

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA
FILHO”**

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS, LETRAS E CIÊNCIAS EXATAS

**SECAGEM DE TOMATES INTEIROS
SUBMETIDOS A DESCASCAMENTO QUÍMICO**

Érica Machado Santos
Engenheira de Alimentos

Profa. Dra. Vânia Regina Nicoletti Telis
Orientadora

Profa. Dra. Maria Aparecida Mauro
Co-Orientadora

**São José do Rio Preto
2008**

Erica Machado Santos

**SECAGEM DE TOMATES INTEIROS
SUBMETIDOS A DESCASCAMENTO
QUÍMICO**

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos (Área de Concentração: Engenharia de Alimentos).

Orientadora: Profa. Dra. Vânia Regina Nicoletti Telis
Co-Orientadora: Profa. Dra. Maria Aparecida Mauro

São José do Rio Preto - SP
2008

Santos, Erica Machado.

Secagem de tomates inteiros submetidos a descascamento químico / Erica Machado Santos. - São José do Rio Preto : [s.n.], 2008.
83 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Vânia Regina Nicoletti Telis

Co-orientador: Maria Aparecida Mauro

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências,

Letras e Ciências Exatas

1. Tecnologia de alimentos. 2. Alimentos - Desidratação. 3. Tomate - Secagem.
4. Cinética de secagem. 5. Tomate - Descascamento químico. 6. Tomate -
Desidratação osmótica. 7. Desidratação osmótica. 8. Vitamina C. I. Telis, Vânia
Regina Nicoletti. II. Mauro, Maria Aparecida. III. Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. IV. Título

CDU - 664.8.047

Erica Machado Santos

**SECAGEM DE TOMATES INTEIROS
SUBMETIDOS A DESCASCAMENTO QUÍMICO**

COMISSÃO JULGADORA
DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE

Profa. Dra. Maria Aparecida Mauro

Profa. Dra. Izabel Cristina Freitas Moraes

Prof. Dr. Joel Fernando Nicoleti

Prof. Dr. Fábio Yamashita

Prof. Dr. José Antônio Gomes Vieira

São José do Rio Preto, 16 de maio de 2008.

Dedico este trabalho a duas pessoas: a primeira é minha **MÃE** Maria Aparecida Machado Santos que esteve sempre do meu lado, com amor e uma mão disposta a ajudar sempre e meu **PAI** João da Silva Santos que também, me incentivou e deu total apoio para que esta etapa de minha vida agora se tornasse realidade. Agradeço pelo exemplo de dignidade e pela lição de amor.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por ter dado forças para vencer os obstáculos, por nunca me abandonar nos momentos difíceis e permitir chegar até aqui.

Agradeço a Profa. Dra. Vânia Regina Nicoletti Telis pela orientação, no qual transmitiu seu conhecimento com paciência e carinho.

Agradeço a Profa. Dra. Maria Aparecida Mauro pela co-orientação, no qual foi de fundamental importância para a finalização deste trabalho.

Ao Paulo Henrique Mariano Marfil, por ter dividido bons momentos e pela amizade e ajuda fundamental durante toda a pesquisa na qual realizamos juntos.

Aos técnicos do laboratório do DETA, João Jesuíno e Newton, pela atenção e ajuda durante os experimentos.

À coordenação de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos pelo suporte na obtenção deste título.

Ao meu marido Jaime Antonio Cabrera Helu por compartilhar dos meus sonhos, me incentivando e me animando sempre.

Ao meu filho Jorge André Cabrera Machado Helu que me deu novo vigor para terminar esse trabalho.

Agradeço aos meus irmãos Eder Machado Santos e Ellen Maria Machado Santos pela força e motivação sempre.

À minha amiga Isabella Borin, pelos bons momentos que passamos juntos e por sua amizade apesar de tudo.

A CAPES pela bolsa de estudos.

“O que fazemos na vida, ecoa na eternidade”.
(O Gladiador – Filme)

Resumo

Neste trabalho foi estudado o descascamento de tomates inteiros em solução de NaOH em diversas concentrações, as melhores condições de descascamento foram adotadas como sendo as que levariam a uma menor perda de polpa, no máximo de 15%, aproximadamente, e tempo de secagem máximo de 20 horas para atingir uma umidade final de 50% b.u., sendo que a que apresentou melhor resultado foi a de 6% de NaOH, 30 minutos a 30°C. Também foi estudado um pré-tratamento osmótico, com soluções de sacarose e NaCl em diversas concentrações, para a obtenção de tomates secos com bons atributos sensoriais. O pré-tratamento osmótico mais indicado para a produção de tomate seco foi de 35% de sacarose, 10% de NaCl e 1 hora. Partindo desta condição, foi investigada a cinética de desidratação osmótica e determinados os coeficientes de difusão aparente para a água, açúcar e NaCl em tempos curtos e longos, todos da ordem de 10^{-10} m²/s. Foi estudada a cinética de degradação de vitamina C durante a secagem a ar em diferentes temperaturas (50, 60, 70°C) de tomates em metades, tomates inteiros descascados quimicamente e tomates inteiros descascados quimicamente e tratados osmoticamente, sendo que as taxas de degradação mostraram-se dependentes do tratamento das amostras antes da secagem, bem como da temperatura de secagem. Finalmente foram avaliadas as características sensoriais dos tomates inteiros descascados quimicamente e pré-tratados osmoticamente, dos tomates em metades com pré-tratamento osmótico e dos tomates sem pré-tratamento osmótico, todos submetidos à secagem a 60°C. Pôde-se constatar que os tomates inteiros descascados quimicamente e pré-tratados osmoticamente apresentaram boa aceitação e não diferiram significativamente em sabor, cor e aparência geral dos tomates em metades com e sem tratamento osmótico.

Abstract

In this work, the chemical peeling of whole tomatoes in aqueous solutions of NaOH at different concentrations was studied. The peeling conditions considered as the better ones were those that would lead to a smaller pulp loss, a maximum of 15%, approximately, and a maximum drying time of 20 hours in order to attain a final moisture content of 50% (wet basis). The peeling condition that led to the best result was based on dipping tomatoes in a 6% (w/w) NaOH solution for 30 minutes at 30°C. An osmotic pre-treatment in solutions of sucrose and NaCl at different concentrations was also studied aiming to obtain dried tomatoes with better sensorial properties. The most suitable osmotic pre-treatment to produce dried tomatoes consisted in using a solution of 35% sucrose and 10% NaCl for 1 hour. Starting up from this condition, the kinetics of osmotic dehydration was investigated, as well as the apparent diffusion coefficients for water, sucrose and NaCl for short and long times of dehydration, resulting in the order of $10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$. The kinetics of vitamin C degradation during air-drying at different temperatures (50, 60, 70°C) of halved tomatoes, of chemical-peeled, whole tomatoes and of chemical-peeled, whole tomatoes submitted to osmotic pre-treatment was studied, with the degradation rates showing to be dependent on the treatment of samples before drying, as well as on the drying temperature. Finally, the halved tomatoes, the chemical-peeled, whole tomatoes and the chemical-peeled, whole tomatoes submitted to osmotic pre-treatment, all of them air-dried at 60°C, were evaluated for their sensorial characteristics. The results showed that the chemical-peeled, whole tomatoes submitted to osmotic pre-treatment were well accepted, with no significant differences in flavor, color, and general appearance being observed when comparing to halved tomatoes with or without osmotic treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Variedades de Tomates.....	7
Figura 2: Curva de secagem, onde X é a umidade em base seca (kg água/kg matéria seca), K é a taxa de evaporação de umidade (kg água/kg de matéria seca.h), Xc é a umidade crítica e Kc a taxa crítica correspondente.....	17
Figura 3: Secador de bandejas com ar aquecido por gás GLP (fechado e aberto)....	27
Figura 4: Ficha para avaliação sensorial.....	35
Figura 5: Tomates inteiros submetidos ao descascamento químico.....	36
Figura 6: Tomates inteiros já descascados.....	36
Figura 7: Etapa de desidratação osmótica dos tomates inteiros.....	37
Figura 8: Desidratação osmótica dos tomates em metades.....	37
Figura 9: Disposição das bandejas com os tomates dentro do secador.....	38
Figura 10: Tomates em metades secos.....	38
Figura 11: Tomates inteiros	39
Figura 12: Amostras prontas para a análise sensorial.....	39
Figura 13: Cinética de secagem em função do tempo em diferentes condições de descascamentos químicos (T^a : 60°C e V_{ar} : 1 m/s).....	42
Figura 14: Cinética de secagem em função do tempo em diferentes condições de descascamentos químicos (T^a : 60°C e V_{ar} : 1 m/s).....	42
Figura 15: Cinética de secagem em função do tempo em diferentes condições de descascamentos químicos (T^a : 60°C e V_{ar} : 1 m/s).....	43
Figura 16: Cinética de secagem em função do tempo em diferentes condições de descascamentos químicos (T^a : 60°C e V_{ar} : 1 m/s).....	43
Figura 17: Superfície de resposta para tempo de secagem em função das condições de descascamento químico (tempo de imersão de 30 minutos).....	46
Figura 18: Superfície de resposta para perda de polpa em função das condições de descascamento químico (tempo de imersão de 30 minutos).....	46
Figura 19: Curva de secagem dos diferentes tratamentos osmóticos (T^a : 60°C e V_{ar} : 1 m/s).....	48
Figura 20: Cinética de perda de umidade em função do tempo em diferentes concentrações de sacarose e NaCl (T^a : 60°C e V_{ar} : 1 m/s).....	50
Figura 21: Cinética de ganho de açúcar em função do tempo em diferentes concentrações de sacarose e NaCl (T^a : 60°C e V_{ar} : 1 m/s).....	51
Figura 22: Cinética de ganho de sal em função do tempo em diferentes concentrações de sacarose e NaCl (T^a : 60°C e V_{ar} : 1 m/s).....	51

Figura 23: Valores experimentais e preditos da cinética de desidratação osmótica em função do tempo curto (2 horas), utilizando-se uma solução osmótica com 30% de sacarose e 5% de NaCl.....	55
Figura 24: Valores experimentais e preditos da cinética de desidratação osmótica em função do tempo curto (2 horas), utilizando-se uma solução osmótica com 30% de sacarose e 10% de NaCl.....	55
Figura 25: Valores experimentais e preditos da cinética de desidratação osmótica em função do tempo curto (2 horas), utilizando-se uma solução osmótica com 35% de sacarose e 5% de NaCl.....	56
Figura 26: Valores experimentais e preditos da cinética de desidratação osmótica em função do tempo curto (2 horas), utilizando-se uma solução osmótica com 35% de sacarose e 10% de NaCl.....	56
Figura 27: Valores experimentais e preditos da cinética de desidratação osmótica em função do tempo longo (50 horas), utilizando-se uma solução osmótica com 30% de sacarose e 5% de NaCl.....	57
Figura 28: Valores experimentais e preditos da cinética de desidratação osmótica em função do tempo longo (50 horas), utilizando-se uma solução osmótica com 30% de sacarose e 10% de NaCl.....	57
Figura 29: Valores experimentais e preditos da cinética de desidratação osmótica em função do tempo longo (50 horas), utilizando-se uma solução osmótica com 35% de sacarose e 5% de NaCl.....	58
Figura 30: Valores experimentais e preditos da cinética de desidratação osmótica em função do tempo longo (50 horas), utilizando-se uma solução osmótica com 35% de sacarose e 10% de NaCl.....	58
Figura 31: Cinética de secagem de tomates inteiros descascados quimicamente nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.....	61
Figura 32: Cinética de secagem de tomates inteiros descascados quimicamente imersos em solução osmótica de 35% de sacarose e 10% de NaCl nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.....	62
Figura 33: Cinética de secagem de tomates em metades nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.....	62
Figura 34: Teor de vitamina C nas amostras de tomate <i>in natura</i>	65
Figura 35: Degradação de vitamina C em tomates inteiros descascados quimicamente e desidratados nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.....	66
Figura 36: Degradação de vitamina C em tomates inteiros descascados quimicamente imersos em solução osmótica de 35% de sacarose, 10% de NaCl, 1 hora e T ^a 30°C nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.....	66
Figura 37: Degradação de vitamina C em tomates em metades nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.....	67
Figura 38: Gráfico de $\ln \alpha$ contra $1/T$ para tomates inteiros, descascados quimicamente, com e sem tratamento osmótico e em metades e desidratados nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.....	70
Figura 39: Distribuição da frequência dos valores hedônicos atribuídos à cor (azul), aparência geral (verde) e sabor (vermelho) das amostras em metades sem desidratação osmótica, metades com desidratação osmótica e inteiros com desidratação osmótica.....	73

Lista de Tabelas

Tabela 1: Composição do Tomate.....	6
Tabela 2: Nível de constituintes em 100 g de fruta de tomate maduro.....	6
Tabela 3: Tratamentos correspondentes ao primeiro fatorial.....	41
Tabela 4: Valores dos parâmetros K_p e n do ajuste do modelo de Page para secagem de tomates em diferentes condições de pré-tratamentos químicos.....	44
Tabela 5: Tratamentos osmóticos utilizados (T^a 30° C).....	47
Tabela 6: Valores dos parâmetros K_p e n do ajuste do modelo de Page para secagem de tomates em diferentes condições de tratamento osmótico.....	48
Tabela 7: Valores das concentrações de equilíbrio para cada componente da solução osmótica em diferentes condições.....	52
Tabela 8: Tratamentos utilizados na cinética de desidratação osmótica (T^a 30°C)....	52
Tabela 9: Concentração de equilíbrio e coeficiente de difusão aparente da água durante o tratamento osmótico considerando tempos curtos e longos.....	59
Tabela 10: Concentração de equilíbrio e coeficiente de difusão aparente do NaCl durante o tratamento osmótico considerando tempos curtos e longos.....	59
Tabela 11: Concentração de equilíbrio e coeficiente de difusão aparente da sacarose durante o tratamento osmótico considerando tempos curtos e longos.....	60
Tabela 12: Valores dos parâmetros K_p e n do ajuste do modelo de Page para secagem de tomates em diferentes condições.....	63
Tabela 13: Valores dos parâmetros do ajuste do modelo de Weibull para secagem de tomates em diferentes condições.....	68
Tabela 14: Valores de vitamina C retida em tomates desidratados em diferentes condições.....	71
Tabela 15: Média e desvio padrão dos valores* atribuídos às amostras de tomates em metades tratados osmoticamente (35% sacarose + 10% sal, 1h), em metades não tratados e inteiros descascados e tratados osmoticamente, todos secos a 60°C.....	71

NOMENCLATURA

UBU: umidade em base úmida

UBS: umidade em base seca

N_a - fluxo mássico (kg/h m^2)

h - coeficiente de transferência de calor ($\text{kcal/h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)

T_{ar} - temperatura do ar ($^\circ\text{C}$)

T_{bu} - temperatura de bulbo úmido do ar ($^\circ\text{C}$)

λ - calor latente de vaporização da água a T_{bu} (kcal/kg)

X : umidade em base seca no tempo t (adimensional)

X_0 : umidade inicial em base seca (adimensional)

X_{eq} : umidade de equilíbrio em base seca (adimensional)

t : tempo (horas)

D : difusividade aparente. (m^2/s)

k_p e n : parâmetros de ajuste do modelo de Page (h^{-1}); n : adimensional

k_L : parâmetro de secagem de Lewis (adimensional)

Fo : número de Fourier mássico (adimensional)

Bi_M : Biot mássico (adimensional)

VitC : conteúdo de vitamina C do produto ($\text{mgVitC}/100\text{g}$ polpa)

C : concentração de ácido ascórbico em um determinado tempo t ($\text{g}/100\text{g}$ amostra)

C_0 : concentração de ácido ascórbico no início do processamento ($\text{g}/100\text{g}$ amostra)

C_{eq} : concentração de ácido ascórbico de equilíbrio (adimensional)

α : parâmetro de ajuste do modelo de Weibull (h)

β : parâmetro de ajuste do modelo de Weibull (adimensional)

n = nº de termos (Equação 11)

D_{im} : difusividade binária efetiva da substância i no meio

ρ_i : concentração da substância i .

r : raio (m)

SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
2. Objetivos.....	3
3. Revisão Bibliográfica.....	4
3.1 . Tomate.....	4
3.2 . Tomate Seco.....	7
3.3 . Descascamento Químico.....	10
3.4 . Desidratação Osmótica.....	11
3.5 . Cinética da Secagem.....	16
3.6 . Vitamina C.....	22
4. Materiais e Métodos.....	25
4.1. Matéria-prima.....	25
4.2. Metodologia Experimental.....	25
4.2.1. Descascamento Químico.....	25
4.2.2. Pré-desidratação Osmótica.....	26
4.2.3. Secagem a Ar Quente.....	27
4.3. Métodos Analíticos.....	28
4.3.1. Determinação de Sólidos Totais.....	28
4.3.2. Determinação de Açúcares Totais e Redutores.....	28
4.3.2.1. Preparo da solução para a determinação de açúcares redutores.....	29
4.3.2.2. Preparo da solução para a hidrólise dos açúcares não redutores para determinação dos açúcares totais.....	29
4.3.2.3. Preparação da Solução de Fehling.....	30
Solução de Fehling A.....	30
Solução de Fehling B.....	30
4.3.2.4. Aplicação do Método.....	30
4.3.2.5. Cálculos.....	31
4.3.3. Determinação de Cloreto de Sódio.....	31
4.3.3.1. Aplicação do Método.....	31
4.3.3.2. Cálculos.....	32
4.3.4. Determinação de Vitamina C.....	32
4.3.4.1. Preparo da solução de DCFI a 0,01%.....	32
4.3.4.2. Preparo da solução extratora de ácido oxálico 2% (p/v).....	33
4.3.4.3. Preparo da solução padrão de ácido ascórbico.....	33
4.3.4.4. Aplicação do Método.....	33
4.4. Análise Sensorial.....	35

4.5. Análise dos Resultados.....	41
4.5.1. Cinética da Desidratação Osmótica.....	41
4.5.2. Cinética de Secagem a Ar Quente.....	41
4.5.3. Cinética de Degradação de Vitamina C.....	41
5. Resultados e Discussões.....	42
5.1. Determinação das Condições de Descascamento Químico.....	42
5.2. Pré-tratamento Osmótico.....	47
5.2.1. Cinética de Desidratação Osmótica: Determinação das Concentrações no Equilíbrio.....	49
5.2.2. Cinética de Desidratação Osmótica: Coeficientes de Difusão Aparentes.....	52
5.3. Degradação de Vitamina C em Diferentes Condições de Secagem.....	61
5.3.1 Cinética de Secagem	61
5.4. Cinética de Degradação de Vitamina C.....	64
5.5. Análise Sensorial.....	71
6. Conclusões e Sugestões.....	74
6.1. Conclusões.....	74
6.2. Sugestões.....	76
7. Referências Bibliográficas.....	77

1. INTRODUÇÃO

Dentre as hortaliças, o tomate é talvez a cultura mais importante, não só em termos de produção, como também em valor econômico. O tomate é a segunda hortaliça em área cultivada no mundo e a primeira em volume industrializado. O Brasil é um dos maiores produtores mundiais, sendo o estado de São Paulo, o maior produtor brasileiro. A Divisão Regional Agrícola de São José do Rio Preto é a quinta maior produtora do estado. No Brasil e, principalmente, no estado de São Paulo ocorreu intensa evolução tecnológica na produção de tomate. Levando em conta a importância econômica, o tomate está em décimo segundo lugar dentre os produtos agrícolas no Brasil (COSTA & CAIXETA FILHO, 1996).

O tomate pode, através de processamento adequado, dar origem a inúmeros produtos, alguns deles de elevado consumo no Brasil. Assim pode-se obter, do tomate inteiro, o tomate despelado. Do quebrado, dependendo do grau de intensidade, o tomate seco, suco, purê, polpa concentrada, extrato, catchup, molhos culinários diversos, inclusive tomate em pó.

Nos últimos anos, no entanto, o tomate seco em metades, bastante popular na Itália, vem sendo cada vez mais apreciado no Brasil. O fornecimento do produto é feito quase sempre por pequenos empresários agro-industriais, baseados em métodos de produção artesanal, normalmente mantidos em segredo para evitar a concorrência. Muitos desses produtores utilizam fornos convencionais a gás para a desidratação, o que na verdade caracteriza um cozimento e acarreta alto consumo energético, uma vez que não há circulação de ar para remoção da água evaporada. Existe, ainda, preocupação com a alta quantidade de rejeitos do processo, pois a parte central dos tomates (sementes e tecido placentário) é totalmente descartada.

Em tomates frescos, a casca, constitui uma barreira efetiva contra a desidratação e deterioração de sua textura, além de dificultar o ataque microbiano. Esta constituição da parte externa dos tomates é também um problema de grande importância para obtenção de produtos desidratados. Por isso, os tomates inteiros devem sofrer um pré-tratamento antes de serem submetidos ao processo de secagem para redução da barreira ao transporte de água.

A remoção de água de um alimento é um dos mais antigos métodos de preservação. Pela redução do conteúdo de umidade de um alimento até níveis bem baixos, a chance de deterioração microbiológica é eliminada e as taxas de outras reações de degradação são reduzidas significativamente. Além de favorecer a preservação, a desidratação reduz o peso e o volume do produto, aumentando a eficiência do transporte e do armazenamento. Frequentemente a desidratação de um produto alimentício resulta em um produto mais conveniente para o consumo do que o mesmo *in natura*.

A secagem por ar quente é um processo largamente empregado na preservação de frutas e vegetais, ocasionando, porém, uma considerável queda na qualidade. Entre os defeitos mais comuns dos produtos desidratados estão a dureza excessiva, dificuldade de reidratação e alterações indesejáveis de cor e sabor.

A aplicação de um tratamento osmótico como uma etapa anterior à secagem convectiva tem sido sugerida como alternativa para a obtenção de frutas e hortaliças desidratadas de melhor qualidade. Além da influência positiva sobre as características sensoriais, a pré-desidratação osmótica reduz consideravelmente a quantidade de água a ser removida na secagem por ar quente, diminuindo o custo do processo (MURARI, 2001).

Considerando a importância econômica e social da cultura do tomate no estado de São Paulo, a pesquisa e o desenvolvimento de um processo de desidratação que resulte em um produto de qualidade, com alto valor agregado, é plenamente justificável. Dentro deste contexto, a proposta deste trabalho é, avaliar a secagem com ar aquecido de tomates inteiros, submetidos a um pré-tratamento químico com hidróxido de sódio (NaOH) para retirada da casca e à pré-desidratação osmótica em soluções de sacarose e cloreto de sódio (NaCl) como etapas preliminares à secagem, além de estudar a cinética de degradação de vitamina C durante esses processos.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral desse trabalho é investigar a secagem convectiva de tomates inteiros, previamente tratados com hidróxido de sódio (NaOH) para retirada da casca e desidratados osmoticamente em soluções de sacarose e cloreto de sódio (NaCl), assim como verificar a possibilidade de obtenção de um produto de atributos sensoriais - textura e sabor - satisfatórios e com maior retenção de vitamina C, que reduziria a geração de resíduos em relação à secagem de tomates em metades.

Esse trabalho tem os seguintes objetivos específicos:

- 1) Otimizar as condições de pré-tratamento químico através de um planejamento experimental - concentração de NaOH, tempo e temperatura de imersão do tomate – de forma a minimizar a perda de polpa e o tempo de secagem com ar aquecido.
- 2) Otimizar as condições de pré-tratamento osmótico – concentração de sacarose e NaCl, temperatura e tempo de tratamento – buscando obter um produto com atributos sensoriais satisfatórios.
- 3) Comparar as cinéticas de degradação de vitamina C dos tomates desidratados inteiros com tomates desidratados em metades com temperatura de secagem de 50, 60 e 70°C.
- 4) Avaliar sensorialmente as amostras de tomates secos quanto a sua aceitação, por provadores não treinados e escolhidos aleatoriamente, utilizando uma escala hedônica numerada.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1- Tomate

O tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), pertence à família das solanáceas. Como a maioria das hortaliças, é um produto altamente perecível, com vida-de-prateleira de uma semana em média à temperatura ambiente. Este fato, aliado ao manuseio precário durante a comercialização, tem gerado perda pós-colheita na faixa de 20-40% (COSTA & CAIXETA FILHO, 1996).

