

KATIELLE ROSALVA VONCIK CÓRDOVA

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E SECAGEM CONVECTIVA
DE MAÇÃ FUJI COMERCIAL E INDUSTRIAL**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Tecnologia de Alimentos, do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Georges Kaskantzis Neto

Co-orientadora: Prof. Dr^a. Maria Lucia Masson

CURITIBA
2006

KATIELLE ROSALVA VONCIK CÓRDOVA

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E SECAGEM CONVECTIVA
DE MAÇÃ FUJI COMERCIAL E INDUSTRIAL**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

Orientador: Prof. Dr. GEORGES KASKANTZIS NETO
Setor de Tecnologia, UFPR

Membro: Prof. Dr. JOSÉ RANIERE MAZILE VIDAL BEZERRA
Centro de Exatas e Tecnologia, UNICENTRO

Membro: Prof^a. Dr^a. NINA WASZCZYNSKYJ
Setor de Tecnologia, UFPR

Curitiba, 10 de Fevereiro de 2006.

Aos meus dois grandes amores:
Marcel e Maria Luiza.

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar ao meu lado todos os momentos de minha vida, sempre me guiando e fortalecendo.

Ao meu marido Marcel e minha filha Maria Luiza pelo amor, carinho, incentivo, paciência, colaboração e compreensão em todos os momentos.

Aos meus pais Pedro e Ana Maria, minha irmã Ketllyn e minha avó Rosália pelo amor, apoio e compreensão, em especial à minha mãe que me incentivou a ingressar neste curso.

Aos meus sogros João e Iolete e minha cunhada Suelen pelo amor e apoio, em especial à minha sogra que muito me auxiliou neste período nos cuidados com minha filha.

A Universidade Federal do Paraná, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, pela acolhida.

Ao Prof. Dr. Georges Kaskantzis Neto pela orientação, amizade, conhecimento, apoio, incentivo, auxílio e conselhos.

À Prof^a. Dr^a. Maria Lucia Masson pela orientação, amizade, apoio e estímulo.

À Prof^a. Dr^a. Nina Waszczynskyj pela amizade, incentivo, colaboração e conselhos.

À CODAPAR (Companhia Desenvolvimento Agropecuário do Paraná), localizada na cidade de Guarapuava, pelo fornecimento de matéria-prima.

Ao Prof. Dr. Renato João Sossela de Freitas pela atenção e colaboração.

Aos Professores Paulo Sérgio Growoski e Sônia Maria Chaves Haracemiv pelas sugestões e colaboração.

À Dr^a. Sônia Cachoeira Stertz pela atenção.

À Prof^a. Dr^a. Cleusa Bona do Laboratório de Botânica Estrutural da UFPR pela atenção e ajuda.

Aos Professores do Departamento de Engenharia de Alimentos da Unicentro pela colaboração, atenção e ajuda prestada, em especial aos professores David Chácon Alvarez, Osmar Dalla Santa e José Raniere Mazile Vidal Bezerra.

Aos meus colegas de mestrado pelo companheirismo e amizade, especialmente às minhas grandes amigas Cristina Mara Guolo Winter, Dayane Karina Lorenzetti, Érica Cristina Ramirez Baggio, Giovana Longo, Nelisa Sita Pires

Picolotto Martim, Jocilene de Miranda Marques, Thaís Martins Marcheze Tavares Bastos Gama e Vanessa Haddad Kalluf.

À Nelisa e Emersom Martim pelo carinho, amizade, companheirismo, estímulo e incentivo, apoio, ajuda, pelas longas e animadoras conversas e em especial pela acolhida sempre tão gentil e hospitaleira.

À Giovana Longo pela amizade, auxílio, traduções e correções, estímulo e incentivo, carinho e companheirismo em todas as horas.

À Thaís M. M. T. Bastos Gama pela amizade, carinho e companheirismo, principalmente nas horas de espera pela Maria Luiza.

Aos meus amigos Osmar e Herta S. Dalla Santa pela amizade, incentivo e apoio em todos os momentos.

Ao Sr. Genuíno e Sra. Nely Vanessa Picolotto pela amizade e por sua tão gentil acolhida.

À Dona Helena de Lara Lucion e Adriana Zilczak por todos bons momentos que passamos juntas no laboratório.

Ao Laboratório de Microscopia Eletrônica da UFPR, em especial à Rosângela Borges Freitas, Vera Regina Fontana Piontek e Matilde Machado Oliveira pela ajuda e atenção.

Aos secretários do PPGTA, Luciana Corrêa Marques e Paulo Roberto Krainski, pela colaboração e amizade.

Ao apoio da CAPES e do CNPq na realização da presente pesquisa.

E a todos aqueles que de alguma forma me ajudaram nessa jornada, muito obrigada!

“Uma longa viagem começa com um único passo.”

Lao-Tsé

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	xvi
RESUMO	xviii
ABSTRACT	xix
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.1.1 Objetivo Geral.....	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 MAÇÃ	4
2.1.1 Histórico da maçã.....	4
2.1.2 Características agronômicas da macieira	6
2.1.3 Características físicas da maçã	7
2.1.4 Características químicas da maçã	8
2.1.5 A maçã no mercado mundial de frutas.....	9
2.1.6 A maçã no mercado nacional de frutas.....	10
2.1.7 A maçã e a industrialização de frutas	12
2.1.8 Cultivar Fuji.....	13
2.2 ATIVIDADE DE ÁGUA	14
2.3 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA.....	16
2.3.1 Agentes desidratantes.....	22
2.3.1.1 Sacarose	23
2.3.1.2 Sorbitol	24
2.3.2 Concentração da solução osmótica	25
2.3.3 Temperatura	26
2.3.4 Tempo de imersão.....	26
2.3.5 Agitação.....	26
2.3.6 Qualidade dos produtos desidratados osmoticamente	27
2.3.6.1 Textura	27
2.3.6.2 Cor.....	28
2.3.7 Transferência de massa.....	30

