS**

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos com ensaios visando qualificar os fatores que podem influenciar na cinética de secagem do tomate em fatias.

#### **4.3.1. INFLUÊNCIA DA PELE, TAMANHO DE FATIAS E CORTE**

A Figura 4.3, mostra o efeito de três aspectos que influenciam a taxa de secagem do tomate, mantendo-se outros fatores importantes do processo, como velocidade e temperatura do ar de secagem, constantes a 2,5m/s e 60°C respectivamente. Esses aspectos são os seguintes:

##### **4.3.1.1. PRESENÇA DA PELE**

Em todos os casos estudados, a presença da pele influenciou negativamente a taxa de secagem, sendo menor nos tomates divididos em 4 partes em forma radial, devido principalmente a menor área superficial coberta pela pele e à maneira da colocação das fatias na bandeja, pois a pele não interferia no fluxo de ar de secagem (vide Figura 4.3).

Os resultados em geral demonstraram que a pele do tomate tem alta impermeabilidade, o que foi comprovado com a secagem do tomate inteiro com pele. Observou-se que com tomates inteiros a perda de massa, é negligenciável, ocorrendo apenas perda de água da própria pele, causando seu encolhimento e gerando fissuras após 40 a 50 minutos de secagem. Essas fissuras se transformaram em locais de saída de vapor d'água. O tomate inteiro sem pele, exhibe uma taxa de secagem muito maior.

### 4.3.1.2. TAMANHO DE FATIAS

Nos resultados obtidos experimentalmente, confirmou-se que o tamanho das fatias do tomate é inversamente proporcional às taxas de secagem.

### 4.3.1.3. TIPO DE CORTE

Devido a estrutura complexa e não-homogênea do tomate, havia a expectativa de que o sentido de corte dos tomates, para a obtenção de fatias, poderia ter alguma influência nas taxas de secagem. Os resultados obtidos confirmaram de fato essa influência, como pode ser visto na Figura 4.3, especialmente com cortes que geraram 4 fatias de cada tomate (Figuras 4.4,C,D e E). As fatias de corte radial apresentaram maior taxa de secagem e o produto não encolheu na direção radial, diminuindo apenas sua espessura (Figura 4.4.C).

A cinética de secagem de tomates divididos em duas fatias não foi influenciada pelo tipo de corte efetuado, quando a pele era mantida, mas teve influência importante quando os tomates foram secos sem pele (Figura 4.4.A e B).

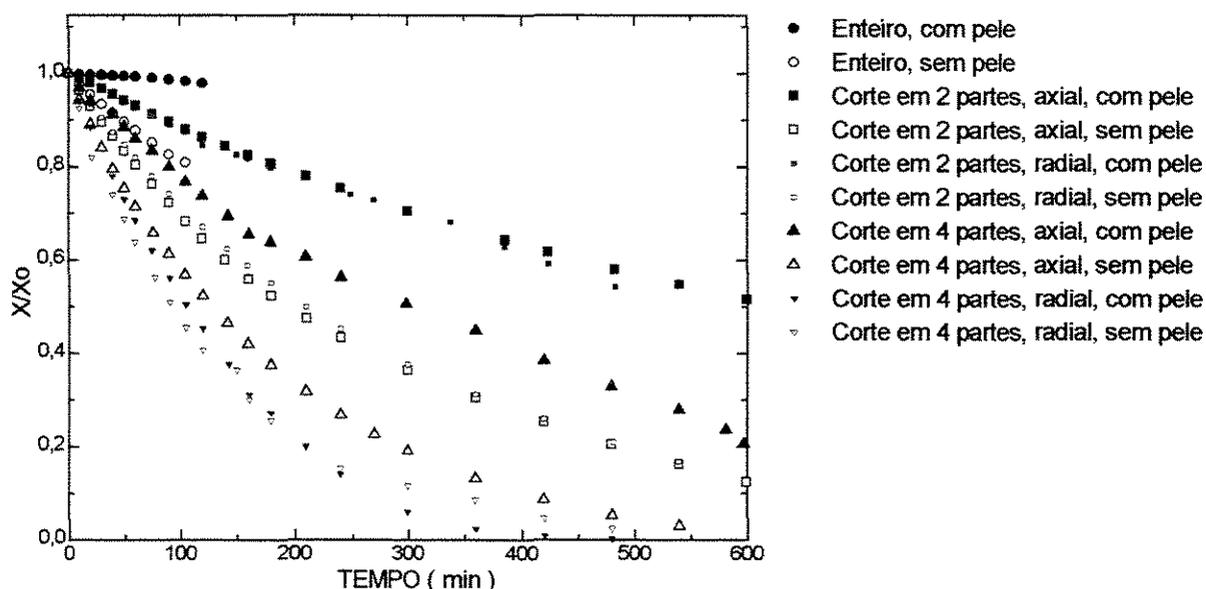


FIGURA 4.3- Cinética de secagem do tomate inteiro e em fatias.



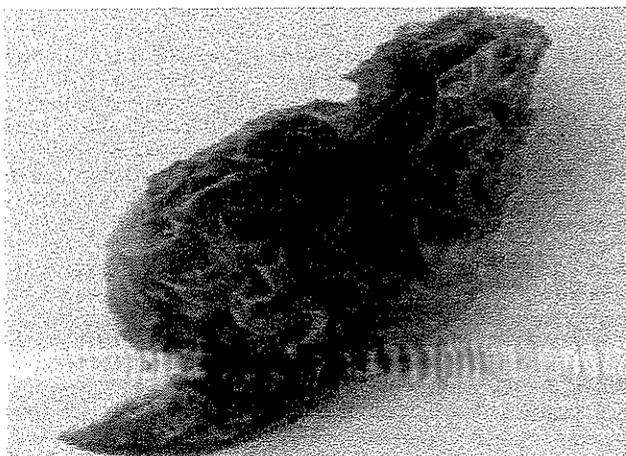
A) Corte radial (2partes), sem pele



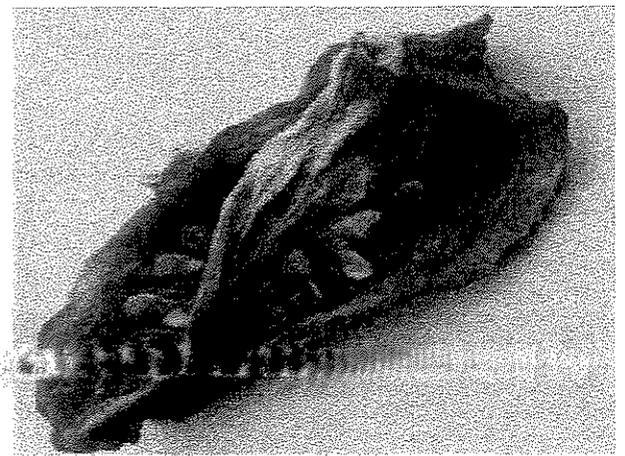
B) Corte axial (2 partes), sem pele



C) Corte radial (4partes), com pele



D) Corte axial (4partes), com pele.



E) Corte axial (4partes), sem pele

**FIGURA 4.4-**Visual do tomate seco, com diferentes condições de corte.

### 4.3.2. INFLUENCIA DA PRESENÇA DAS DIFERENTES PARTES ESTRUTURAIS DO TOMATE

Nesta etapa, se usaram as fatias em oitavos (Figura 3.3). As secagens foram realizadas com velocidade de 2,5m/s e temperatura de ar de secagem de 60°C, mantidas constantes.

As curvas de secagem da Figura 4.5, indicam que a presença das diferentes partes constitutivas do tomate influenciam também na cinética do tomate. Assim, obteve-se maior taxa de secagem, quando as sementes e a sua massa envolvente (massa locular) foram retiradas das fatias. Essa taxa ficou ainda maior com a retirada da polpa central do tomate.

Esses ensaios confirmaram uma vez mais a importância da remoção da pele para incrementar a taxa de secagem. O melhor resultado foi obtido com fatias nas quais foram retiradas as sementes, a polpa central e a pele.

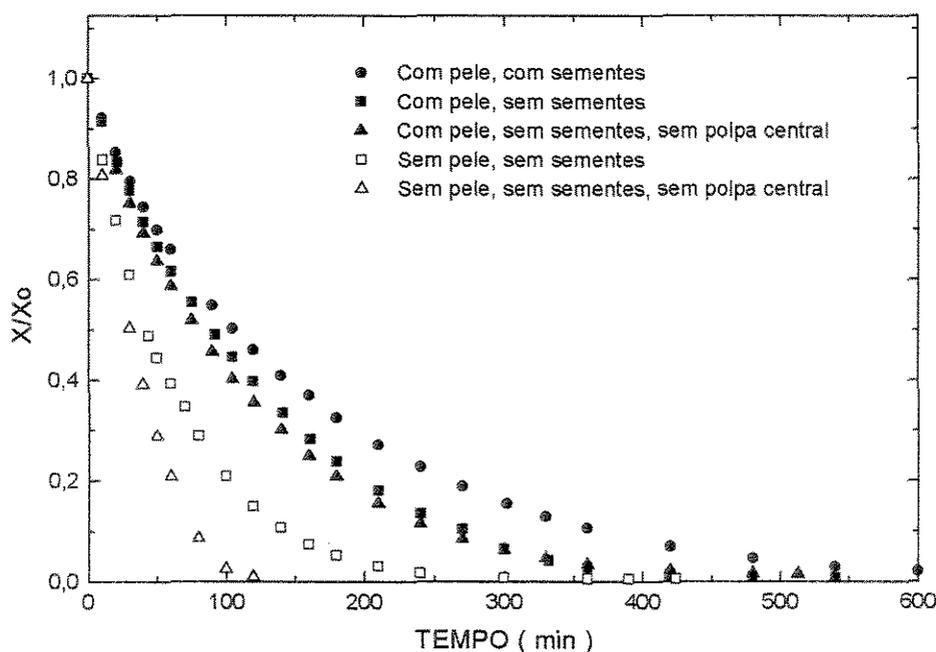


FIGURA 4.5- Cinética de secagem do tomate em fatias, contendo diferentes partes estruturais.

### **4.3.3. INFLUENCIA DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DE SECAGEM**

Para este grupo de ensaios, usou-se fatias provenientes do corte dos tomates em 8 partes, da maneira mostrada na Figura 3.3 do Capítulo 3.

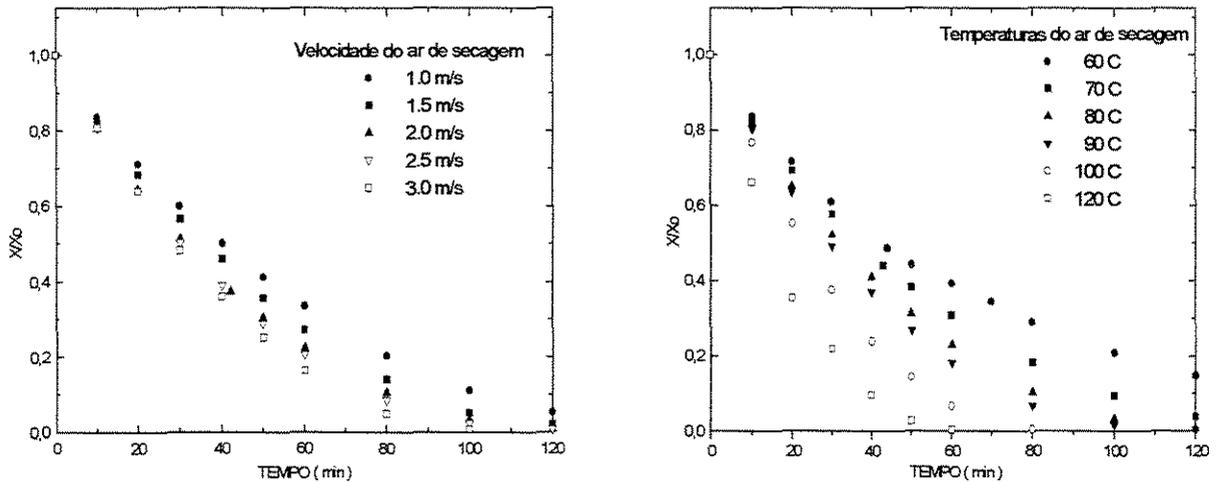
#### **4.3.3.1. VELOCIDADE DO AR DE SECAGEM**

Os resultados da Figura 4.6.A, mostram, que a baixas velocidades, a taxa de secagem é diretamente proporcional á velocidade do ar de secagem. Acima da velocidade de 2m/s e após 2horas de secagem, essa influência é pouco perceptível.

#### **4.3.3.2. TEMPERATURA DO AR DE SECAGEM**

Na Figura 4.6.B, evidencia-se a importância da influência da temperatura do ar de secagem nas taxas de secagem das fatias de tomate. Com temperaturas de 80°C, após aproximadamente 70min de secagem as fatias começam a apresentar escurecimento. Essa deterioração é mais rápida com o aumento de temperatura e com 120°C o escurecimento é visível após 20min. Observou-se que as amostras que apresentaram melhor qualidade visual (cor), foram as fatias secas usando temperatura de secagem de 60°C, concordando com os resultados obtidos por OROLUNDA et al. (1992).

Uma comparação entre as curvas das Figuras 4.6, mostra a maior importância da temperatura frente à velocidade do ar de secagem, nas taxas de secagem. Esse efeito também se repetiu na definição da qualidade final do produto.



A) Velocidade variável e temperatura constante de 80°C.

B) Temperatura variável e velocidade constante de 2,5m/s.

**FIGURA 4.6-** Cinética de secagem de fatias de tomate com diferentes condições de operação.

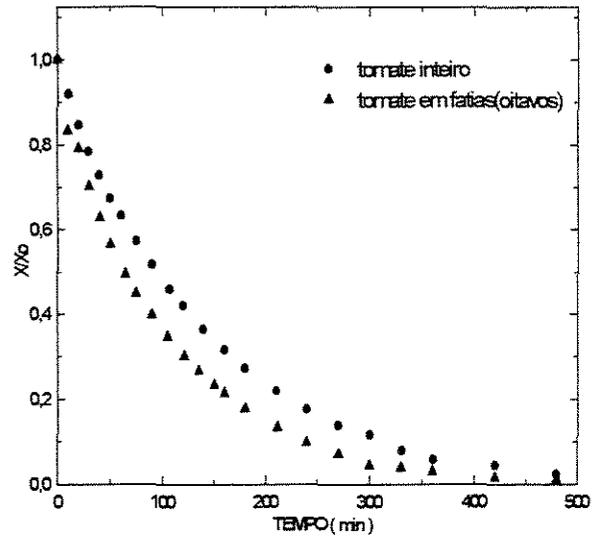
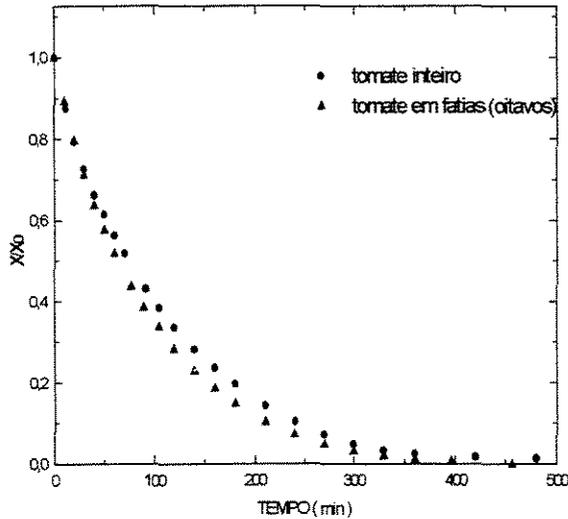
#### 4.3.4. INFLUÊNCIA DOS PRE-TRATAMENTOS

##### 4.3.4.1. BRANQUEAMENTO

Comparando as Figuras 4.7.A, B, e C, observa-se que no tomate inteiro, o branqueamento em vapor de água apresenta um ligeiro aumento na taxa de secagem, quando comparado com o branqueamento feito em contato direto das fatias com a água fervente. Embora o branqueamento de fatias não mostre diferenças significativas com relação à taxa de secagem, com relação a aparência, as fatias branqueadas em água e salmoura ferventes perderam em qualidade. O controle do processo de branqueamento de fatias é difícil e os resultados mostraram que efeitos do tempo de imersão são fortemente dependentes das condições da matéria-prima, sobretudo seu grau de maturação. Observou-se que a água de branqueamento, após efetuada a imersão dos

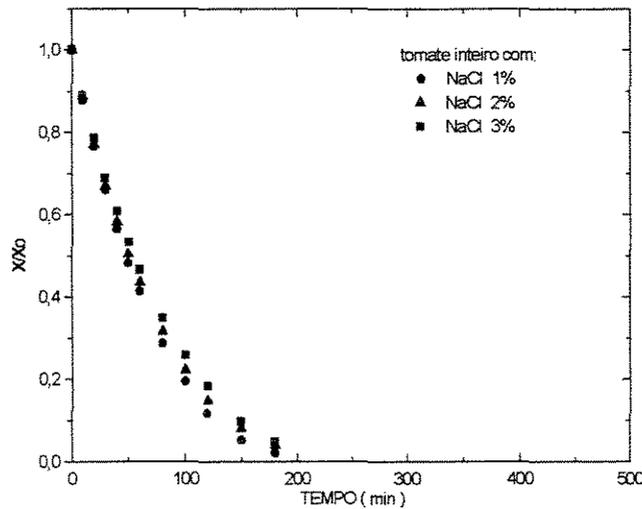
tomates, apresenta cor avermelhada, confirmando a dissolução de alguns constituintes do tomate.