O fruto foi descoberto por volta de 1540 no sul do México. Inicialmente de coloração amarela, era utilizado pelos índios mexicanos como planta ornamental devido à beleza de seu fruto, que encantou também os colonizadores europeus. Foi levado para a Itália com o nome de pomodoro (fruto de ouro). Em 1750, já de coloração avermelhada devido às variações do clima europeu, foi para os Estados Unidos, ainda como planta ornamental, tornando-se alimento no século XIX.

No Brasil, o cultivo do tomate iniciou-se na virada do século XIX, tendo se desenvolvido posteriormente com a chegada dos imigrantes japoneses. As primeiras tentativas de produção de tomate como hortaliça, por um grupo de agricultores japoneses em Mogi das Cruzes, data de 1925. Uma das causas de sua rápida expansão foi a popularização da comida italiana, feita à base de tomate como tempero. Além disso, a redução cada vez maior do custo fez com que o consumo se estendesse para as camadas mais pobres. A produção chegou a crescer de tal forma que houve a necessidade de industrializar o produto, gerando o extrato de tomate. Hoje, o Brasil é um dos maiores produtores mundiais, junto com Estados Unidos, Itália, Turquia, Espanha, Egito e México. Segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), em 2007 sua área cultivada foi de 56.835 hectares com uma produção de 3.364.438 toneladas, apresentando um rendimento de 59.197 kg/ha, sendo os estados de São Paulo, Goiás e Minas Gerais os maiores produtores brasileiro, responsável por 57,5% da produção nacional e com 57,3% área plantada.

Quanto às condições de plantio e comercialização, distinguem-se duas categorias de tomate: o de cultura estaqueada e o de cultura rasteira. O primeiro

destina-se ao consumo de mesa ou in natura e constitui a maior parte do produto comercializado no varejo. Seu custo de produção é maior, porém apresenta maior produtividade. O de cultura rasteira é destinado à indústria e foi introduzido no Brasil a partir de 1970, pois a qualidade industrial do tomate estaqueado não era satisfatória (COSTA E CAIXETA FILHO, 1996; MINAMI & HAAG, 1989).

Tanto o tomate estaqueado quanto o rasteiro se dividem em grupos ou tipos, caracterizados principalmente pelo formato, tamanho e coloração dos frutos. Cada grupo ou tipo de tomate inclui diversos cultivares. De acordo com Minami & Haag (1989), as variedades da cultura estaqueada são classificadas em: grupo Santa Cruz e grupo Salada ou Caqui. Camargo Filho et al. (1996) identificam os “grupos” como “tipos” e incluem um terceiro tipo, o Longa-Vida, de desenvolvimento mais recente. Para o tomate de cultura rasteira (industrial), a classificação mais usada é quanto à forma dos frutos (MINAMI & HAAG, 1989): periforme (tipo Pêra), longo, oval, globoso, etc.

O tomate é uma hortaliça de grande importância nutricional e econômica. Segundo Salunkhe & 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. Segundo Carvalho (1980), o valor nutricional do tomate é quase que totalmente atribuído ao seu teor de vitamina C. Nos últimos anos, porém, vem crescendo o interesse no seu alto teor de carotenóides, principalmente o licopeno, do qual o tomate e seus derivados constituem a maior fonte na dieta humana. Esse interesse está relacionado à habilidade do licopeno em atuar como um agente preventivo do câncer devido à sua ação antioxidante (SABIO et al., 2003; TAKEOKA et al., 2001; SHI et al., 1999; ZANONI et al., 1999; TAVARES & RODRIGUEZ-AMAYA, 1994).

De acordo com Stevens (1985) e Gould (1992) o tomate contém cerca de 93 a 94% de água, sendo que os constituintes orgânicos que prevalecem são os açúcares. Os teores de açúcares redutores (frutose e glicose) correspondem a cerca de 50 a 65% da matéria seca do fruto, em média, e a mais de 95% dos açúcares totais, ocorrendo em quantidades aproximadamente iguais. A sacarose, quando presente nos tomates frescos, encontra-se em níveis muito baixos. Os componentes estruturais da fruta (sólido insolúveis) também são constituintes importantes e representam cerca de 20% da matéria seca.

A Tabela 1 apresenta a composição média do tomate segundo seus componentes principais e a Tabela 2 os conteúdos médios de vitaminas e minerais.

O tomate é a base para vários produtos industriais, entre eles o suco, o purê, o extrato ou massa, catchup, tomate seco e molhos diversos. Além do uso na elaboração destes produtos, o tomate entra na formulação de pratos prontos, sopas, caldos, temperos, etc.

Tabela 1 – Composição do Tomate

Constituinte	Porcentagem (%)
Sólidos Totais	7,0 – 8,5
Sólidos Insolúveis	1,0
Sólidos Solúveis	4,0 – 6,0
Açúcares	2,0 – 3,0
Ácidos	0,3 – 0,5
Proteínas Solúveis e Aminoácidos	0,8 – 1,2
Constituintes Minerais	0,3 – 0,5
Sal (cloreto de sódio)	0,05 – 0,1

Fonte: Gould (1983)

Tabela 2 – Nível de constituintes em 100 g de fruta de tomate maduro

Constituinte	Faixa	Constituinte	Faixa
Matéria Seca (g)	4,71 – 8,30	Magnésio (mg)	5,2 – 20,4
Vitamina A (UI)	833 – 1667	Sódio (mg)	1,2 – 32,7
Vitamina B1 (µg)	16 – 80	Ferro (mg)	0,35 – 0,95
Vitamina B2 (µg)	20 – 78	Alumínio (mg)	0,5 – 2,95
Vitamina B3 (µg)	280 – 340	Boro (mg)	0,04 – 0,13
Vitamina B6 (mg)	0,074 – 0,15	Cobre (mg)	0,05 – 0,2
Vitamina C (mg)	8,4 – 59	Chumbo (mg)	0,02 – 0,05
Ac. Fólico (µg)	7,4 – 8,6	Manganês (mg)	0,04 – 0,3
Ac. Nicotínico (mg)	3,0 – 8,5	Zinco (mg)	0 – 0,25
Potássio (mg)	92 – 376	Cloretos (mg)	24 – 69
Fósforo (mg)	7,7 – 53	Nitratos (mg)	1,3 – 30
Cálcio (mg)	4,0 – 21	Cinzas (g)	0,51 – 0,70

Fonte: Davies & Hobson (1981)

A Figura 1 mostra frutos de cultura rasteira (tipo Pêra) e de cultura estaqueada (tipo Santa Cruz).



(a)



(b)

Figura 1: (a) Tomate do tipo Pêra e (b) Tomate do tipo Santa Cruz.

3.2- Tomate Seco

Segundo Murari (2001) o tomate seco é um produto diferenciado, tanto no aspecto do processamento como na comercialização. Trata-se de tomates não inteiros desidratados até umidade intermediária, mantendo sua textura macia. O tomate seco é comercializado imerso em óleo vegetal e temperado com sal, alho, orégano e outros condimentos. No Brasil, por tratar-se de um produto relativamente novo, o processamento é feito por pequenas e microempresas, em geral próximas às regiões produtoras. Os métodos utilizados são bastante artesanais, onde a preparação do tomate é manual e a secagem realizada ao sol ou em fornos convencionais. O tomate seco no Brasil é consumido em forma de aperitivo, guarnição, pizzas e como ingrediente em um número crescente de receitas e formulações.

O mercado para o tomate seco crescendo consideravelmente, mas os produtos disponíveis não possuem padronização de qualidade visual, sensorial e nutricional. Ainda não se encontram disponíveis, de forma organizada, dados ou recomendações sobre os parâmetros mais adequados ao processo, tais como variedade ideal, temperatura adequada de secagem, tipo de corte indicado para o fruto e teor de umidade final. Entretanto, o número de pesquisas sobre o assunto tem aumentado e é possível encontrar informações importantes sobre o processo.

As características químicas que têm sido reportadas como importantes indicadores da aptidão do tomate à secagem compreendem o conteúdo de sólidos totais, a acidez total e o conteúdo de sólidos insolúveis. Dentre estes parâmetros, o conteúdo de sólidos totais é o mais importante, pois está relacionado ao rendimento do processo. Por outro lado, os parâmetros de acidez e conteúdo de açúcares podem estar relacionados com a preferência do consumidor.

Camargo e Queiroz (1999a) investigaram a aptidão de diferentes variedades de tomate estaqueado para a secagem considerando suas características químicas, sendo que as variedades Débora Plus e Santa Clara (ambos do tipo Santa Cruz) apresentaram maiores teores de sólidos solúveis e melhores índices Brix/acidez total, diferindo significativamente da variedade Carmen (tipo Longa Vida). Dentre as variedades estudadas, Santa Clara e Débora Plus mostraram-se mais adequadas à secagem.

Hawlder et al. (1991) determinaram a influência de diferentes temperaturas (40 a 80°C) e velocidades do ar (0,4 a 1,8 m/s) na cinética de secagem de fatias de tomate, concluindo que as taxas de secagem aumentaram com o aumento da temperatura e da velocidade do ar. Giovanelli et al. (2002) utilizaram a mesma abordagem sugerida por Hawlder et al. (1991) para contornar os problemas causados pelo encolhimento na modelagem da cinética de secagem de diferentes produtos de tomate (polpa de tomate, polpa de tomate rica em sólidos insolúveis e tomate em metades). Através do uso de uma espessura variável, expressa em função da umidade, foi possível ajustar a solução da segunda lei de Fick para placa plana aos dados experimentais de secagem. Queiroz et al. (2004) usaram o modelo de Page para descrever a cinética de secagem de tomates em metades e obtiveram resultados satisfatórios.

Um dos primeiros trabalhos sobre parâmetros de secagem de tomate foi publicado por Olorunda et al. (1990), que observaram maiores taxas de secagem com o aumento da temperatura no intervalo de 60 a 80°C, para a velocidade do ar fixada em 1,75 m/s. Também verificaram que a secagem com fluxo de ar cruzado foi mais eficiente que com fluxo paralelo, o que foi atribuído à maior eficiência de contato da massa total de ar com o produto. Finalmente observaram que os tomates secos apresentavam melhor aparência quando as fatias eram pré-tratadas em uma solução de cloreto de sódio por 3 minutos antes da secagem.

Camargo e Queiroz (1999b) concluíram que o pré-tratamento com cloreto de sódio e sacarose aplicados diretamente sobre quartos de tomate, seguido de secagem em estufa a 60°C, resultou em menor tempo de secagem que o necessário para tomates sem pré-tratamento.

Uma série de outros trabalhos publicados aborda a qualidade do tomate desidratado que, quando seco em condições inadequadas, sofre escurecimento e tem baixa capacidade de reidratação (TRIPATHI & NATH, 1989). Mais recentemente, tem havido grande interesse na preservação das qualidades nutricionais do produto, uma vez que o tomate apresenta significativos teores de licopeno e ácido ascórbico, substâncias associadas à prevenção de algumas patologias (ZANONI et al., 1999). Nesse sentido, várias modalidades de pré-tratamentos e/ou processos de secagem têm sido estudados.

Zanoni et al. (1999) verificaram que durante a secagem convectiva do tomate em metades, ocorreu uma severa oxidação do ácido ascórbico. Por outro lado, os teores de licopeno apresentaram boa estabilidade, mesmo quando a secagem foi conduzida a 110°C.

Outros autores que estudaram a desidratação osmótica do tomate foram Igarashi & Kieckbusch (1998) e Telis et al. (2004), que utilizaram misturas de NaCl e sacarose, e Shi et al. (1997), que desidrataram tomates inteiros em soluções de sacarose. Lewicki et al. (2002) testaram a adição de cloreto de cálcio (CaCl_2) no pré-tratamento osmótico de quartos de tomates em soluções de sacarose, seguido de secagem convectiva a 60°C. Estes autores concluíram que a adição de CaCl_2 aumentou as taxas de desidratação osmótica e facilitou a infiltração de sacarose, porém teve como efeito negativo o aumento da rigidez da estrutura, que por sua vez prejudicou a reidratação do produto.

A secagem de tomates inteiros ainda não foi objeto de um estudo intensivo, entretanto o processo de descascamento químico de tomates é comum no processamento de tomates inteiros enlatados – tipo de produto bem conhecido na Europa, mas pouco difundido no Brasil. Os trabalhos de Shi et al. (1997) e Azoubel & Murr (2004) se restringiram à desidratação osmótica de tomates inteiros, mas sem a eliminação completa da casca. De forma a diminuir a resistência à transferência de massa, esses autores procederam a uma perfuração da pele utilizando uma agulha, o que seria inviável em escala industrial. Bayindirli (1994) estudou o processo de

descascamento químico de tomates utilizando a imersão em soluções de hidróxido de sódio, entretanto o critério visual adotado para avaliar a eficiência do processo foi bastante subjetivo.

3.3– Descascamento Químico

A maioria das frutas e alguns vegetais precisam ser descascados para serem desidratados. Muitas variáveis estão envolvidas na operação de descascamento e muitas delas têm que ser bem controladas. Fatores como grau de maturação, machucaduras ou manchas na casca, tipo de tratamento no armazenamento e outros, devem ser devidamente ponderados de modo a ajustar o processo para uma eficiência máxima. Os métodos de descascamento correntemente usados podem ser classificados em três tipos gerais: mecânico, químico e térmico.

O pré-tratamento comumente utilizado é um processo químico, que consiste em mergulhar as frutas em soluções de hidróxido de sódio (lixívia), com o objetivo de remover a casca e aumentar a taxa de secagem.

3.4– Desidratação Osmótica

A desidratação osmótica consiste na imersão de pedaços de frutas ou hortaliças em uma solução hipertônica, usualmente açúcar ou sal. Devido à maior pressão osmótica da solução, surge um potencial para a transferência de água do sólido para a solução, enquanto as células do vegetal atuam como membranas semipermeáveis. Ao mesmo tempo, como as membranas são apenas parcialmente seletivas, ocorre a difusão de alguma quantidade de soluto, tanto da solução para o sólido, quanto na direção contrária (JAYARAMAN & DAS GUPTA, 1992).

Em uma situação osmótica ideal, uma membrana semipermeável deixaria passar as moléculas do solvente, mas não as moléculas do soluto. Em frutas e hortaliças, a parede celular contém numerosos interstícios relativamente grandes e não se apresenta como a principal barreira, sendo permeável à água e a pequenos solutos. O plasmalema, que é a denominação dada à membrana plasmática que

envolve todo o conteúdo da célula, excetuando-se a parede celular, pode estriar-se ou dilatar-se sob o aumento de pressão gerada no interior das células e, dependendo do soluto, funciona como uma membrana seletiva. Este tipo de membrana geralmente apresenta permeabilidade diferencial, isto é, permite que solventes a atravessem mais facilmente, mas restringe a passagem de um grande número de solutos (NOBEL, 1991).

Os principais fluxos de massa que ocorrem na desidratação osmótica são: o fluxo de água que difunde do interior do vegetal para a solução (fluxo mais importante), o fluxo da substância osmótica estabelecido na direção oposta que difunde da solução para dentro do tecido desidratado e o terceiro fluxo, que está ligado com a perda de substâncias de baixo peso molecular (sacarídeos, ácidos orgânicos, vitaminas e sais minerais). Esta corrente, ainda que não significativa na transferência de massa, pode ter uma influência essencial sobre os valores nutritivos finais e as propriedades organolépticas do alimento (DE LA CRUZ, 1998).

O resultado desta transferência de massa complexa é uma diminuição do conteúdo de umidade com um incremento simultâneo de sólidos, além de uma modificação química do alimento desidratado (LENART, 1996).

A taxa de remoção de água durante a desidratação osmótica depende de diversos fatores, tais como concentração e temperatura da solução, tempo de contato, grau de agitação da solução, do tamanho e forma do sólido, razão solução/sólido e nível de vácuo, se aplicado (RASTOGI *et al.*, 1997).

Uma questão muito importante é a escolha do soluto a ser empregado. Alterações nas propriedades sensoriais e no valor nutricional do produto final, além do custo do processo são fatores a ser considerados durante a seleção da substância osmótica. A sacarose é tida como a melhor substância osmótica para frutas, especialmente quando a desidratação osmótica é empregada como etapa preliminar à secagem convectiva, devido à sua eficácia, conveniência e sabor, além do que, sua presença na superfície do material funciona como um obstáculo para o contato com o oxigênio, reduzindo o escurecimento enzimático. No entanto, seu acentuado sabor doce é um fator limitante na desidratação de hortaliças.

O cloreto de sódio é um excelente agente osmótico por apresentar um efeito desidratante muito rápido. Entretanto, devido ao seu baixo peso molecular, o

material a ser desidratado apresenta elevado ganho de soluto (QI *et al.*, 1998; LENART, 1996). Hawkes e Flink (1978) observaram altas taxas de desidratação em fatias de maçã, mesmo quando o NaCl foi combinado com a sacarose. As taxas foram crescentes à medida que a concentração de sal foi aumentada, porém, a utilização do NaCl é limitada pelo fator sensorial.

De modo geral, o objetivo da desidratação osmótica é maximizar a perda de água e, ao mesmo tempo, minimizar o ganho de soluto por parte do sólido. Os solutos utilizados não podem ser tóxicos, caros ou pouco solúveis, além do que as soluções devem ser bastante concentradas sem serem viscosas. Vários autores observaram que a mistura de sacarose/cloreto de sódio é o meio mais efetivo e prático de conseguir esse resultado (QI *et al.*, 1998; LENART & FLINK, 1984b; TELIS *et al.*, 2004).

A mistura de sal e açúcar evita a formação de uma crosta na superfície do alimento, o que ocorre quando uma solução de alta concentração de sacarose pura é utilizada, sendo que esta crosta prejudica a remoção de água. Por outro lado, a mistura desses solutos também resulta em diminuição da difusão do sal no sólido devido à presença do açúcar (QI *et al.*, 1998).

No caso do tomate, a desidratação osmótica pode ser um método útil para minimizar a perda de nutrientes (como licopeno e vitamina C), retendo estes compostos durante seu processamento. Quando aplicada como etapa preliminar à secagem, apresenta como vantagens em relação ao método tradicional de secagem: menor gasto de energia; melhor aparência (cor); incorporação de compostos que podem aumentar a preservação e minimizar os danos à cor, textura e sabor causados pelo calor.

A taxa de remoção de água na desidratação osmótica depende fortemente da concentração da solução desidratante. Um aumento da diferença de concentração tem um efeito muito favorável sobre a perda de água (HAWKES & FLINK, 1978) e a redução de peso aumenta com a maior concentração da solução. De acordo com De La Cruz (1998), o uso de xaropes fortemente concentrados pode também reduzir as perdas de solutos hidrossolúveis, tal como o ácido ascórbico.

Na desidratação osmótica de cebolas, Baroni e Hubinger (1998) observaram que 10% da água foi removida ao utilizar uma solução osmótica de NaCl a 15% ,

sendo que ao utilizar a mesma solução a 10%, somente 7% da água foi retirada. Berthier e Queiroz (1999a), ao desidratar manga osmoticamente, testaram soluções de sacarose com 40, 55 e 70° Brix em temperatura ambiente e constataram que houve uma diferença significativa entre a solução de sacarose de 40° Brix e as demais, sendo que a mesma apresentou menor redução de peso e do teor de umidade das amostras. No tratamento com solução de sacarose a 55° Brix obtiveram uma redução de peso e umidade significativas. A solução de 70° Brix foi a que mais reduziu a umidade e o peso iniciais, mas mostrou-se instável devido à formação de depósitos de cristais de açúcar no recipiente utilizado, uma vez que a alta concentração dificultou a diluição completa do mesmo na temperatura utilizada ($\pm 25^\circ\text{C}$), portanto os autores concluíram que a solução de sacarose de 55° Brix mostrou-se mais adequada.

De acordo com Hawkes & Flink (1978), a agitação tem uma boa influência sobre a perda de peso (especialmente para soluções concentradas) e sobre a velocidade de transferência de massa. Porém, para que seja possível compreender e prever a influência das variáveis de processo nos fenômenos de transferência de massa durante a desidratação osmótica, é fundamental estabelecer a cinética de perda de água e ganho de sólidos de um determinado alimento. Os modelos propostos para descrever a desidratação osmótica são baseados na teoria da difusão em materiais homogêneos ou no conhecimento da fisiologia celular dos tecidos. Neste caso, tanto o transporte de componentes da amostra para as vizinhanças como o contrário, são considerados. Isto permite a estimativa de coeficientes de difusão efetivos para a perda de água e ganho de sólidos, individual ou simultaneamente (PANAGIOTOU et al., 1998). Pela teoria de difusão, ao se considerar que a difusão de cada componente é tratada segundo a forma binária da Lei de Fick (BIRD et al., 1975), o fenômeno pode ser descrito pela equação (1)

$$\frac{\partial \rho_i}{\partial t} = D_{im} \nabla^2 \rho_i \quad (1)$$

que é a equação conhecida como a Segunda Lei de Fick, onde D_{im} é a difusividade binária efetiva da substância i no meio, t representa o tempo e ρ_i é a concentração da substância i .

Em relação ao conhecimento do fenômeno de transferência de substâncias nos tecidos celulares, este é bastante complexo, pois depende da microestrutura e da fisiologia celular. Spiazzi & Mascheroni (1997) propõem um modelo que assume que a transferência de massa de cada constituinte resulta da contribuição do transporte através dos espaços intercelulares e das membranas, e empregam relações baseadas nos princípios da termodinâmica dos processos irreversíveis.

Um dos maiores problemas em adotar a desidratação osmótica em escala industrial é a falta de informações para o projeto e condições de processo para um equipamento utilizado para o tratamento osmótico. No entanto, Qi *et al.* (1998), se empenharam em projetar e construir um equipamento em escala piloto para operação contínua e avaliar as condições de processo durante a desidratação osmótica de cubos de cenoura. O equipamento consistiu numa unidade com três seções de aspersão da solução osmótica sobre as cenouras frescas localizadas em uma esteira perfurada que se movimentava em contra-fluxo ao sobrenadante de cada uma das seções. A temperatura da solução e a velocidade da esteira podiam ser controladas. Este equipamento mostrou-se eficiente na remoção de água das cenouras e o processo tem aplicação potencial na produção comercial, com algumas modificações e aperfeiçoamento para cada produto.

A secagem osmo-convectiva tem sido considerada uma alternativa no sentido de obter produtos desidratados de melhor qualidade que aqueles resultantes da secagem convencional, a um custo inferior ao da liofilização. Segundo Lenart (1996), a pré-secagem osmótica tem um efeito protetor sobre a estrutura do material desidratado. Na prática observa-se que as frutas e hortaliças submetidas à secagem osmo-convectiva são caracterizadas por uma estrutura mais flexível e macia. Nsonzi & Ramaswamy (1998a) observaram que a pré-desidratação osmótica durante um curto período de contato minimizou a degradação da cor de *blueberries* durante a secagem convectiva. De acordo com Quintero-Ramos *et al.* (1993) o pré-tratamento osmótico representou uma proteção contra os efeitos adversos do calor e da oxidação durante a secagem por ar quente de fatias de maçã.

Outra vantagem da pré-secagem osmótica é o fato de permitir o uso de temperaturas mais baixas para o ar de secagem, uma vez que o teor de umidade inicial do produto que entra no secador é consideravelmente mais baixo que o correspondente ao produto fresco. Também em decorrência do uso da pré-

desidratação osmótica, existe a possibilidade de que o teor de umidade do produto obtido após a secagem convectiva seja mantido em torno de 20 a 30%, teor um pouco mais elevado que o convencional, resultando em produto de textura mais macia. Isso é possível devido aos solutos incorporados durante o tratamento osmótico, os quais contribuem para o abaixamento da atividade de água, mesmo em umidades mais elevadas (LENART, 1996).

3.5- Cinética da Secagem

Segundo Mc Cormick (1983), a secagem é normalmente considerada um processo de remoção de umidade de um sólido por evaporação. Quando o calor necessário para evaporar a água é fornecido ao material, ocorrem transferências simultâneas de calor e massa. A exposição de uma amostra úmida ao ar de temperatura T_{ar} , com umidade relativa UR e velocidade v_{ar} constantes, constitui uma secagem sob condições constantes. Ocorrerá transferência de calor e de massa simultaneamente, sendo o calor suprido pelo ar, que arrasta a umidade evaporada.