2.3.8 Cinética da desidratação osmótica	32
2.4 SECAGEM OSMO-CONVECTIVA.....	35
2.4.1 Cinética de secagem	38
2.5 MICROESTRUTURA DE ALIMENTOS.....	41
2.5.1 Microscopia eletrônica.....	44
2.6 ANÁLISE SENSORIAL.....	45
3 MATERIAL E MÉTODOS	47
3.1 MATERIAL.....	47
3.1.1 Matéria-prima	47
3.1.2 Soluções desidratantes	47
3.2 MÉTODOS	48
3.2.1 Caracterização da matéria-prima	48
3.2.2 Procedimento Experimental	48
3.2.3 Pré-tratamento osmótico	49
3.2.4 Secagem convectiva	51
3.2.5 Métodos Analíticos	52
3.2.5.1 Determinação da atividade de água.....	53
3.2.5.2 Determinação da massa da amostra	53
3.2.5.3 Determinação de cinzas.....	53
3.2.5.4 Determinação de proteína bruta.....	54
3.2.5.5 Determinação de extrato etéreo (lipídios)	54
3.2.5.6 Determinação de fibra bruta	54
3.2.5.7 Determinação de carboidratos	54
3.2.5.8 Determinação do valor calórico	54
3.2.5.9 Determinação de pH.....	54
3.2.5.10 Determinação da acidez total.....	55
3.2.5.11 Determinação da umidade	55
3.2.5.12 Determinação de sólidos totais	55
3.2.5.13 Determinação de açúcares redutores e totais.....	55
3.2.5.14 Determinação de sólidos solúveis.....	56
3.2.5.15 Determinação da cor	56
3.2.5.16 Avaliação microbiológica.....	57
3.2.6 Cálculo do coeficiente efetivo de difusividade.....	57

3.2.7 Análise Estrutural	58
3.2.8 Análise Sensorial.....	61
3.2.9 Análise Estatística	62
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA.....	63
4.1.1 Análises físicas da maçã <i>in natura</i>	63
4.1.2 Análises físico-químicas da maçã <i>in natura</i>	63
4.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO PRODUTO FINAL	67
4.3 ATIVIDADE DE ÁGUA	71
4.3.1 Determinação da atividade de água da maçã <i>in natura</i> e do produto final.....	71
4.4 AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA	76
4.4.1 Análises microbiológicas da maçã <i>in natura</i> e do produto final	76
4.5 PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO	77
4.5.1 Cinéticas da desidratação osmótica.....	77
4.5.2 Relação de sólidos solúveis totais	89
4.5.3 Coeficiente efetivo de difusividade na desidratação osmótica.....	91
4.6 SECAGEM CONVECTIVA	92
4.6.1 Cinéticas da secagem convectiva.....	92
4.6.2 Coeficiente efetivo de difusividade na secagem convectiva	95
4.7 AVALIAÇÃO DA COR	96
4.8 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL – MICROSCOPIA	100
4.9 AVALIAÇÃO SENSORIAL.....	110
4.9.1. Teste de preferência.....	110
4.9.2. Teste de perfil de características	112
4.9.3. Teste de atitude.....	115
5 CONCLUSÃO	119
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	120
REFERÊNCIAS.....	121
APÊNDICES.....	141

ÍNDICE DE APÊNDICES

APÊNDICE 1 – FICHA DE ANÁLISE SENSORIAL DO TESTE DE PREFERÊNCIA	142
APÊNDICE 2 – FICHA DE ANÁLISE SENSORIAL DO TESTE DE PERFIL DE CARACTERÍSTICAS	143
APÊNDICE 3 – FICHA DE ANÁLISE SENSORIAL DO TESTE DE ATITUDE	144
APÊNDICE 4 – DADOS UTILIZADOS NA CINÉTICA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE MAÇÃ FUJI COMERCIAL COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%	145
APÊNDICE 5 – DADOS UTILIZADOS NA CINÉTICA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE MAÇÃ FUJI INDUSTRIAL COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%	145
APÊNDICE 6 – DADOS UTILIZADOS NA CINÉTICA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE MAÇÃ FUJI COMERCIAL COM SOLUÇÃO DE SORBITOL A 50%	146
APÊNDICE 7 – DADOS UTILIZADOS NA CINÉTICA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE MAÇÃ FUJI INDUSTRIAL COM SOLUÇÃO DE SORBITOL A 50%	146
APÊNDICE 8 – DADOS UTILIZADOS NA CINÉTICA DA SECAGEM CONVECTIVA DE MAÇÃ FUJI COMERCIAL E INDUSTRIAL COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%	147
APÊNDICE 9 – DADOS UTILIZADOS NA CINÉTICA DA SECAGEM CONVECTIVA DE MAÇÃ FUJI COMERCIAL E INDUSTRIAL COM SOLUÇÃO DE SORBITOL A 50%	147
APÊNDICE 10 – DADOS UTILIZADOS NA RELAÇÃO DE SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE MAÇÃ FUJI COMERCIAL E INDUSTRIAL COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%	148
APÊNDICE 11 – DADOS UTILIZADOS NA RELAÇÃO DE SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE MAÇÃ FUJI COMERCIAL E INDUSTRIAL COM SOLUÇÃO DE SORBITOL A 50%	148

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	FATORES DE QUALIDADE (DEFEITOS) DAS MAÇÃS	8
TABELA 2 -	COMPOSIÇÃO CENTESIMAL EM PORCENTAGEM APROXIMADA DA PORÇÃO COMESTÍVEL DA MAÇÃ	9
TABELA 3 -	ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE MAÇÃ EM TONELADAS NO BRASIL, PERÍODO 2000-2004	11
TABELA 4 -	PRODUÇÃO BRASILEIRA DE MAÇÃ (EM TONELADAS)	12
TABELA 5 -	ATIVIDADE DE ÁGUA MÍNIMA PARA O DESENVOLVIMENTO DE ALGUNS MICRORGANISMOS	15
TABELA 6 -	PARÂMETROS FÍSICOS DA MAÇÃ COMERCIAL E DA INDUSTRIAL.....	63
TABELA 7 -	COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL <i>IN NATURA</i> COLETADAS EM GUARAPUAVA/PR E REGIÃO	64
TABELA 8 -	ACIDEZ TITULÁVEL, pH E SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL <i>IN NATURA</i> COLETADAS EM GUARAPUAVA/PR E REGIÃO	65
TABELA 9 -	AÇÚCARES REDUTORES, NÃO-REDUTORES E TOTAIS DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL <i>IN NATURA</i> COLETADAS EM GUARAPUAVA/PR E REGIÃO	66
TABELA 10 -	ACIDEZ TITULÁVEL, pH E SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE	68
TABELA 11 -	AÇÚCARES REDUTORES, NÃO-REDUTORES E TOTAIS DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE	70
TABELA 12 -	ATIVIDADES DE ÁGUA DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL <i>IN NATURA</i> E APÓS PROCESSAMENTO	71
TABELA 13 -	EQUAÇÕES DO AJUSTE POLINOMIAL DAS ATIVIDADES DE ÁGUA DURANTE O PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO	73
TABELA 14 -	EQUAÇÕES DO AJUSTE LINEAR DAS ATIVIDADES DE ÁGUA DURANTE A SECAGEM CONVECTIVA	75
TABELA 15 -	RESULTADOS DAS ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS PARA AS MAÇÃS <i>IN NATURA</i>	76
TABELA 16 -	RESULTADOS DAS ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS PARA O PRODUTO FINAL	77