A Figura 4.7.C, evidencia que diferentes concentrações de NaCl, no pré-tratamento de branqueamento em salmoura, influenciam na taxa de secagem.



A) Branqueamento em vapor de água

B) Branqueamento em água fervente



C) Branqueamento em salmoura fervente com diferentes concentrações.

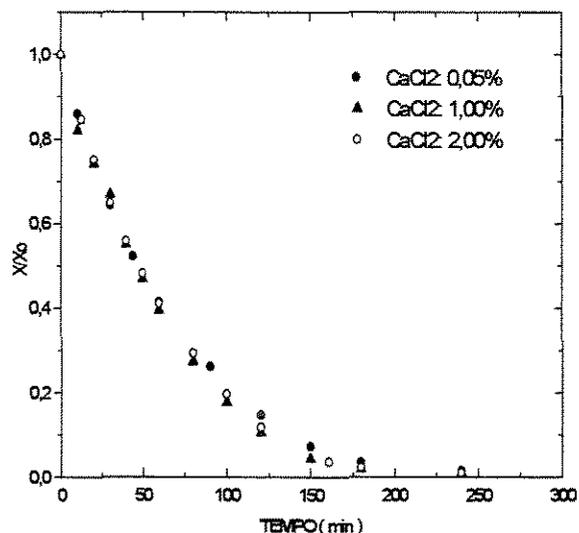
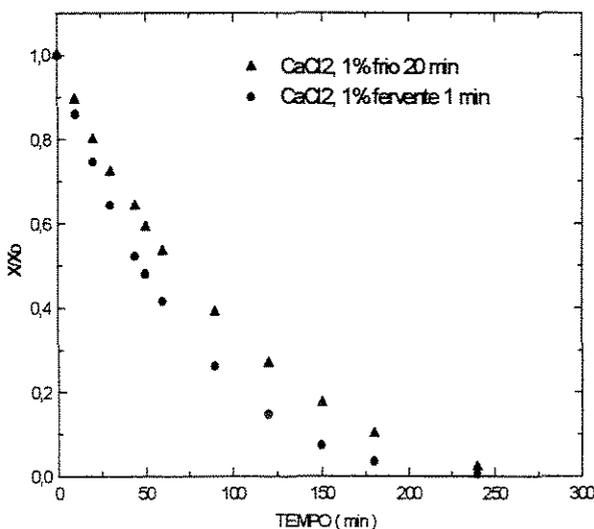
FIGURA 4.7- Cinética de secagem de tomates pré-tratados com diferentes tipos de branqueamento.

O branqueamento em salmoura mostra uma maior eficácia no aumento da taxa de secagem frente ao branqueamento em água fervente e em vapor de água.

#### 4.3.4.2. IMERSÃO EM SOLUÇÕES DE $\text{CaCl}_2$

O resultado obtido na secagem de fatias de tomates previamente imersas em soluções de  $\text{CaCl}_2$  está nas Figuras 4.8,A e B.

A Figura 4.8.A, mostra que a imersão na solução  $\text{CaCl}_2$  a quente acelera a taxa de secagem. Infelizmente, nessa condição a superfície das fatias secas apresenta uma cobertura de pó branco e textura de couro muito acentuada.



A) Por diferentes métodos.

B) Imersão a frio, com diferentes concentrações.

**FIGURA 4.8-** Cinética de secagem das fatias de tomate pré-tratadas por imersão em soluções de  $\text{CaCl}_2$ .

No tratamento a frio, a diferença de concentração das soluções de  $\text{CaCl}_2$ , não mostrou influência na cinética de secagem das fatias de tomate, como se observa nos resultados da Figura 4.8,B. Soluções de  $\text{CaCl}_2$  nas concentrações de 1 e 2 %, provocaram a formação de uma cobertura branca sobre a superfície das fatias,

assim como uma textura de couro, que foi mais rígida quanto maior a concentração, concordando com as observações feitas por BARRET (1998).

#### 4.3.4.3. PRÉ-TRATAMENTO COM DIFERENTES TIPOS DE AMIDO

Foram feitos ensaios com imersão das fatias de tomate em dois tipos de amido: polvilho doce e polvilho azedo e as curvas de cinética estão na Figura 4.9. A cinética de secagem nos dois materiais não apresentou diferença significativa e como conseqüência, escolheu-se o polvilho doce como material de trabalho.

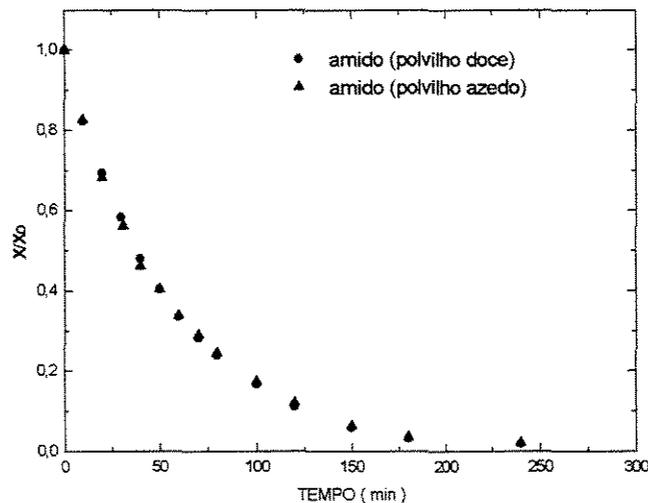


FIGURA 4.9- Pré-tratamento com diferentes tipos de amido.

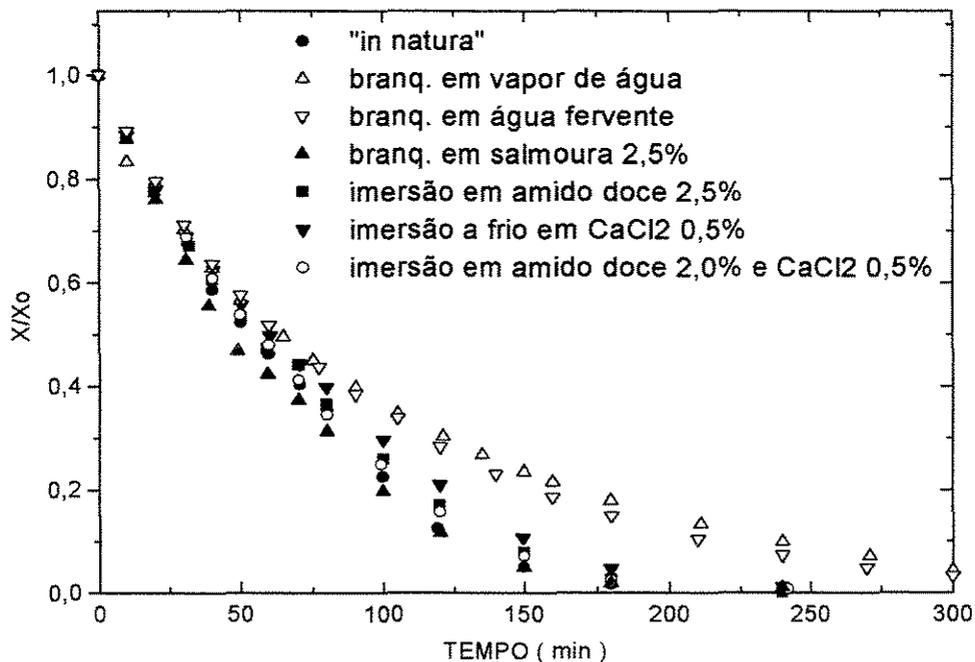
#### 4.3.4.4. COMPARAÇÃO DA CINÉTICA DE SECAGEM DAS FATIAS DE TOMATE COM DIFERENTES PRÉ-TRATAMENTOS

Os pré-tratamentos que produziram tomate seco de aspecto mais atraente serão considerados em conjunto nesta seção, e as curvas de cinética de secagem obtidas estão reunidas na Figura 4.10.

A Figura 4.10, mostra que o branqueamento com salmoura, apresenta um melhor comportamento na cinética de secagem em comparação com os outros pré-tratamentos, mas que, essa melhora não é significativa quando comparada com a cinética do tomate *in natura*.

De uma maneira geral, os pré-tratamentos que geraram a incorporação de um soluto no tecido do tomate apresentaram um comportamento de secagem superior aos que apenas se limitaram a um pré-tratamento térmico.

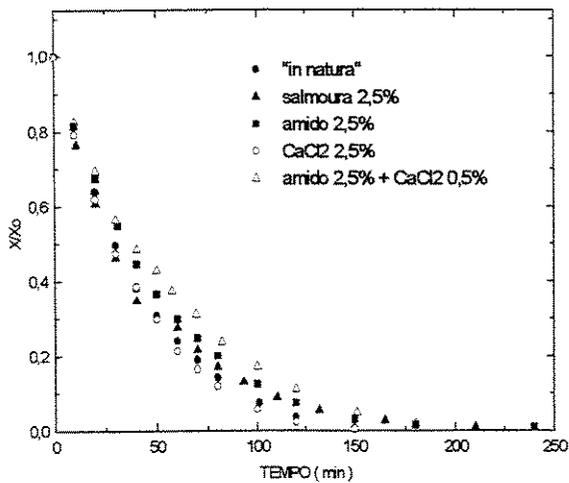
Os branqueamentos tanto em vapor da água, como em água fervente, são os pré-tratamentos que influem de maneira mais negativa na taxa de secagem, devido, provavelmente, a quebra do tecido celular, colapsando sua estrutura ou à absorção de umidade durante o pré-tratamento.



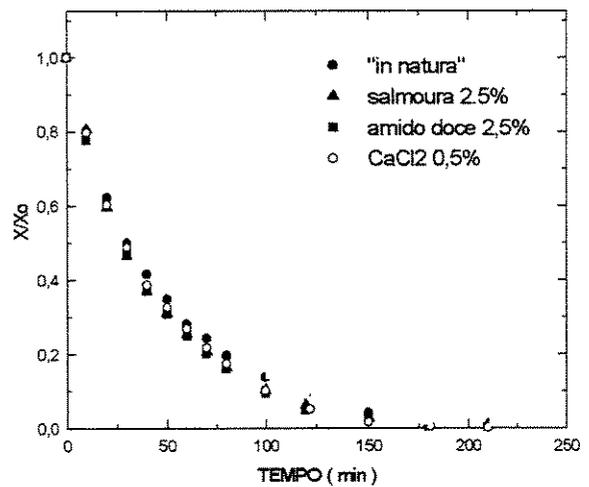
**FIGURA 4.10-** Cinética de secagem de fatias de tomate com diferentes pré-tratamentos.

### 4.3.4.5. INFLUÊNCIA DOS DIFERENTES NÍVEIS DE TEMPERATURA DURANTE A SECAGEM

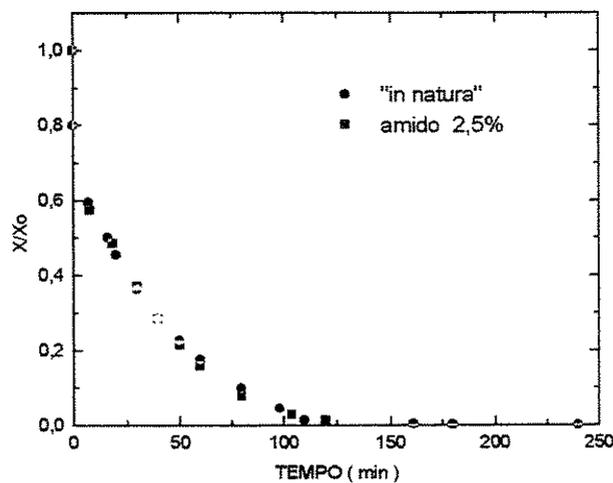
Foram feitos ensaios visando definir condições iniciais de temperatura do ar de secagem mais altas, usando fatias de tomate que sofreram diversos pré-tratamentos. Os resultados são mostrados na Figura 4.11.



A) Pré-secagem a 80°C por 50min.



B) Pré-secagem a 100°C por 30 min.



C) Pré-secagem a 150°C, por 8 min.

FIGURA 4.11- Cinética de secagem de fatias de tomate com temperaturas de início de secagem mais altas.

A Figura 4.11.A, apresenta curvas obtidas com o ar de secagem mantido a 80°C por 50min e então abaixado a 60°C. Na Figura 4.11.B, as curvas correspondem a uma secagem inicial a 100°C por 30min, com o acabamento a 60°C. A Figura 4.11.C, mostra as curvas dos ensaios da secagem inicial a 150°C por 8min e secagem final a 60°C.

O ensaio com secagem inicial a 80°C (ver Figura 4.11,A) mostrou uma taxa de remoção muito maior que a secagem uniforme a 60°C (Figura 4.10), e também exibiu um efeito diferenciado devido a incorporação de diferentes solutos.

A pré-secagem a 100°C, e sobretudo a pré-secagem a 150°C, além de aumentar ainda mais a taxa de secagem, praticamente anulou a influência dos pré-tratamentos por impregnação de solutos (Figura 4.11,B e C). As curvas obtidas com diferentes pré-tratamentos definem novamente a temperatura como a variável de maior importância no processo.

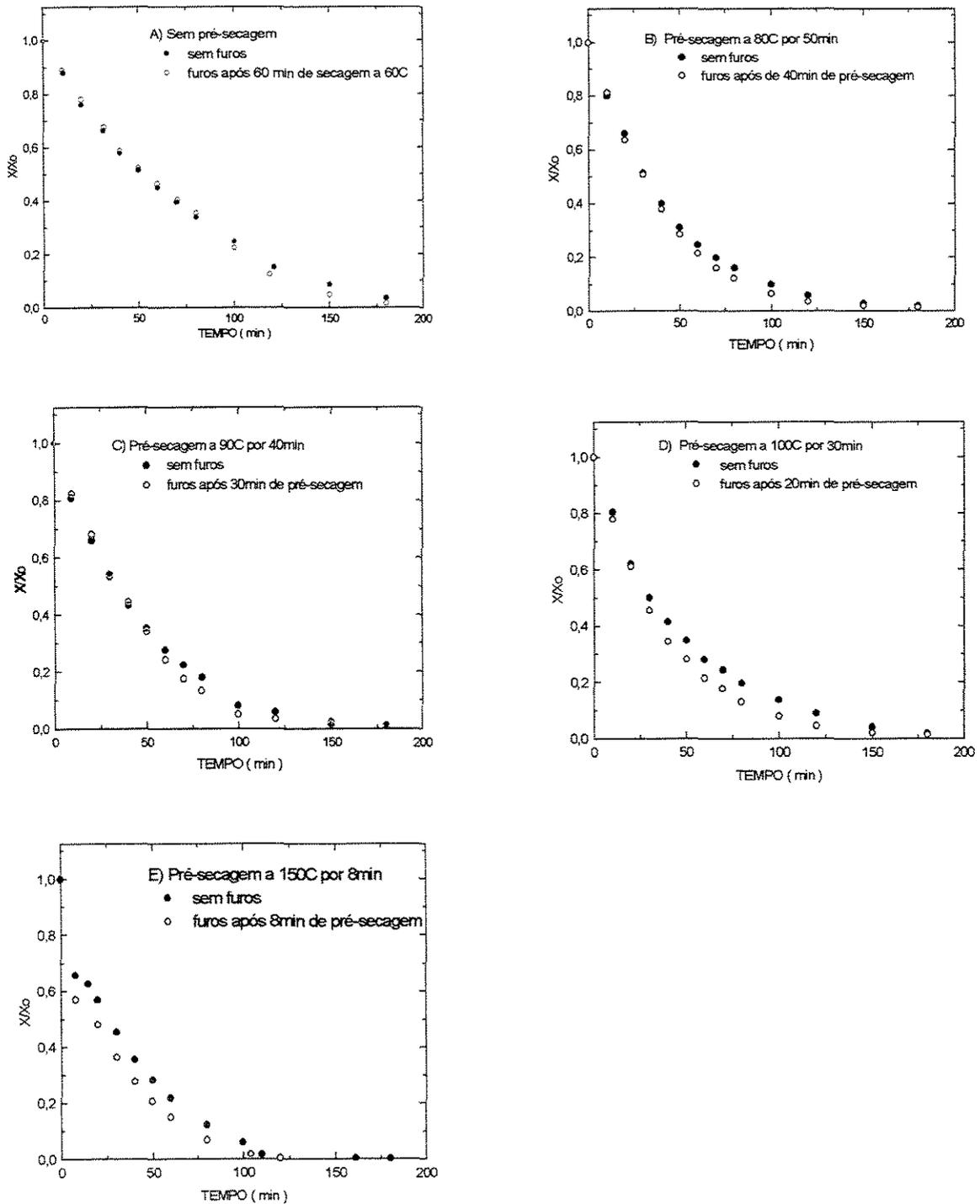
A pré-secagem a 150°C por 8min gerou grande perda de compostos aromáticos e formação de *off flavor*. É uma operação de difícil controle e portanto, não recomendado.

#### **4.3.4.8. INFLUÊNCIA DE PERFURAÇÕES NA CINÉTICA DE SECAGEM DE FATIAS DE TOMATE**

Os orifícios nas fatias foram feitos da maneira explicada na Seção 3.1.6 do Capítulo 3.