Segundo Singh & Heldman (1993), a preservação de frutas e hortaliças por desidratação, no entanto, apresenta um desafio: devido à configuração estrutural destes produtos, a remoção de umidade deve ser realizada de maneira a preservar ao máximo sua qualidade. Isto requer um processo que forneça um produto seco que possa retornar aproximadamente às suas condições originais após a reidratação. Para se conseguir a remoção de água de um produto alimentício da maneira mais eficiente, o sistema de desidratação deve levar em conta os vários processos e mecanismos de transformação que ocorrem no produto, que são de particular importância para frutas e vegetais, onde a própria estrutura influencia o movimento da água no interior do produto.

A técnica mais utilizada na produção de frutas e hortaliças desidratadas é a secagem por ar quente – onde uma batelada do material a ser seco, usualmente em forma de pequenos pedaços ou fatias, é submetida a uma corrente de ar quente paralela ou perpendicular ao leito de sólidos (NIJHUIS et al., 1996). Apesar de sua simplicidade, a secagem por ar quente reduz consideravelmente a qualidade do produto. Os defeitos mais comuns dos alimentos desidratados dessa maneira são: a dureza excessiva, a dificuldade de reidratação e a alteração da cor e sabor.

Segundo Qi *et al.* (1998), a liofilização também pode ser utilizada para a obtenção de produtos desidratados de excelente qualidade, mas a grande quantidade de energia envolvida no processo o torna extremamente caro e, na maioria das vezes inviável.

De acordo com a análise de transferência de calor e massa, os sistemas de desidratação mais eficientes mantêm máximos os gradientes de temperatura e pressão de vapor entre o ar ambiente e o interior do produto.

Diversos tipos de secadores e métodos de secagem, sendo cada um deles de maior ou menor adequação a uma situação particular, são comercialmente usados para a remoção da umidade de uma grande variedade de produtos alimentícios, incluindo frutas e hortaliças. Os fatores que levam à seleção de um determinado secador ou método de secagem incluem a forma da matéria prima e suas propriedades, o custo de operação e as características físicas desejadas para o produto final (JAYARAMAN & DAS GUPTA, 1992). Segundo Romero *et al.* (1997), a secagem de tomate *in natura* deve se realizada a temperaturas inferiores a 65°C para preservar a cor e o sabor, o que torna o processo demorado, exigindo um tempo grande para atingir uma umidade baixa o suficiente para garantir a estabilidade microbiológica do produto.

A desidratação é uma operação unitária que envolve a transferência de calor e massa. A transferência de calor, necessária para evaporação da umidade, é geralmente baseada no mecanismo de convecção. Quanto à transferência de massa, existem dois aspectos importantes a ser considerados: o transporte da água no interior do sólido a ser seco até a superfície e a remoção do vapor a partir da mesma. O processo usualmente representado por uma curva de secagem (Figura 2), pode ser dividido em três fases, descritas abaixo:

1ª Fase (A-B) – aquecimento do material até a temperatura de secagem desejada: a elevação da temperatura causa um rápido aumento na taxa de secagem.

2ª Fase (B-C) – período de taxa constante: a velocidade de transferência de massa (umidade) no interior do sólido poroso é igual à velocidade de evaporação da água na superfície do mesmo.

3ª Fase (C-D) – período de taxa decrescente: a velocidade de transferência de massa no interior do sólido é menor que a taxa de evaporação na superfície; ocorre a elevação da temperatura do produto.

No estudo da secagem, depois da obtenção das curvas e da caracterização dos períodos de secagem, é interessante descrever o processo matematicamente, de forma que as equações obtidas possam ser utilizadas no próprio estudo da cinética de secagem ou em projetos de secadores.

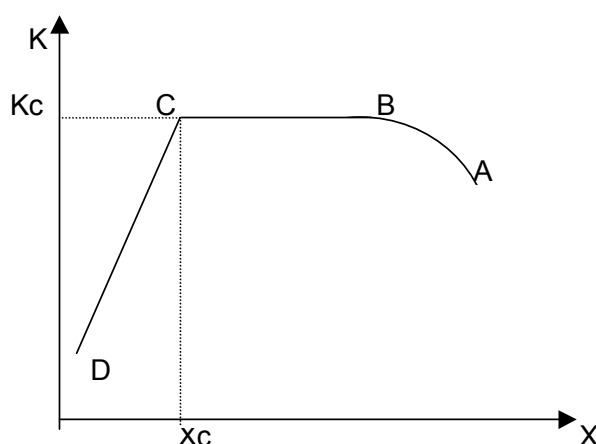


Figura 2-Curva de secagem, onde X é a umidade em base seca (kg água/kg matéria seca), K é a taxa de evaporação de umidade (kg água/kg de matéria seca.h), X_c é a umidade crítica e K_c a taxa crítica correspondente.

Muitos autores têm definido uma curva de secagem generalizada que inclui as regiões de taxa constante e taxa decrescente de secagem. Entretanto, nem todos os materiais seguem este padrão.

O período de taxa constante é caracterizado pelo fato da superfície do material ser mantida num nível de umidade tal que pressão parcial da água é igual à pressão de saturação à temperatura de bulbo úmido do ar. As resistências à transferência de calor e massa estão localizadas somente na corrente de ar, de modo que a taxa de evaporação de água não muda com o tempo.

Segundo Chirife (1983), o fim do período de taxa constante corresponde ao instante em que a migração interna de água para a superfície não consegue mais compensar a taxa de evaporação da água livre da mesma. O conteúdo de umidade deste ponto é denominado “umidade crítica” (X_c). Os valores de umidade crítica não

são somente característicos de cada material alimentício, mas também dependem de outros fatores, os quais controlam a velocidade de movimento de umidade (interno/externo), tais como espessura da peça e condições do ar (velocidade, temperatura e umidade relativa).

Chirife (1983) também verificou que o período de taxa constante é importante somente para situações em que o potencial de secagem é muito baixo ou a umidade do alimento é muito alta. Vacarezza *et al.* (1974) e Alzamora *et al.* (1979) não observaram a existência do período de taxa constante durante a secagem de vegetais.

No período de secagem à taxa constante, a água evapora de acordo com o fornecimento de calor para o sólido úmido e, portanto, a transferência de calor gás-sólido controla o processo. Como todo calor transferido é convertido em calor latente, pode-se representar a taxa de secagem da seguinte forma (TREYBAL, 1987):

$$Na = \frac{h(T_{ar} - T_{bu})}{\lambda} \quad (2)$$

Onde: Na - fluxo mássico (kg/h m²);

h - coeficiente de transferência de calor (kcal/h m² °C);

T_{ar} - temperatura do ar (°C);

T_{bu} - temperatura de bulbo úmido do ar (°C)

λ - calor latente de vaporização da água a T_{bu} (kcal/kg);

Na secagem de frutas e hortaliças, o período de taxa decrescente é especialmente importante. Nessa fase as partes externas do material já estão secas, enquanto o interior ainda pode conter quantidades significativas de água. A partir desse ponto, o processo consome grandes quantidades de energia e os atributos físicos, sensoriais e nutricionais do produto podem ser prejudicados devido à elevação de temperatura (NIJHUIS *et al.*, 1996).

Segundo Chirife (1983), este período se inicia quando a migração interna de umidade passa a controlar o processo. Para a primeira fase do período de taxa decrescente, os principais mecanismos de transporte sugeridos são: escoamento capilar, difusão de líquido e difusão de vapor. Nota-se que um mecanismo não

necessariamente exclui os outros, podendo haver a ocorrência simultânea de diversos mecanismos.

Para descrever o processo de secagem no período de secagem decrescente, utilizam-se modelos teóricos, semi-teóricos e empíricos. Esses modelos são geralmente de transferência de massa, negligenciando-se o efeito de transferência de calor. Segundo Daudin (1983), a teoria de migração de água por difusão apóia-se exclusivamente sobre a lei de Fick, expressa em termos do gradiente de umidade. As análises feitas com base nesse modelo enfocam principalmente o estudo dos efeitos globais do fenômeno interno e, conseqüentemente, não descrevem os possíveis mecanismos de migração. Esta teoria tem sido aplicada na interpretação da secagem de produtos alimentícios por vários pesquisadores (AGUERRE *et al.*, 1985; ALZAMORA *et al.*, 1979; CARBONELL *et al.*, 1986; YUSHENY & POULSEN, 1988). O modelo teórico geralmente é representado pela equação do tipo da lei de Fick (TREYBAL, 1987), como se segue:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla(D\nabla X) \quad (3)$$

Onde X: umidade em base seca,

t: tempo

D: difusividade aparente.

Como o fenômeno de migração é complexo, trabalha-se com a difusividade aparente, D, que engloba todos os efeitos que podem intervir nesse fenômeno. As soluções analíticas da equação (3) aplicam-se aos sólidos de geometria simples e constante ao longo do processo.

A maioria dos cereais (arroz, trigo, feijão, etc.) apresenta uma pequena mudança de volume durante a secagem. Desta maneira, a solução analítica pode ser aplicada satisfatoriamente no estudo destes materiais. Para alimentos com alto conteúdo de umidade como a maioria das frutas, a variação de volume é grande e, por esta razão, as soluções analíticas não podem ser aplicadas de forma exata e devem ser consideradas como aproximações da solução real. Diversos autores a utilizaram e obtiveram bons resultados, entre eles Nicoleti *et al.* (2001) na secagem de abacaxi fresco e com pré-tratamento osmótico e Murari (2000), na secagem de tomate com e sem tratamento osmótico.

Os modelos semi-empíricos de Lewis e de Page são baseados na teoria da difusão, assumindo que a resistência ocorre em uma fina camada na superfície das partículas. O modelo de Lewis, análogo à lei de resfriamento de Newton, estabelece que a taxa de secagem é proporcional ao teor de água livre, sendo normalmente utilizada na sua forma integrada (equação 4).

$$\frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \exp(-k_L t) \quad (4)$$

onde k_L é o parâmetro de secagem de Lewis.

A equação (4) aproxima-se da solução da equação da difusividade (eq. 2), para tempos de secagem longos, quando apenas o primeiro termo da série for significativo. Esta correlação acaba sub ou super estimando os valores preditos na primeira ou segunda parte da secagem. Sua utilização é indicada para $Fo \approx 1$ e $Bi_M > 100$.

O modelo de Page (equação 5), é uma modificação empírica do modelo de Lewis, sendo freqüentemente usado nos estudos de secagem de produtos agrícolas e alimentos, com excelentes resultados. A utilização de dois parâmetros faz com que sua aplicabilidade seja maior levando a valores estimados mais próximos dos reais.

$$\frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \exp(-k_p t^n) \quad (5)$$

Onde X: umidade (b.s.) do produto no tempo t,

X_0 : umidade inicial,

X_{eq} : umidade de equilíbrio

k_p e n são os parâmetros de ajuste do modelo.

Para Holdsworth (1971), os principais fatores que afetam a taxa de secagem são as propriedades físicas do produto, o arranjo geométrico do produto em relação à superfície de transferência de calor, as propriedades físicas do ambiente de secagem e a característica do equipamento. Segundo Van Arsdell *et al.* (1973), dos fatores citados, o que mais influencia a taxa de secagem é a natureza da matéria prima, compreendendo a constituição química e física das paredes das células. Vaccarezza *et al.* (1974), ao estudarem a secagem de beterraba, concluíram que a taxa de secagem é afetada principalmente pela temperatura e tamanho da partícula e, em menor grau, pela velocidade do ar.

Nicoletti *et al.* (2001) encontraram que a temperatura tem maior influência sobre a cinética de secagem em fatias de abacaxi que a velocidade do ar, embora a mudança de velocidade do ar de 1,8 para 2,5 m/s também tenha aumentado a taxa de secagem. Nesse mesmo trabalho, os autores verificaram que a fixação da temperatura no interior das fatias de abacaxi (35, 40 e 45°C) também possibilitou a redução do tempo de secagem em comparação com o processo convencional que emprega a temperatura fixa do ar de secagem, que no caso foram fixadas entre 40°C e 70°C.

3.6- Vitamina C

A perda da qualidade nutricional durante o processamento de alimentos tem se tornado um problema crescente com a introdução dos regulamentos de classificação nutricionais.

Para aumentar o valor nutritivo de alimentos processados, muitos produtos são agora enriquecidos com vitaminas e minerais. A vitamina C é uma dessas vitaminas. A degradação de vários nutrientes, incluindo a vitamina C, pode se tornar um fator limitante na vida-de-prateleira de vários produtos.

A atividade de vitamina C em alimentos está associada ao seu conteúdo de ácido L-ascórbico que pode ser facilmente oxidado, sendo a intensidade do processo dependente de fatores como pH, conteúdo de umidade, oxigênio, temperatura e luz.

A tecnologia de alimentos tem como um dos principais objetivos, além da preservação do alimento em longo prazo, maximizar a retenção de nutrientes durante o processamento e armazenamento do produto. Geralmente, é observado que se o ácido ascórbico contido nos alimentos apresenta intensa degradação, os outros nutrientes também sofreram moderada degradação. Dessa forma, o ácido ascórbico geralmente é considerado como um índice da qualidade nutricional durante o processamento e armazenamento de gêneros alimentícios (FENNEMA, 1977).

Nos últimos anos tem havido uma maior preocupação, por parte dos consumidores, em relação à qualidade nutricional dos alimentos. No caso da vitamina C existe um interesse tanto dos consumidores quanto dos fabricantes de alimentos, uma vez que este nutriente é um dos mais sensíveis às condições de processamento e armazenagem.

Existem vários estudos recentes sobre degradação deste nutriente nos mais diversos tipos de alimentos. Gabas et al. (2003b) estudaram a cinética de degradação do ácido ascórbico em ameixas liofilizadas, Silva et al. (2005), verificaram a degradação deste nutriente em camu-camu. Gahler et al. (2003) tiveram como objetivo mostrar as alterações do conteúdo de vitamina C durante o processamento térmico de diferentes produtos de tomate como suco, molho, sopa e tomates cozidos. Gabas et al. (2004) compararam a perda de ácido ascórbico em cilindros de maçã desidratados por dois diferentes processos: uso de secador com bomba de calor e secador com ar paralelo aquecido por resistência elétrica.

No processo de desidratação, a perda de ácido ascórbico é afetada principalmente pela aplicação de altas temperaturas. Zanoni et al. (1999), ao estudarem a degradação de vitamina C durante a secagem de tomate na temperatura de 80° e 110°C, observaram que a taxa de degradação foi dependente tanto da temperatura quanto do conteúdo de umidade. Os autores não detectaram vitamina C nas amostras com 50% de umidade e temperatura de 110°C, enquanto que um resíduo de 10% desta vitamina foi encontrado em amostras submetidas, à temperatura de 80°C, com umidade aproximada de 10%. Estudos sobre a cinética de degradação da vitamina C em função das condições de processamento permitem escolher processos alternativos ou operações mais eficientes para minimizar perdas de qualidade.

De acordo com Cunha et al. (1998), a equação (9) foi originalmente apresentada em 1939 por W. Weibull para descrever o colapso de materiais submetidos à tensão ao longo do tempo. A partir daí, já foi usada e tem se mostrado bastante útil na descrição de cinéticas de degradação química, enzimática ou microbiana - situações que também implicam no colapso de um sistema após um determinado tempo de exposição a condições de tensão. O parâmetro α pode ser interpretado como uma constante cinética de reação e representa o tempo característico de colapso do sistema, isto é, o tempo necessário para que a

concentração, C , atinja um valor correspondente a 36,8% ($1/e$) da concentração inicial, C_0 . A constante β é um índice de comportamento e, para $\beta > 1$, a taxa de reação aumenta ao longo do tempo e a curva de degradação assume forma sigmoidal.

$$\frac{C}{C_0} = \exp \left[- \left(\frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right] \dots\dots\dots (6)$$

onde:

C = concentração de ácido ascórbico em um determinado tempo t ;

C_0 = concentração de ácido ascórbico no início do processamento;

α = parâmetro de ajuste do modelo;

β = parâmetro de ajuste do modelo.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1- Matéria-prima

Os experimentos foram realizados no Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual Paulista/UNESP, São José do Rio Preto – SP.

Os tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) do tipo industrial (tipo Pêra), foram adquiridos no mercado local poucas horas antes do processamento. O grau de maturação foi avaliado pela textura firme e coloração vermelha uniforme.

4.2 – Metodologia experimental

Na metodologia experimental foram investigados dois pré-tratamentos, descascamento químico de tomates inteiros e tratamento osmótico de tomates inteiros descascados. Na secagem foram testados tomates inteiros descascados sem tratamento osmótico, tomates inteiros descascados e tratados osmoticamente e tomates em metades sem nenhum pré-tratamento.

4.2.1- Descascamento químico

Para o descascamento químico, os tomates foram imersos em soluções de hidróxido de sódio. Esse processo foi otimizado através de um planejamento experimental quanto à combinação de concentração, temperatura e tempo de imersão, tendo como parâmetros de otimização a cinética de secagem e a fração de polpa perdida no descascamento.

O estudo do descascamento químico foi feito com base em um planejamento experimental do tipo central composto. Os fatores e níveis selecionados foram: tempo de imersão (10 e 30 min), concentração de NaOH (4 e 8% p/p) e temperatura da solução (30 e 50°C). A cada ensaio foram tratados 6 tomates e, ao longo da

imersão, a solução era manualmente agitada a cada 3 minutos. Ao final do descascamento, os tomates foram imediatamente drenados e a casca foi removida manualmente sob água corrente. A perda de massa foi determinada pela diferença de peso total dos tomates antes e depois do descascamento. Em seguida, os tomates foram desidratados até peso constante em um secador de bandejas, a 60°C, velocidade do ar de 1 m/s e umidade relativa entre 18 e 20%.

4.2.2- Pré-desidratação osmótica

A desidratação osmótica foi realizada em um *shaker* (agitador rotativo orbital) com capacidade para 12 frascos de 500 ml, com temperatura controlada a 30°C. Em cada frasco foi colocado 1 tomate inteiro descascado, pesando em média 60 g e 600 mL de solução osmótica, de modo a garantir uma relação solução:sólido de no mínimo 10:1, o que limitou mudanças na concentração da solução durante o experimento. Os frascos permaneceram no *shaker* por intervalos de tempo pré-determinados. Depois de retirados da solução, os tomates foram drenados, enxaguados rapidamente para a retirada da solução superficial e enxugados com papel absorvente.

Foram estudados os efeitos da concentração de NaCl e sacarose na solução osmótica sobre a cinética de perda de água e ganho de sólidos. Amostras retiradas periodicamente da solução osmótica foram analisadas quanto à umidade, pelo método gravimétrico, e teor de açúcares e de NaCl.

4.2.3- Secagem a ar quente

Foi utilizado um secador de bandejas em série com convecção forçada de ar, projetado e construído nos laboratórios do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos (DETA) da UNESP de São José do Rio Preto (Figura 3).

O secador é constituído de quatro seções básicas: seção de controle da velocidade do ar, seção de aquecimento, seção de controle da temperatura e seção de secagem. Esta última consiste em uma cabine onde são encaixadas sete

bandejas de aço inoxidável, perfuradas, com dimensão de 0,44 m x 0,44 m. As bandejas são sobrepostas – recebendo números de 1 a 7 desde a base até o topo do secador – com espaçamento de 0,08 m entre si, sendo este o espaço disponível para o escoamento do ar.

O ar é succionado por um ventilador tubo-axial que dispõe de controle de velocidade. O ventilador é posicionado no topo do secador e introduz o ar que é imediatamente aquecido por meio de um queimador de gás GLP que permite o ajuste da temperatura pelo controle de sua vazão. A disposição física do secador, de múltiplos passos, permite que o ar escoe, a partir da bandeja na base do secador, por todas as demais bandejas, invertendo de direção a cada bandeja e passando em paralelo ao produto, até a última bandeja, no topo do secador. Dessa forma o mesmo ar de secagem percorre todas as bandejas, em série. A velocidade do ar de secagem foi controlada manualmente com auxílio de um anemômetro de palhetas, em torno de 1m/s e a temperatura controlada manualmente e foi verificada por meio de termopares instalados ao longo do secador.

As temperaturas foram medidas por meio de três termopares instalados ao longo do secador, sendo um posicionado acima da primeira bandeja (temperatura 1), outro acima da quarta bandeja (temperatura 2) e o último posicionado acima da sétima bandeja, na saída do ar (temperatura 3), sendo que as bandejas foram trocadas de posição de 1 em 1 hora.

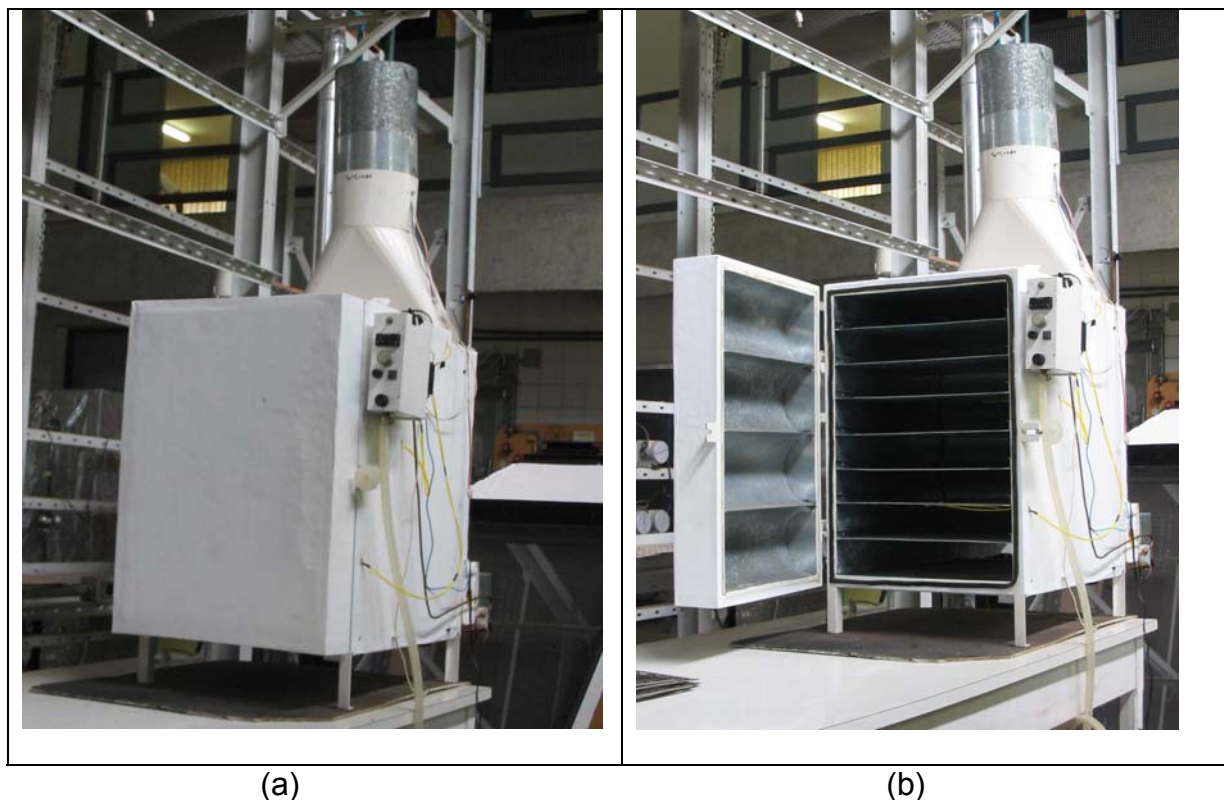


Figura 3. Secador de bandejas com ar aquecido por gás GLP: (a) fechado e (b) aberto.

4.3. Métodos analíticos

4.3.1- Determinação de sólidos totais

O conteúdo de sólidos totais foi determinado pelo método gravimétrico, em estufa a vácuo a 60°C até peso constante, em amostras em triplicata, utilizando-se frascos pesa-filtro com tampa esmerilhada.

4.3.2- Determinação de açúcares totais e redutores

Para a determinação de açúcares totais e redutores foi utilizado o método de Lane Eynon de titulação de oxi-redução (AOAC, 1978), sendo realizadas análises

em triplicata. Para cada intervalo de tempo foram preparadas amostras para análise de açúcares usando-se 50 gramas de tomate tratado osmoticamente.