TABELA 17 -	VALORES DOS D_{ef} – DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA	91
TABELA 18 -	VALORES DOS D_{ef} – SECAGEM CONVECTIVA	95
TABELA 19 -	VALORES DOS PARÂMETROS DE COR DAS MAÇÃS <i>IN NATURA</i> E PROCESSADAS	97
TABELA 20 -	ANÁLISE DE VARIÂNCIA APLICADA AOS RESULTADOS DO TESTE DE PREFERÊNCIA DO SABOR DAS MAÇÃS DESIDRATADAS POR SECAGEM OSMO-CONVECTIVA	111
TABELA 21 -	MÉDIAS DAS NOTAS PARA O TESTE DE PREFERÊNCIA DO SABOR DAS MAÇÃS DESIDRATADAS POR SECAGEM OSMO- CONVECTIVA	111
TABELA 22 -	MÉDIAS OBTIDAS PELOS JULGADORES NAS MAÇÃS DESIDRATADAS POR SECAGEM OSMO-CONVECTIVA NO TESTE DE PERFIL DE CARACTERÍSTICAS	112
TABELA 23 -	MÉDIAS DAS NOTAS PARA O TESTE DE ATITUDE DA INTENÇÃO DE CONSUMO DAS MAÇÃS OBTIDAS POR SECAGEM OSMO- CONVECTIVA	116

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 -	MAÇÃS FUJI	6
FIGURA 2 -	TRANSFERÊNCIA DE MASSA DURANTE O PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA	17
FIGURA 3 -	ESTRUTURA DO SORBITOL	24
FIGURA 4 -	ESTRUTURA DA SACAROSE	25
FIGURA 5 -	MATÉRIA-PRIMA UTILIZADA: (a) MAÇÃS FUJI; (b) MAÇÃ FUJI COMERCIAL; (C) MAÇÃ FUJI INDUSTRIAL	47
FIGURA 6 -	DIAGRAMA GERAL DO PROCESSAMENTO DA SECAGEM OSMO-CONVECTIVA DAS MAÇÃS FUJI COMERCIAL E INDUSTRIAL	49
FIGURA 7 -	BANHO TERMOSTÁTICO UTILIZADO NA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE MAÇÃ FUJI COMERCIAL E INDUSTRIAL	50
FIGURA 8 -	SECADOR DE BANDEJAS UTILIZADO NA DESIDRATAÇÃO DE MAÇÃ FUJI COMERCIAL E INDUSTRIAL	52
FIGURA 9 -	ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO SECADOR CONVECTIVO	52
FIGURA 10 -	HIGRÔMETRO AQUALAB DECAGON DEVICES (a); BALANÇA DE INFRAVERMELHO COM SISTEMA DE SECAGEM GEHAKA (b)	53
FIGURA 11 -	REFRATÔMETRO (a); ESPECTOFOTÔMETRO (b)	57
FIGURA 12 -	SECADOR AO PONTO CRÍTICO (a); METALIZADOR (b)	59
FIGURA 13 -	<i>STUBS</i> COM AMOSTRAS NO METALIZADOR (a); <i>STUBS</i> METALIZADOS (b)	60
FIGURA 14 -	MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA	60
FIGURA 15 -	PRÉ-TESTE DE SELEÇÃO DE JULGADORES (a); TESTE SENSORIAL APLICADO AOS JULGADORES (b)	62
FIGURA 16 -	TEORES DE UMIDADE E SÓLIDOS TOTAIS DAS MAÇÃS	68
FIGURA 17 -	CURVAS DA ATIVIDADE DE ÁGUA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE MAÇÃS	73
FIGURA 18 -	CURVAS DA ATIVIDADE DE ÁGUA DA SECAGEM CONVECTIVA DE MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE	74
FIGURA 19 -	GANHO DE SÓLIDOS DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL DURANTE O PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%	78

FIGURA 20 -	REDUÇÃO DA MASSA DAS AMOSTRAS DE MAÇÃ FUJI COMERCIAL E INDUSTRIAL DURANTE O PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%	79
FIGURA 21 -	PERDA DE ÁGUA DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL DURANTE O PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%	80
FIGURA 22 -	TAXA DO GANHO DE SÓLIDOS DAS MAÇÃS PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%	81
FIGURA 23 -	TAXA DA PERDA DE ÁGUA DAS MAÇÃS PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%	83
FIGURA 24 -	GANHO DE SÓLIDOS DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL DURANTE O PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO COM SOLUÇÃO DE SORBITOL A 50%	84
FIGURA 25 -	REDUÇÃO DA MASSA DAS AMOSTRAS DE MAÇÃ FUJI COMERCIAL E INDUSTRIAL DURANTE O PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO COM SOLUÇÃO DE SORBITOL A 50%	85
FIGURA 26 -	PERDA DE ÁGUA DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL DURANTE O PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO COM SOLUÇÃO DE SORBITOL A 50%	86
FIGURA 27 -	TAXA DO GANHO DE SÓLIDOS DAS MAÇÃS PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE COM SOLUÇÃO DE SORBITOL A 50%	87
FIGURA 28 -	TAXA DA PERDA DE ÁGUA DAS MAÇÃS PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE COM SOLUÇÃO DE SORBITOL A 50%	88
FIGURA 29 -	RELAÇÃO DE SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS MAÇÃS PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%	89
FIGURA 30 -	RELAÇÃO DE SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS MAÇÃS PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE COM SOLUÇÃO DE SORBITOL A 50%	90
FIGURA 31 -	CURVA DA SECAGEM OSMO-CONVECTIVA DAS MAÇÃS PRÉ-TRATADAS COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%	93
FIGURA 32 -	CURVA DA SECAGEM OSMO-CONVECTIVA DAS MAÇÃS PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE COM SOLUÇÃO DE SORBITOL A 50%	94
FIGURA 33 -	VALORES DE L* (LUMINOSIDADE) DAS MAÇÃS <i>IN NATURA</i> E PROCESSADAS	98
FIGURA 34 -	MAÇÃS DESIDRATADAS OSMOTICAMENTE COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%: MAÇÃ COMERCIAL (a); MAÇÃ INDUSTRIAL (b).	99