No caso da secagem uniforme a 60°C, a perfuração das fatias foi feita após 60min de secagem, pois a curva de secagem indica que nesse período o tomate já perdeu a maior quantidade de água e produziu uma crosta impermeável junto à superfície.

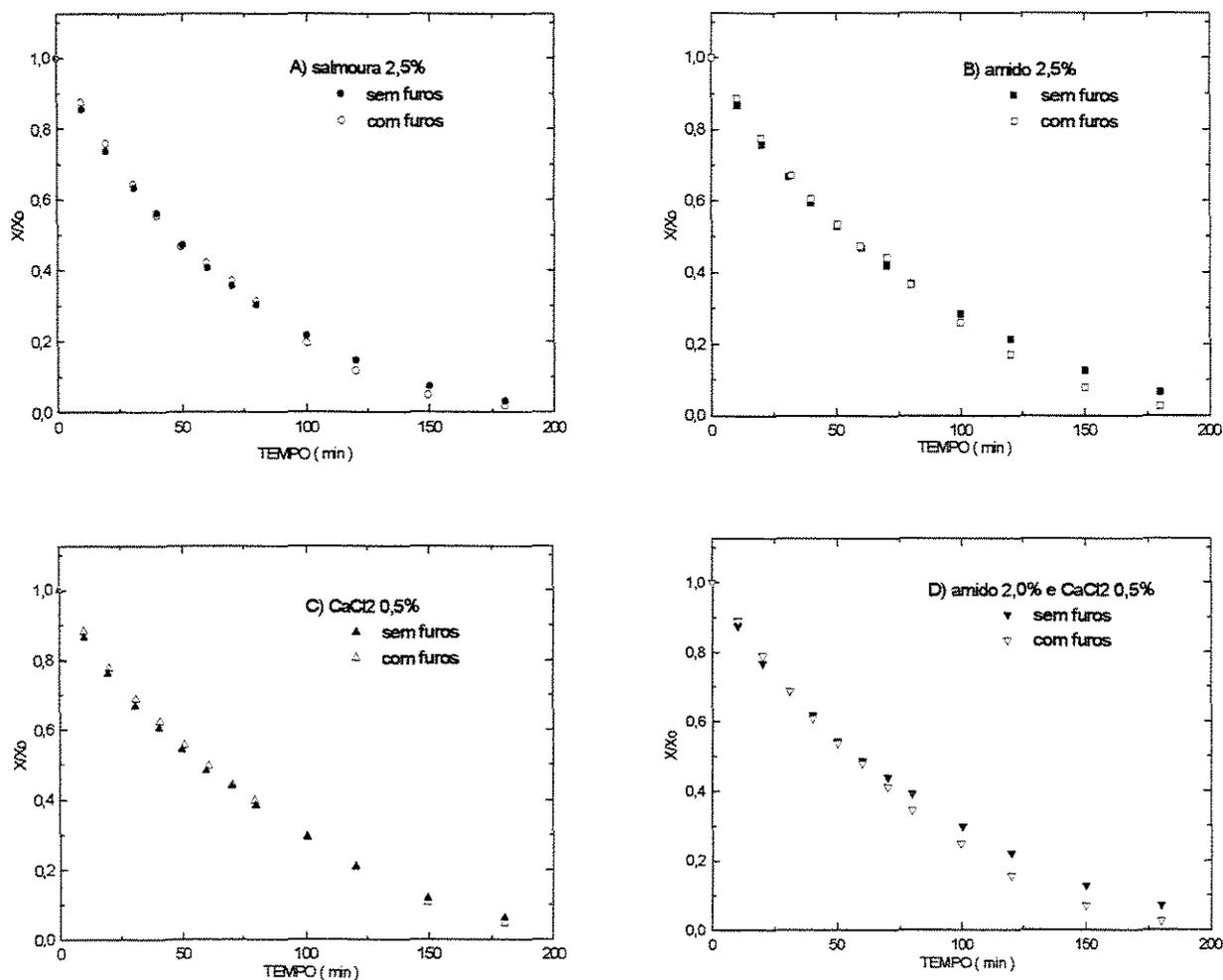
Resultados de ensaios preliminares indicaram que nas secagens com temperatura inicial maior, a perfuração das fatias deveria ser feita minutos antes de



**FIGURA 4.12-** Comparação da cinética de secagem das fatias de tomate, *in natura*, com furos e sem furos

efetuar o abaixamento da temperatura do ar, pois desta maneira os furos permaneciam abertos, continuando a facilitar a saída de umidade do interior da fatia.

As curvas da Figura 4.12, indicam que os furos tendem a aumentar a taxa de secagem, e que a diferença fica menos pronunciada na etapa final da secagem. Além de mostrar ainda que na secagem de tomate *in natura* a 60°C, o efeito dos furos é muito pequeno, e que, a medida que temperatura do ar de secagem foi aumentada, cresce o efeito das perfurações.

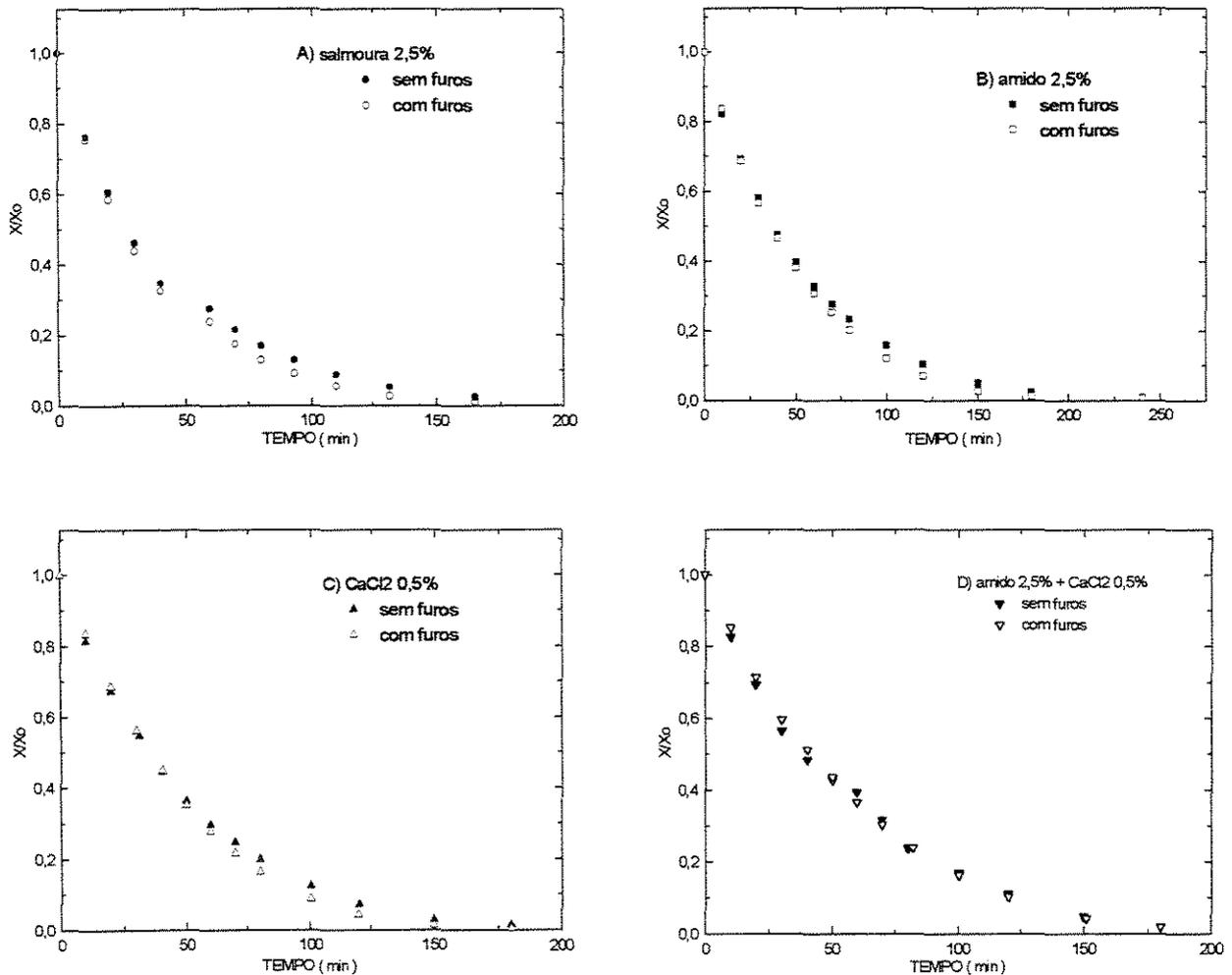


**FIGURA 4.13-** Comparação das cinética de secagem de tomates com pré-tratamentos diferentes e temperatura de secagem de 60°C. Furos nos 60min.

As curvas na Figura 4.13, indicam que as perfurações praticamente não tem influencia no comportamento da cinética de secagem das fatias pré-tratadas com salmoura (Figura 4.13.A) e com  $\text{CaCl}_2$  (Figura 4.13.C).

Nos casos de pré-tratamentos com amido e com combinação amido e  $\text{CaCl}_2$ , nota-se um ligeiro incremento na taxa de secagem final (Figura 4.13.B e D).

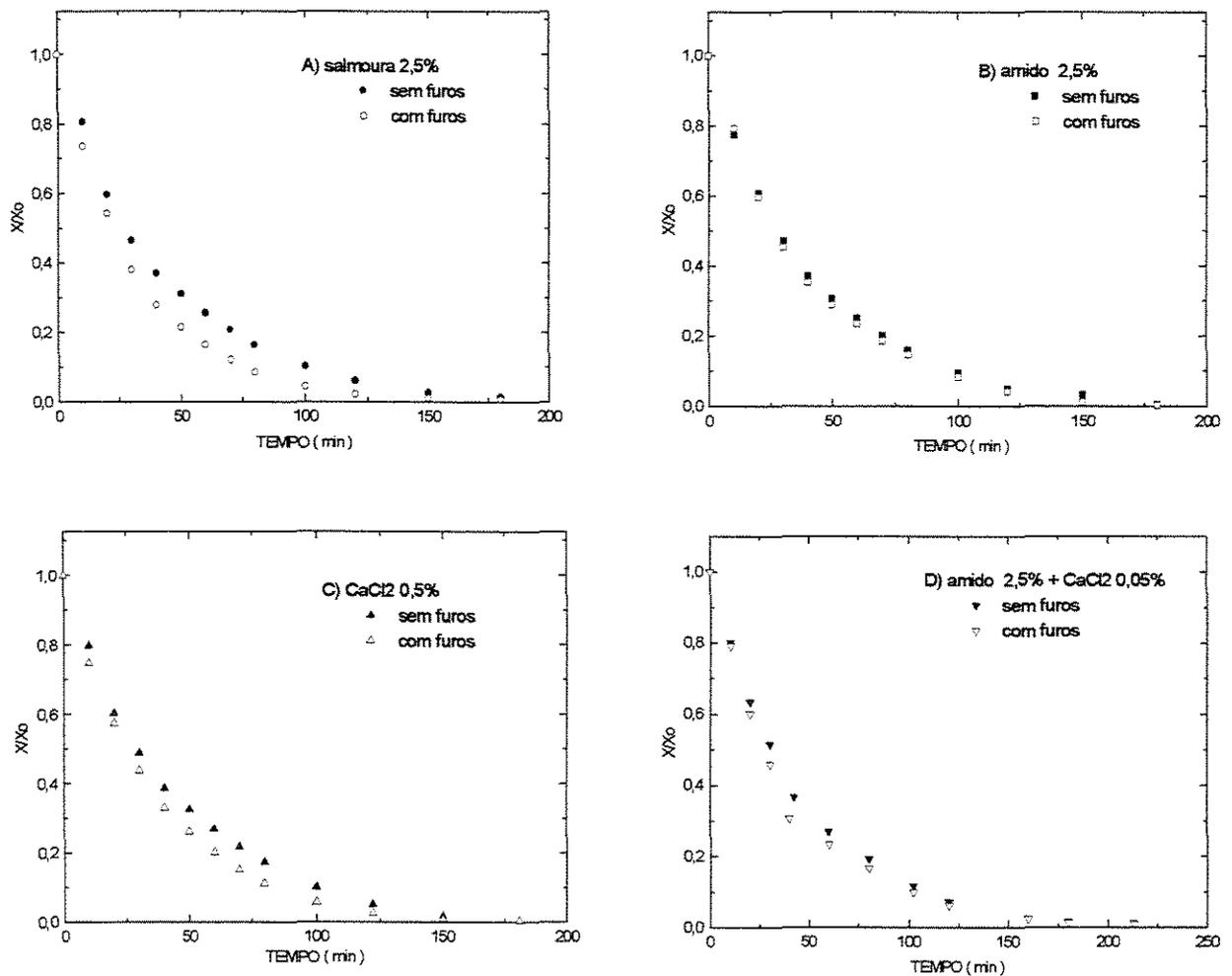
Quando se combina o tratamento com solutos e a secagem com a temperatura inicial de  $80^\circ\text{C}$  por 50min, (Figura 4.14), observa-se novamente um pequeno efeito das perfurações sobre a cinética de secagem.



**FIGURA 4.14-** Comparação das cinética de secagem das fatias de tomate com pré-tratamentos diferentes, pré-secagem a  $80^\circ\text{C}$  por 50min, furos aos 40min.

Com temperatura inicial de 100°C, o efeito fica mais pronunciado, sobretudo nos pré-tratamentos com salmoura e CaCl<sub>2</sub>, conforme pode ser visto na Figuras 4.15.A e C.

Esses ensaios indicam portanto, que as perfurações tem influência mais pronunciada nas situações em que se tem altas taxas de secagem e maior impregnação de soluto, confirmando assim, a formação de uma maior e mais rápida impermeabilização de superfície nestes casos.



**FIGURA 4.15-** Comparação das cinética de secagem das fatias de tomate com pré-tratamentos diferentes e pré-secagem de 100°C por 30 min, furos aos 20min.

Durante a perfuração das fatias pré-tratadas com amido, notou-se a separação de um filme fino superficial nas fatias, produzida pelo gel de amido que secou.

De todos os aspectos de influência na cinética de secagem estudados, A pele do tomate mostrou ser o fator mais determinante na cinética de secagem e na qualidade final do produto final. Nos casos dos tomates sem pele, a temperatura do ar de secagem é praticamente quem define a qualidade final do produto, assim como a taxa de secagem. Confirmou-se que a presença ou ausência de uma ou mais partes estruturais do tomate assim como o tamanho das fatias, influenciam nitidamente na cinética de secagem.

A secagem com diferentes níveis de temperatura mostrou ter maior efeito que os pré-tratamentos e as perfurações na taxa de secagem das fatias. Nas fatias pré-tratadas, o comportamento é diferente para as diferentes condições de secagem usadas.

#### **4.3.5. MONITORAMENTO DA SECAGEM DAS FATIAS DE TOMATE**

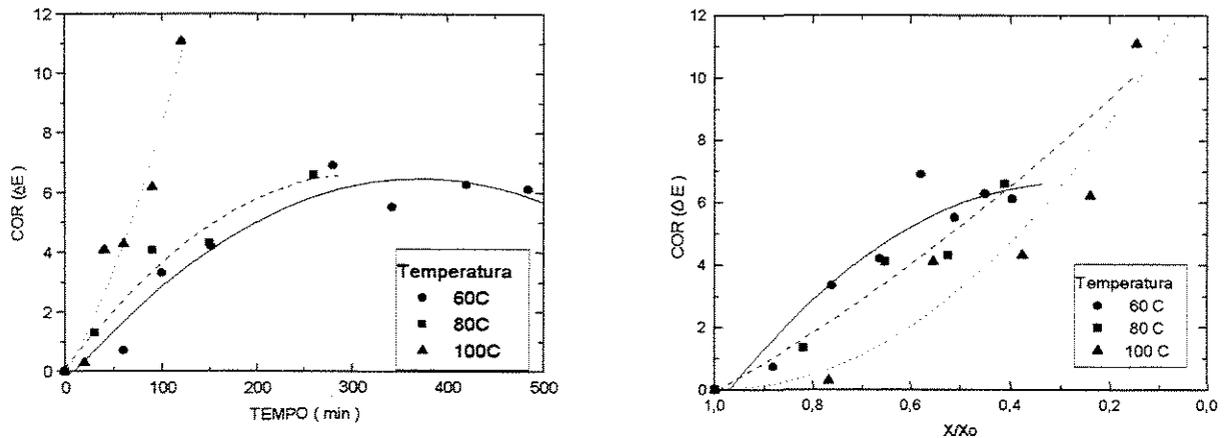
Nesta etapa da pesquisa, fez-se o acompanhamento das mudanças de qualidade que ocorreram durante o processo de secagem das fatias de tomate *in natura*. Como fatores de controle de qualidade escolheu-se a cor e o conteúdo de ácido ascórbico.

##### **4.3.5.1. VARIAÇÃO NA COR**

Para a determinação da variação de cor nas fatias de tomate *in natura* sem pele ao longo da secagem, usaram-se temperaturas do ar de 60°C, 80°C e 100°C. Os valores obtidos são a média de leituras de cor de 4 a 5 fatias diferentes. Calculou-se a diferença de cor ( $\Delta E$ ) mediante a Equação 3.3. Esses resultados foram locados num gráfico  $\Delta E$  em função do tempo de secagem e em função da umidade residual das fatias de tomate, como se mostra nas Figuras 4.16.A, e B.