Para o resultado final de ganho de solutos, este foi expresso em porcentagem de sacarose na amostra sendo que para tal, subtraía-se a porcentagem de açúcares totais dos açúcares redutores e multiplicava por 0,95 devido a incorporação de uma molécula de água durante a hidrólise.

4.3.2..1- Preparo da solução para a determinação de açúcares redutores:

Primeiramente, uma quantidade de 50 g de amostra foi homogeneizada em um multiprocessador e transferida para um erlenmeyer juntamente com 100 ml de água destilada.

A amostra foi tampada e submetida a um processo de agitação em um shaker durante 3 horas.

A solução foi transferida para um balão volumétrico de 250 ml, lavando-se o erlenmeyer com água destilada, mas sem completar o volume.

Procedeu à clarificação da amostra juntou-se 5 ml de acetato de zinco e 5 ml de ferrocianeto de potássio. Agitou o balão com movimentos circulares e completou o volume até 250 ml, agitou novamente.

A solução foi filtrada a vácuo, transferida para um erlenmeyer e chamada de solução **A**. Através dessa solução determinou-se a quantidade de açúcares redutores presentes na amostra de tomate.

4.3.2..2- Preparo da solução para a hidrólise dos açúcares não redutores para determinação dos açúcares totais

Transferiu-se 50 ml da solução **A** para um balão volumétrico de 100 ml. Adicionou-se 5 ml de HCl concentrado e submeteu-se o balão a um aquecimento, em banho-maria, até atingir 70°C, por 5 minutos. Em seguida, o balão foi resfriado rapidamente em banho de gelo.

Colocou-se um pedaço pequeno de papel indicador vermelho do Congo na solução dentro do balão e procedeu-se a neutralização com NaOH 40 % até que o papel atingiu uma coloração intermediária entre o azul e o vermelho.

Completoou-se o volume do balão a 100 ml com água destilada, a solução foi agitada e filtra. Essa solução foi chamada de solução **B** e, através dela, determinou-se a quantidade de açúcares totais presentes na amostra de tomate.

4.3.2.3- Preparação da Solução de Fehling

Solução de Fehling A

Dissolveu-se 34,639 g de sulfato cúprico em água destilada, adicionou-se 0,5 ml de ácido sulfúrico concentrado e, completoou-se o volume a 500 ml com água destilada.

Solução de Fehling B

Dissolve-se 172 g de tartarato duplo de sódio e potássio e 50 g de NaOH em água destilada, completoou-se o volume a 500 ml com água destilada, deixou descansar e filtrou.

4.3.2.4- Aplicação do método

O licor de Fehling foi preparado misturando-se partes iguais de solução de Fehling A e B.

Colocou-se a solução **A** em uma bureta de 50 ml.

Pipetou-se 10 ml do licor de Fehling para um erlenmeyer de 250 ml, adicionou-se igual volume de água destilada.

Essa solução foi aquecida em uma chapa até levantar fervura, após o que adicionou-se, aproximadamente , 2 ml da solução **A** contida na bureta.

Ao levantar fervura novamente, adicionou-se 4 gotas de solução azul de metileno a 1% e reiniciou-se a titulação, sempre mantendo o licor fervendo.

Quando o ponto final foi atingido, ou seja, quando a cor azul do sobrenadante desapareceu deixando aparecer claramente o precipitado vermelho de óxido cuproso, a titulação foi encerrada e o mesmo procedimento foi repetido, juntou-se, no entanto, ao invés de apenas 2 ml iniciais da solução de glicose, o volume gasto na primeira titulação menos 1 ml.

O mesmo procedimento foi repetido com a solução **B** para a determinação de açúcares totais.

4.3.2.5- Cálculos

Subtrai-se a porcentagem de açúcares redutores expressos em glicose da porcentagem de açúcares totais também expressos em glicose. Multiplicou-se o resultado por 0,95 (por causa da incorporação de uma molécula de água durante a hidrólise). O resultado foi a porcentagem de sacarose na amostra.

4.3.3- Determinação de cloreto de sódio

O cloreto de sódio foi determinado na forma de cloretos por titulação com solução de nitrato de prata pelo método de Mohr (DE LA CRUZ, 1998) modificado usando 10 gramas de amostra de tomate, sendo realizadas análises sempre em triplicata.

4.3.3.1- Aplicação do método

Triturou-se a amostra, pesou analiticamente 10 g da amostra em um erlenmeyer e adicionou-se 100 ml de água destilada. A amostra foi tampada e submetida a um processo de agitação em um shaker durante meia hora.

Transferiu-se a solução para um balão volumétrico de 250 ml e completou-se o volume com água destilada, filtrou-se a solução a vácuo. Do filtrado, pipetou-se 50 ml e transferiu-se para um erlenmeyer de 250 ml.

Acertou-se com NaOH 0,1 N o pH para 6,5 a 10,5. Adicionou-se 0,5 ml de cromato de potássio 5% e titulou-se a solução com nitrato de prata 0,1 N.

4.3.3.2- Cálculos

A porcentagem de cloreto de sódio foi calculada de acordo com a equação (7):

$$\%NaCl = \frac{ml \ AgNO_3 \times 0,1 \times 250 \times 100 \times 58,5}{Peso \ Amostra \times \text{alíquota} \times 1000} \quad (7)$$

4.3.4- Determinação de vitamina C

A determinação de vitamina C foi realizada utilizando o método padrão da A.O.A.C. (1984), modificado por Benassi & Antunes (1988). As análises foram realizadas em duplicatas. Este método já foi empregado com sucesso em trabalhos recentes como Uddin, et al. (2001), Gabas, et al. (2003b), Dewanto et. al (2002), Sablani, et al. (2006), entre outros.

4.3.4.1- Preparo da solução de DCFI a 0,01%

Para o preparo desta solução, pesou-se em balança analítica 100mg de DCFI (2,6-diclorofenolindofenol) que posteriormente foi diluído em 50ml de água destilada fervente e transferido para um balão volumétrico de 1L, o qual foi completado com água destilada juntamente com 210mg de bicarbonato de sódio.

4.3.4.2- Preparo da solução extratora de ácido oxálico 2% (p/v)

Pesou-se em balança analítica 20g de ácido oxálico e diluído em água destilada em balão volumétrico de 1L.

4.3.4.3- Preparo da solução padrão de ácido ascórbico

Pesou-se exatamente 125mg de ácido ascórbico em balança analítica e diluiu-se em solução de ácido oxálico 2%, transferido para balão volumétrico de 50ml e completado o volume com o ácido oxálico. Esta solução tem duração média de 1 semana.

4.3.4.4- Aplicação do método

Antes de iniciar cada ensaio de secagem, era realizada a padronização da solução de DCFI 0,01%. A padronização se deu tomando 1ml da solução padrão de ácido ascórbico e completando em um balão volumétrico de 25ml com ácido oxálico 2%, onde uma alíquota de 10ml desta solução final foi titulada com DCFI 0,01%.

Para a aplicação do método, 25g de amostra era pesada em balança semi-analítica e tomada como amostra, a qual era homogeneizada com 50ml de solução de ácido oxálico 2%, utilizado como solvente. Do extrato (amostra + solvente), 20g foram então diluídos para 50ml com o solvente e depois filtrado a vácuo.

O conteúdo de vitamina C pode ser calculado pela equação (8):

$$\frac{mgVitC}{100gpolpa} = \left(\frac{DCFImostra(ml)}{DCFipadrão(ml)} \right) \left(\frac{100g}{mamostra(g)} \right) \left(\frac{msolvente+mamostra(g)}{mextrato(g)} \right) \left(\frac{50ml}{Valíquota(ml)} \right) \quad (8)$$

Em função da quantidade de água variar durante o processo de secagem, os resultados foram expressos em mg de vitamina C por g de matéria seca. Esta conversão é simples, uma vez que, conhece-se o conteúdo do nutriente e da umidade em cada intervalo de tempo. Basta fazer uso da equação (9):

$$\frac{mgVitC}{gmatéria\ sec\ a} = \frac{VitC}{100 - \%UBU} \dots\dots\dots (9)$$

onde:

VitC = conteúdo de vitamina C do produto expresso em mgVitC/100g polpa;

%UBU = porcentagem de umidade em base úmida.

A modelagem da cinética de degradação de vitamina C foi realizada ajustando-se o modelo de Weibull (eq. 6) aos dados experimentais.

4.4- Análise sensorial

Para avaliar o efeito do descascamento químico e do pré-tratamento osmótico na aceitação da cor, aparência geral e sabor do produto seco e temperado, tomates inteiros descascados quimicamente e desidratados osmoticamente foram comparados com tomates em metades tratados em solução osmótica e não tratados. Esses dois últimos produtos representaram os mais tradicionais oferecidos no mercado. A secagem com ar aquecido foi conduzida a 60°C até que todos atingiram uma umidade de 50% (em base úmida), sendo que para os tomates inteiros a secagem levou em torno de 16 horas e para os tomates em metades foi em torno de 12 horas.

Os tomates foram temperados com óleo de girassol, azeite, alho desidratado, orégano e louro, nas seguintes proporções:

Tomate: 70%

Óleo de girassol: 21%

Azeite: 7%

Alho desidratado: 1,3%

Orégano: 0,7%

Louro: uma folha por recipiente.

Todos os ingredientes, exceto os tomates, foram adicionados em um recipiente e aquecidos até a temperatura de 90°C, em seguida, os tomates foram adicionados nesta mesma temperatura. Durante o aquecimento, deve-se mexer o tempero para que a mistura fique bem homogênea. Os tomates já temperados foram acondicionados em recipientes de vidro com tampa e etiquetados. O volume de cada vidro foi preenchido com óleo de girassol e azeite para que todos os tomates pudessem ficar totalmente imersos. Os recipientes de vidro e suas tampas foram previamente lavados e esterilizados em água em ebulição por 30 minutos.

Foram avaliadas sensorialmente por uma equipe de 40 provadores não treinados utilizando escala hedônica de nove pontos, variando entre “desgostei muitíssimo” (nota 1) e “gostei muitíssimo” (nota 9) (Figura 4).

A temperatura de 60°C e o tratamento osmótico (35% sacarose, 10% NaCl, 1 hora) utilizados foram selecionados a partir de experimentos anteriores.

As três diferentes amostras foram servidas, ao mesmo tempo, em pires de porcelana codificados com números aleatórios de três dígitos e analisadas em cabines individuais com luz branca.

Os resultados foram tratados estatisticamente por análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey utilizando o programa Excel-Microsoft.

Idade: _____ Sexo: _____

Avalie cada amostra usando a escala abaixo para descrever o quanto você gostou ou desgostou

1. Desgostei muitíssimo
2. Desgostei muito
3. Desgostei regularmente
4. Desgostei ligeiramente
5. Indiferente
6. Gostei ligeiramente
7. Gostei regularmente
8. Gostei muito
9. Gostei muitíssimo

Número da amostra	Valor
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Observações: _____

Figura 4. Ficha para avaliação sensorial.

As Figuras 5 a 12 mostram as etapas de preparação das amostras para a análise sensorial.



Figura 5. Tomates inteiros submetidos ao descascamento químico.



Figura 6. Tomates inteiros já descascados.



Figura 7. Etapa de desidratção osmótica dos tomates inteiros.



Figura 8. Desidratção osmótica dos tomates em metades.



Figura 9. Disposição das bandejas com os tomates dentro do secador.



Figura 10. Tomates em metades secos.



Figura 11. Tomates inteiros secos.



Figura 12. Amostras prontas para a análise sensorial.

4.5- Análise dos resultados

4.5.1. Cinética da desidratação osmótica

A cinética da desidratação osmótica foi determinada com base na Lei de difusão de Fick (equação 1) para água, sacarose e NaCl, separadamente. O conteúdo de água, de sacarose e de sal foi determinado analiticamente nas amostras.

4.5.2- Cinética de secagem a ar quente

A cinética de secagem foi determinada pela pesagem periódica das bandejas, sendo a umidade ao longo do tempo obtida a partir da umidade inicial do produto e da variação de peso do produto. A umidade inicial do produto foi obtida de acordo com o método gravimétrico.

O modelo de Page (equação 5) foi ajustado às curvas de secagem, expressas na forma de umidade adimensional em função do tempo.

4.5.3- Cinética de degradação de vitamina C

Durante os ensaios de secagem, em intervalos de tempos regulares (1 hora), três tomates inteiros foram removidos do interior do secador e conduzidos ao teste para quantificação do conteúdo de vitamina C.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1- Determinação das condições de descascamento químico

Com o objetivo de verificar o efeito das condições de descascamento químico sobre a retirada da casca do tomate, realizou-se um mapeamento inicial da influência das concentrações de NaOH na solução, bem como do tempo e da temperatura sobre a perda de polpa e sobre o tempo de secagem dos tomates descascados. Utilizou-se um planejamento fatorial do tipo superfície de resposta com os seguintes fatores: NaOH, tempo e temperatura, resultando em 16 experimentos (que foram divididos em 4 secagens diferentes), de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3. Tratamentos correspondentes ao primeiro fatorial.

<i>Ordem das Secagens</i>	<i>Nº Tratamento</i>	<i>Tempo (min)</i>	<i>T (°C)</i>	<i>Concentração (%)</i>
1 ^a	1	10	50	4
1 ^a	2	10	50	8
1 ^a	3	30	50	4
1 ^a	4	30	50	8
2 ^a	5	10	30	4
2 ^a	6	10	30	8
2 ^a	7	30	30	4
2 ^a	8	30	30	8
3 ^a	9	20	40	2,63
3 ^a	10	20	40	9,36
3 ^a	11	20	40	6
3 ^a	12	20	40	6
4 ^a	13	3	40	6
4 ^a	14	37	40	6
4 ^a	15	20	23	6
4 ^a	16	20	56	6

Após cada descascamento químico, os tomates foram submetidos a secagem a ar quente a 60°C e velocidade de 1 m/s, sendo determinadas as curvas de secagem, que expressam a variação da umidade (base seca), em termos de umidade adimensional, em função do tempo. Após o descascamento, também foi determinada a porcentagem de perda de polpa, sendo que a casca também foi

considerada polpa, definida como a diferença relativa entre a massa inicial dos tomates e a massa após o descascamento.

As curvas de secagem obtidas são apresentadas nas Figuras 13 a 16, agrupadas de acordo com a temperatura do tratamento químico.

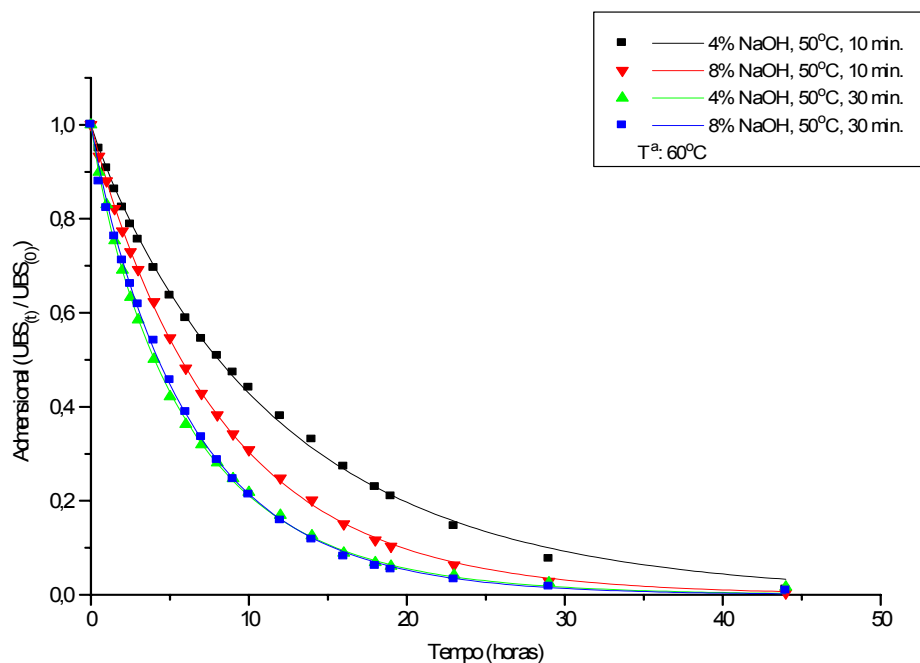


Figura 13. Cinética de secagem em função do tempo em diferentes condições de descascamentos químicos ($T^a: 60^\circ\text{C}$ e $V_{ar}: 1 \text{ m/s}$).

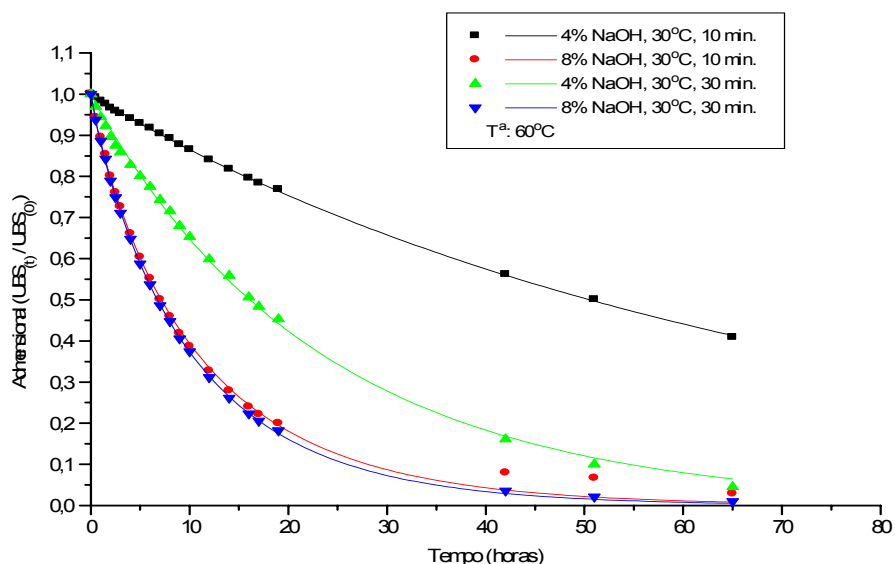


Figura 14. Cinética de secagem em função do tempo em diferentes condições de descascamentos químicos ($T^a: 60^\circ\text{C}$ e $V_{ar}: 1 \text{ m/s}$).

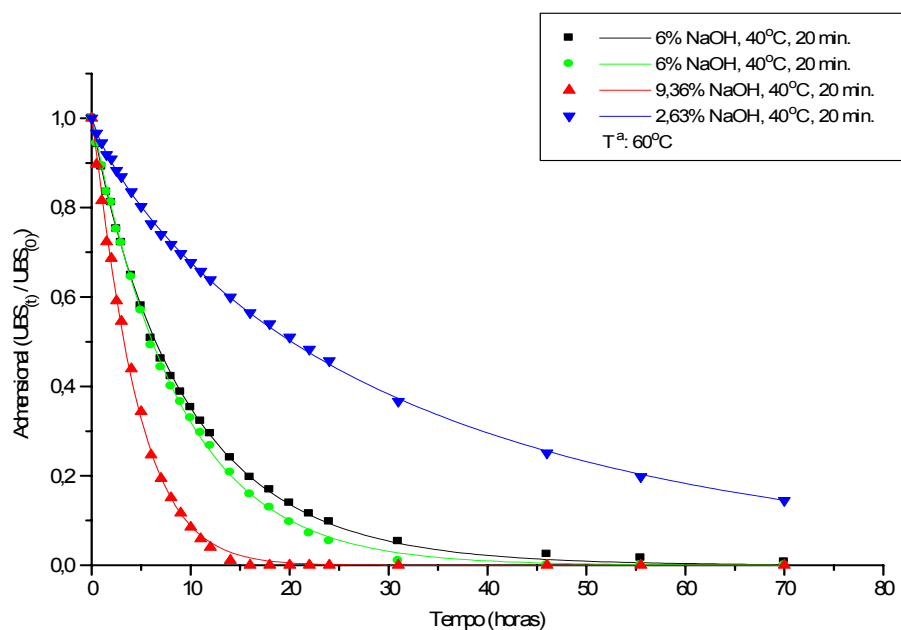


Figura 15. Cinética de secagem em função do tempo em diferentes condições de descascamentos químicos (T^a : 60°C e V_{ar} : 1 m/s).

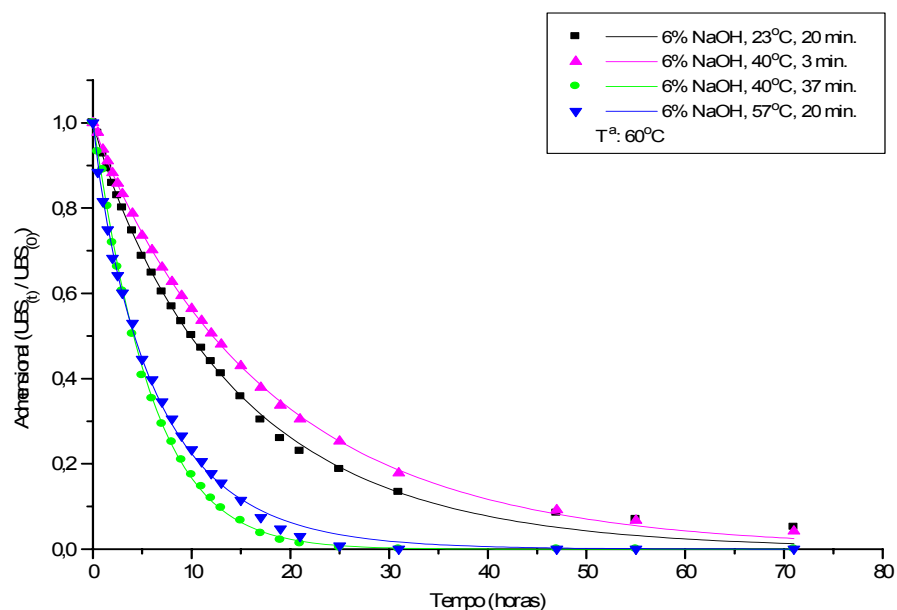


Figura 16. Cinética de secagem em função do tempo em diferentes condições de descascamentos químicos (T^a : 60°C e V_{ar} : 1 m/s).

O modelo de Page (equação 5) foi ajustado às curvas de secagem, levando a resultados satisfatórios quanto à qualidade do ajuste. A partir dos valores obtidos de K_p e n para cada condição de tratamento químico, foi calculado o tempo de secagem estimado para que os tomates atingissem uma umidade média de 50% em base úmida (100% b.s.). Esses resultados são apresentados na Tabela 4. Ainda nessa

tabela foram incluídos os resultados de perda de polpa em função das condições do descascamento químico.

Tabela 4. Valores dos parâmetros k_p e n do ajuste do modelo de Page para secagem de tomates em diferentes condições de pré-tratamentos químicos.

Secagem	Pré-Tratamentos	% Polpa Perdida	K_p	N	SSR	R^2	Tempo de Secagem para atingir peso constante (h)
1ª	4% NaOH, 50°C, 10 min.	11,63	$0,097 \pm 0,003$	$0,941 \pm 0,012$	0,002	0,999	23
	8% NaOH, 50°C, 10 min.	31,5	$0,128 \pm 0,002$	$0,970 \pm 0,006$	0,001	0,999	18
	4% NaOH, 50°C, 30 min.	27,33	$0,201 \pm 0,003$	$0,890 \pm 0,007$	0,001	0,999	14
	8% NaOH, 50°C, 30 min.	40,07	$0,178 \pm 0,004$	$0,938 \pm 0,013$	0,002	0,999	10
2ª	4% NaOH, 30°C, 10 min.	1,07	$0,016 \pm 0,002$	$0,966 \pm 0,004$	0,0001	0,999	+ de 65
	8% NaOH, 30°C, 10 min.	10,57	$0,124 \pm 0,005$	$0,876 \pm 0,019$	0,005	0,998	42
	4% NaOH, 30°C, 30 min.	4,13	$0,045 \pm 0,002$	$0,983 \pm 0,015$	0,003	0,998	51
	8% NaOH, 30°C, 30 min.	14,07	$0,127 \pm 0,001$	$0,890 \pm 0,005$	0,0003	0,999	19
3ª	6% NaOH, 40°C, 20 min.	18,79	$0,121 \pm 0,002$	$0,936 \pm 0,008$	0,001	0,999	31
	6% NaOH, 40°C, 20 min.	19,32	$0,110 \pm 0,002$	$1,013 \pm 0,010$	0,002	0,999	31
	9,36% NaOH, 40°C, 20 min.	34,28	$0,184 \pm 0,006$	$1,119 \pm 0,018$	0,003	0,999	12
	2,63% NaOH, 40°C, 20 min.	5,83	$0,058 \pm 0,001$	$0,822 \pm 0,005$	0,001	0,999	55,5
4ª	6% NaOH, 23°C, 20 min.	7,75	$0,081 \pm 0,003$	$0,934 \pm 0,017$	0,005	0,997	55
	6% NaOH, 40°C, 3 min.	6,46	$0,065 \pm 0,001$	$0,947 \pm 0,007$	0,001	0,999	55
	6% NaOH, 40°C, 37 min.	29,7	$0,152 \pm 0,004$	$1,072 \pm 0,013$	0,002	0,999	13
	6% NaOH, 56°C, 20 min.	21,84	$0,193 \pm 0,005$	$0,889 \pm 0,014$	0,004	0,998	21

Os efeitos das condições de descascamento químico na perda de polpa e tempo de secagem foram avaliados estatisticamente usando o software Statistica V. 5.0. As Figuras 18 e 19 apresentam as superfícies de resposta para essas variáveis.