FIGURA 35 -	MAÇÃS DESIDRATADAS OSMOTICAMENTE COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50% APÓS A SECAGEM CONVECTIVA: MAÇÃ COMERCIAL (a); MAÇÃ INDUSTRIAL (b)	99
FIGURA 36 -	MICROESTRUTURAS DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL <i>IN NATURA</i> E DESIDRATADA OSMOTICAMENTE COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%	101
FIGURA 37 -	MICROESTRUTURAS DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL DESIDRATADAS OSMOTICAMENTE COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%	102
FIGURA 38 -	MICROESTRUTURAS DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL <i>IN NATURA</i> E DESIDRATADA OSMOTICAMENTE COM SOLUÇÃO DE SORBITOL A 50%	104
FIGURA 39 -	MICROESTRUTURAS DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL DESIDRATADAS OSMOTICAMENTE COM SOLUÇÃO DE SORBITOL A 50%	106
FIGURA 40 -	MICROESTRUTURAS DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50% E APÓS A SECAGEM CONVECTIVA	107
FIGURA 41 -	MICROESTRUTURAS DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE COM SOLUÇÃO DE SORBITOL A 50% E APÓS A SECAGEM CONVECTIVA	109
FIGURA 42 -	PERFIL SENSORIAL DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE E SUBMETIDAS À SECAGEM CONVECTIVA	114
FIGURA 43 -	HISTOGRAMA DA FREQUÊNCIA DA INTENÇÃO DE CONSUMO DO TESTE DE PERFIL DE ATITUDE PARA AS MAÇÃS DESIDRATADAS	117

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A_w	= atividade de água
(P)	= pressão de vapor d'água no alimento (Pa)
(P_0)	= pressão de vapor d'água pura (Pa)
C_t	= concentração média no tempo t (mol/cm ³)
C_e	= concentração de equilíbrio (mol/cm ³)
C_0	= concentração inicial (mol/cm ³)
X_t	= umidade média no tempo t (%)
X_e	= umidade de equilíbrio (%)
X_0	= umidade inicial (%)
x_0	= massa de água inicial do produto (g)
x_t	= massa de água do produto a um tempo t (g)
M_0	= massa inicial do produto (g)
M_{S_0}	= massa seca inicial (g)
M_{S_t}	= massa seca em um tempo t (g)
M_0	= massa do produto no tempo inicial (g)
D_{ef}	= difusividade efetiva (m ² /s)
t	= tempo (s)
L	= dimensão característica (semi-espessura da placa) (m)
\bar{D}	= difusividade aparente média (m ² /s)
$D_{(i)}$	= difusividade aparente para cada tempo (m ² /s)
N	= número de pontos experimentais utilizados para o cálculo
WR	= perda de massa em gramas por gramas de matéria seca inicial em gramas por gramas de matéria seca inicial (g/gi.m.s.)
W_0	= massa inicial da amostra (g)
W	= massa final da amostra (g)
SG	= ganho de sólidos em gramas de matéria seca por gramas de matéria seca inicial (g/gi.m.s.)
S_0	= massa de matéria seca inicial (gi.m.s.)
S	massa de matéria seca final (g)
WL	= perda de água em gramas de água por gramas de matéria seca inicial (g

- água/gi.m.s.)
- dGS/dt = taxa do ganho de sólidos em gramas por gramas de matéria seca inicial por minuto (g/gi.m.sm*min)
- dWL/dt = taxa de perda de água em gramas de água por gramas de matéria seca inicial por minuto (g água/gi.m.sm*min)
- PA = perda percentual de água em relação à massa inicial (%)
- PA_t = fração de água perdida pelo alimento no tempo t (g água/100g de amostra)
- PA_∞ = fração de água perdida pelo alimento no equilíbrio (g água/100g de amostra);
- WS = fração de água que pode difundir para fora do alimento, mas que permanece dentro do mesmo no tempo t (g água/100g de amostra);
- GS = ganho percentual de sólidos em relação à massa inicial do produto (%);
- k_1 e k_2 = constantes do modelo de Peleg;
- MO = microscopia ótica;
- MET = microscopia eletrônica de transmissão;
- MEV = microscopia eletrônica de varredura;
- SD = desvio padrão
- CV = coeficiente (ou causas) de variação
- ATT = acidez titulável total
- SST = sólidos solúveis totais
- NMP = número mais provável
- UFC = unidades formadoras de colônia