Nas Figuras 4.16.A e B, evidencia-se a intensificação da diferença de cor, para todas as amostras, com um comportamento diferenciado para cada temperatura de ar

usada. Assim a 60°C,  $\Delta E$  cresce até um valor próximo de 6 em um tempo de 350min que se mantêm até o final da secagem; a 80°C a taxa de incremento de  $\Delta E$  é maior chegando a um valor de 6 em um tempo próximo a 250min; a 100°C o  $\Delta E$  cresce drasticamente chegando em apenas 75min ao valor de 6, e continua a crescer.



A)

B)

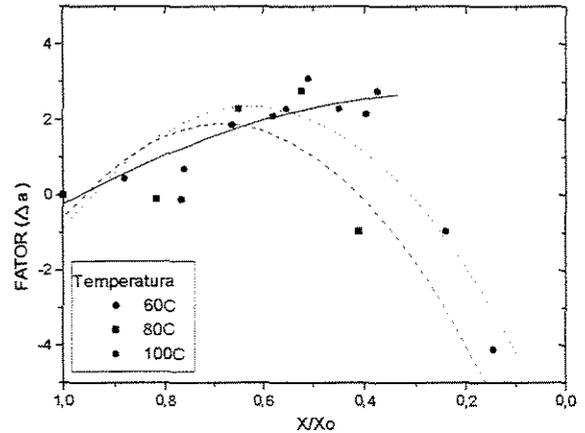
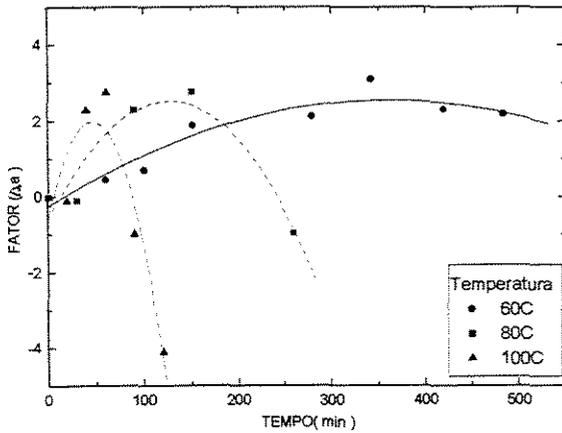
**FIGURA 4.16-** Variação da cor  $\Delta E$  com o tempo e com o teor de umidade nas fatias de tomate durante o processo da secagem.

O comportamento de  $\Delta E$  em relação à umidade é basicamente o mesmo, mas as curvas são mais convergentes, indicando que a concentração dos pigmentos com a evaporação de água tem um controle no início do processo.

Para melhor compreensão do comportamento da cor, fez-se um estudo dos fatores  $\Delta a$ ,  $\Delta b$  e  $\Delta L$  de forma isolada, e constatou-se que a tendência de cor nas fatias é devida principalmente ao efeito dos fatores  $\Delta a$  (vermelho-verde) e  $\Delta L$  (branco-preto).

No estudo isolado dos fatores  $\Delta a$  e  $\Delta L$  nas Figuras 4.17, e 4.18, nota-se que inicialmente o vermelho intensifica-se em todos os casos (fator  $\Delta a$  positivo), mas as

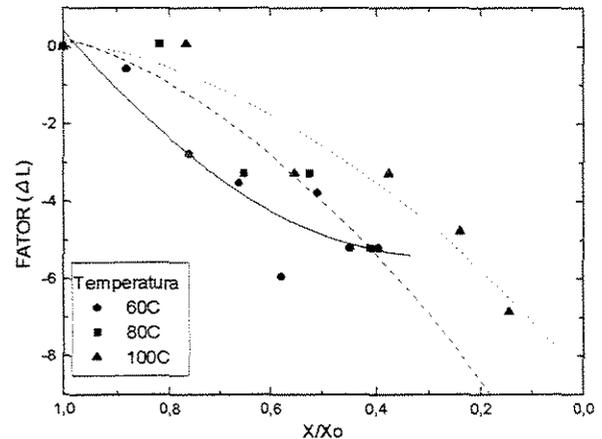
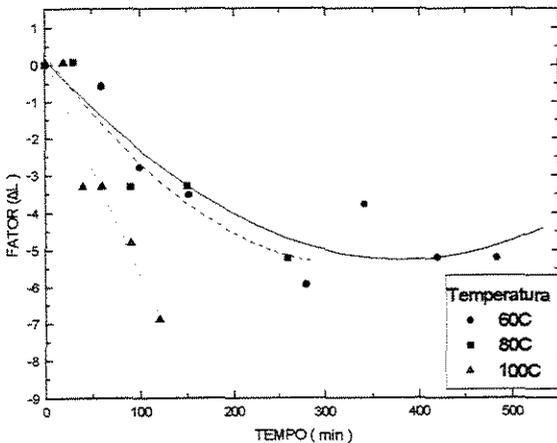
fatias logo perdem a luminosidade (fator  $\Delta L$  negativo). A geração de pigmentos escuros afeta o vermelho, que passa a ter valores  $\Delta a$  negativos.



A)

B)

FIGURA 4.17- Variação do fator  $\Delta a$  da cor com o tempo (A), e com o teor de umidade (B)



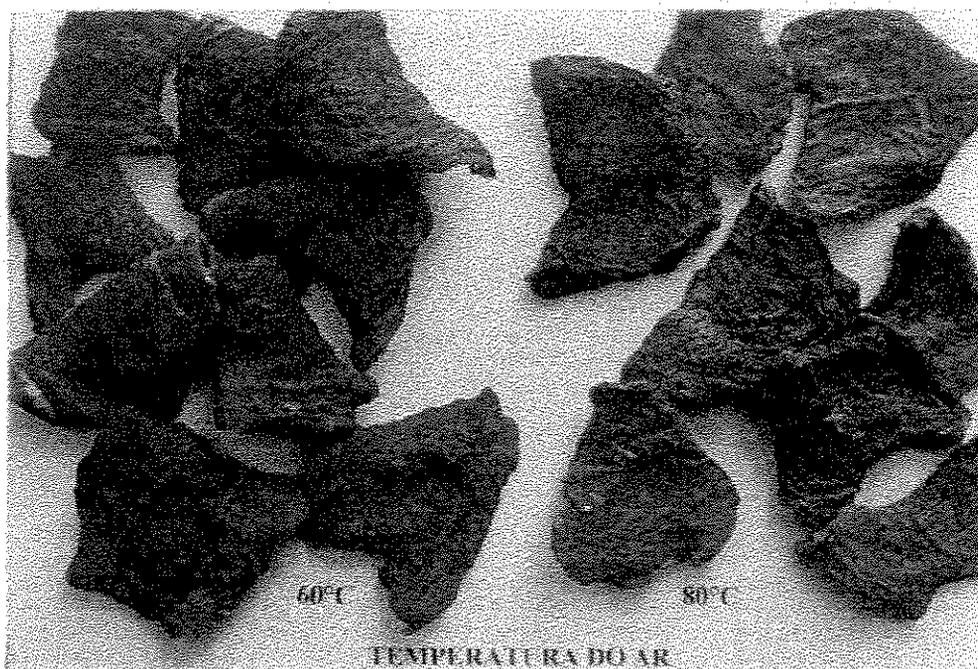
A)

B)

FIGURA 4.18- Variação do fator  $\Delta L$  da cor com o tempo (A), e com o teor de umidade (B)

O comportamento a 60°C é bem diferenciado do de 80°C e 100°C. A cor vermelha tende a se intensificar com relação ao tempo, iniciando uma reversão após 350min (Figura 4.17.A). Essa perda de qualidade ocorre muito antes, na secagem a 80°C e 100°C. A Figura 4.17.B é mais esclarecedora, entretanto, pois indica que a secagem a 60°C não produziu um material tão seco como a secagem a 80°C e 100°C, e portanto é provável que a tendência de  $\Delta a$  negativo seja confirmada. O formato das curvas sugere portanto a busca de uma otimização do binômio Tempo-Temperatura, procurando tirar proveito da parte ascendente das curvas (até  $X/X_0$  em torno de 0,6) a temperaturas mais altas com uma cinética de secagem mais favorável. Esse mesmo fenômeno ocorre com relação a luminosidade, observando-se uma inversão de ordem das curvas. Enquanto a Figura 4.18.A aponta a secagem a 60°C como a mais favorável, as curvas da Figura 4.18.B comprovam que uma secagem inicial a temperaturas mais altas promoveriam menos escurecimento até uma umidade residual adimensional de 0,4.

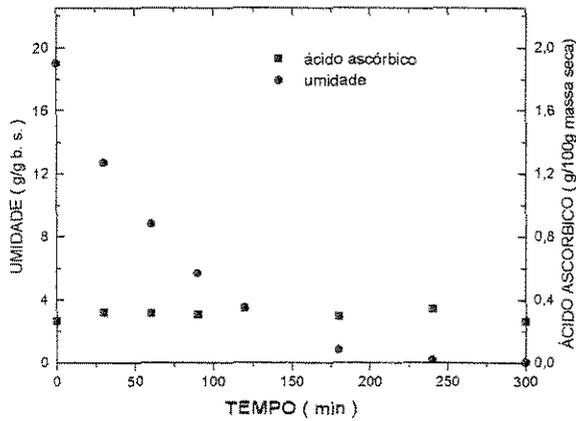
Na Figura 4.19 se mostra as diferenças de cor das fatias de tomate com secagens a 60°C e 80°C após 3 meses de efetuada a secagem. As amostras ainda evidenciam uma boa conservação da cor.



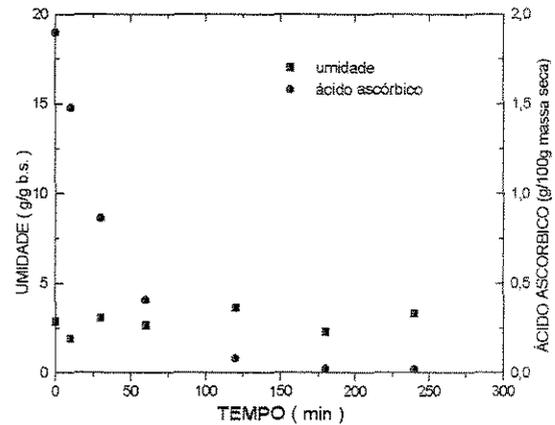
**FIGURA 4.19-** Diferença de cor das fatias secas a diferentes temperaturas

#### **4.3.5.2. VARIAÇÃO DE ÁCIDO ASCORBICO**

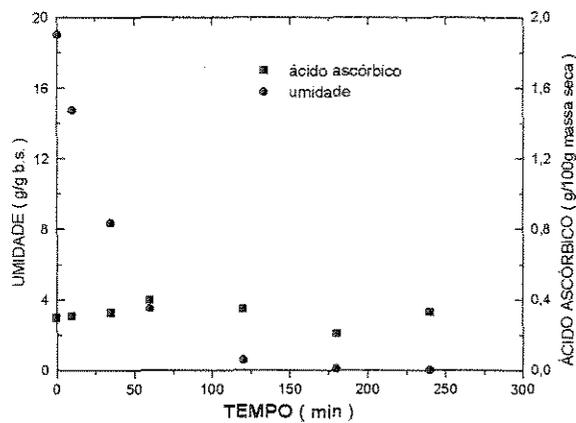
Na presente pesquisa, os resultados confirmam um bom índice de preservação do ácido ascórbico durante a secagem, mesmo nos ensaios conduzidos a uma temperatura de ar mais elevada, por curto tempo. A Figura 4.20, apresenta algumas das determinações realizadas ao longo da secagem, e indicam que o conteúdo de ácido ascórbico é mantido durante o processo. Pode-se concluir que, com a evaporação da água e a manutenção do conteúdo de ácido ascórbico, sua concentração aumenta consideravelmente no produto desidratado.



**A)** Tomate *in natura*. Temperatura de secagem de 60°C.



**B)** Tomate *in natura*. Temperatura de pré-secagem 100°C por 30 min.



**C)** Tomate, pré-tratado em salmoura 2,5% por 1min. Temperatura de pré-secagem a 100°C, por 30 min.

**FIGURA 4.20-** Variação de ácido ascórbico durante a secagem das fatias de tomate a temperaturas diferentes.

#### 4.3.6. QUALIFICAÇÃO DO PRODUTO DESIDRATADO

Nesta etapa, avaliou-se a qualidade das fatias secas mediante ensaios de reidratação, e medida das suas densidades.

#### 4.3.6.1. REIDRATAÇÃO

As fatias de tomate foram submetidas a ensaios de reconstituição em água fervente conforme detalhado em Materiais e Métodos.

A reincorporação de umidade na reidratação das fatias secas sob diferentes condições de secagem exibiu um comportamento exponencial de primeira ordem e é mostrada nas Figuras 4.21, 4.22, e 4.23. Observou-se um comportamento muito semelhante em todas as situações estudadas, ocorrendo uma rápida reidratação inicial, com o equilíbrio prático alcançado em menos de 7 minutos, para todos os casos considerados.

A Tabela 4.3, apresenta os valores da % de absorção de água pelo tomate seco a 60°C, com e sem perfuração. O resultado é praticamente o mesmo, conforme pode ser observado pela Figura 4.21.A. A pequena diferença pode ser imputada à dificuldade na reprodutibilidade do enxugamento da fatia, após a hidratação e ao fato de que cada ponto corresponde a uma amostra diferente.

**TABELA 4.3-** Reidratação de fatias de tomate *in natura* secas *in natura* a 60°C.

Tempo de reidratação (min)	% DE ABSORÇÃO	
	Com furos	Sem furos
5	75,9	80,3
15	83,9	80,3
25	84,3	84,8

Os dados da Tabela 4.3. e a Figura 4.21.A, mostram que no caso da secagem a 60°C, os furos nas fatias não tiveram nenhum efeito na reidratação.

#### 4.3.6.1.1. REIDRATAÇÃO DE FATIAS DE TOMATE *IN NATURA* SECAS SOB TEMPERATURAS DIFERENTES

As curvas da % de Reidratação de fatias de tomate *in natura* secas a temperaturas mais altas estão na Figura 4.21. Nesses casos, observa-se um efeito mais pronunciado dos orifícios sobre a água absorvida, mas o valor da percentagem de absorção limite permanece em torno de 85% (Tabela 4.4), exceto no tratamento a temperatura mais alta (pré-secagem a 100°C). Portanto, pode-se concluir que as perfurações feitas nas fatias não trazem vantagens no que respeita a melhorar a reidratação das fatias.

**TABELA 4.4-** Efeito da temperatura de secagem e dos furos nas fatias secas *in natura*.

TEMPERATURA °C	Tempo de reidratação (min)	% DE ABSORÇÃO	
		Com furos	Sem furos
80°C	5	80,03	80,05
	15	88,61	85,19
	25	90,55	85,28
pré-secagem: 80°C por 50min.	5	72,61	70,40
	15	80,54	78,33
	25	80,79	78,36
pré-secagem: 90°C por 50min.	5	78,14	76,50
	15	81,95	81,21
	25	84,15	85,58
Pré-secagem: 100°C Por 30 min.	5	68,85	77,40
	15	88,35	80,98
	25	86,39	89,19