Tanto a perda de polpa quanto o tempo de secagem sofreram efeitos significativos ($p < 0,05$) do tempo de imersão, da temperatura da solução e da concentração de NaOH. Como esperado, as condições de descascamento que minimizaram o tempo de secagem foram as que causaram a maior perda de polpa (Figuras 17 e 18). Assim, para determinar a condição ideal de descascamento, assumiu-se um compromisso entre as respostas, avaliando-se as faixas de tempo de imersão, temperatura e concentração alcalina que levariam a uma perda de polpa máxima de 15% e tempo de secagem máximo de 20 horas. Em relação à temperatura, observou-se que seria possível atender a essas restrições mantendo a solução em 30°C - temperatura média ambiente em nossa região, eliminando a necessidade de aquecimento. Dessa forma, determinou-se, a partir das superfícies de resposta, que as melhores condições para o descascamento químico correspondem a 30 minutos de imersão em uma solução de 6% de NaOH a 30°C.

As equações 10 e 11 são as equações que foram utilizadas para gerar as superfícies de respostas para perda de polpa, tempo de secagem, respectivamente.

$$Z = -44,964 + 0,764 \times T^a + 3,657 \times \text{concentração} + 15,334 \dots\dots\dots(10)$$

$$Z = 130,12 - 1,238 \times T^a - 5,021 \times \text{concentração} - 27,346 \dots\dots\dots(11)$$

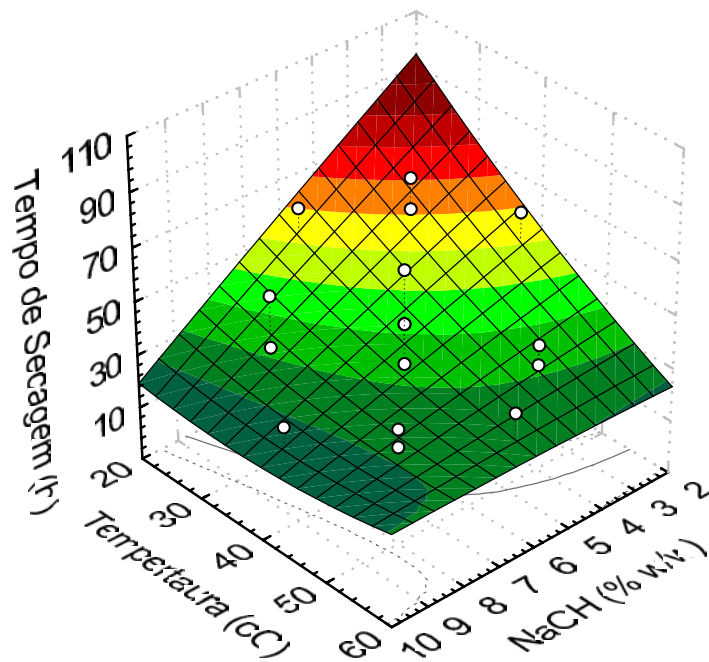


Figura 17. Superfície de resposta para tempo de secagem em função das condições de descascamento químico (tempo de imersão de 30 minutos).

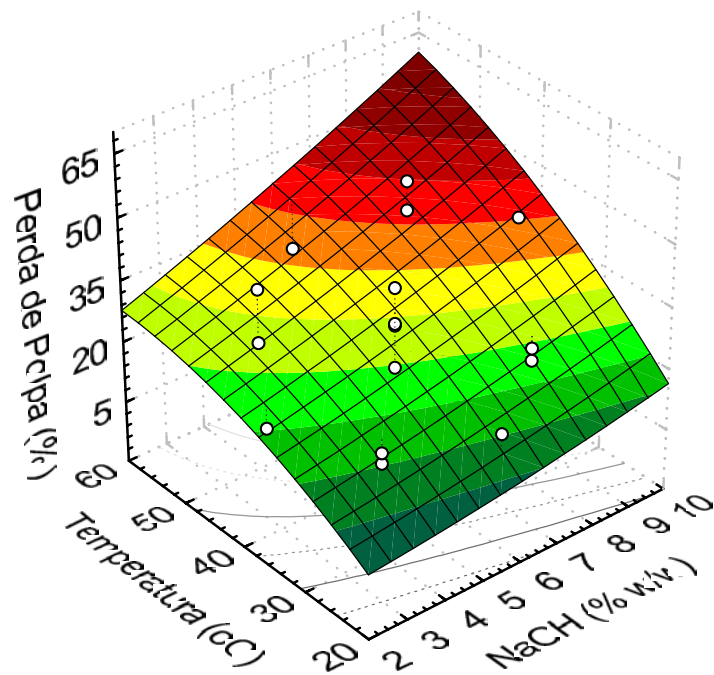


Figura 18. Superfície de resposta para perda de polpa em função das condições de descascamento químico (tempo de imersão de 30 minutos).

5.2. Pré-tratamento Osmótico

Com o objetivo de verificar qual seria o tratamento osmótico mais indicado para os tomates inteiros sem pele, utilizou-se como base os resultados apresentados por Murari (2001). A partir daí, foram definidos os parâmetros dos tratamentos osmóticos a serem testados (Tabela 5).

Tabela 5: Tratamentos osmóticos utilizados (T^a: 30°C).

Tratamentos	% Sacarose (% em massa na solução)	% NaCl (% em massa na solução)	Tempo (horas)
1	35	10	2
2	35	5	1
3	30	10	1
4	30	5	2

A Figura 19 mostra os resultados que foram obtidos durante a secagem dos tomates submetidos ao descascamento químico de 6% NaOH, 30°C e 30 minutos e aos diferentes tratamentos osmóticos. Considerando o ajuste do modelo de Page (equação 6) aos dados experimentais obtiveram-se os valores dos parâmetros k_p , n , a soma dos quadrados dos resíduos (SSR) e valores do coeficiente R^2 (Tabela 6).

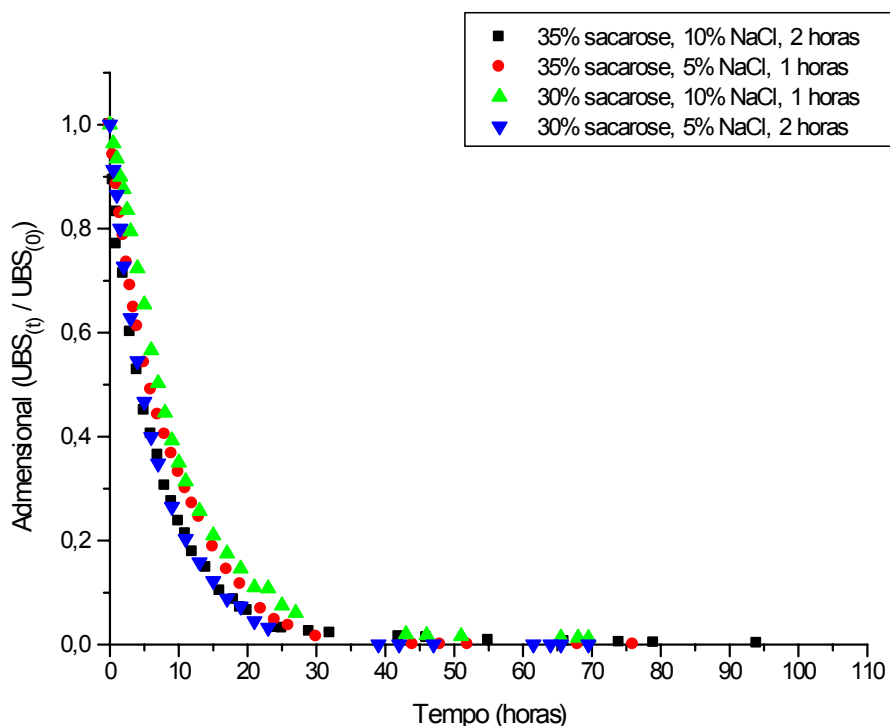


Figura 19. Curva de secagem dos diferentes tratamentos osmóticos (T^a : 60°C e V_{ar} : 1 m/s).

Tabela 6. Valores dos parâmetros k_p e n do ajuste do modelo de Page para secagem de tomates em diferentes condições de tratamento osmótico.

Tratamento Osmótico	k_p	n	SSR	R^2
35% sacarose, 10% NaCl, 2 horas	$0,196 \pm 0,006$	$0,866 \pm 0,013$	0,004	0,998
35% sacarose, 5% NaCl, 1 hora	$0,125 \pm 0,003$	$0,963 \pm 0,013$	0,004	0,999
30% sacarose, 10% NaCl, 1 hora	$0,071 \pm 0,004$	$1,141 \pm 0,022$	0,007	0,998
30% sacarose, 5% NaCl, 2 horas	$0,160 \pm 0,002$	$0,961 \pm 0,007$	0,008	1,000

De acordo com os resultados obtidos, o tratamento osmótico que apresentou melhores resultados quanto à redução do tempo de secagem foi o de 35% sacarose, 10% NaCl, 2 horas. Por outro lado, esse tratamento destruiu a textura do tomate, deixando o mesmo muito amolecido. Assim, optou-se por adotar o mesmo

tratamento osmótico, mas com o tempo de 1 hora no estudo da cinética de secagem e degradação de vitamina C.

5.2.1. Cinética de Desidratação Osmótica: Determinação das Concentrações no Equilíbrio

O conhecimento das concentrações de equilíbrio para cada componente da solução (água, sacarose, NaCl) é fundamental para o estudo da cinética de desidratação osmótica. Dessa forma, tais concentrações foram determinadas experimentalmente, realizando os processos em tempos longos que asseguraram o alcance do equilíbrio. Foram utilizados os tempos de 0, 2, 5, 10, 21, 27, 34, 45 e 50 horas para retirada de amostras, das quais foram analisados o teor de açúcar, sal e umidade. As Figuras 20 a 22 mostram os resultados obtidos na determinação da umidade e concentrações de açúcar e sal, respectivamente.

Para as concentrações analisadas, o tempo de equilíbrio ficou em torno de 34 horas para umidade e 45 horas no caso dos solutos. A Tabela 7 apresenta os valores de umidade e das concentrações de sacarose e NaCl correspondentes ao equilíbrio.

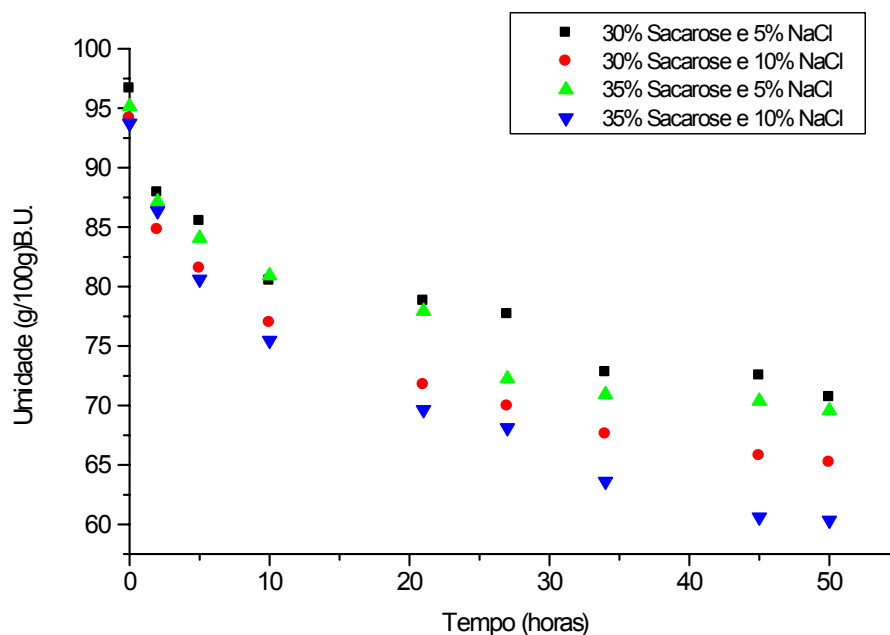


Figura 20. Cinética de perda de umidade em função do tempo em diferentes concentrações de sacarose e NaCl (T^a 60°C e V_{ar} : 1 m/s).

Em relação à umidade observou-se que, quanto maior a concentração de solutos, maior foi a perda de umidade com o tempo, independente das concentrações de sacarose ou NaCl. Quando a solução osmótica tem sua concentração aumentada em 10%, à umidade de equilíbrio sofre um decréscimo de aproximadamente 15%. O mesmo efeito foi observado no caso do ganho de açúcares, pois quanto maior a concentração da solução osmótica (sacarose e NaCl), maior a penetração de sacarose. A cada 5% de aumento na concentração, há um aumento de aproximadamente 22% na concentração de equilíbrio de sacarose.

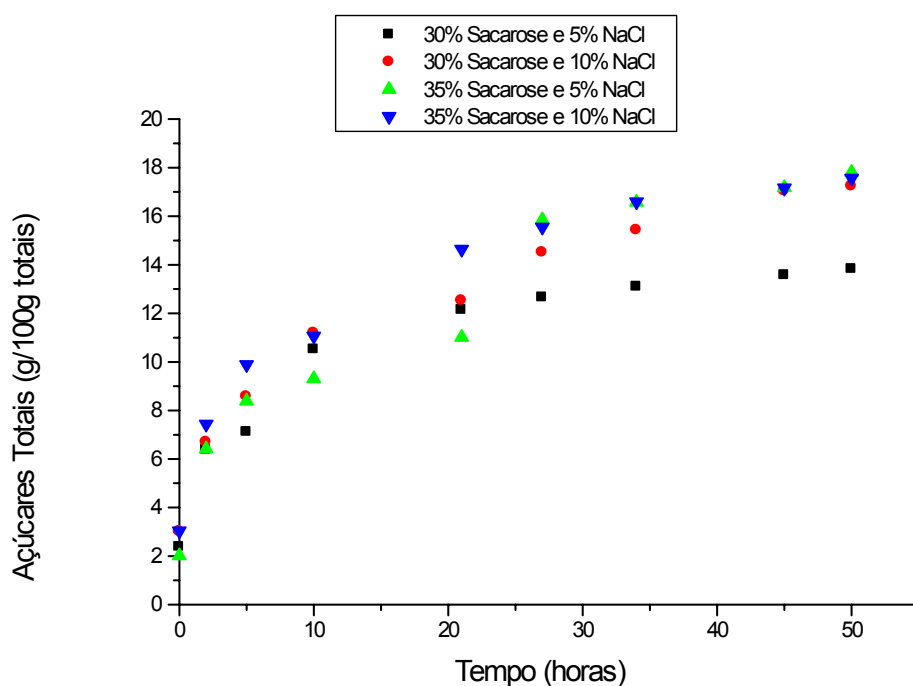


Figura 21. Cinética de ganho de açúcar em função do tempo em diferentes concentrações de sacarose e NaCl (T^a 60°C e V_{ar} : 1 m/s).

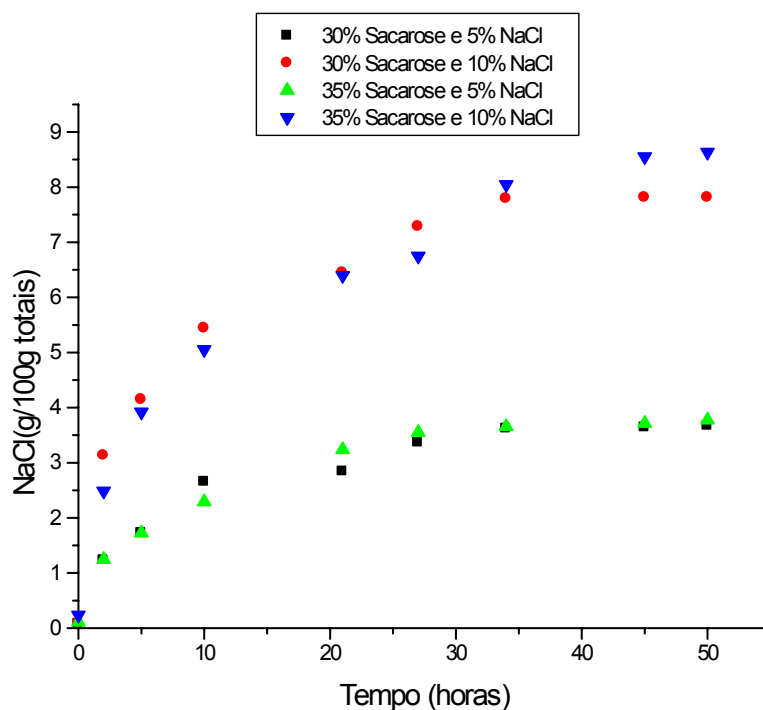


Figura 22. Cinética de ganho de sal em função do tempo em diferentes concentrações de sacarose e NaCl (T^a 60°C e V_{ar} : 1 m/s).

Com relação ao sal o comportamento foi diferente. Pode-se observar que para a difusão do NaCl no tomate não houve influência da concentração do açúcar. O ganho de sal aumentou em torno de 120% quando a concentração deste soluto aumentou de 5 para 10%, independente da concentração de sacarose. A diferença da quantidade de sal impregnada no tomate quando em concentração de 10% também foi muito maior que em 5%, o que não ocorreu de modo tão notável com os açúcares e a umidade. Também com relação às curvas correspondentes a 5% de NaCl, não houve diferenças com respeito à concentração de sacarose.

Tabela 7: Valores das concentrações de equilíbrio para cada componente da solução osmótica em diferentes condições.

Concentração da Solução	35% Sacarose 10% NaCl	35% Sacarose 5% NaCl	30% Sacarose 10% NaCl	30% Sacarose 5% NaCl
Umidade (% b.s.)	60,32	69,57	65,21	72,51
Açúcares Redutores (g/100 g totais)	19,13	20,03	15,92	14,63
Açúcares Totais (g/100 g totais)	17,56	17,81	17,23	13,81
NaCl (g/100 g totais)	8,63	3,77	7,81	3,67

5.2.2. Cinética de Desidratação Osmótica: Coeficientes de Difusão Aparentes

A cinética de desidratação osmótica foi determinada em condições selecionadas através das respostas obtidas nos experimentos descritos no item 5.2. A melhor condição testada foi a composta por 35% de sacarose, 10% de NaCl e 1 hora de tratamento. Esta nos serviu como base para os estudos da cinética de tratamento osmótico, que foram realizados nas seguintes condições:

Tabela 8: Tratamentos utilizados na cinética de desidratação osmótica (Tª 30°C).

% Sacarose	% NaCl
35	5
35	10
30	5
30	10

O estudo da cinética de desidratação foi avaliado em tempos curtos (2 horas) e tempos longos (50 horas), sendo que foram retiradas amostras nos tempos curtos de 0, 20, 40, 60, 90, 120 minutos, e nos tempos longos de 0, 2, 5, 10, 21, 27, 34, 45 e 50 horas nos quais foram analisados a perda de água e a absorção de sal e de açúcar.

Os dados obtidos durante a cinética de desidratação osmótica podem ser correlacionados através da solução analítica da 2ª lei de Fick para esferas (equação 3), obtendo-se um coeficiente de difusão aparente ou efetivo para cada componente da solução osmótica em estudo.

Os tomates foram considerados esferas. Os testes consistiram em colocar 8 tomates inteiros na solução osmótica selecionada. As dimensões dos tomates foram medidas no início do experimento, antes da desidratação osmótica, para se obter a média dos raios.

Assumiu-se que o raio do tomate manteve-se constante durante o processo de desidratação osmótica para utilização do modelo proposto. Na realidade, durante a desidratação osmótica, o tomate não mantém seu diâmetro inicial, apresentando certo encolhimento. Utilizou-se a equação de Fick para descrever a difusão de cada uma das espécies: água, sal e sacarose, considerando fluxo global igual a zero, densidade constante e coeficiente de difusão constante. Segundo Cussler (1984) só em alguns casos excepcionais os perfis de concentração de um sistema multicomponente se desviam de forma significativa daqueles esperados para um sistema binário. Portanto, a difusão de cada espécie é tratada segundo a forma binária da lei de Fick, através de uma “difusividade binária efetiva” para a difusão da espécie em uma mistura.

Os ajustes foram feitos por regressão não-linear (Quasi-Newton) utilizando-se o programa Statistica.

Para o cálculo das difusividades da água, da sacarose e do NaCl, foram correlacionados os dados de concentração em função do tempo através da Lei de difusão de Fick (equação 1). Considerando-se que o sólido seja uma esfera, a difusividade seja constante, a densidade constante, a velocidade média global nula, a variação do volume desprezível e o efeito do gradiente de temperatura no interior da amostra também desprezível, tem-se a seguinte solução analítica integrada:

$$\frac{C_0 - C_{(t)}}{C_0 - C_{eq}} = 1 - \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(n)^2} \exp\left(\frac{-D(n)^2 \pi^2 t}{r^2}\right) \quad (12)$$

onde: $C_{(t)}$ = concentração no tempo t (g/100g)

C_0 = concentração inicial (g/100g)

C_{eq} = concentração de equilíbrio (g/100g)

n = nº do termo

D = coeficiente de difusão aparente

t = tempo

r = raio

As séries mostraram-se convergentes a partir do sexto termo. As Figuras 23 a 30 e as Tabelas 9 a 11 mostram, respectivamente, as curvas de concentração em função do tempo e os valores obtidos dos coeficientes de difusão aparente em tempos curtos (2 horas) e longos (50 horas).

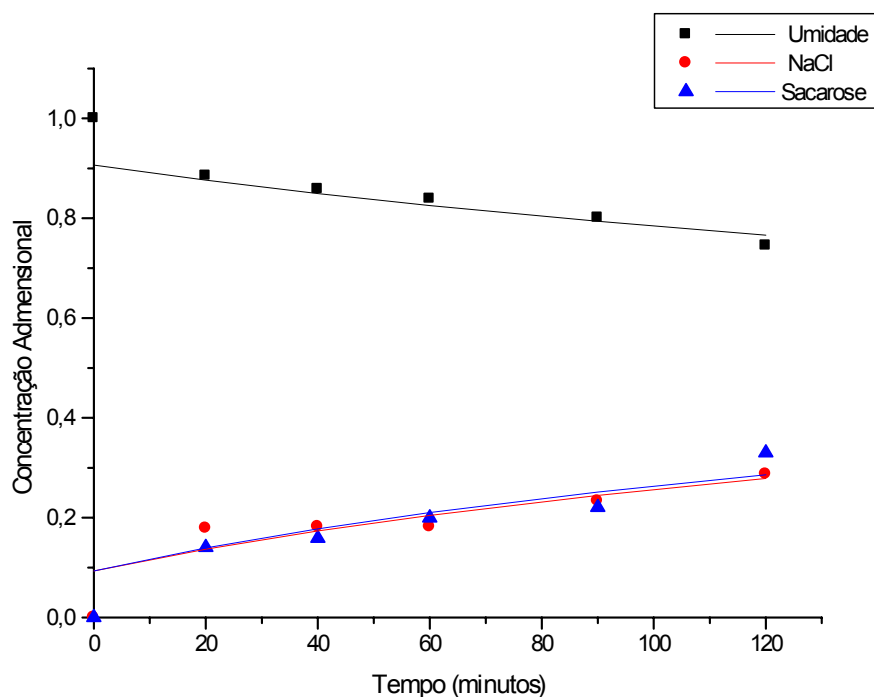


Figura 23. Valores experimentais e preditos da cinética de desidratação osmótica em função do tempo curto (2 horas), utilizando-se uma solução osmótica com 30% de sacarose e 5% de NaCl.