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar a utilização da maçã Fuji industrial, visando o seu aproveitamento, no processo de secagem osmo-convectiva. O pré-tratamento osmótico juntamente com a secagem convectiva é um conjunto que visa obter frutas com melhor estabilidade de cor, textura e aumento da vida de prateleira. A maçã (*Malus domestica*) é uma fruta possível de ser desidratada, pois possui boa textura e alto teor de açúcares e de acidez. Para o pré-tratamento osmótico foram imersos cubos de maçãs (de um cm de aresta) em soluções de sacarose a 50% (p/p) e sorbitol a 50% (p/p), na proporção amostra/solução de 1:10 (p/p), a 30°C com agitação de 110 rpm, durante três horas. Em seguida as amostras foram desidratadas a 60°C por 180 minutos. A avaliação sensorial foi feita por testes de preferência, perfil de características e atitude. Para analisar a estrutura do tecido vegetal utilizou-se a microscopia eletrônica de varredura. Nas determinações físico-químicas verificou-se que a maçã industrial é um pouco mais ácida e com maior teor de sólidos solúveis que a comercial. Quanto à umidade os produtos pré-tratados com sacarose tiveram uma redução média de 60% no teor de umidade. Houve uma redução na faixa de 1,74 a 4,15% entre a atividade de água (A_w) inicial e após o processo osmótico, e após a secagem convectiva foi alcançado em média 44,39% de redução na A_w . Em relação à avaliação microbiológica todas as amostras atenderam aos padrões estabelecidos pela legislação federal vigente. Analisando as cinéticas de desidratação osmótica observou-se que a redução de massa foi proporcional à retirada de água, sendo os valores de perda de água superiores aos da perda de massa, e que a maçã comercial incorporou mais sólidos que a industrial. Esse ganho de sólidos foi mais significativo nos primeiros trinta minutos do pré-tratamento. Com base nos dados obtidos observa-se tendência favorável ao uso do sorbitol como agente desidratante, visto que foi eficiente na retirada de água das amostras. Após a secagem houve um decréscimo médio de 34% da umidade em relação às amostras pré-tratadas osmoticamente. Os valores de difusividade efetiva se mantêm na mesma ordem de grandeza. No final do pré-tratamento e da secagem houve uma maior tendência ao escurecimento em relação às maçãs *in natura*, principalmente na comercial. A microscopia eletrônica de varredura revelou uma redução do turgor no interior celular confirmando os dados de transferência de massa. A análise sensorial mostrou que houve preferência pelas maçãs pré-tratadas com sacarose. Quanto aos atributos analisados no perfil de características apenas o sabor e a textura apresentaram diferenças significativas. A intenção de consumo ficou em torno de 63% para as maçãs desidratadas com sacarose. Com base nos dados da análise sensorial verificou-se que o sorbitol apresentou sabor residual, o qual reduziu a aceitabilidade do produto pelo consumidor.

Palavras-chave: maçã, secagem osmo-convectiva, microscopia eletrônica de varredura, análise sensorial.

ABSTRACT

The aim of this work was evaluate the use of the industrial Fuji apple in the process of osmo-convective drying. The osmotic pretreatment and convective drying seeks fruits with better stability of color, texture and increase of the shelf life. The apple (*Malus domestica*) can be dehydrated, because it has good texture, high concentration of sugars and high acidity. For the osmotic pretreatment were used immersed apple cubes (of one cm edge) in solutions of sucrose 50% (w/w) and sorbitol 50% (w/w), in the ratio sample/solution was 1:10 (w/w), 30°C and stirring of 110 rpm, for three hours. Moreover, the sample was been dehydrated at 60°C for 180 minutes. For sensorial evaluation was used preference test, characteristics profile and attitude scale. To analyze the structure of the tissue apple was utilized scanning electronic microscopy. In the physicochemical determination was observed that the industrial apple is more acid and has more soluble solids that the commercial apple. Sucrose as dehydrating osmotic reduced the humidity content to 60%, in average. There was a reduction range between 1,74 and 4,15% of initial water activity (A_w) from the after osmotic process. After the convective drying, A_w decreased 44.39%. Microbiological analysis showed that all samples had taken care for the standards established for the effective federal legislation. In the osmotic dehydration kinetics was observed a proportional reduction of weight loss and water loss, such that water loss values was large that loss weight, and the commercial apple incorporated more solid that the industrial apple. This solid gain was more significant in first thirty minutes of the osmotic pretreatment process. The sorbitol was efficient as dehydrating osmotic on loss water. After the drying the humidity content decreased for 34% in relation osmotically dehydrated samples. The effect diffusivity coefficients were the same magnitude. In the end of the pretreatment and the drying was highest darkening. The scanning electronic microscopy showed a reduction of the turgor in the cellular interior confirming the mass transference data. Finally, preference test showed that the sucrose treatment was the best. The attributes flavor and texture showed significant differences between samples in characteristics profile. The consumer intention was around 63% for apples sucrose pretreatment. Sensorial evaluation showed that sorbitol had residual flavor, than it reduced the acceptability of the product for the consumer.

Key-words: apple, osmo-convective drying, scanning electronic microscopy, sensory evaluation.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a demanda por produtos naturais, saudáveis e saborosos à base de frutas tem crescido cada vez mais. Grande atenção tem sido dada aos processos que preservam a estrutura física e as características sensoriais dos produtos, principalmente para ampliar o mercado dos produtos feitos de frutas. Portanto, pode-se empregar a desidratação osmótica combinada a outros processos, como a secagem convectiva para melhorar a estabilidade e a aceitação desses produtos.

Nos últimos anos houve uma grande mudança nos padrões de consumo e a preferência por alimentos levemente transformados ou minimamente processados tem aumentado. Um dos processos que possibilitam a obtenção de produtos levemente transformados é a desidratação osmótica. A pesquisa na área de desidratação de frutas tem sido direcionada na busca de métodos, que proporcionem produtos com poucas alterações em suas características sensoriais e nutritivas de baixo custo (ANTONIO, 2002; ALVES, 2003).

Visando a melhoria dos produtos feitos de frutas, pesquisas com relação aos mecanismos que envolvem a qualidade e a estabilidade dos materiais são necessárias para otimizar o processo e, conseqüentemente, o desenvolvimento de tecnologias simples, de baixo custo de aplicação industrial e com utilização de matérias-primas nacionais.

A desidratação osmótica de frutas apresenta vantagens sobre outros métodos, vantagens estas que consistem, entre outras, em minimizar os danos causados pelo calor à cor, à textura e ao sabor, e diminuir o escurecimento enzimático, não havendo necessidade de outros tratamentos químicos, como por exemplo, tratamento com dióxido de enxofre.

A melhoria da qualidade dos produtos osmo-desidratados não está somente relacionada à remoção da água, mas também à impregnação de solutos. Com a correta escolha de solutos e uma relação equilibrada e controlada da remoção de água e da impregnação do soluto desidratante, é possível proporcionar uma maior estabilidade dos atributos sensoriais da fruta, evitando o uso de aditivos (TORREGIANI e BERTOLO, 2001).