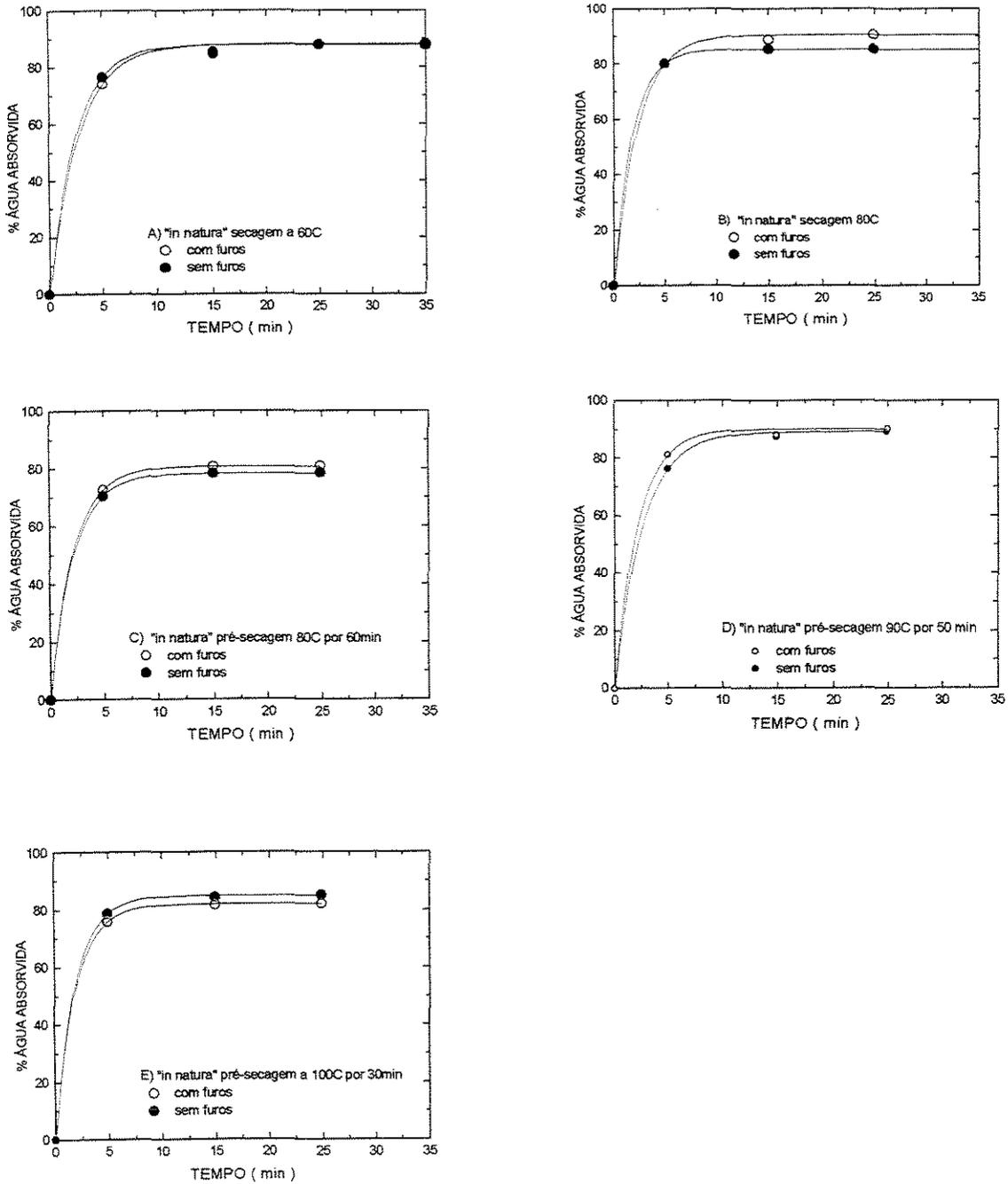
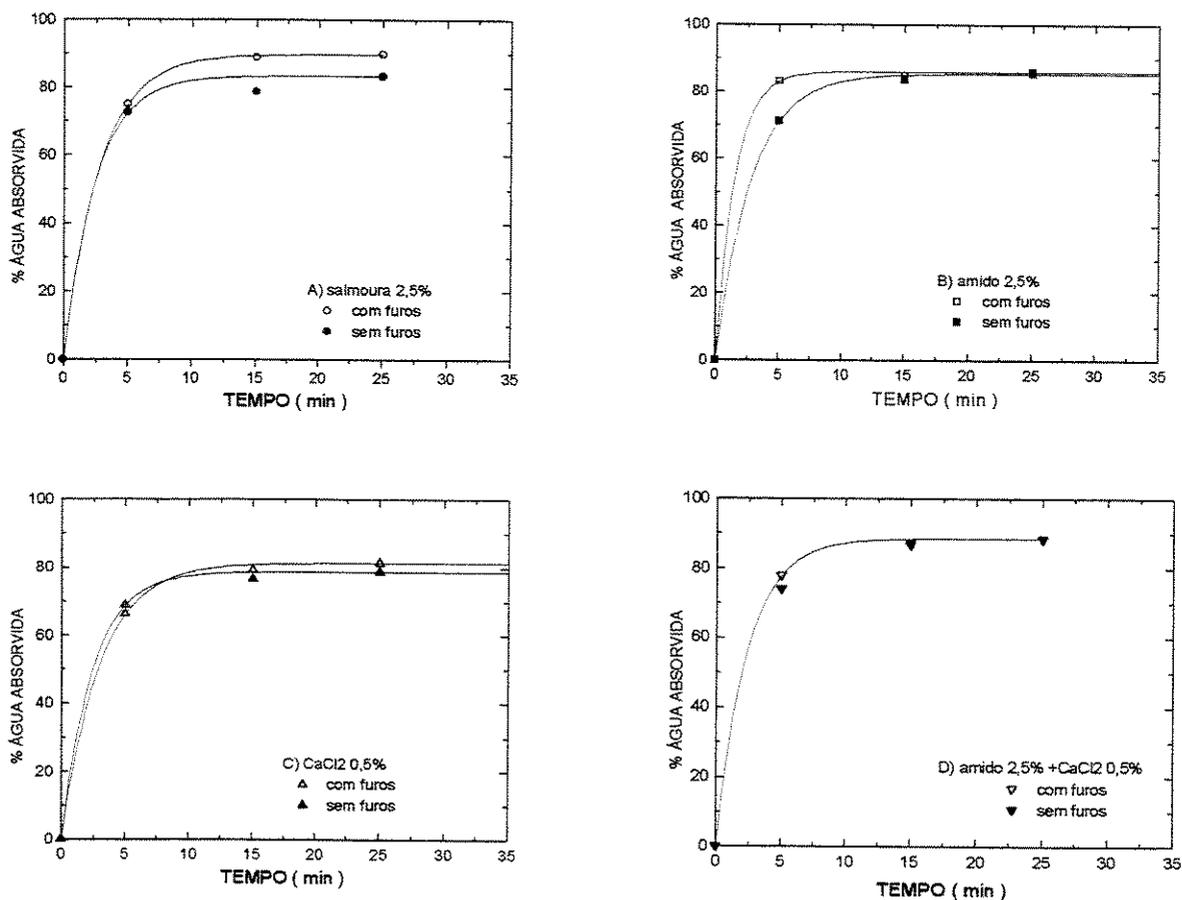


FIGURA 4.21- Comportamento da reidratação nas fatias *in natura*, secas a diferentes temperaturas.

#### 4.3.6.1.2. REIDRATAÇÃO DE FATIAS DE TOMATE PRÉ-TRATADAS E SECAS

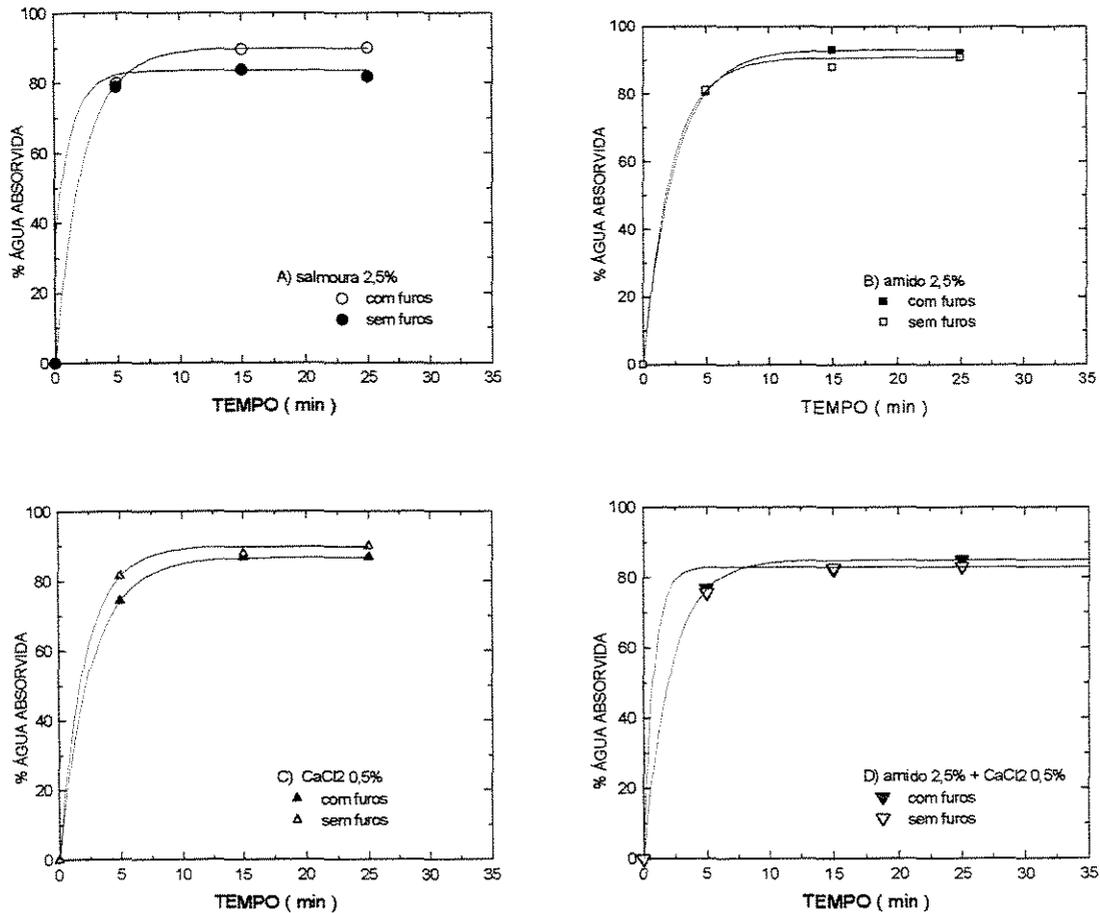
Na reidratação de fatias de tomate pré-tratadas secas à temperatura de 60°C, o pré-tratamento com amido e a combinação de amido e  $\text{CaCl}_2$  apresentaram o melhor comportamento, seguidos do pré-tratamento com  $\text{CaCl}_2$  e salmoura.



**FIGURA 4.22-** Comportamento da reidratação nas fatias de tomate secas com diferentes pré-tratamentos à temperatura de 60°C e perfuração das fatias nos 60 min.

Com relação as perfurações, ocorreu maior efeito nas fatias pré-tratadas com salmoura, e efeito menor no tratamento com  $\text{CaCl}_2$  (Figuras 4.22.A e C). Os furos não tiveram efeito nos pré-tratamentos com amido e amido e  $\text{CaCl}_2$  conforme as curvas das Figuras 4.22.B e D.

A Figura 4.23 mostra que o melhor efeito na reidratação das fatias submetidas a temperatura de pré-secagem de  $100^\circ\text{C}$  foi obtido com o pré-tratamento de amido e  $\text{CaCl}_2$ .



**FIGURA 4.23-** Comportamento da reidratação nas fatias de tomate secas com diferentes pré-tratamentos à temperatura de pré-secagem de  $100^\circ\text{C}$  por 30min e furo das nos 20min.

As perfurações tiveram o efeito maior nos pré-tratamentos com salmoura e amido, conforme pode ser observado também nas Figuras 4.23.A e C.

#### 4.3.6.2. DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE

Os ensaios para a determinação das densidades, mostraram que a densidade do tomate *in natura* seco a 60°C é  $1,13 \pm 0,07$ g/mL, e esse valor aumenta conforme aumenta a temperatura de pré-secagem. Esses dados são mostrados na Tabela 4.5. Pode-se observar também que as fatias *in natura* furadas e secas, apresentam densidades menores do que aquelas sem furos.

Os pré-tratamentos adotados neste estudo, mostraram o efeito da diminuição de densidade das fatias de tomate secas, quando comparados com as fatias *in natura*, sob as mesmas condições de secagem. O efeito mais relevante foi o pré-tratamento da salmoura.

**TABELA 4.5-** Densidade das fatias de tomate seco.

FATIAS DE TOMATE	DENSIDADE(g/mL)	
	SEM FUROS	COM FUROS
<b>IN NATURA</b>		
<b>TEMP. SECAGEM</b>		
60C	1,13	1,12
PRÉ-SEC.80	1,35	1,30
PRE-SEC.100	1,37	1,21
<b>PRÉ-SECAGEM A 100C POR 30 MIN</b>		
<b>PRÉ-TRATADAS</b>	<b>SEM FUROS</b>	<b>COM FUROS</b>
SALMOURA	1,13	1,13
CaCl <sub>2</sub> 0,5%	1,35	1,34
AMIDO	1,26	1,20
AMIDO+CaCl <sub>2</sub>	1,23	1,20

#### 4.4. RESISTÊNCIA A TRANSFERÊNCIA DE MASSA DA PELE DO TOMATE

Os estudos já apresentados indicam uma importante influência da pele do tomate, durante a secagem reduzindo a taxa de transferência de umidade. Sua remoção, entretanto, implica em perdas de massa de nutrientes e de resistência mecânica das fatias .

Fez-se um estudo visando quantificar de forma efetiva o poder impermeabilizante da pele e em seguida procurou-se métodos para aumentar sua permeabilidade, sem afetar muito a sua integridade mecânica.

##### 4.4.1. PERMEABILIDADE DA PELE

O comportamento da curva de secagem do tomate inteiro e com pele, mostrado na Figura 4.3, confirmou de imediato, o notável poder impermeabilizante da pele, que reduziu em cerca de 15 vezes a taxa de secagem inicial do tomate sem pele. A taxa de secagem do tomate com pele se manteve constante por um período ligeiramente superior a 40 min de operação. A partir desse momento, a pele de tomate começa a apresentar rachaduras, sobretudo na parte em contato com a tela da bandeja, o que facilita a evaporação da água e altera a inclinação das curvas de secagem.

O comportamento das curvas de secagem do tomate inteiro com pele, apresentado na Figura 4.3, sugere algumas simplificações que permitem uma estimativa da permeabilidade da pele de tomates. Assumindo que na fase inicial de secagem, a pele é a única resistência à transferência de massa e que a perda de água é suficientemente baixa de modo a não alterar a concentração de solutos do suco celular, pode-se usar a equação de difusão em regime permanente através de membranas para definir uma permeabilidade,  $P$  segundo a Equação (2.7)

A Tabela 4.6 apresenta um resultado típico obtido com ensaios de 1 hora de duração, nos quais a temperatura sob a pele do tomate era registrada por um termopar. O resultado pode ser melhor observado na Figura 4.24.

Observou-se que com aproximadamente 45min de operação, a temperatura sob a superfície do tomate com pele é cerca de 1,0°C inferior a do ar de secagem e inicia-se um período de taxa de secagem praticamente constante.

**TABELA 4.6-** Secagem de Tomates inteiros.

Tempo (min)	Tomate com pele		Tomate sem pele	
	Δ Massa evaporada (g)	Temperatura (°C)	Δ Massa evaporada (g)	Temperatura (°C)
0	0	27,4	0	28,7
10	0,10	44,4	7,98	35,8
20	0,17	51,4	6,31	36,7
30	0,26	54,8	5,20	37,4
40	0,38	57,7	4,76	38,1
50	0,40	58,8	4,20	39,4
60	0,41	59,6	4,05	42,1

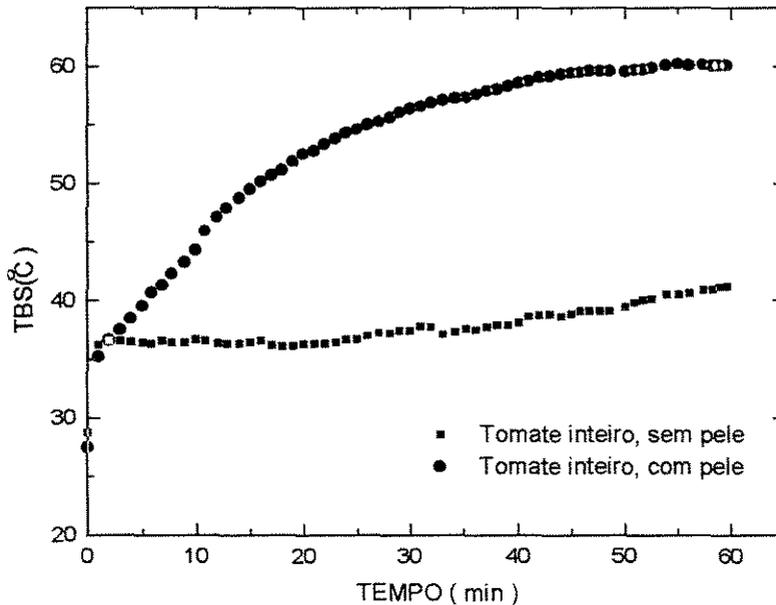
Tomate com pele: peso inicial 154,36g, área 273cm<sup>2</sup>, 3,65°Brix.

Ar : TBS=59,9°C, TBU=29,4°C.

Tomate sem pele: peso inicial 146,7g, área 260cm<sup>2</sup>, 3,65°Brix.

Ar : TBS= 60,9°C, TBU=27,6°C.

Utilizando a Equação (2.7), a permeabilidade da pele de tomate calculada nestas condições foi de  $1,25 \times 10^{-5}$  g /s cm<sup>2</sup> atm. Esse valor é duas ordens de grandeza maior do que a permeabilidade do pericarpo de um grão de milho, também determinado através da curva de secagem (TOLABA et al. 1990).



**FIGURA 4.24-** Mudança da temperatura na superfície interna do tomate *in natura*.

#### 4.4.2 TRATAMENTO COM SOLUÇÕES DE NaOH

Uma tentativa para aumentar a permeabilidade da pele foi o tratamento do tomate com soluções de NaOH, com as características apresentadas na Tabela 3.3, seguida de uma secagem, conforme a Secção 4.2.

O valor da permeabilidade determinado para a pele do tomate *in natura* mediante a Equação (2.7) foi de  $1,25 \times 10^{-05} \text{g/scm}^2 \text{atm}$ , valor próximo ao encontrado para o ponto central do planejamento fatorial em dois níveis igual a  $1,33 \times 10^{-05} \text{g/scm}^2 \text{atm}$ , como mostrado na Tabela 4.7. Por outro lado, para o estudo da resistência da pele com imersão do tomate inteiro em soluções de NaOH, foi feito um planejamento em estrela de dois níveis, com as variáveis mostradas na Tabela 4.7. Os resultados mostraram que as variáveis nas faixas usadas apresentam efeitos pouco significativos sobre a permeabilidade da pele do tomate, porém dentro das condições usadas, pode-se observar pela superfície de resposta da Figura 4.25 que o efeito da temperatura é positivo e maior do que o das outras variáveis usadas, e que o efeito da concentração

da solução de NaOH é inversamente proporcional ao aumento da permeabilidade. O tempo de imersão, nas condições usadas neste planejamento, não teve nenhum efeito.