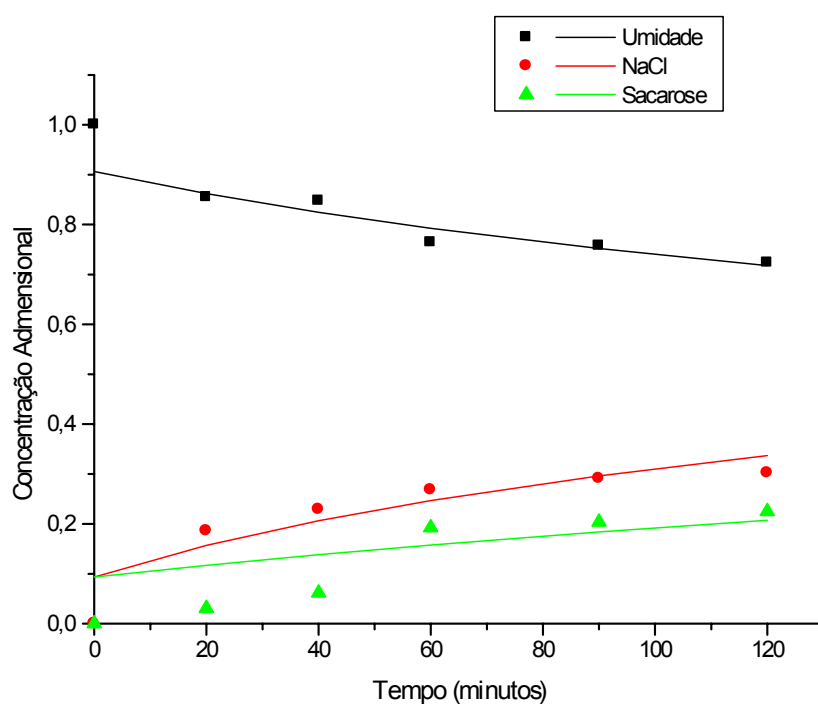


Figura 24. Valores experimentais e preditos da cinética de desidratação osmótica em função do tempo curto (2 horas), utilizando-se uma solução osmótica com 30% de sacarose e 10% de NaCl.

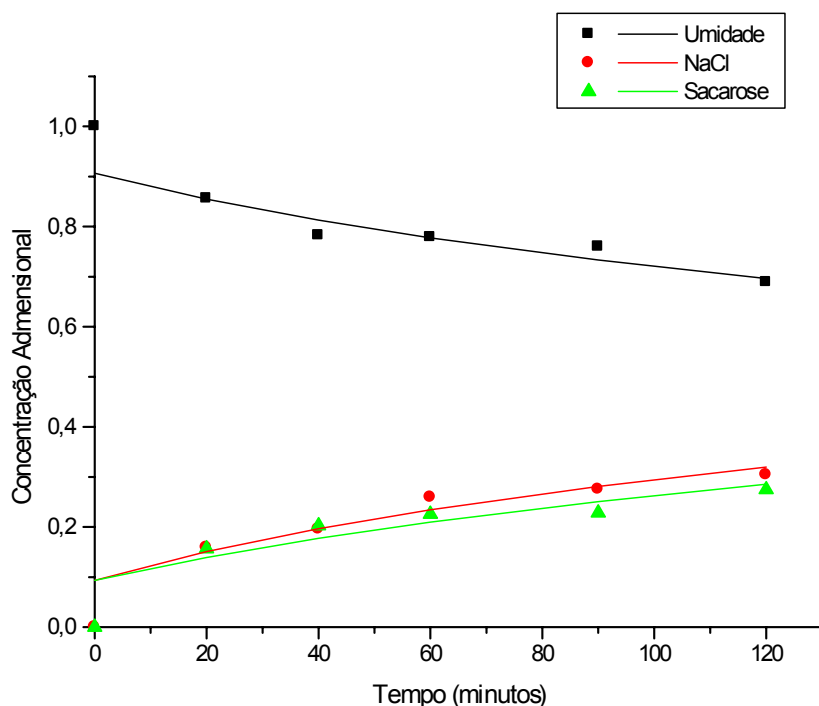


Figura 25. Valores experimentais e preditos da cinética de desidratação osmótica em função do tempo curto (2 horas), utilizando-se uma solução osmótica com 35% de sacarose e 5% de NaCl.

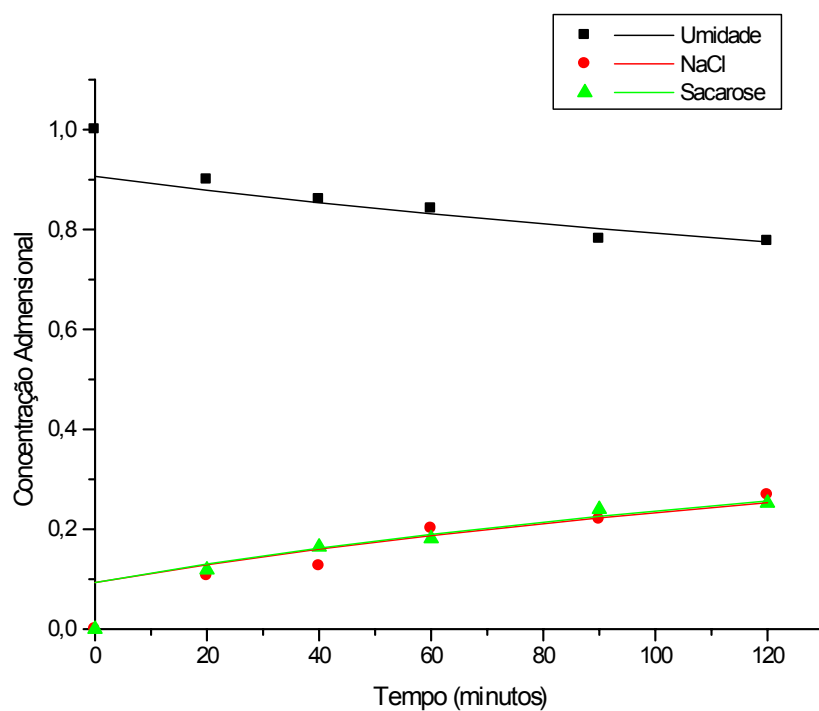


Figura 26. Valores experimentais e preditos da cinética de desidratação osmótica em função do tempo curto (2 horas), utilizando-se uma solução osmótica com 35% de sacarose e 10% de NaCl.

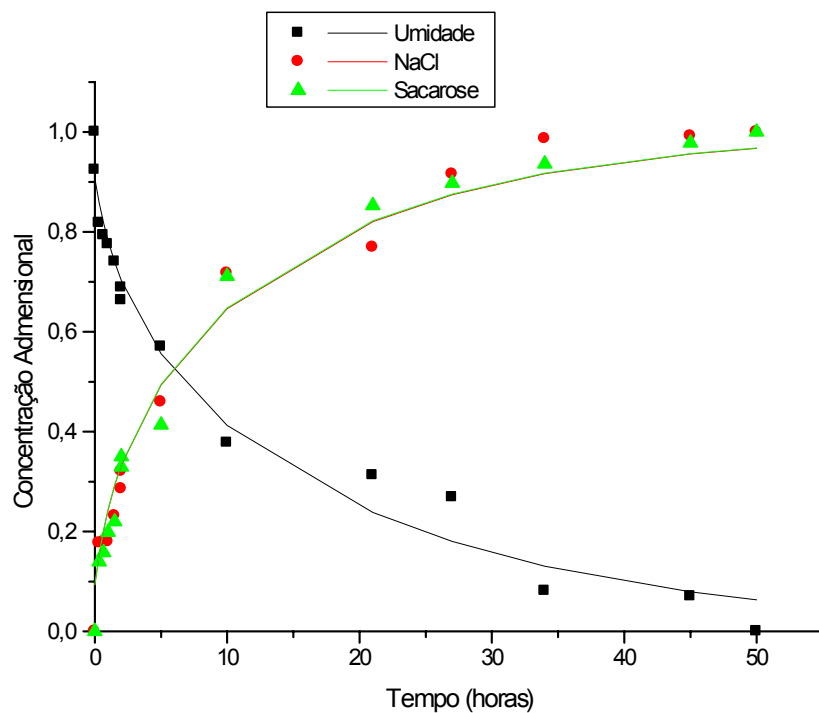


Figura 27. Valores experimentais e preditos da cinética de desidratação osmótica em função do tempo longo (50 horas), utilizando-se uma solução osmótica com 30% de sacarose e 5% de NaCl.

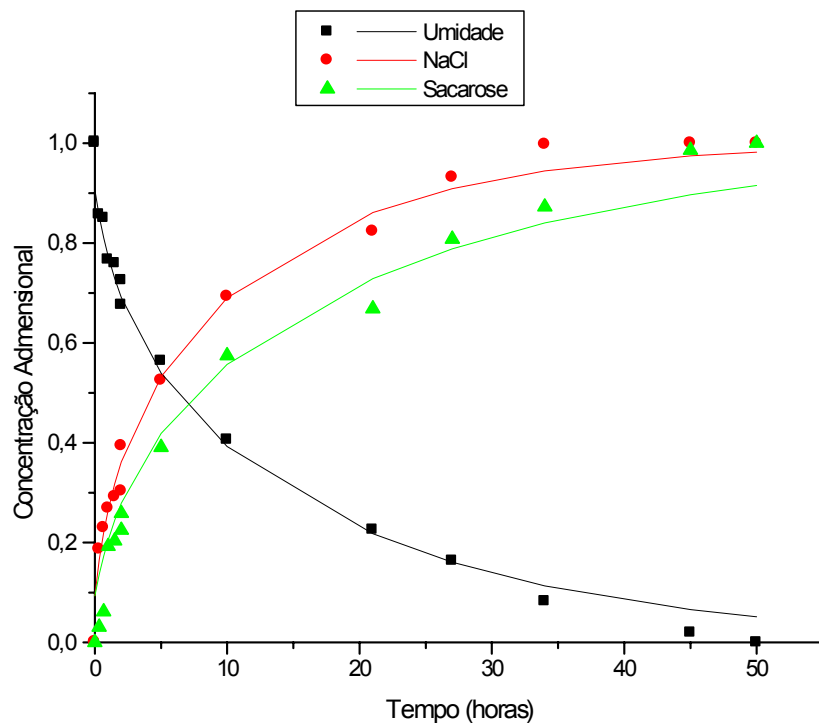


Figura 28. Valores experimentais e preditos da cinética de desidratação osmótica em função do tempo longo (50 horas), utilizando-se uma solução osmótica com 30% de sacarose e 10% de NaCl.

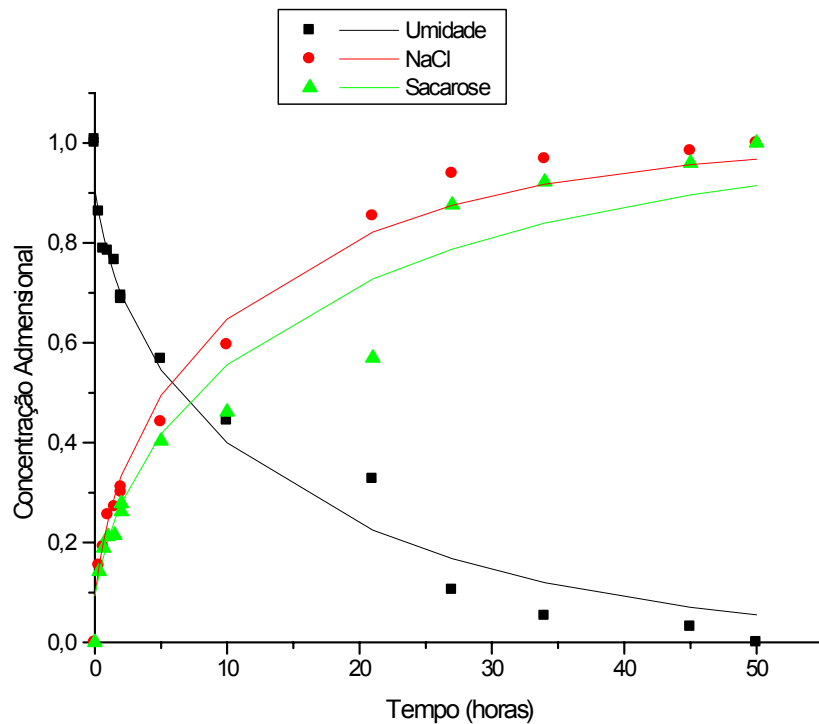


Figura 29. Valores experimentais e preditos da cinética de desidratação osmótica em função do tempo longo (50 horas), utilizando-se uma solução osmótica com 35% de sacarose e 5% de NaCl.

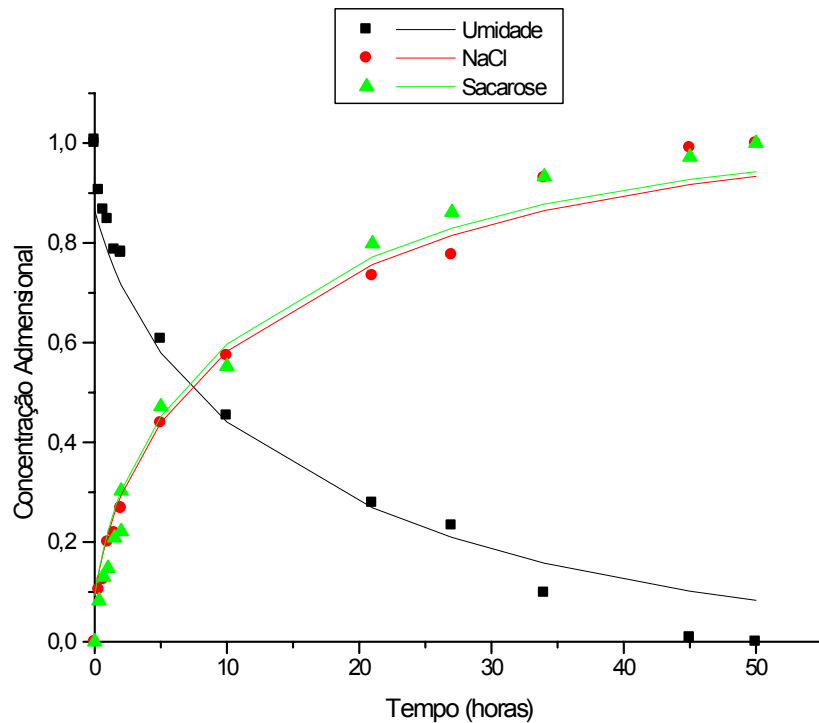


Figura 30. Valores experimentais e preditos da cinética de desidratação osmótica em função do tempo longo (50 horas), utilizando-se uma solução osmótica com 35% de sacarose e 10% de NaCl.

Tabela 9: Concentração de equilíbrio e coeficiente de difusão aparente da água durante o tratamento osmótico considerando tempos curtos e longos.

Tratamento Osmótico	Tempo Total (horas)	Concentração de Equilíbrio (g/100g massa total)	Coeficiente de Difusão Aparente ($10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$)	R^2
30% Sacarose e 5% NaCl	2	70,69	0,099	0,744
	50		11,475	0,977
30% Sacarose e 10% NaCl	2	65,21	0,145	0,799
	50		10,869	0,984
35% Sacarose e 5% NaCl	2	69,57	0,184	0,818
	50		9,989	0,974
35% Sacarose e 10% NaCl	2	60,32	0,084	0,718
	50		8,828	0,971

Tabela 10: Concentração de equilíbrio e coeficiente de difusão aparente do NaCl durante o tratamento osmótico considerando tempos curtos e longos.

Tratamento Osmótico	Tempo Total (horas)	Concentração de Equilíbrio (g/100g massa total)	Coeficiente de Difusão Aparente ($10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$)	R^2
30% Sacarose e 5% NaCl	2	3,67	0,146	0,758
	50		14,075	0,976
30% Sacarose e 10% NaCl	2	7,81	0,216	0,815
	50		15,549	0,985
35% Sacarose e 5% NaCl	2	3,77	0,205	0,843
	50		12,900	0,982
35% Sacarose e 10% NaCl	2	8,63	0,110	0,767
	50		9,831	0,977

Tabela 11: Concentração de equilíbrio e coeficiente de difusão aparente da sacarose durante o tratamento osmótico considerando tempos curtos e longos.

Tratamento Osmótico	Tempo Total (horas)	Concentração de Equilíbrio (g/100g massa total)	Coeficiente de Difusão Aparente ($10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$)	R ²
30% Sacarose e 5% NaCl	2	14,63	0,155	0,795
	50		12,981	0,979
30% Sacarose e 10% NaCl	2	15,92	0,073	0,513
	50		8,669	0,964
35% Sacarose e 5% NaCl	2	20,03	0,160	0,775
	50		10,483	0,954
35% Sacarose e 10% NaCl	2	19,13	0,114	0,786
	50		9,413	0,974

Pode-se observar nas Tabelas 9, 10 e 11 que a variação das concentrações dos solutos provoca efeitos consideráveis nos coeficientes de difusão aparente. Nas soluções com menor concentração de açúcar, o sal apresentou uma difusividade maior. Também em maiores concentrações de sal, observou-se uma difusividade menor do açúcar, comprovando o efeito interativo entre eles, ou seja, um interferiu na entrada do outro. Quanto à umidade, o coeficiente de difusividade aumentou à medida que aumentou a concentração de sal e diminuiu a de açúcar, ou seja, a difusão de NaCl interferiu favoravelmente na difusão de água. Comparando-se os coeficientes de difusividade da sacarose e do NaCl, os deste último são sempre maiores, pois devido ao seu peso molecular, o sal penetra com maior facilidade nos tecidos. Resultados semelhantes foram obtidos por Telis et. al (2004), desidratando osmoticamente quartos de tomate com casca em tempos curtos e tempos longos. A ordem de magnitude dos coeficientes de difusão determinados em tempos longos é a mesma nos dois trabalhos, porém, os coeficientes determinados para tomate inteiro descascado são maiores que para os quartos. Por outro lado, os coeficientes de difusão de tomates inteiros determinados em tempos curtos são menores que para tomates em quartos em, pelo menos, uma ordem de magnitude.

Constata-se que os resultados experimentais estão em concordância com os preditos (Figuras 23 a 30), o que indica a boa qualidade do ajuste do modelo. Isso também se confirma pelos altos coeficientes de correlação obtidos, sempre maiores que 0,95 para o tempo de 50 horas (Tabelas 9, 10 e 11).

5.3. Degradação de Vitamina C em Diferentes Condições de Secagem

5.3.1. Cinética de secagem

Cada experimento de secagem a ar quente foi realizado de acordo com o item 4.2.3. A cada hora foi determinado o teor de umidade (base seca) de acordo com o método gravimétrico. A umidade foi expressa em termos de valor adimensional pelo tempo como pode ser observado nas Figuras 31, 32 e 33 referentes aos ensaios realizados com tomates inteiros descascados quimicamente, com e sem tratamento osmótico e tomates em metades, sendo que o tratamento químico utilizado foi de 6% NaOH, 30°, 30 minutos e o tratamento osmótico utilizado foi de 35% sacarose, 10% NaOH e 1 hora. As linhas sólidas representam o ajuste do modelo de Page aos dados experimentais (equação 5).

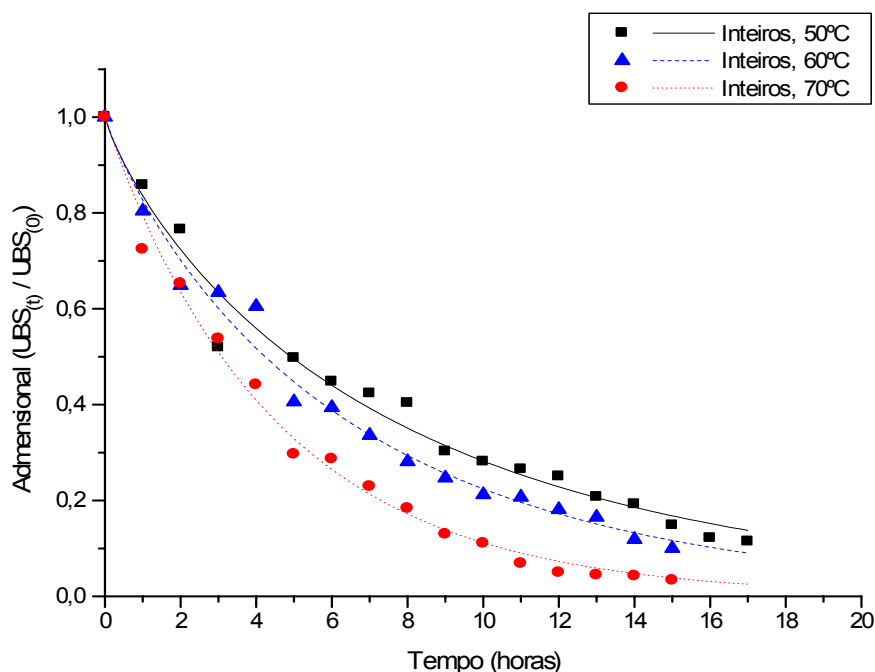


Figura 31. Cinética de secagem de tomates inteiros descascados quimicamente nas temperaturas de secagem de 50, 60 e 70°C.

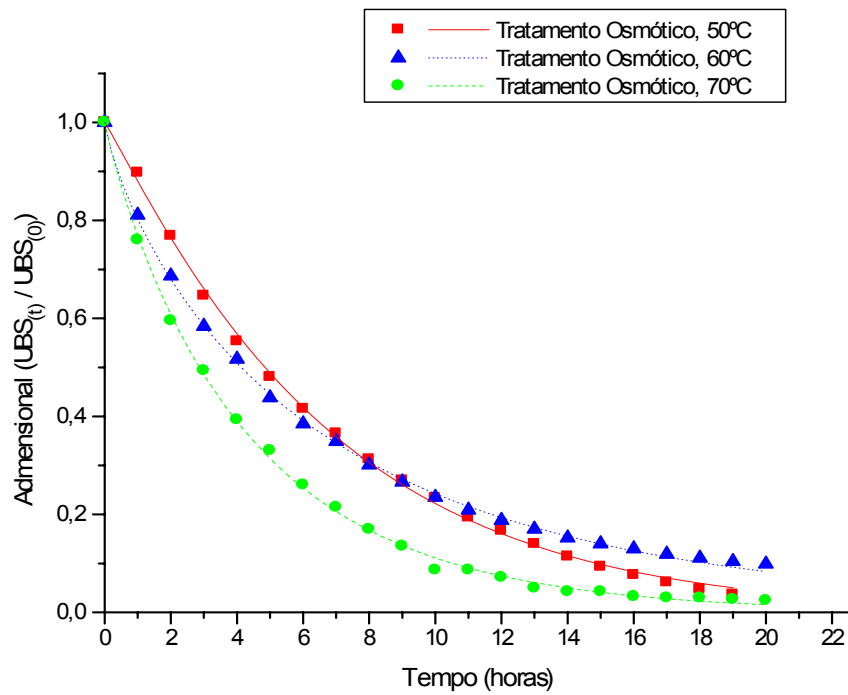


Figura 32. Cinética de secagem de tomates inteiros descascados quimicamente imersos em solução osmótica de 35% de sacarose e 10% de NaCl nas temperaturas de secagem de 50, 60 e 70°C.