Acredita-se que a desidratação osmótica juntamente com a secagem convectiva é um processo que permite a obtenção de frutas com melhor estabilidade

de cor e textura e aumento da vida de prateleira, em relação ao produto seco convencionalmente e armazenado em temperatura ambiente. Essa proposta de utilizar métodos combinados à industrialização da maçã pode estimular os produtores dessa fruta a produção em grande escala, uma vez que, em algumas regiões no centro-oeste paranaense essa cultura está desestimulada. Isso ocorre devido à maçã ser comercializada na maioria dos casos “*in natura*”, o que agrega baixo valor, e traz pouco retorno financeiro aos produtores.

Guarapuava/PR há uns dez anos era uma das maiores cidades produtoras de maçãs, porém fatores como alterações climáticas, e, principalmente, baixo retorno financeiro pela venda do produto “*in natura*”, desestimulou o plantio dessa fruta até o ponto de restar poucos produtores de maçã. Desse modo, o implemento de uma tecnologia ao produto poderia estimular os antigos produtores (e a população que já tem grande conhecimento sobre a fruta), a introduzir novamente o plantio da fruta na região e também produzir um subproduto, uma vez que a cidade ainda é uma das maiores comercializadora e armazenadora dessa fruta, assim agregará valor (capital) a este produto (maçã Fuji).

Na região centro-oeste do Paraná, em especial em Guarapuava, assim como em várias outras regiões do Brasil, há grande índice de desemprego, assim, o estudo da desidratação osmótica e posterior secagem da maçã cultivada e comercializada nesta região, poderia estimular a criação de novos empregos. Logo a reimplantação ativa do cultivo bem como o processo para fabricar um subproduto da maçã, por meio dos processos a serem estudados, possibilitaria uma mudança sócio-econômica na região. Acredita-se que o estudo dessa tecnologia associada a este produto poderá acrescentar em muito para a comunidade científica, bem como pode ser matéria de ensino na Universidade local.

Pelo exposto, pesquisas com relação à qualidade e estabilidade dos produtos desidratados osmoticamente são necessárias para a otimização do processo e o desenvolvimento dessa tecnologia para o possível retorno à produção agrícola de *Malus domestica* variedade Fuji, na região de Guarapuava/PR. Bem como a secagem convectiva para garantia de qualidade e aumento da vida de prateleira.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Estabelecer as condições de processamento para obtenção de maçãs Fuji desidratadas por impregnação osmótica e secagem convectiva a partir de maçãs tipo comercial e tipo industrial.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar as características físicas, químicas e microbiológicas da maçã *in natura* e do produto final;
- Avaliar quais as melhores condições para desidratar osmoticamente essa variedade de maçã;
- Avaliar quais as melhores condições para a secagem convectiva dessa variedade de maçã;
- Avaliar as características sensoriais (sabor, cor e textura) do produto final;
- Analisar a microestrutura vegetal da maçã *in natura* e do produto final.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MAÇÃ

2.1.1 Histórico da maçã

A maçã é o fruto da árvore *Pyrus Malus*, de pele fina e impermeável, sabor agridoce, ácido ou farináceo, depende da espécie, e de polpa homogênea. Em geral é colhida durante todo o ano (PROS, 1980). É um fruto rico em água (aproximadamente 85% em massa) que sofre grandes transformações bioquímicas durante seu amadurecimento. Segundo CRUZ (1990) a maçã é uma fruta possível de ser desidratada, pois possui boa textura, alto teor de açúcares e de acidez, é firme e está pronta para o consumo.

É uma das frutas mais antigas e conhecidas pela humanidade, muito popular por seu atrativo visual, aroma e sabor, tem sua história pouco conhecida. Acredita-se que seja originária da região do Sul do Cáucaso. Alguns indícios encontrados em espécies carbonizadas, que datam de aproximadamente 600 a.C. e em peças arqueológicas do período neolítico, onde suas sementes aparecem fossilizadas, demonstram que o fruto existe há muito tempo, provavelmente desde períodos pré-históricos. Em 100 a.C., já eram listadas diversas variedades de maçã (LOPES FILHO, 1993).

Segundo HONORES (1995), a maçã é típica de clima temperado e exige cuidados. São necessárias as seguintes condições para seu cultivo: clima temperado-frio, verão com noites com temperaturas amenas durante o crescimento do fruto e período livre de geadas de, no mínimo quatro meses.

Antes de ser trazida para a América pelos primeiros colonizadores, a maçã já era cultivada na Europa por quase dois mil anos. No Brasil, os primeiros cultivares que chegaram da Europa durante os anos 20, com o objetivo de se estabelecerem plantações comerciais, foram instalados no interior de São Paulo e sul de Minas Gerais, na região de Maria da Fé (SILVA, 1996). No Paraná, em 1981, foi criado o Programa Estadual da Produção e Abastecimento de Maçã, com o objetivo de aumentar o consumo de maçã “in natura” bem como na forma de subprodutos. A

partir desse programa deu-se início no Paraná um grande crescimento no cultivo da maçã (PROTZEK, 1997).

A maçã, originária da Ásia Central e demandante de climas temperados característicos, foi introduzida no Brasil em 1926. As variedades comerciais são descendentes daquelas procedentes da região do Cáucaso e a adaptação às condições climáticas subtropicais brasileiras foi objeto de estudos agronômicos liderados pelo Instituto Agronômico de Campinas – IAC até a década de 60. Atualmente continuam sendo efetuadas pesquisas para desenvolvimento e adaptação de variedades visando à produção de maçãs (CZELUSNIAK *et al.*, 2003).

O nível de tecnologia utilizada em pós-colheita no Brasil ainda é considerado baixo, com exceção feita para a cultura da maçã no sul do país, onde graças à iniciativa privada, aos incentivos à pesquisa, à melhoria da qualidade das frutas, ao aumento do valor da mesma no mercado internacional e à adoção de tecnologias apropriadas de armazenamento, verifica-se uma grande expansão no nível tecnológico em pós-colheita desta fruta (KLUGE *et al.*, 1997).

As principais variedades comerciais de maçãs são a Gala, a Fuji e a Golden Delicious que, juntas, representam mais de 95% de toda a produção brasileira. A Golden Delicious comumente apresenta *russetting*, que é caracterizado pela presença de uma camada de cortiça formada nas células da epiderme, é menos apreciada. A causa primária da formação do *russetting* são fatores externos à planta que levam à formação de fendas na cutícula que envolve o fruto, expondo as células que ficam logo abaixo desta camada. Sob condições de alta umidade relativa, aquelas células sofrem danos, e a conseqüente reação protetora da planta é isolar as áreas danificadas por meio da formação deste tecido de cortiça, na região peduncular (CAMILO e DENARDI, 2001).