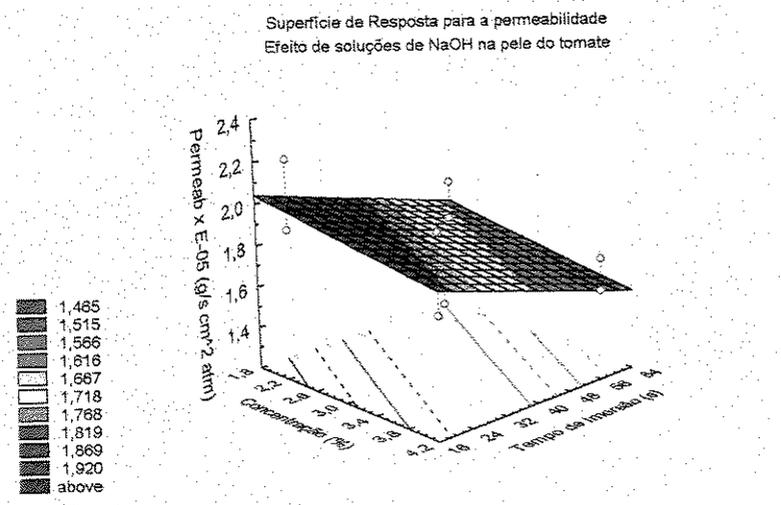
Cabe mencionar que com estes ensaios procurava-se aumentar a permeabilidade em forma homogênea em toda a superfície para facilitar a saída da umidade interna do tomate e evitar a quebra (fissuramento) localizada da pele, fato que foi observado nas secagens dos tomates *in natura*. Nas condições usadas nestes ensaios, não se obteve os resultados esperados pois a pele do tomate começa a estourar e continua abrindo-se, separada da polpa, após 20min nos casos com temperatura da solução de 60°C (nível maior) e após 40min de secagem nos ensaios com temperatura da solução de 30°C (nível menor). Nesses últimos casos o comportamento é similar ao mostrado pelo tomate *in natura*. Esse comportamento confere ao produto final um visual pouco atrativo.

Os ensaios indicam porém, que o uso de solução de NaOH a concentração inferior a 2% por tempo menor de 20s e usando temperaturas de 60-70°C é condição suficientes para conseguir apenas o ataque da pele, sem danificar nem dar tempo à penetração dessa solução na polpa de tomate.

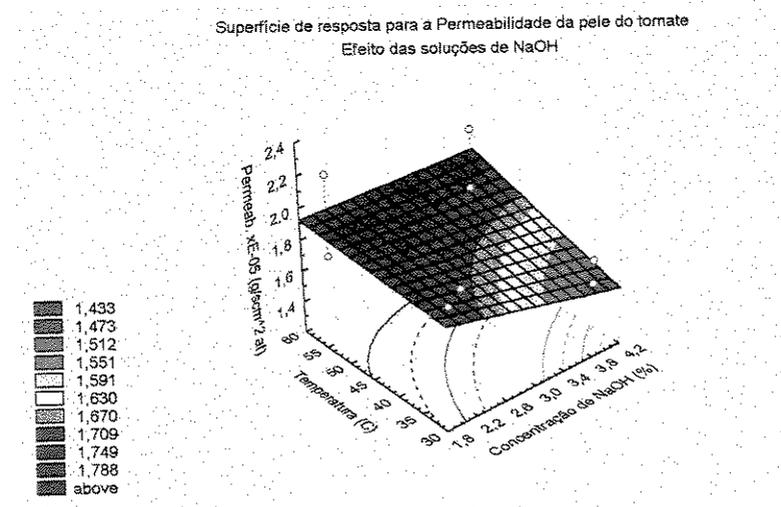
**TABELA 4.7-** Variáveis e Permeabilidade para os tomates inteiros com pele, no estudo da resistência da pele.

VARIÁVEIS			RESPOSTAS	
Concentração de NaOH (%)	Tempo de imersão (s)	Temperatura da solução (°C)	Permeabilidade (g/scm <sup>2</sup> atm)	Tempo de quebra da pele (min)
2	20	30	1,77E-05	40
4	20	30	1,58E-05	40
2	60	30	1,77E-05	20
4	60	30	1,41E-05	30
2	20	60	2,17E-05	40
4	20	60	2,05E-05	40
2	60	60	1,55E-05	20
4	60	60	1,60E-05	30
3	40	45	1,33E-05	30
<i>In natura</i>			1,25E-05	40

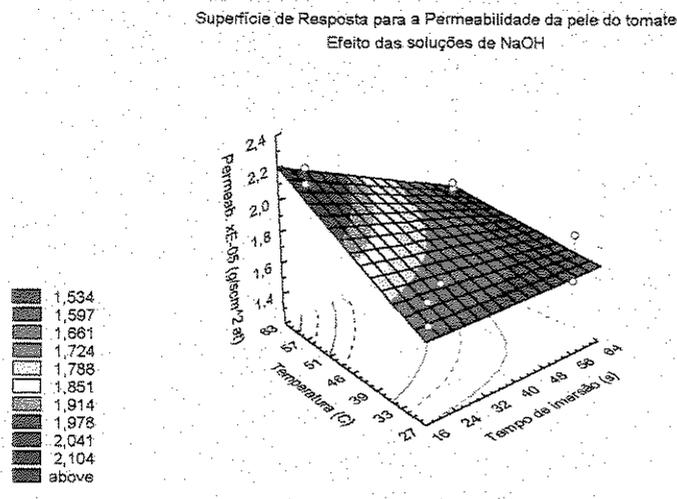
Os resultados são o valor médio de duas repetições para cada caso.



A) Interação: Concentração da solução de NaOH e Tempo de imersão.



B) Interação: Temperatura e Concentração da solução de NaOH



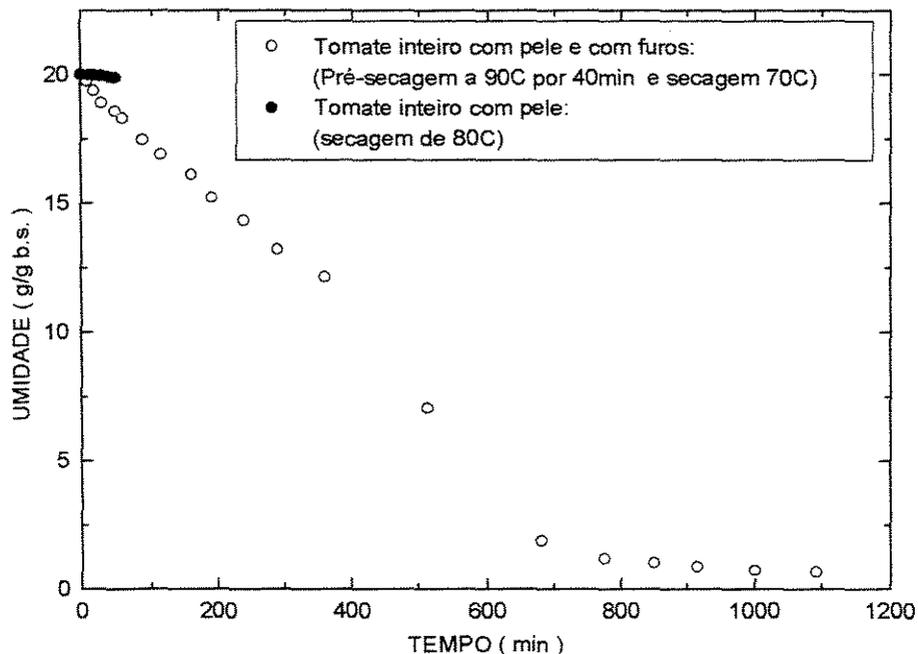
C) Interação: Temperatura da solução e Tempo de imersão

**FIGURA 4.25.** Superfície de Resposta do efeito das variáveis Concentração da solução de NaOH, Tempo de imersão, e Temperatura de solução.

#### 4.4.3. EFEITO DE PERFURAÇÕES

Como uma forma alternativa de aumentar a permeabilidade do tomate, foram feitas perfurações com densidades de 60furos/cm<sup>2</sup>, 72furos/cm<sup>2</sup> e 99furos/cm<sup>2</sup> na superfície do tomate inteiro, *in natura*, com pele. Nas duas densidades de perfurações mais altas não se obteve resultados aceitáveis pois o conjunto de agulhas era tão compacto que esmagava a polpa por compressão antes de se iniciar a perfuração da pele.

Os tomates inteiros com pele e com perfurações de 60furos/cm<sup>2</sup>, foram levados à pré-secagem à temperatura de 90°C, complementadas com secagem a 70°C, até se atingir o equilíbrio. Para comparação foi usada a cinética de secagem de tomate inteiro com pele *in natura* à temperatura de 80°C, até o momento em que surgiam rachaduras na pele. Os resultados são mostrados na Figura 4.26.



**FIGURA 4.26.** Cinética de secagem do tomate inteiro com pele, *in natura*.

Com a perfuração da pele dos tomates inteiros, conseguiu-se acelerar a taxa de secagem em comparação com o tomate sem perfurações. A pele continuava unida à polpa durante toda a secagem, dando resistência mecânica ao fruto.

A perfuração da pele mostrou ser um método mais eficiente para aumentar a transferência de umidade do que a imersão em soluções de NaOH, mas o tempo de secagem continua muito alto.

#### 4.5. ISOTERMA DE ADSORÇÃO DO TOMATE *IN NATURA* SECO

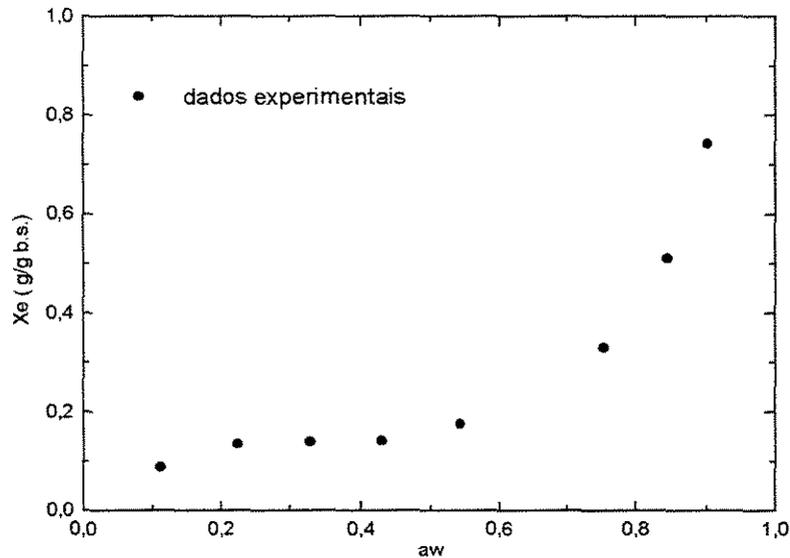
Para a obtenção dos pontos da isoterma usou-se a metodologia detalhada na Secção 3.4.3.3 do Capítulo 3. Para este estudo, as fatias de tomate *in natura* foram secas até peso constante à temperatura de 65°C e velocidade do ar de secagem de 2,5 m/s.

Pesa-filtros contendo o material foram expostos por 90 dias a um ambiente de umidade relativa constante. A Tabela 4.8 apresenta os valores médios e desvio padrão obtidos de quatro repetições feitas para cada situação correspondente às umidades relativas das soluções saturadas de sais eletrolíticas listadas na Tabela 3.3. As atividades de água foram obtidas considerando a Equação 2.10.

**TABELA 4.8-** Valores de umidade de equilíbrio para diferentes umidades relativas, a temperatura de 25°C

Atividade de água: $a_w$ (a 25°C)	Umidade de equilíbrio (g/g b.s.)	
	Média ( $\bar{x}_e$ )	desvio padrão(s)
0,113	0,0874	± 0,0052
0,226	0,1343	± 0,0068
0,332	0,1388	± 0,0267
0,438	0,1407	± 0,0141
0,529	0,1752	± 0,0121
0,753	0,3293	± 0,0671
0,843	0,5109	± 0,0123
0,903	0,7415	± 0,0648

A isoterma de adsorção do tomate *in natura*, desidratado, mostrada na Figura 4.27, foi obtida locando os dados de atividade de água em função da umidade de equilíbrio médio ( $\bar{x}_e$ ) da Tabela 4.8.



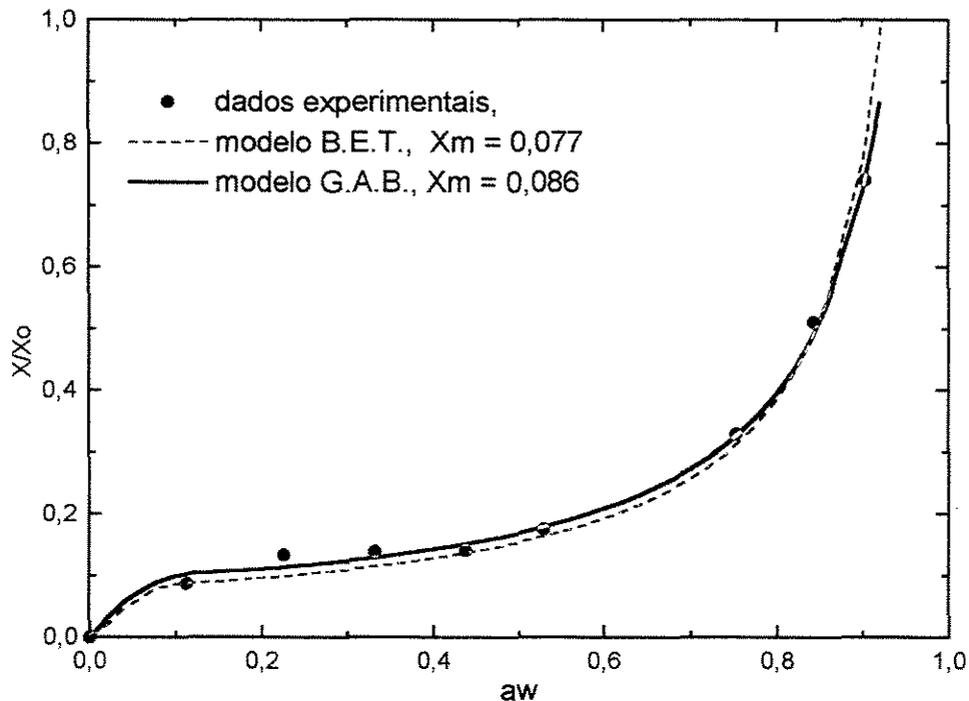
**FIGURA 4.27-** Isoterma de adsorção do tomate *in natura* seco.

Uma vez determinada experimentalmente a isoterma de adsorção, partiu-se para o ajuste dos dados com os modelos BET (Equação 2.11) e GAB (Equação 2.12). Para o segundo caso usou-se a regressão polinomial da equação de GAB transformada (Equação 2.13). O ajuste foi feito com uso do programa Origin 4.1. Os parâmetros de ajuste para ambas as equações são apresentados na Tabela 4.9.

**TABELA 4.9-** Parâmetros de ajuste das Equações B.E.T. e G.A.B.

EQUAÇÃO	Parâmetros de correlação
B.E.T.	$C_{BET} = -30,5968$ $X_m = 0,07735$
G.A.B.	$X_m = 0,08571$ $C = -88,8591$ $K = 0,980078$

As curvas resultantes do ajuste dos modelos BET e GAB, estão representadas na Figura 4.28.



**FIGURA 4.28-** Ajuste dos modelos de BET e GAB à isoterma de sorção a 25°C, de tomate *in natura* seco.

A análise estatística de erros, (BARROS et al., 1995) cujos resultados são apresentados na Tabela 4.10 mostra que a equação de GAB (Guggenhen-Anderson-de Boer), foi a de melhor ajuste aos dados experimentais.

**TABELA 4.10-** Parâmetros estatísticos de correlação das equações BET e GAB.

PARÂMETRO ESTATÍSTICO EQUAÇÃO	Soma dos quadrados dos resíduos (S)	Erro relativo médio (%R)
BET	10,33	0,0055
GAB	7,91	0,0012

Portanto, por substituição dos parâmetros obtidos na Equação 2,1, obtém-se a equação que pode ser utilizada para representar a isoterma de sorção a 25°C para o tomate *in natura* seco na faixa de 0,1 a 0,9 de  $a_w$ :

$$\frac{x}{0,086} = \frac{88,8591a_w}{(1 - 0,980a_w)(1 - 0,980a_w - 88,8591a_w)} \quad (4.1)$$

O valor de umidade correspondente à monocamada  $x_m$  da Equação de GAB (Tabela 4.10), no caso; 8,6g de água/100 g massa seca, poderá ser usado como referência para o teor de umidade crítica para manter a estabilidade do produto durante o armazenamento à temperatura de 25°C (LABUZA, 1977).

#### 4.6. MODELAGEM DA CINÉTICA DE SECAGEM DO TOMATE *IN NATURA*

Para a modelagem da cinética de secagem, foram feitos ensaios específicos usando fatias de tomate (oitavos obtidos como especificado na Secção 3.1.3, do Capítulo 3), sem pele, sem sementes e com a massa locular removida.

Duas condições operacionais de secagem foram adotadas (60°C e 80°C) com os parâmetros indicados na Tabela 4.11.