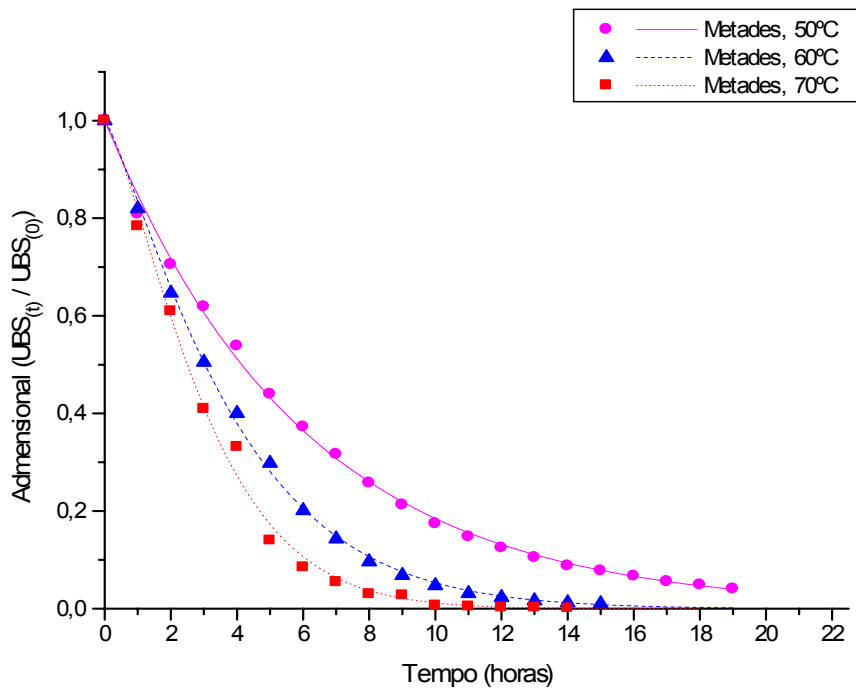


Figura 33. Cinética de secagem de tomates em metades nas temperaturas de secagem de 50, 60 e 70°C.

O modelo de Page (equação 5) é frequentemente usado nos estudos de secagem de produtos agrícolas e alimentos, com excelentes resultados. A utilização de dois parâmetros de ajuste faz com que sua aplicabilidade seja maior, levando a valores estimados de umidade em função do tempo mais próximos dos reais. O modelo foi ajustado com sucesso o que pode ser observado pela soma dos quadrados dos resíduos (SSR) e valores do coeficiente R^2 (Tabela 12).

Considerando o ajuste do modelo de Page aos dados experimentais obtiveram-se os valores dos parâmetros K_p e n sendo possível calcular o tempo necessário (Tabela 12) para que o produto atingisse 50% de umidade (b.u.), umidade correspondente à comercialização do produto.

Tabela 12. Valores dos parâmetros K_p e n do ajuste do modelo de Page para secagem de tomates em diferentes condições.

Amostra	Temp. Secagem (°C)	K_p (horas ⁻¹)	n	Tempo Secagem (h)	SSR	R^2
Tomates inteiros e descascados	50	$0,179 \pm 0,021$	$0,848 \pm 0,053$	24,73	0,022	0,980
	60	$0,190 \pm 0,018$	$0,895 \pm 0,047$	19,55	0,015	0,986
	70	$0,230 \pm 0,018$	$0,978 \pm 0,043$	12,49	0,010	0,992
Tomates inteiros, descascados e desidratados osmoticamente	50	$0,128 \pm 0,004$	$1,07 \pm 0,014$	17,39	0,002	0,999
	60	$0,220 \pm 0,004$	$0,809 \pm 0,008$	15,89	0,001	0,999
	70	$0,262 \pm 0,007$	$0,923 \pm 0,014$	12,61	0,002	0,999
Tomates em metades	50	$0,165 \pm 0,006$	$1,01 \pm 0,019$	16,02	0,003	0,998
	60	$0,181 \pm 0,006$	$1,21 \pm 0,020$	14,62	0,001	0,999
	70	$0,203 \pm 0,017$	$1,34 \pm 0,060$	6,93	0,007	0,996

*Tempo de secagem necessário para reduzir a umidade dos tomates a 50% (b.u.).

Observou-se que o tempo de secagem está diretamente relacionado com a temperatura do ar de secagem. À medida que há o aumento da temperatura é possível verificar um menor tempo de secagem e os valores do parâmetro n são menores ou muito próximos de 1, o que indica uma maior velocidade de secagem no início e menor nos tempos finais para tomates inteiros, com ou sem tratamento osmótico. Esse fato pode ser causado pelo encolhimento ou formação de crostas no produto. Diferentemente destes, os ensaios realizados com tomates em metades apresentaram valores desse parâmetro iguais ou maiores que 1. Isto deve se dar

pelo fato do produto estar mais exposto, ou seja, maior é a área de contato do produto com o ar de secagem, aumentando a taxa de secagem, o que implica na redução do tempo necessário para a desidratação do produto.

A aplicação da solução osmótica antes do processamento implicou na redução do teor de umidade inicial e no menor tempo de secagem (Tabela 12) quando comparado aos ensaios em que se utilizou as mesmas condições, porém apenas o descascamento químico. Além desta vantagem, a solução osmótica afere características sensoriais (sabor e textura) desejáveis ao produto (MURARI, 2001).

5.4. Cinética de Degradação de Vitamina C

Para o tomate in natura, foi encontrado um valor médio de $4,2 \pm 0,5$ mg vitamina C/g matéria seca. Os dados variaram numa faixa de 3,5 a 4,7 mg vitamina C/g matéria seca (Figura 34). Esses valores correspondem, respectivamente, à faixa de 18 a 23 mg vitamina C/100 g matéria fresca. Valores muito próximos (14,6 a 21,7 mg vitamina C/100 g matéria fresca) foram obtidos por Abushita et al. (2000) ao analisarem o conteúdo deste nutriente em tomates. Sablani et al. (2006) usaram o mesmo método de determinação de ácido ascórbico em tomates logo após a colheita e encontraram valores de aproximadamente 28 mg vitamina C/100 g matéria fresca. Esses autores estudaram a perda de vitamina C durante a estocagem desta matéria-prima e verificaram que após uma semana em temperatura de 25°C os tomates diminuía seu teor de ácido ascórbico para concentrações em torno de 22 mg vitamina C/100 g matéria fresca.

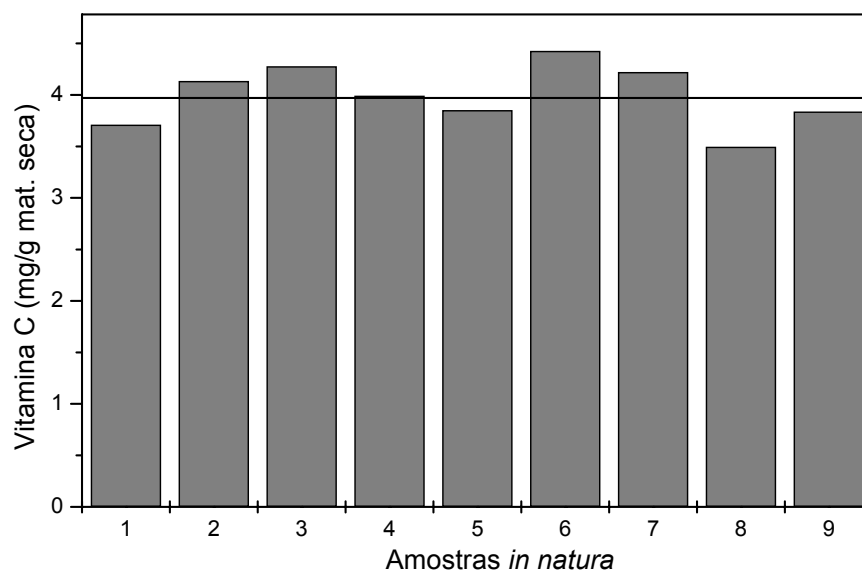


Figura 34. Teor de vitamina C nas amostras de tomate *in natura*.

Os tomates, após sofrerem o descascamento químico, apresentaram um conteúdo médio do nutriente $3,43 \pm 0,65$ mg vitamina C/g matéria seca. Essa redução representa aproximadamente 18% do teor inicial do nutriente.

Os tomates descascados e que foram imersos em solução osmótica apresentaram após a desidratação osmótica um conteúdo médio inicial de vitamina C/g matéria seca de $2,50 \pm 0,50$. Esse valor representa uma redução de aproximadamente 27% do nutriente em relação aos tomates que foram apenas descascados quimicamente e de 41% quando comparado aos tomates *in natura*.

As Figuras 35, 36 e 37 ilustram a cinética de degradação de vitamina C em função do tempo de secagem para tomates inteiros sem tratamento osmótico, com tratamento osmótico e em metades, respectivamente. Nos três tratamentos utilizados foram realizados ensaios nas temperaturas de 50, 60 e 70°C. As linhas sólidas das figuras correspondem ao ajuste da equação (12) aos dados experimentais, o qual foi feito por regressão não-linear, utilizando o software Origin v.3.5.

A grande dispersão dos dados observada pode ser atribuída à complexidade e heterogeneidade da matéria-prima de origem vegetal e também da dificuldade em assegurar condições uniformes de secagem nas bandejas do secador durante o longo período de tempo dos experimentos.

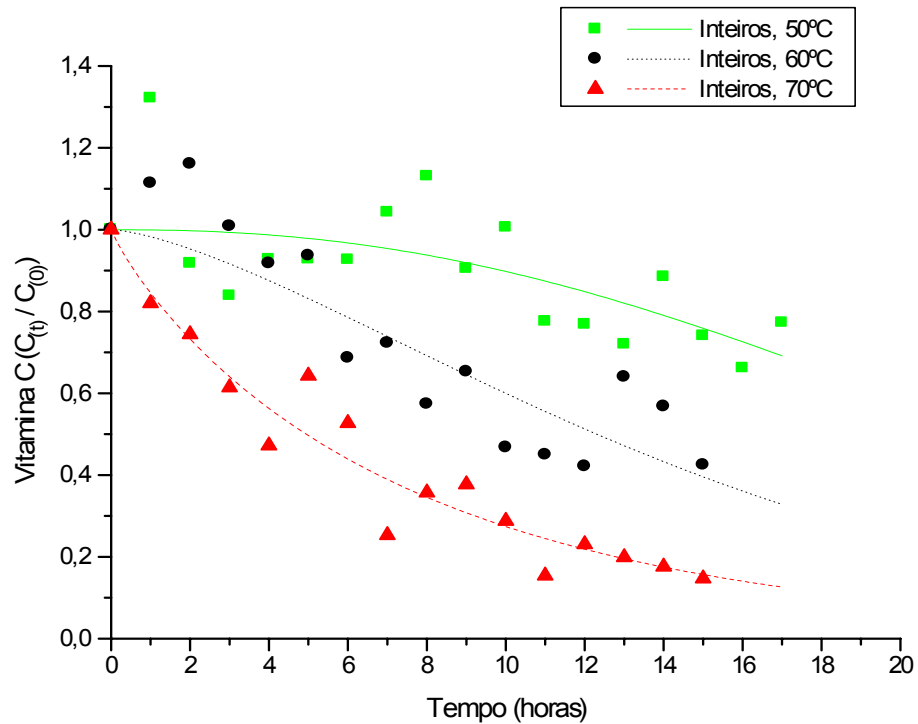


Figura 35. Degradação de vitamina C em tomates inteiros descascados quimicamente e desidratados nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.

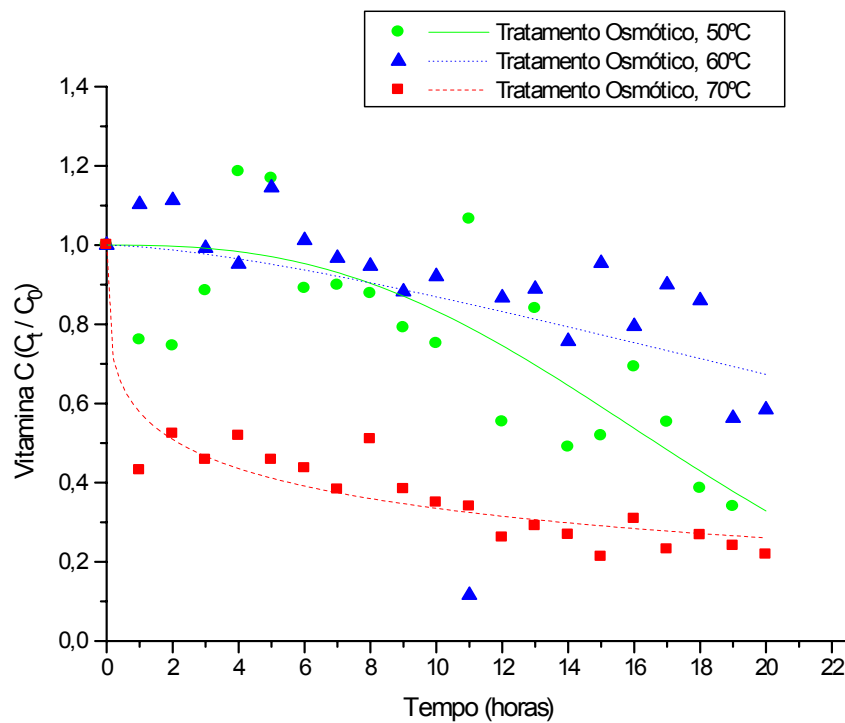


Figura 36. Degradação de vitamina C em tomates inteiros descascados quimicamente imersos em solução osmótica de 35% de sacarose, 10% de NaCl, 1 hora e T^a 30°C, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.

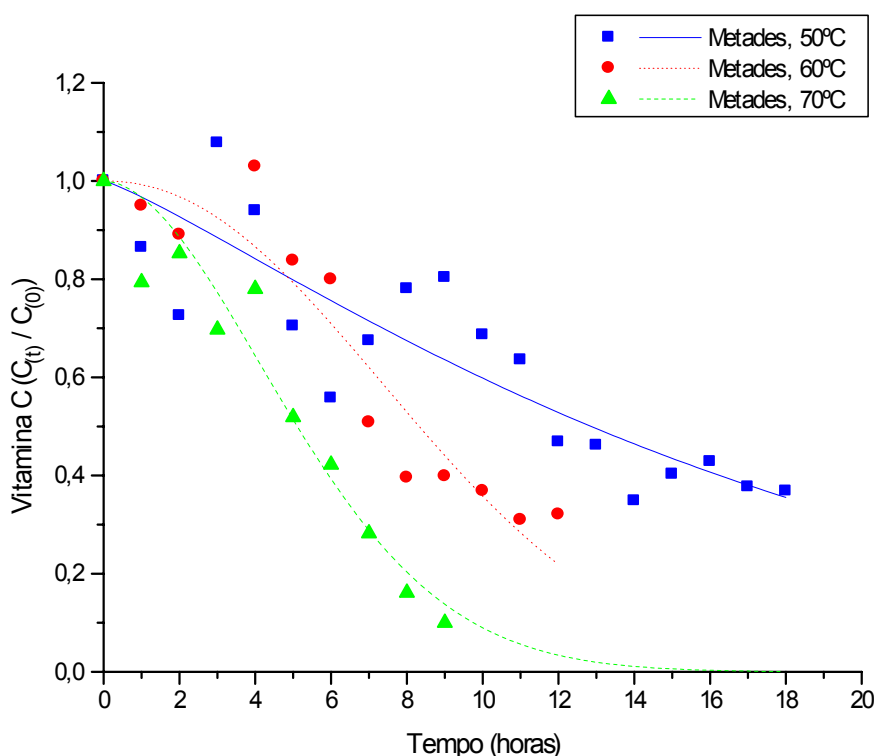


Figura 37. Degradação de vitamina C em tomates em metades nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.

Ao ajustar o modelo de Weibull (equação 6) aos dados experimentais referentes aos ensaios de tomates inteiros sem e com tratamento osmótico observou-se que melhores resultados eram obtidos fixando-se o valor de β igual à unidade, o que indica que a cinética de degradação obedeceu a um modelo de primeira ordem. O valor do parâmetro β do modelo proposto representa um índice de comportamento e quando $\beta = 1$ o modelo é reduzido a uma cinética de primeira ordem. Se β é um valor maior que 1, observa-se que a taxa de reação aumenta com o tempo e a curva da reação de degradação assume forma sigmoidal. Por outro lado, se β é menor que 1, observa-se que a taxa de degradação de ácido ascórbico decresce com o tempo, entretanto, uma taxa de degradação exponencial é observada no início do experimento (CUNHA et al., 1998).

Nos experimentos em que os tomates foram desidratados em metades, o melhor ajuste foi obtido sem fixar o parâmetro β igual à unidade. Os valores deste parâmetro sugerem uma maior degradação nos períodos finais de secagem. Manso, et al. (2001) obtiveram bons resultados descrevendo cinética de degradação de vitamina C e de escurecimento não-enzimático pelo modelo de Weibull.

Os valores obtidos para os parâmetros do modelo de Weibull ao ser ajustado aos dados experimentais são encontrados na Tabela 13. Os valores do coeficiente de determinação, R^2 , e da soma do quadrado dos resíduos, SSR foram obtidos para avaliar qualidade dos ajustes.

Tabela 13. Valores dos parâmetros do ajuste do modelo de Weibull para secagem de tomates em diferentes condições.

Amostras	Temp. Secagem (°C)	α (horas)	β	SSR	R^2
Tomates Inteiros e descascados	50	$26,143 \pm 8,665$	$2,318 \pm 1,193$	0,245	0,447
	60	$15,795 \pm 1,978$	$1,469 \pm 0,360$	0,189	0,803
	70	$7,478 \pm 0,485$	$0,886 \pm 0,104$	0,071	0,932
Tomates Inteiros, descascados e com osmótica	50	$19,199 \pm 1,804$	$2,613 \pm 0,787$	0,425	0,617
	60	$37,144 \pm 23,576$	$1,499 \pm 1,019$	0,292	0,734
	70	$7,430 \pm 0,973$	$0,299 \pm 0,051$	0,072	0,881
Tomates em metades	50	$17,493 \pm 1,996$	$1,192 \pm 0,246$	0,220	0,760
	60	$9,876 \pm 0,526$	$2,147 \pm 0,395$	0,088	0,905
	70	$6,226 \pm 0,353$	$1,858 \pm 0,311$	0,059	0,932

Observou-se que α é dependente da temperatura do processamento. Valores mais altos deste parâmetro refletem em taxas menores de degradação do nutriente.

Mesmo que uma grande dispersão dos dados seja observada, fica bem clara a tendência de degradação do ácido ascórbico quando as amostras foram submetidas ao mesmo tratamento, porém desidratadas em diferentes temperaturas. Dessa forma pode-se verificar a forte influência da temperatura na degradação do nutriente.

O parâmetro α mostrou dependência tanto da temperatura quanto do tratamento das amostras. A dependência de α quanto à temperatura foi descrita pela equação de Arrhenius como mostrado na Figura 38.

Em diversos tipos de reação, observa-se, experimentalmente, que a variação da velocidade de reação em função da temperatura segue a equação de Arrhenius. Nesse caso, o gráfico de $\ln \alpha$ contra $1/T$ levaria a uma reta. Este comportamento se exprime, normalmente, de maneira matemática introduzindo-se dois parâmetros, um representando o coeficiente linear e o outro o coeficiente angular da reta, e escrevendo-se a equação de Arrhenius (equação 13):

$$\ln \alpha = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad (13)$$

Na equação (11), R é a constante universal dos gases, $8,314\text{J/mol.K}$, o parâmetro A corresponde à interseção da reta com o eixo vertical em $1/T = 0$ (na temperatura infinita) e é denominado Fator Pré-exponencial ou Fator de Frequência. O parâmetro E_a , que é obtido a partir do coeficiente angular da reta (E_a/R), é chamado Energia de ativação. Os dois parâmetros são denominados Parâmetros de Arrhenius (ATKINS, 2002).

O gráfico de $\ln \alpha$ contra $1/T$ (Figura 38), onde T é a temperatura de secagem expressa em graus absolutos, resultou em uma reta, indicando que a dependência das taxas de reação segue o comportamento descrito pela equação (11) exceto ao experimento em que os tomates foram submetidos a pré-desidratação osmótica e desidratados a 50°C . Neste experimento esperava-se obter um valor do parâmetro α maior que o obtido nas temperaturas de 60 e 70°C , o que não foi observado. A baixa temperatura implicou em taxas de degradação de vitamina C maiores que o esperado. Dessa forma, o experimento foi repetido com a finalidade de eliminar a hipótese de erros experimentais e a mesma tendência de degradação foi evidenciada. Os dados dos dois experimentos foram plotados juntos (Figura 35) e um melhor ajuste do modelo de Weibull aos dados experimentais foi obtido (Tabela 13). Uma possível explicação poderia ser dada pelo fato da combinação de tratamento osmótico com longo tempo de secagem (devido à baixa temperatura, 50°C) acelerar a degradação do ácido ascórbico.

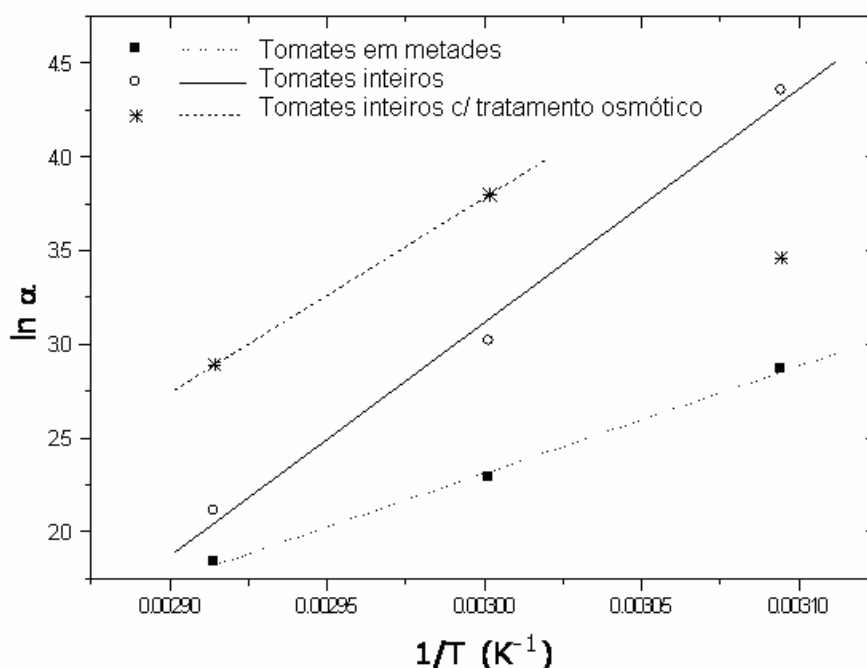


Figura 38. Gráfico de $\ln \alpha$ contra $1/T$ para tomates inteiros, descascados quimicamente, com e sem tratamento osmótico e em metades e desidratados nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.

Em virtude de E_a determinar o coeficiente angular da reta de $\ln \alpha$ contra $1/T$, quanto mais elevada a energia de ativação, mais forte será a dependência entre a constante de velocidade e a temperatura, isto é, mais inclinada será a reta do gráfico.

A inclinação das retas obtidas da regressão linear dos dados referentes aos experimentos dos tomates inteiros com e sem tratamento osmótico foram similares, desconsiderando o resultado na menor temperatura de secagem, enquanto uma menor inclinação foi observada para os tomates em metades. A menor exposição do tomate ao oxigênio, no caso dos tomates inteiros, implicou numa condição favorável, retardando a degradação do ácido ascórbico.

Analisando o teor de vitamina C do tomate, no início dos ensaios de secagem e após atingir 50% de umidade (b.u.), observou-se que a quantidade do nutriente que ficou retida é dependente da temperatura usada. O cálculo desses valores foi de fácil obtenção, uma vez que, conhecendo os valores dos parâmetros de Page foi possível obter o tempo necessário para atingir a umidade desejada. Conhecendo o tempo, os valores dos parâmetros do modelo de Weibull e a concentração do ácido ascórbico inicial, foi possível obter a concentração final do nutriente (Tabela 14).

Esses dados permitem verificar a forte influência da temperatura na cinética de degradação da vitamina C.

Tabela 14. Valores de vitamina C retida em tomates desidratados em diferentes condições.