As variedades comerciais brasileiras, produzidas nas regiões de clima subtropical nos Estados do Sul, estão sendo divulgadas em revistas especializadas no setor de processamento de frutas compreendendo aspectos agronômicos, fenológicos e resistência a doenças e defeitos fisiológicos, assim como características de seus frutos (CZELUSNIAK *et al.*, 2003).

2.1.2 Características agronômicas da macieira

A macieira é uma planta da família das rosáceas, sub-família da pomáceas e produz frutos, a maçã. Desenvolve-se bem em terras altas de clima temperado, sendo apropriadas a essa cultura as encostas de locais abrigados dos ventos fortes, em especial do vento sul. Adapta-se a quase todos os tipos de solo, preferindo terras sílico-argilosas e argilo-silicosas, profundas e drenadas (FONTOURA, 1987, LOPES FILHO, 1993, PROTZEK, 1997).

A macieira é uma árvore que chega a 10 metros de altura. Com tronco de casca parda, lisa e copa arredondada. Flores brancas ou róseas, aromáticas. Assim, é uma planta de folhas caducas, que entra em repouso no inverno, necessitando determinado número de horas de frio (mil horas de temperatura ambiente abaixo de 7°C) para quebrar a dormência das gemas e conseqüente início do processo vegetativo e produtivo (SILVA, 1996; PROTZEK, 1997).

A cultivar Fuji (Figura 1) é suscetível à sarna (*V. Inaequalis*), à podridão-amarga (*G. Cingulata*) e ao ácaro vermelho europeu (*P. Ulmi*); mas é resistente à mancha foliar de Gala (*Colletotricum sp*), é tolerante ao oídio (*P. Leucotricha*), apresentando ainda baixa preferência ao ataque da mosca-das-frutas (*A. Fraterculus*) (PETRI, DENARDI e SUZUKI, 1997).

FIGURA 1 – MAÇÃS FUJI



Fonte: ABPM, 2003.

Segundo SILVA (1996), a maçã é, talvez, a fruta que engloba a maior quantidade de variedades conhecidas: estima-se algo entre cinco e vinte mil. Dessas, de três a quatro mil são cultivadas, em maior ou menor escala, em diferentes partes do mundo. O certo é que este número vem crescendo juntamente com o aprimoramento e o desenvolvimento de novas variedades em estações experimentais. Não se sabe, ao certo, qual ou quais foram as espécies silvestres que deram origem à maçã contemporânea, cujas variedades são atualmente conhecidas. Podem ser, por exemplo, a *Malus sylvestris*, originária da Europa, a *Malus prunifolia*, originária da Sibéria e do norte da China, ou a *Malus pumila*, originária do Cáucaso e de parte da Rússia, ou todas elas em conjunto.

BENDER (1986) citado por PROTZEK (1997) relatou que no Código Internacional de Nomenclatura Botânica, *Malus domestica* é a primeira denominação válida publicada para macieira cultivada, anulando todas as denominações publicadas anteriormente.

2.1.3 Características físicas da maçã

SILVA (1996), descreveu a maçã como um fruto globoso ou deprimido, com uma profunda depressão no ponto de inserção do pedúnculo (ou haste) que o prende aos ramos; de coloração vermelha ou verde podendo apresentar pequenas manchas esverdeadas ou amareladas. E, ainda, apresenta textura firme, acidez elevada, adequada maturação e cor branca-amarelada da polpa, garantindo produtos desidratados de coloração clara e boa qualidade.

O MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (1993) apresenta normas e padrões de identidade, qualidade e embalagem para classificação da maçã, sendo os mais importantes os fatores de qualidade (defeitos), os quais são mensurados em termos percentuais de ocorrência, não podendo ultrapassar os valores máximos por tipo. De acordo com o percentual de incidência dos fatores de qualidade e grau de uniformidade do produto, a maçã será classificada em três tipos: tipo 1 ou *extra*; tipo 2 ou *especial*; e, tipo 3 ou *comercial*. E, quando não classificada em algum dos três quesitos e apresentar valores superiores aos da classificada como 'comercial' (ou qualidade de mesa), será considerada abaixo do padrão ou *industrial* (popularmente

chamada de “refugo”), segundo HENTSCHE (1984). A Tabela 1 apresenta os valores máximos de tolerância de defeitos por tipo.

TABELA 1 – FATORES DE QUALIDADE (DEFEITOS) DAS MAÇÃS

Fatores de qualidade (defeitos)	Valores máximos de tolerância de defeitos por tipo (%)		
	1 – EXTRA	2 – ESPECIAL	3 – COMERCIAL
Ausência de pedúnculo	20	30	-
Depressão mecânica	20	50	70
Deteriorado	2	4	10
Lesão cicatrizada	10	20	50
Lesão não cicatrizada	2	5	10
Deformado	10	20	50
Manchas	5	10	20

Fonte: MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1993

2.1.4 Características químicas da maçã

Por seu alto teor de potássio e pela capacidade de produzir boas quantidades de fibras, a maçã é fruta indicada para a manutenção da saúde, para a prevenção de doenças cardíacas e de excesso de colesterol no sangue, e para dietas alimentares de emagrecimento, pois devido a sua textura, provoca sensação de saciedade. Além de ser estimulante natural, pois a ingestão de maçã provoca sensação mais estimulante do que a sensação provocada pela cafeína, estimulante presente em café, chá e bebidas gaseificadas a base de noz de cola (SILVA, 1996).

Diversos fatores colaboram para que existam variações na composição química da maçã, entre estes se encontram a espécie, o grau de amadurecimento, natureza do solo, cuidados na colheita e conservação, estações do ano e tempo que decorre entre a colheita e a sua utilização. Os valores apresentados na Tabela 2 representam a composição centesimal média da maçã apenas como dados de referência (PROTZEK, 1997).

Segundo PROTZEK (1997), o principal constituinte da maçã, baseado em sua quantidade, é a água. No entanto, os constituintes de maior valor alimentício são os carboidratos, sendo que aproximadamente 75% dos carboidratos da maçã consistem em açúcares facilmente assimilados pelo homem.