**TABELA 4.11-** Condições de operação do processo da secagem

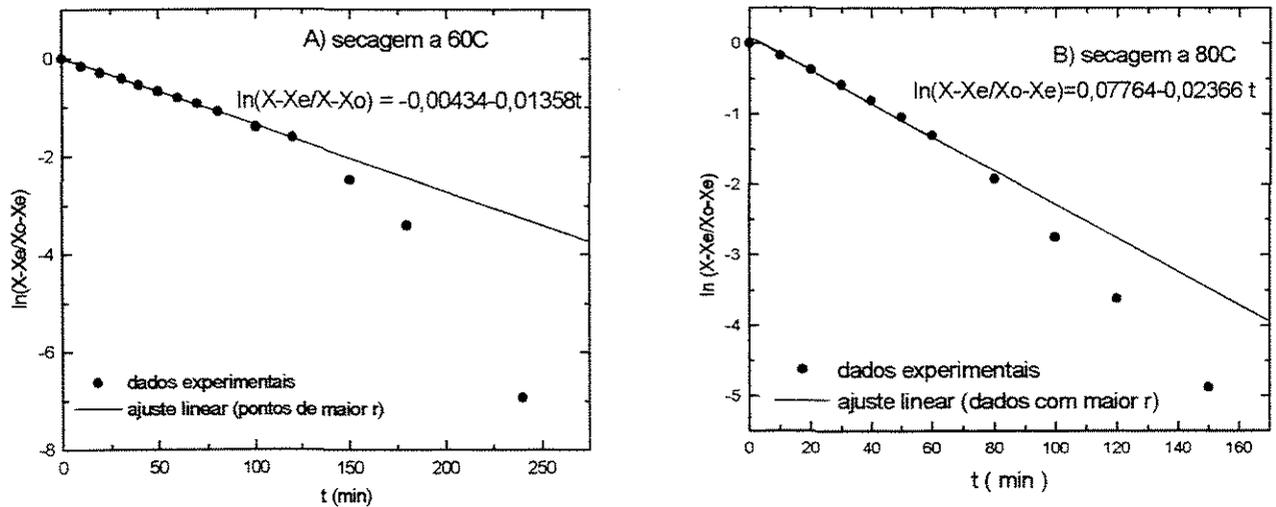
CONDIÇÃO	ENSAIO A	ENSAIO B
Temperatura do ar (°C)	60	80
TBU do ar (°C)	27	33
Umidade relativa do ar (%)	7,7	5,3
Umidade de equilíbrio do tomate (%)*	4,3	1,2

\* os valores de  $x_e$  foram obtidos a partir da isoterma a 25°C

Adotou-se como espessura das fatias, a espessura média de 8,27mm, indicada na Secção 4.2.2.

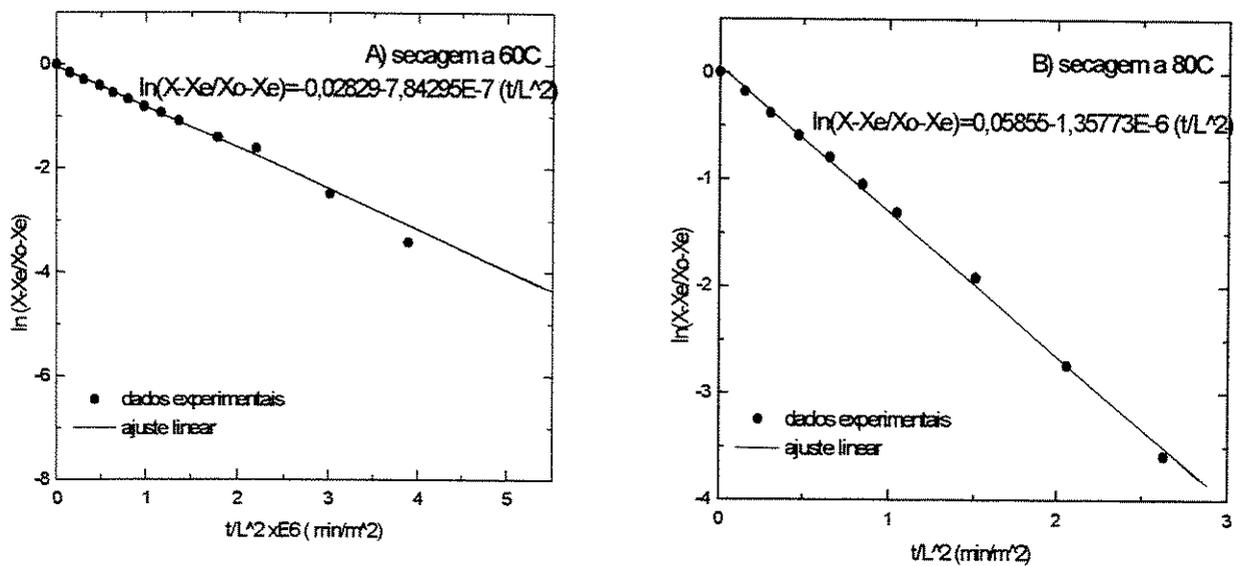
Conforme explicitado na Revisão Bibliográfica, o modelo difusional baseado na solução da 2ª Lei de Fick, mantendo constantes o coeficiente de difusividade  $D$  e a espessura da fatia,  $L$ , implica em uma relação linear entre:  $\ln\left(\frac{X - X_e}{X_o - X_e}\right)$  e  $t$ , quando o número de Fourier for suficientemente alto para permitir o uso de apenas um termo da solução em série (Equação 2.3).

A Figura 4.29 loca os pontos experimentais obtidos com as temperaturas de 60°C e 80°C, juntamente com uma reta ajustada à parte linear inicial. O resultado deixa claro que o processo não pode ser representado pela 2ª Lei de Fick pois após 2 horas de secagem, os pontos experimentais indicam uma secagem mais eficiente do que a prevista pelo modelo. O ajuste é muito pior quando todos os pontos são considerados. HAWLADER et al. (1991) obtiveram essa mesma tendência, e atribuíram o melhor desempenho da secagem na prática ao aumento da temperatura de partícula e a diminuição da espessura da fatia. É possível também que a difusividade no estado gasoso passe a ter maior contribuição. O modelo de HAWLADER et al. (1991) adequa os desvios da 2ª Lei de Fick através de uma correção de espessura (Equação 2.6), com um parâmetro de ajuste,  $n$ .



**FIGURA 4.29-** Correlação com o modelo de Fick, dos dados experimentais da secagem a 60°C e 80°C de fatias de tomate (oitavos).

Quando o modelo de Hawlader foi aplicado aos dados experimentais, obteve-se um parâmetro de ajuste,  $n=0,08$ , e o resultado está na Figura 4.30.



**FIGURA 4.30.** Correlação para obtenção dos parâmetros do modelo de Hawlader, para a cinética de secagem de fatias de tomate *in natura* a 60°C e 80°C.

A partir dos parâmetros obtidos das Figura 4.29. e 4.30 fez-se o ajuste dos modelos para as cinética de secagem a 60°C e 80°C, obtendo-se os resultados mostrados na Figura 4,31,A e B respectivamente.

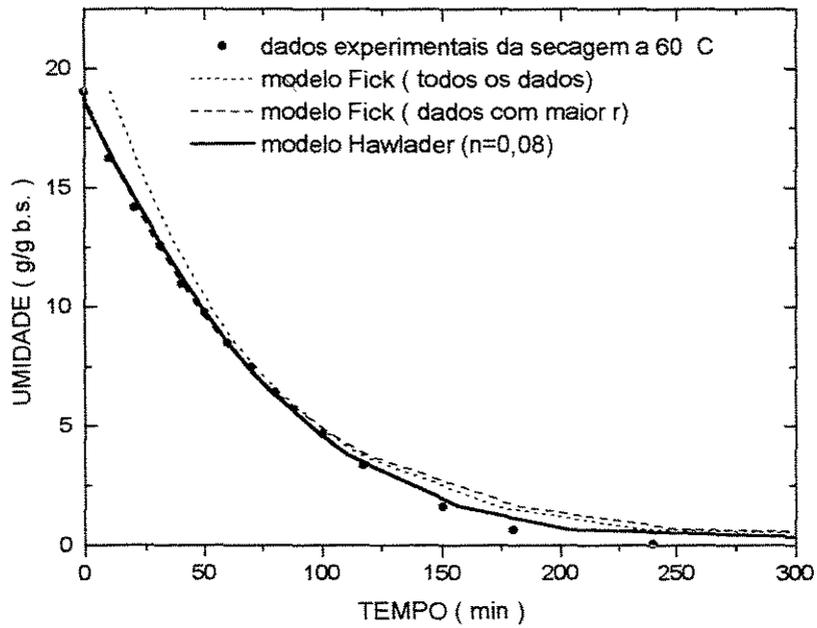


FIGURA 4.31- Modelagem da cinética de secagem do tomate *in natura* a temperatura de 60°C.

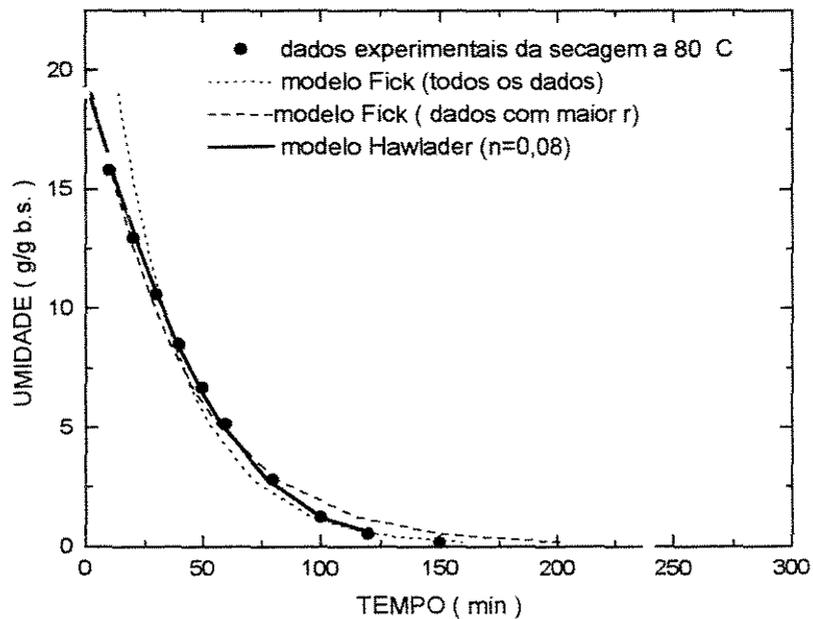


FIGURA 4.32- Modelagem da cinética de secagem do tomate *in natura* a temperatura de 80°C.

Para a melhor qualificação dos modelos, os resultados da análise estatística de erros (BARROS et al., 1995), são relacionados na Tabela 4.12.

**TABELA 4.12-** Parâmetros estatísticos de correlação das equações da cinética de secagem para temperaturas de 60 e 80°C.

MODELO	ERRO RELATIVO MÉDIO (% R)	
	60°C.	80°C.
<b>Fick</b>		
• Considerando todos os pontos	0,31	0,99
• Considerando os pontos de maior correlação.	0,15	0,11
<b>Hawlder n=0,08</b>	0,08	0,04

A análise das Figuras 4.31 e 4.32, e os resultados do estudo de erros apresentada na Tabela 4.12. indicam que o modelo de melhor correlação dos dados experimentais, nos dos casos de cinética de secagem ensaiados, foi o de Hawlder com o valor de  $n=0,08$ .

# **CAPÍTULO 5**

## **CONCLUSÕES E SUGESTÕES**

### **5.1. CONCLUSÕES**

#### 1) Do equipamento

A unidade experimental usada, mostrou uma boa distribuição do ar de secagem, e características técnicas que permitiam o controle da temperatura e vazão do ar de secagem.

#### 2) Da matéria prima

Comprovou-se a importância na qualidade final do produto, da seleção do produto natural pelo estágio de maturação. O valor médio da umidade inicial das fatias de tomate não são afetadas significativamente pelos pré-tratamentos. Os valores de composição obtidos estão próximos ou dentro das faixas publicadas por outros pesquisadores, as diferenças podem ser atribuídas às variedades e métodos de análise usados.

#### 3) Dos fatores que influenciam a cinética de secagem das fatias

A temperatura do ar de secagem é praticamente quem define a qualidade final do produto, assim como a taxa de secagem. Confirmou-se que a presença ou ausência de uma ou mais partes estruturais do tomate assim como o tamanho das fatias, influenciam nitidamente na cinética de secagem. A pele do tomate mostrou ser o fator mais determinante na cinética de secagem e na qualidade do produto final.

A secagem com diferentes níveis de temperatura mostrou ter maior efeito que os pré-tratamentos e as perfurações na taxa de secagem das fatias. Nas fatias pré-tratadas, o comportamento é diferente para as diferentes condições de secagem usadas.

#### 4) Do monitoramento durante a secagem

A qualidade da cor no produto final, é melhor em temperaturas menores porém uma secagem inicial a temperaturas mais altas seguida de secagem a temperaturas menores promoveriam menos escurecimento até uma umidade residual adimensional de 0,4.

Observou-se a preservação do ácido ascórbico durante a secagem.

#### 5) Do produto final

Obteve-se um produto final, em todos os casos, com reidratação rápida. As fatias com furos mostraram maior reidratação e menor densidade real. A densidade do tomate é diretamente proporcional à temperatura de secagem.

Estudadas as características de cor, reidratação e densidade, pode-se concluir que a condição ótima para a secagem do tomate é usar fatias sem pele, com pré-secagem a 80°C por 50min, perfuradas aos 40min, e complementadas com secagem a 60°C conseguindo-se diminuir o tempo de secagem a quase 200 min.

#### 6) Dos estudos da resistência da pele

A pele é altamente impermeável. Perfurações feitas na pele do tomate inteiro *in natura* mostrou maior efeito na diminuição dessa impermeabilidade do que o tratamento por imersão em soluções de NaOH.

#### 7) Da Isoterma de adsorção e a cinética de secagem

Adotou-se o modelo de G.A.B. (Guggenheim-Andersen-deBoer), como representativo dos dados da curva de equilíbrio a 25°C do tomate seco.

Para os dados experimentais da cinética de secagem do tomate a temperaturas de 60°C e 80°C, obteve-se melhor correlação com o modelo baseado na 2ª Lei de Fick e com ajuste da espessura da fatia proposta por Hawlader, assumindo um valor de  $n=0,08$ .

## **5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- Instalar um sistema automatizado no secador, para acompanhamento da temperatura e vazão de ar durante as secagens.
- Realizar testes de análise sensorial com o produto final.
- Fazer observações ao microscópio, das alterações estruturais.
- Fazer uma análise técnico-econômica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHANTA, S.; OKOS, M.R. Predicting the quality of dehydrated foods and biopolymers - Research needs and opportunities. **Drying Technology**, 14(6): 1329-1368, 1996.
- ALZAMORA, S.M. ; CHIRIFE, J.J. e VOILLAZ, P. A simplified model for predicting the temperatures of food during air dehydration. **Journal of Food Technology**, 14: 369-380, 1979.
- AURÉLIO, B. **Novo Dicionário d Língua Portuguesa**. 14<sup>a</sup> Ed. Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1975.
- BALASUBRAMANIAN, T. Studies on quality and nutritional aspects of tomato. **Journal of Food Science and Technology**, 21(Nov./Dec.): 419-421, 1984.
- BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; VEJA-MERCADO, H. **Dehydration of Foods**, Chapman & Hall, E.U.A, 1996. 330p.
- BARRETT, D.M.; GARCIA, E. WAYNE, J.E. Textural modification of processing tomatoes. **Critical Reviews in Food and Nutrition**, 38(3):173-258, 1998.
- BARRETT, R.L. **Conservação pós-colheita de tomate (licopersicon esculentum mill) do cultivar gigante kada submetido a choque a frio e armazenado com filme de PVC**. Tese de mestrado Escola Superior de Lavras, Minas Gerais, 1990. 114p.
- BARROS, B.; SPACINO, I.; BRUNS, R. E. **Planejamento e Otimização de Experimentos**; Edit. da Unicamp, Campinas, S.P, 1995. 299p.

- BASSUONI, A. M.; TAYEB, A. M. Solar drying of tomatoes in the form of sheets. **Anais do Third International Drying Symposium**, J. C. Ashworth, Birmingham, UK, sep.(1): 3-15, 1982.
- BECHTLUFFT, C. S.; SILVA, A. R.; MIGUEL, H. M.; KIECKBUSCH, T.G. Secagem acelerada de fatias de tomate por estruturação da superfície. **Resumos XV CBCTA "Qualidade de Vida" Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 33, 1996.
- BEUCHAT, L.R. Microbial stability as affected by water activity. **Cereal Foods World**, 36(7):345-349, 1981.
- BIZOT, H. Using the "G.A.B." Model to construct sorption isotherms in **Physical Properties of Foods**, JOWITT, R.; ESCHER, F.; HALLSTROM, B.; MEFFERT, H.F.; SPIESS, W.E.L.; VOS, G.(eds), Applied Science Publishers, London, 1983.
- BRUNAUER, S.; EMMETT, P.H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layer. **J. Am. Chem. Soc.**, 60:309,1938.
- CALVO, C.; DURÁN, L. Propiedades Físicas II: Ópticas y color In. **Temas em Tecnología de Alimentos**, ed. AGUILERA, M. CYTED, Instituto Politécnico Nacional, México, 1997. p.261.
- CARVALHO, P.R.N.; COLLINS, C. H.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. Comparison of provitamins A determination by normal-phase gravity-flow column chromatography and reversed-phase, high performance liquid chromatography **Chromatographia**, 33(3/4): 133-137, 1992.
- CARVALHO, V. D.; COLLINS, C.H.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. Características químicas e industriais do tomate **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, 6(66): 63-68, 1980.
- CHEN, C.S.; JOHNSON, W.H. Kinetics of moisture moviment in hygroscopic materials II. **Transaction of the ASAE**, 12(4): 109-113, 1969.

- CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. Equations for fitting water sorption isotherms of foods: Part I - a review. **Journal of Food Technology**, 159-174, 1978.
- CHU, M.C-Y.; THOMPSON, A.E. Comparative anatomy of pericarps of four tomato mutants, **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, 97(4):478-481, 1972.
- CONDE, E. Indústria de alimentação - Características e tendências para o ano 2000 **Agroanalysis**, set:6-12, 1996.
- CRANK, J. **The Mathematics of Diffusion**. 2 ed. Clarendon Press Oxford, 1975. 414p.
- CUSSLER, E. L. **Diffusion Mass Transfer in fluid systems**; Minnesota: Cambridge University Press, USA 2ª ed., 1997. 580p.
- DAVIES, J. N.; HOBSON, G.E. The constituents of tomato fruit - the influence of environment, nutrition, and genotype **CRC Crit. Rev. Food Science and Nutrition**, 15(3): 205, 1981.
- DINCER, I.; DOST, S. An analytical model for moisture diffusion in solid objects during drying. **Drying Technology**, 13(1&2): 425-435, 1995.
- DOWDY, S.; WEARDEN, S. **Statistics for Research**, John Wiley & Sons, Inc, 1983. 537p.
- DUNCAN, A.O. **Food Processing**, Turner E. Smith & Company, Atlanta, 1942. 539p.
- FEMENIA, A.; SÁNCHEZ, E.S.; SIMAL, S.; ROSSELLÓ, C. Effects of drying pretreatments on the cell wall composition of grape tissues. **J. Agric. Food Chem.**, 46: 271-276, 1998.
- FRENKEL, Ch.; JEN, J.J. in: ESKIN M. N. A. **Quality and Preservation of vegetables**, Florida: CRC Press, Inc, 1 ed., 1989.
- GINNETE, L. F.; GRAHAM, R. P.; MIERS, J. C.; MORGAN, Jr. Tomato powder by Foam-mat drying. **Food Technology**, jun/july: 811-813, 1963.
- GOULD, W.A. **Tomato Production, Processing, and Quality Evaluation**, The Avi Publishing Company, inc, Connecticut, 1974.

- GREENSMITH, M. **Practical Dehydration**; Food Trade Press LTD, London, 1ed., 1971. 174p.
- GRIERSON, D. ; KADER, A.A., Fruit ripening and quality. In **The Tomato Crop: a Scientific Basis for Improvement**, Atherton, J.G.; RUDICH, J. ed. Chapman and Hall, London. London, 1ra ed, 1986. 241-280p.
- GUIMARÃES, F.; CAIXETA, J. V. Análise das perdas na comercialização de tomate: um estudo de caso. **Informações Econômicas SP**, 26(12): 9-24, 1996.
- GUPTA, R. G.; NATH, N. Drying of tomatoes. **Journal of Food Science and Technology**, nov/dec, 21-25, 1984.
- 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.
- JARDIM, D. C. P. **Concentrado de tomate auto-estável pelo efeito combinado da atividade de água e acidez**, Tese de mestrado, Unicamp, Campinas, 1991. 125p.
- JAYARAMAN, K.S.; GOPINATHAN, V.K.; PITCHAMUTHU, P.; VIJAYARAGHAVAN, P.K. Preparation of quick cooking dehydrated vegetables by high temperature short time drying. **Journal of Food Technology**, 17(6): 669-678, (1982).
- JAYARAMAN, K.S.; GUPTA, D. Dehydration of fruits and vegetables - recent developments in principles and techniques. **Drying Technology**, 10(1): 1-50, 1992.
- JEN, J. J.; MUDAHAR, G. S.; TOLEDO, R. T. Chemistry and Processing of High-Quality Dehydrated Vegetable Products **American Chemical Society**, 239-248, 1989.
- KADER, A.A.; MORRIS, L.L; CHEN, P. Evaluation of two objective methods and a subjective rating scale for measuring tomato fruit firmness. **Journal of American Society of Horticultural Scientists**, 103(1):70-73, 1978.

- KARATAS, S.; ESIN, A. Scraped surface drier for tomato powder. **Engineering and Food**, 686-694, 1990.
- KAUFMAN, V. F.; WONG, F.; TAYLOR, D.H.; TALBURT, W. F. Problems in the production of tomato juice powder by vacuum. **Food Technology**, march, 120-123, 1955.
- KERTESZ, Z.I.; TOLMAN, T.G.; RUYLE, E.H. The use of calcium in the commercial canning of whole tomatoes. New York State Agricultural Experiment Station, Geneva, NY. Technical Bulletin No 252, 1970.
- KIRANOUDIS, C.T.; MAROULIS, Z.B.; TSAMI, E.; MARINOS-KOURIS, D. Equilibrium moisture content and heat of desorption of some vegetables. **Journal of Food Engineering**, 20: 55-74, 1993.
- KIRANOUDIS, C.T.; TSAMI, E.; MAROULIS, Z.B.; MARINOS-KOURIS, D. Drying kinetics of some fruits. **Drying Technology**, 15(5): 1399-1418, 1997.
- KRINSKY, N. I.; MATHEWS-ROTH, M. M.; TAYLOR, R. F. Carotenoids in medicine **Carotenoids: Chemistry and Biology**, 279-300, 1990.
- LABUZA, T.P. Sorption phenomena in foods. **Food Technology**, 22(3): 15-24, 1968.
- LABUZA, T.P. The properties of water in relationship to water binding in foods: A review. **Journal of Food Processing and Preservation**, 1: 167-190, 1977.
- LAWLER, F. K. Foam-mat drying goes to work **Food Engineering**, 34(2): 68-69, 1962.
- LAZAR, M. E.; BROWN, A. H.; SMITH, G. S.; WONG, F. F.; LINDQUIST, F. E. Experimental production of tomato powder by spray drying. **Food Technology**, 129-134, 1956.
- LAZAR, M. E.; MIERS, J. C. Improved drum-dried tomato flakes, are produced by a modified drum dryer. **Food Technology**, 25: 830-832, 1971.
- LAZAR, M.E.; MORGAN, A.I.Jr. Instant applesauce. **Food Technology** 20(4): 179-182, 1966.

- LEUNG, H.K. Water activity and other colligative properties of foods. In **Physical and Chemical properties of Food**. ed. OKOS, M.R. American Society of Agricultural Engineers, MI., 138-185, 1986.
- MABON, T.J. Color measurement of food **Cereal Foods world**, 38(1): 21-25. 1993.
- MALIS-ARAD, S.; DIDI, S.; MIZRAHI, Y.; KOPELIOVITCH, E. Pectic substances: Changes in soft and firm tomato cultivars and in non-ripening mutants. **Journal of Horticultural Science, Maidstone**, 58(1): 111-116, 1983.
- MATHEWS-ROTH, M. M. Carotenoidos and cancer prevention - experimental and epidemiological studies **Pure and Applied Chemistry**, 57: 717-722, 1985.
- MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, 31(3): 426-428, 1959.
- MORGAN, A. I. Jr.; GRAHAM, R. P.; GINETTE, L. F.; WILLIAMS, G. S. Recent developments in foam-mat drying. **Food Technology** 15(1): 37-39, 1959.
- NELSON, P.E.; HOFF, J.E. Tomato volatiles: effect of variety, processing and storage time. **Journal of Food Science**, 34-53, 1969.
- NIJHUIS, H.H.; TORRINGA, E.; LUYTEN, H.; RENÉ, F.; JONES, P.; FUNEBO, T.; OHLSSON, T. Research Needs and Opportunities in the Dry Conservation of Fruits and Vegetables. **Drying Technology**, 14(6): 1429-1457, 1996.
- OGIHARA, L.A. **Determinação dos parâmetros de secagem de milho verde e ensaios de armazenamento**. Campinas Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, 1989. Tese (Mestrado).
- OKOS, M.R. **Physical and Chemical properties of Foods**, ASAE Publication, American Society of Agricultural Engineers, USA, 1986, 407p.
- OLORUNDA, A. O.; AWORTH, O. C.; ONUOHA, C. N. Upgrading quality of dried tomato: effects of drying methods, condition and pre-drying treatments. **Journal Science Food Agric.**, 52: 447-454, 1990.
- OLSON, J.A. Biological actions of carotenoids **Journal of Nutrition**, 199: 94-95, 1989.

- PETRÓ-TURZA, M.; SZÁRFÖLDI-SZALMA, K.; FÜZESI-KARDOS, K.; BARÁTH, Á. Study on taste substances of tomato. I Analitical investigation into the sugar, organic acid and mineral contents. **Acta Alimentaria**, 18(1): 97,106, 1989a.
- PETRÓ-TURZA, M.; SZÁRFÖLDI-SZALMA, K.; FÜZESI-KARDOS, K.; BARÁTH, Á. Study on taste substances of tomato. II Analitical investigation into the free amino acid, peptide and protein contents. **Acta Alimentaria**, 18(1): 107-117, 1989b.
- PIRES DE CAMARGO, W.; MAZZEI, A. R. Necessidade de reconversão da produção de tomate em São Paulo: ações na cadeia produtiva. **Informações Econômicas SP**, 26(6): 105-116, 1996.
- RANGANNA, S.; **Manual of Analysis of Fruit and Vegetable Products**, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 1978. 632p.
- REEVE, R.M. Relationships of histological structure to texture of fresh and processed fruit and vegetables, **Journal of Texture Studies**, 1:247-284, 1970.
- ROCKLAND, L.B.; NISHI, S.K. Influence of water activity on food product quality and stability. **Food Technology**, 34(4), 42-46, 1980.
- ROMERO, L.M.; MIGUEL, M.H.; SPOGIS, N.; KIECKBUSCH, T.G. Cinética de secagem de tomates em fatias pré-tratadas: Resultados preliminares. **Anais do XXV ENEMP Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, São Carlos SP**. 620-627, 1997.
- SALUNKHE, D. K.; DESAI, B. B. **Posthervest Biotechnology of Vegetables** CRC Press, Inc., Florida, 1984. 208p.
- SALUNKHE, D. K.; DO, J.Y. Biogenesis of aroma constituents of fruits and vegetables. **Critical Reviews in Food and Nutrition**, 8: 161,1976.
- SHAR, W.; RUEGG, M. The evaluation of G.A.B. constants from water vapour sorption data. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologi**, 18: 225-229, 1985.
- SPERBER, W.H. Influence of water activity on food-borne bacteria - a review. **Journal of Food Protect**, 46:142-150, 1983.

- STRUMILLO, C.; KUDRA, T. **Drying: Principles, Applications and Design**, Gordon and Breach Science Publishers, New York, 1986. 448p.
- TAVARES DE MELO, P. C. Tomato industry in **Brazil Acta Horticulturae (Processing Tomatoes)**, 301: 49-58, 1992.
- TAVARES, C.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Carotenoid composition of Brazilian tomatoes and tomato products **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, 27: 219-224, 1994.
- TOLABA, M. P.; SUAREZ, C.; VIOLLAZ, P. E. The use of a diffusional model in determining the permeability of corn pericarp. **Journal of Food Engineering**, 12: 53-66, 1990.
- TOUPIN, C.J.; Le MAGUER, M.; MCGREGOR, J.R. The evaluation of BET constants from sorption isotherms data. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologi**, 16: 153-156, 1983.
- TRIPATHI, R. N.; NATH, N. Effect of starch dipping on quality of dehydrated tomato slices. **Journal of Food Science and Technology**, 26(3): 137-141, 1989.
- TROLLER, J.A. Influence of water activity on microorganisms in foods. **Food Technology**, 34(5): 76-82. 1980.
- VAN DEN BERG, C.; BRUIN, S. Water activity and its estimation in foods systems: theory and relevance. In **Properties of Water in Foods**, eds L.B. Rockland & G.E. Stewart. Academic Press, New York. p.45, 1981.
- WELTI, J.; VERGARA, B.F. Actividad de agua: concepto e aplicación en alimentos com alto contenido de humedad. In **Temas em Tecnologia de Alimentos**, ed. AGUILERA, M CYTED, Instituto Politécnico Nacional, México, 1997. p.11.

## APENDICE A

### AFERIÇÃO DE TERMOPARES

Os termopares tipo T (cobre-constantan), conectados aos secadores para o controle da temperatura foram aferidos num banho termostático (HAAKE F3) com água destilada. Os termopares e o termômetro padrão (Precision Scientific, USA) foram imersos em água e as medidas foram tomadas em diferentes temperaturas. Foram locadas as leituras de temperatura para cada termopar com a temperatura do termômetro padrão. Os resultados obtidos são mostrados na Figura (A.1) e as retas foram usadas para corrigir a temperatura nos ensaios de secagem.

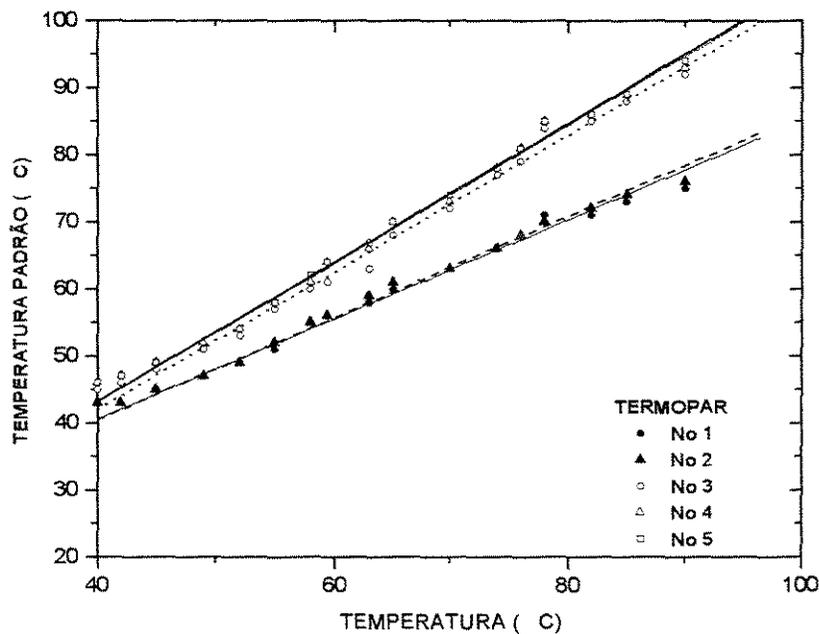


FIGURA A.1: Aferição de termopares

## APENDICE B

### DISTRIBUIÇÃO DA VELOCIDADE DO AR DE SECAGEM NOS SECADORES

A velocidade do ar de secagem, foi medida dentro das câmaras de secagem, em pontos diferentes dentro das áreas correspondente ao local das bandejas, com um anemômetro marca Velocicheck - Air velocity meter - TSI Incorporated, modelo 8330.

Os resultados mostraram que a distribuição de velocidades na câmara é boa (Figura B.1), e que as condições do secador são adequadas para o objetivo da pesquisa. Para maior precisão nos dados, baseada nesses estudos, decidiu-se trabalhar com as bandejas 2 e 5 que são as que apresentam as condições de operação mais próximas.

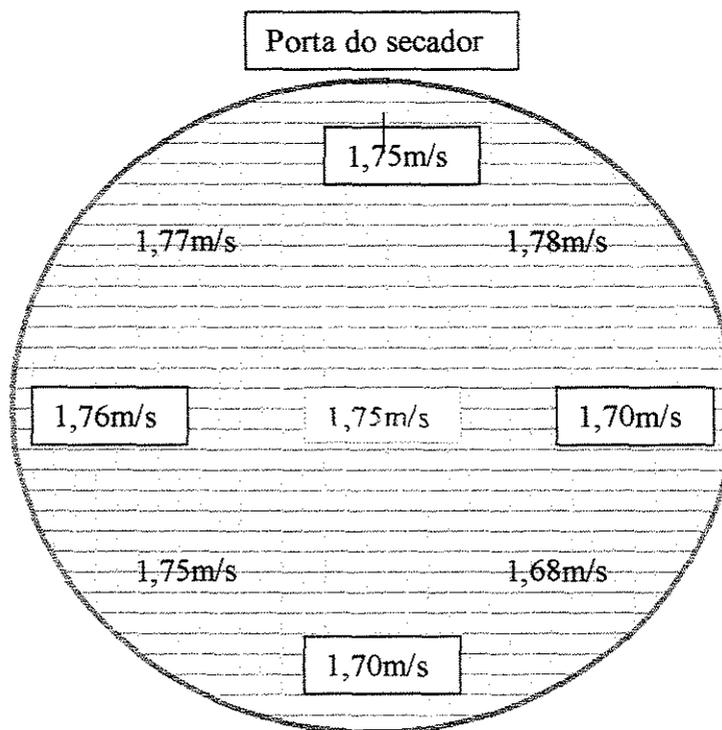


FIGURA B.1: Exemplo de distribuição de velocidades na bandeja