Amostras	Temperatura (°C)	mgVitC/g mat seca (t=0)	mgVitC/g mat seca (50% umidade b.u.)	% Retida
Tomates Inteiros e descascados	50	2,791	1,159	41,53
	60	2,726	0,694	25,43
	70	3,668	0,759	20,69
Tomates Inteiros, descascados e com osmótica	50	1,533	0,708	46,18
	60	2,846	2,151	75,58
	70	3,244	1,005	30,98
Tomates em metades	50	3,705	1,506	40,65
	60	3,992	0,392	9,82
	70	4,268	1,260	29,52

5.5. Análise Sensorial

As médias e desvios dos valores atribuídos pelos provadores para aparência geral, cor e sabor dos tomates secos a 60°C, em metades sem pré-tratamento osmótico, em metades com pré-tratamento osmótico e dos tomates inteiros descascados quimicamente e com pré- tratados osmoticamente em solução de 35% de sacarose, 10% NaCl durante 1 hora, são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15: Média e desvio padrão dos valores* atribuídos às amostras de tomates em metades tratados osmoticamente (35% sacarose + 10% sal, 1h), em metades não tratados e inteiros descascados e tratados osmoticamente, todos secos a 60°C.

Atributo	DMS**	Metades com tratamento	Metades sem tratamento	Inteiros descascados e com tratamentos
Aparência Geral	0,9	6,3 ± 2,1 ^a	6,0 ± 1,9 ^a	5,9 ± 2,4 ^a
Cor	0,8	6,5 ± 1,7 ^a	6,4 ± 1,7 ^a	6,5 ± 2,0 ^a
Sabor	1,2	7,1 ± 1,5 ^a	5,6 ± 2,1 ^b	6,5 ± 1,8 ^{ab}

* escala hedônica não estruturada (1 = desgostei muitíssimo, 9 = gostei muitíssimo).

** DMS diferença mínima significativa do teste de Tukey ao nível de 5%

Médias na mesma linha com letras diferentes apresentam diferença significativa ao nível de 5%.

A maior média geral foi atribuída às amostras de tomates em metades desidratados osmoticamente, seguida das amostras de tomates inteiros descascados e desidratados osmoticamente.

Com relação ao sabor, os resultados demonstraram diferenças significativas entre os tratamentos. Os valores atribuídos a tomates em metades sem tratamento osmótico diferiram significativamente dos tomates em metades com tratamento osmótico enquanto que a média atribuída aos tomates inteiros não diferiu significativamente dos outros dois tipos de amostra. As médias atribuídas às amostras tratadas osmoticamente foram superiores a 6,0 (gostei ligeiramente).

Com relação à cor, os resultados não demonstraram diferenças significativas em nenhum dos três tratamentos, sendo que em média os provadores atribuíram nota 6,5 a esse atributo. Resultados similares foram encontrados para o atributo aparência geral, com médias em torno de 6,0.

Portanto, constata-se que o produto proposto (tomate inteiro descascado quimicamente e desidratado osmoticamente) apresentou boa aceitação e não diferiu significativamente dos tomates em metades que são os produtos mais convencionais oferecidos no mercado.

A distribuição de valores hedônicos atribuídos às amostras é apresentada na Figura 39.

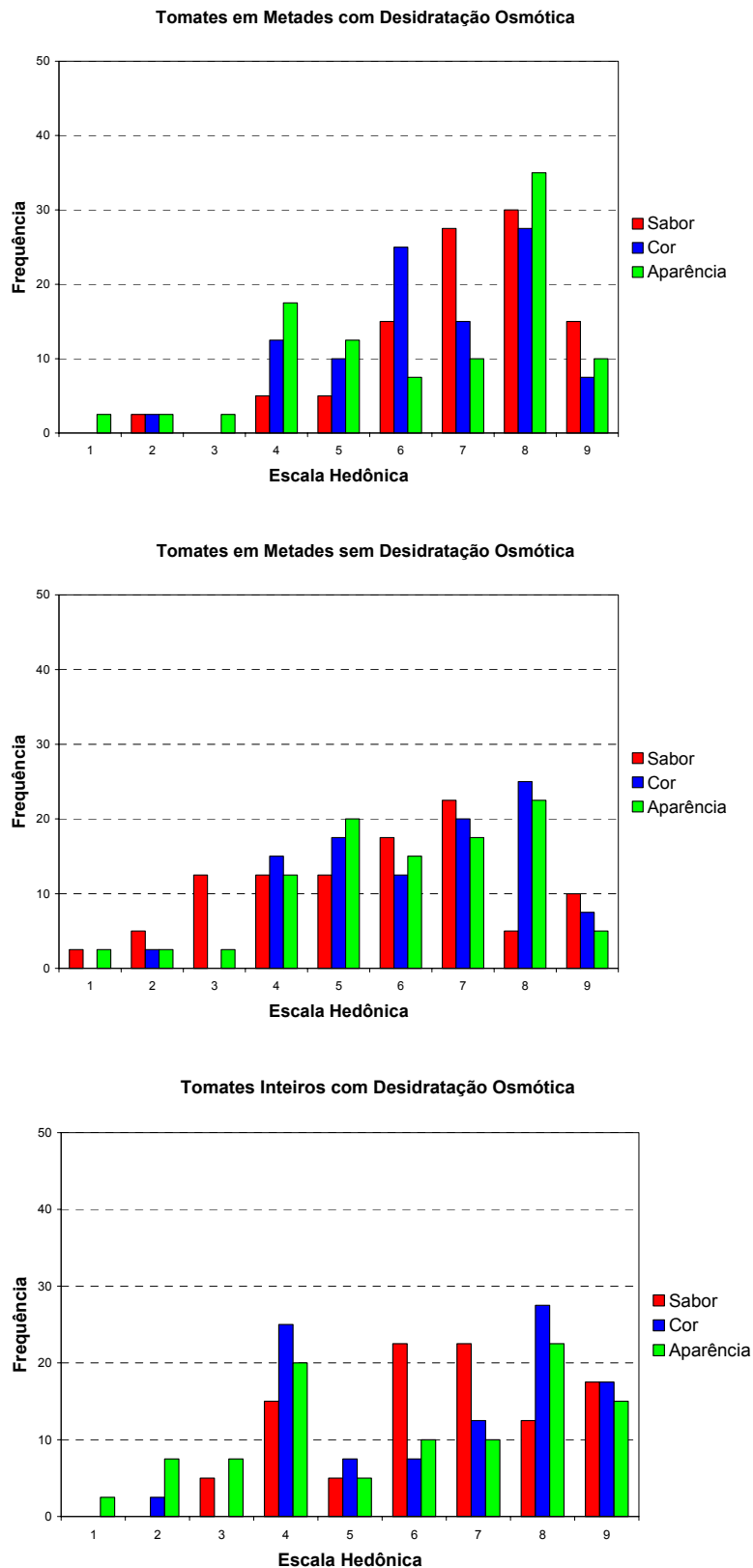


Figura 39. Distribuição da frequência dos valores hedônicos atribuídos à cor (azul), aparência geral (verde) e sabor (vermelho) das amostras em metades com desidratação osmótica, metades sem desidratação osmótica e inteiros com desidratação osmótica.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

6.1. CONCLUSÕES

1. Em relação aos efeitos das condições de descascamento químico sobre a perda de polpa e tempo de secagem, observou-se que tanto a perda de polpa quanto o tempo de secagem sofreram efeitos significativos ($p < 0,05$) do tempo de imersão, da temperatura da solução e da concentração de NaOH. As melhores condições de descascamento foram adotadas como sendo as que levariam a uma perda de polpa máxima de 15% e tempo de secagem máximo de 20 horas, mantendo a solução em 30°C, e correspondem a 30 minutos de imersão em uma solução de 6% de NaOH.

2. O pré-tratamento osmótico mais indicado para a produção de tomate seco foi de 35% de sacarose, 10% de NaCl e 1 hora.

3. A difusividade da água no tratamento osmótico em tempos curtos (2 horas) variou de $0,084 \times 10^{-10}$ a $0,184 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ e em tempos longos (50 horas) variou de $8,828 \times 10^{-10}$ a $11,475 \times 10^{-10}$. O coeficiente de difusão aumentou à medida que aumentou a concentração de sal e diminuiu a do açúcar.

4. A difusividade do NaCl no tratamento osmótico em tempos curtos (2 horas) variou de $0,110 \times 10^{-10}$ a $0,216 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ e em tempos longos (50 horas) variou de $9,831 \times 10^{-10}$ a $15,549 \times 10^{-10}$. Os valores mais altos foram observados nas concentrações mais baixas de sacarose.

5. A difusividade da sacarose no tratamento osmótico em tempos curtos (2 horas) variou de $0,073 \times 10^{-10}$ a $0,160 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ e em tempos longos (50 horas) variou de $8,669 \times 10^{-10}$ a $12,981 \times 10^{-10}$. Os valores mais altos foram observados nas concentrações mais baixas de NaCl.

6. O modelo de Page se ajustou bem aos dados experimentais em todos os ensaios de secagem realizados, sendo que, a temperatura de secagem está

diretamente relacionada com o maior ou menor tempo para que o produto atinja 50% de umidade (b.u.).

7. Foi observado o efeito da aplicação da solução osmótica antes do processamento, refletindo no menor tempo de secagem quando comparado aos experimentos em que se utilizou a mesma temperatura, nas amostras em que se empregou o descascamento químico.

8. Com relação a degradação de vitamina C, verificou-se que o descascamento químico e o tratamento osmótico reduziram em aproximadamente 18% e 41%, respectivamente, o teor inicial do nutriente. As taxas de degradação do ácido ascórbico mostraram-se dependentes do tratamento das amostras antes da secagem, bem como da temperatura de secagem. Taxas menores de degradação foram observadas nos tomates inteiros que sofreram pré-tratamento osmótico enquanto maiores taxas de degradação ocorreram nos tomates em metades. A maior temperatura de secagem aumentou a taxa de degradação do nutriente.

9. Em relação à aceitação dos provadores, observou-se que o produto proposto (tomate inteiro descascado quimicamente e desidratado osmoticamente) apresentou boa aceitação e que não diferiu significativamente em sabor, cor e aparência geral de tomates em metades, que são os produtos frequentemente encontrados no mercado.

6.2. SUGESTÕES

1. Padronizar as condições da matéria-prima verificando seu ponto de maturação, através da análise de sólidos solúveis e umidade. Para comparações, proceder a ensaios simultâneos com a mesma matéria prima.

2. Utilizar modelos mais rigorosos para estudar a difusividade nesses tecidos, levando em consideração a resistência externa e o encolhimento do material.

3. Estudar a influência do descascamento químico e dos pré-tratamentos osmóticos sobre a retenção de licopeno nas amostras in natura e após a secagem.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABUSHITA, A.A.; DAOOD, H.G.; BIACS, P.A. Change in **Carotenoids and Antioxidant Vitamins in Tomato as a Function of Varietal and Technological Factors**. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.48, p.2075-2081, 2000.

AGUERRE, R.J.; GABITO, J.F. & CHIRIFE, J. **Utilization of Fick's seconde law for the evaluation of diffusion coefficients in food process controlled by internal diffusion**. *Journal Food Technology*, v.20 p.623-629, 1985.

ALZAMORA, S.M.; CHIRIFE, J. & VIOLLAZ, P.E. **A simplified model for predicting the temperatures of foods during air dehydration**. *Journal Food Technology*, v.14 p.369-380, 1979.

A.O.A.C. **Official methods of analysis**. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C., p. 844-845, 1984.

A.O.A.C. **Official methods of analysis**. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C., 1990.

ATKINS, P.; PAULA, J. **Atkins Físico Química**. LTC Editora, v.3, p.66-67, 7ªed, 2002.

AZOUBEL, P.M.; MURR, F.E.X. **Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato**. *Journal of Food Engineering*, v.61, nº3, p. 291-295, 2004.

BARONI, A.F. & HUBINGER, M.D. **drying of onion: effects of pretreatment on moisture transport**. *Drying Technology*, v.16, p.2083-2094, 1998.

BAYINDIRLI, L. **Mathematical analysis of lye peeling of tomatoes**, *Journal of Food Engineering*, v.23, p. 225-231, 1994.

BENASSI, M.T., ANTUNES, A.J. **A comparison of meta-phosphoric and oxalic acids as extractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables**, *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, v. 34, no. 4, p. 507-513, 1988.

BERTHIER, L.J; QUEIROZ, M.R. **Desidratação osmótica de manga como pré-tratamento para secagem**. 1999. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*, 1999a, Pelotas, RS. *Anais do Congresso*.

CAMARGO FILHO, W. P.; MAZZEI, A.R. **Necessidade de reconversão da produção de tomate** em São Paulo: ações na cadeia produtiva. *Informações Econômicas*, v.26, n.6, p.105-116, 1996.

CAMARGO, G.A. & QUEIROZ, M.R. **Avaliação de parâmetros químicos de tomates para secagem**. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*, 1999a, Pelotas-RS. Anais do Congresso.

CAMARGO, G.A. & QUEIROZ, M.R. **Curvas experimentais de secagem de tomate, variedade debora plus, em duas temperaturas e pré-tratamentos com sal e açúcar**. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*, 1999b, Pelotas-RS. Anais do Congresso.

CAMARGO, G.A.; MORETTI, R.H.; LEDO, C.A.S. **Quality of dried pre-treated by osmotic dehydration, antioxidant application and addition of tomato concentrate**. *Drying 2004 – Proceedings of the International Drying Symposium*, v. C, p. 2207-2215, 22-25 August 2004.

CARBONELL, J.V.; PINAGA, F.; YUSÀ, V.; PENA, J.L. **The dehydration of Paprika with ambient and heated air and the kinetics of colour degradation during storage**. *Journal of Food Science*, v.5 p.179-193, 1986.

CARVALHO, V.D. **Características químicas e industriais do tomate** *Informações Agropecuárias*, v.6, p.63-68, 1980.

CHIRIFE, J. **Fundamentals of the drying mechanism during air dehydration of foods**. In: *Advances in drying*, ed. Arum S. Mujundar, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, p.73-102, 1983.

COSTA, F.G.; CAIXETA FILHO, J.V. **Análise das perdas na comercialização de tomate: o estudo de um caso**. *Informações Econômicas*, v.26, n.12, p.9-24, 1996.

CUNHA, L.M.; OLIVEIRA, F.A.R.; OLIVEIRA, J.C. **Optimal Experimental Design for Estimating the Kinetic Parameters of Processes Described by the Weibull Probability Distribution Function**. *Journal of Food Engineering*, v.37, p.175-191, 1998.

CUSSLER, E.L. **Diffusion – Mass transfer in fluid systems**. Cambridge: Cambridge University Press, p.211, 1984.

DAUDIN, J.D. **Calcul des cinétiques de séchage par l'air chaud des produits biologiques solides**. *Sciences des Aliments*, 3(1): p.1-36, 1983.

DAVIES, J.N.; HOBSON, G.E. **The constituents of tomato fruit – influence on environment, nutrition and genotype.** *CRC Critical Reviews in Food Service and Nutrition*, v.15, p.205-262, 1981.

DE LA CRUZ, A.G., **Desidratação osmótica e secagem de berinjela.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) FEA/UNICAMP 155p. Campinas, SP, 1998.

DEWANTO, V.; WU, X.; ADOM, K.K.; LIU, R.H. **Thermal Processing Enhances the Nutritional Value of Tomatoes by Increasing Total Antioxidant Activity.** *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.50, p.3010-3014, 2002.

FENNEMA, O.R. **Loss of vitamins in fresh and frozen foods.** *Food Technology*, 31(12):32, 1977.

GABAS, A.L.; BERNARDI, M.; TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V.R.N. **Application of heat pump in drying of apple cylinders.** *Drying 2004 – Proceedings of the 14th International Drying Symposium.* São Paulo, Brazil, v.C, p.1922-1929, 22-25 August 2004.

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

GAHLER, S; OTTO, K.; BOHM, V. **Alterations of Vitamin C, Total Phenolics, and Antioxidant Capacity as Affected by Processing Tomatoes to Different Products.** *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.51, p. 7962-7968, 2003.

GIOVANELLI, G.; ZANONI, B.; LAVELLI, V. & NANI, R. **Water sorption, drying and antioxidant properties of dried tomato products.** *Journal of Food Engineering*, v. 52, p. 135-141, 2002.

GOULD, W.A. **Composition of tomatoes.** In: *Tomato Production processing and quality evaluation.*, Connecticut, USA, Westport, p.344-361, 1983.

GOULD, W. A. **Tomato Production, Processing & Technology.** Baltimore, Maryland. USA. 3th edition, 535p, 1992.

HAWKES, J. & FLINK, J.M. **Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration.** *Journal Food Proc. Preserv.*, v.2, p.265-284, 1978.

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

HOLDSWORTH, S.D. **Dehydration of food products**. A review. *Journal of Food Technology*, v.6 p.331-370, 1971.

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: www.sidra.ibge.gov.br/, acesso em fevereiro de 2008.

IGARASHI, L. & KIECKBUSCH, T. G. **Modelagem de desidratação osmótica de fatias de tomate utilizando a atividade de água**. In: XXVI Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, Teresópolis –RJ, Anais do Congresso, 1998.

JAYARAMAN, K.S. & DAS GUPTA, D.K. **Dehydration of fruits and vegetables – recent developments in principles and techniques**. *Drying Technol.*, v.10, p.1-50, 1992.

LENART, A. **Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application**. *Drying Technol.*, v.14, p.391-413, 1996.

LENART, A. & FLINL, J.M **Osmotic concentration of potato. II. Spatial distribution of the osmotic effect**. *Journal Food Technology*, v.19, p.65-89, 1984b.

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

MANSO, M.C.; OLIVEIRA, F.A.R.; OLIVEIRA, J.C.; FRÍAS, J.M. **Modelling ascorbic acid thermal degradation and browning in orange juice under aerobic conditions**. *International Journal of Food Science and Technology*, v.36, p.303-312, 2001.

MC CORMICK, P.Y. **Solids drying fundamentals**. In: PERRY, R.H. and CHILTON, C.H., *Chemical engineer's handbook*. Mc Graw-Hill Co. 5 ed. Sec. 20-4, 1983.

MINAMI, K. & HAAG, H.P. **O tomateiro**. 2ª ed. *Fundação Cargil*, Campinas-SP, Brasil, 1989.

MURARI, R. C. D. L. **Cinética da desidratação osmo-convectiva de tomates**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2001.

NICOLETI, J. F., TELIS-ROMERO, J. & TELIS, V. R. N. **Air-drying of fresh and osmotically pre-treated pineapple slices: fixed air temperature versus fixed slice temperature drying kinetics**. *Drying Technology*, v.19(9), p.2175-2191, 2001.

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*, v.14, p.1429-1457, 1996.

NOBEL, P.S. **Physicochemical and environmental plant physiology**. San Diego: Academic Press Inc., 635p., 1991.

NSONZI, F. & RAMASWAMY, H.S. **Quality evaluation of osmo-convective dried blueberries**. *Drying Technology*, v.16, p.705-723, 1998a.

OLORUNDA, A.O., AWORH, O.C. & ONUOHA, C.N. **Upgrading quality of dried tomato: effects of drying methods, conditions and pre-drying treatments**. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.52, p.447-454, 1990.

PANAGIOTOU, N.M.; KARATHANOS, V.T. & MAROULIS, Z.B. **Mass transfer modeling of the osmotic dehydration of some fruits**. *Int. Food Science and Technology*, v.33, p.267-284, 1998.

PARTY, M. **Evaluation of diffusion based drying models: their bases and limitations**. *Hungarian Journal of Chemistry Vezprém*, v.26, p.221-228, 1998.

QI, H.; LEMAGUER, M. & SHARMA, S.K. **Desing and selection of processing conditions of a pilot scale contactor for continuous osmotic dehydration of carrots**. *Journal of Food Processing Engineering*, v.21, p.75-88, 1998.

QUEIROZ, R. **Secagem de tomates utilizando secadores resistivos e com bomba de calor**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2003.

QUINTERO-RAMOS, A.; DE LA VEJA, C.; HERNANDEZ, E. & ANZALDUA-MORALES, A. **Effect of conditions of osmotic treatment on the quality of dried apple dices**. *Aiche Symp. Series*, 89: 108-113, 1993.

RASTOGI, N.K. RAGHAVARAO, K.S.M.S. & NIRANJAN, K. **Mass transfer during osmotic dehydration of banana: fickian diffusion in cylindrical configuration**. *Journal of Food Engineering*, v.31, p.423-432, 1997.

ROMERO, L.; MIGUEL, M.H.; SPOGIS, N. & KIECKBUSCH, T.G. **Cinética de secagem de tomates em fatias pré-tratadas: resultados preliminares**. XXV Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, v.2, p.620-627, 1997.

SÁBIO, E.; LOZANO, M.; MONTERO DE ESPINOSA, V.; MENDES, R.L.; PEREIRA, A.P.; PALAVRA, A.F.; COELHO, J.A. **Lycopene and β -Carotene Extraction from Tomato Processing Waste Using Supercritical CO₂**. *Ind. Engineering Chemical Research*. 42, 6641-6646, 2003.

SABLANI, S.S., OPARA, L.U., AL-BALUSHI, K. **Influence of bruising and storage temperature on vitamin C content of tomato fruit.** *Journal of Food, Agriculture & Environment*, v. 4 (1), p. 54-56, 2006.

SALUNKHE, D.K., DESAI, B.B. **Postharvest Biotechnology of Vegetables**, Boca Raton: CRC Press, v.(1): p.208, 1984

SINGH, R.P. & HELDMAN, D.R. **Introduction to food engineering.** 2^a ed. San Diego, Academic Press, 502p., 1993.

SHI, J., LE MAGUER, M.L., WANG, S.L. & LIPTAY, A. **Application of osmotic treatment in tomato processing – effect of skin treatments on mass transfer in osmotic dehydration of tomatoes.** *Canadian Institute of Food Science and Technology*, v.30, p. 669-674, 1997.

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

SILVA, M. A., PINEDO, R.A.; KIECKBUSCH, T.G. **Ascorbic Acid Thermal Degradation During Hot Air Drying of CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia* [H.B.K.] McVaugh) Slices at Different Air Temperatures.** *Drying Technology*, v.23, p.2277-2287, 2005.

SPIAZZI, E. & MASCHERONI, R. **Mass transfer model for osmotic dehydration of fruits and vegetables – I. Development of the simulation model.** *Journal of Food Engineering*, v.34, p.387-410, 1997.

STEVENS, M. A. **Tomato Flavor: Effects of Genotype, Cultural Practices, and Maturity at Picking.** In: Ed. Harold E. Patee Evaluation of quality of fruits and vegetables. AVI Publishing Co, Inc. Westport, Connecticut. 410p, 1985.

TAKEOKA, G.R.; DAO, L.; FLESSA, S.; GILLESPIE, D.M.; JEWELL, W.T.; HUEBNER, B.; BERTOW, D.; EBELER, S.E. **Processing Effects on Lycopene Content and Antioxidant Activity of Tomatoes.** *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 49, 3713-3717, 2001.

TAVARES, C.A.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. **Carotenoid composition of brazilian tomatoes and tomato products.** *Lebensm. Wiss. U. Technology*, v.27, p.219-224, 1994.

TELIS, V. R. N.; MURARI, R. C. B. D. L.; YAMASHITA, F. **Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions.** *Journal of Food Engineering*, v.61, p.253-259, 2004.

TREYBAL, R.E. **Mass Transfer Operations** 3rd ed. New York: Mc Graw Hill, 784p., 1987.

TRIPATHI, R.N. & NATH, N. **Effect of Starch Dipping on Quality of Dehydrated Tomato Slice.** *Journal Food Science Technology*, v.26(3), p.137-141, 1989.

UDDIN, M.S.; HAWLADER, M.N.A.; ZHOU, L. **Kinetics of ascorbic acid degradation in dried Kiwifruits during storage.** *Drying Technology*, v.19(2), p.437-446, 2001.

VACAREZZA, L.M. LOMBARDI, J.L. & CHIRIFE, J. **Kinetics of moisture movement during air drying of sugar beet root.** *Journal of Food Technology*, v.9: p.317-327, 1974.

VAN ARSDEL, W.B., COPLEY, M.J. & MORGAN, A.I. **Food Dehydration**, Second Edition, v.2, *The AVI Publishing Company, Inc.*, Westport, USA, 1973.

YUSHENY,Z. & POULSEN, K.P. **Diffusion in potato drying.** *Journal of Food Engineering*, v.7 p.249-262, 1988.

ZANONI, B., PERI, C., NANI, R. & LAVELLI, V. **Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying.** *Food Research International*, v.31(5), p.395-401, 1999.