A Tabela 2 apresenta a composição físico-química aproximada da maçã.

TABELA 2 – COMPOSIÇÃO CENTESIMAL EM PORCENTAGEM APROXIMADA DA PORÇÃO COMESTÍVEL DA MAÇÃ

Constituintes	PROTZEK (1997)	USDA (2004)
Umidade	84,10	85,56
Carboidratos	14,90	12,60
Açúcares	11,10	-
Fibras	1,00	1,28
Ácidos (málico)	0,47	-
Proteínas	0,30	0,27
Cinzas	0,29	0,17
Lipídios	0,40	0,13
Energia (kcal/100g)	-	48

Fonte: PROTZEK (1997); USDA (2004)

NOTA: Valores expressos em porcentagem, com exceção do valor calórico/energia; (-) valores não mencionados

Entre os açúcares encontram-se a frutose (em maior proporção), a sacarose e a glicose. Hemiceluloses, celulose e substâncias pécticas fazem parte da fração fibrosa dos carboidratos que juntas, contribuem para a capacidade de retenção de água dos produtos da maçã.

Os teores de proteínas da maçã são baixos, sendo a maior parte enzimas envolvidas no metabolismo dos frutos durante o desenvolvimento, maturação e pós-colheita. São baixos também os teores de lipídios, estando estes associados a camadas protetoras das células e da epiderme dos frutos.

Quanto aos ácidos orgânicos, predomina o ácido málico, seguido pelo ácido cítrico e outros ácidos, presentes apenas em traços. O ácido málico, juntamente com os açúcares, ésteres e aldeídos é o principal elemento responsável pelo aroma e sabor característico da maçã.

2.1.5 A maçã no mercado mundial de frutas

Segundo a *Food and Agriculture Organization of The United Nations* (FAO), houve uma produção de aproximadamente 503 milhões de toneladas de frutas no mundo em 2004, indicando 26% de acréscimo nos últimos dez anos (FAO, 2005 a).

A maçã, fruta de clima temperado, apresenta elevada aceitação no mercado europeu e norte-americano. Já em 1821, houve relato de exportação de maçãs norte-americanas para a Inglaterra, de cerca de uma tonelada. A produção mundial nos anos 1931-1936 foi de aproximadamente sete mil toneladas; hoje, é cerca de 60.237 milhões de toneladas (Mt). A previsão mundial para 2005, em 1998, era de 59.999 Mt e para o hemisfério sul de 5.160 Mt, indicando crescimento atual acima das expectativas. Os maiores produtores de maçã da safra 2000/2001 foram a China, os Estados Unidos, a Turquia, a França e a Itália (SCHEMIN, 2003).

Em 1998, a Alemanha produziu 1,13 milhões de toneladas de maçãs, e o Brasil, 967 mil toneladas. Já, em 1999, a Polônia passou a fazer parte do rol dos maiores produtores, permanecendo a China como líder isolado (BRAUN, 2001).

Segundo informações coletadas por SCHEMIN (2003), mais da metade das frutas é produzida por países de climas subtropicais e temperados. Os cinco principais produtores mundiais de frutas são a China (67.766 Mt), a Índia (48.570 Mt), o Brasil (31.731 Mt), os Estados Unidos (29.862 Mt) e a Itália (18.377 Mt). O mercado mundial de frutas frescas de 466 milhões de toneladas representou 23 bilhões de dólares em 2001 e cresce a taxa de um bilhão de dólares por ano. As cinco frutas com maior produção mundial nesse ano são as bananas, em liderança (41%), seguida pelas laranjas (15%), uvas e maçãs, empatadas estatisticamente (13%) e na quinta posição estão as mangas (5%).

De acordo com a *Food and Agriculture Organization of The United Nations* (FAO), a produção mundial de maçãs foi de aproximadamente 62 Mt no mundo em 2004, indicando 22% de acréscimo nos últimos dez anos (FAO, 2005 b).

2.1.6 A maçã no mercado nacional de frutas

Segundo dados levantados por SCHEMIN (2003) o Brasil é um dos principais produtores de frutas. As exportações brasileiras de frutas frescas alcançaram, em 1998, US\$117,2 milhões, aumentando em relação ao ano anterior; no entanto, a balança comercial do setor continuou deficitária, com importações de US\$189,4 milhões, principalmente pêra, maçã, uva, ameixa, kiwi, nectarina, pêssego e tangerina. No ano de 2000, o país produziu 36 milhões de toneladas, representando

aproximadamente 10 % da produção mundial, mas participando de apenas 1% no mercado internacional.

Há quatro milhões de empregos na fruticultura brasileira, sendo a atividade do setor agrícola que mais gera emprego. De acordo com os relatos de SCHEMIN (2003), o Brasil desponta como o maior produtor mundial de laranjas, com 28% da produção mundial. Podem também ser consideradas relevantes às produções de banana (5,74 Mt), maçã (0,71 Mt), uva (1,01 Mt), mamão (1,45 Mt), manga (0,54 Mt), castanha-de-caju (1,55 Mt) e abacaxi (1,44 Mt).

Segundo SANHUEZA (2005), a produção de maçãs no Brasil foi iniciada em escala comercial na década de 70 e tem aumentado em importância, até o presente como consequência do uso de tecnologias modernas e da organização da cadeia produtiva. Desta forma os produtores de maçãs brasileiros, após receberem os incentivos fiscais no início do estabelecimento da cultura, passaram a suprir o país de fruta brasileira e a importação de maçãs foi reduzida drasticamente. A área plantada de maçãs no presente é de pouco mais de 32 mil hectares e a produção no ciclo passado alcançou quase um milhão de toneladas. Os avanços desta cadeia culminaram no ciclo 2003-2004 com o abastecimento do mercado interno e a exportação de aproximadamente 20% da produção.

A importância deste setor para o país é derivada da geração de emprego, da substituição de importação de frutas pelo país e da geração de divisas pela exportação. Este último fato foi especialmente relevante no ciclo 2003-2004, pois, a maçã, uma fruta temperada cultivada em condições climáticas pouco adequadas para a cultura, gerou aproximadamente 50% das divisas recebidas no Brasil pela exportação de fruta fresca (SANHUEZA, 2005).

A Tabela 3 mostra a estimativa de produção de maçã no Brasil (2000-2004).

TABELA 3 – ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE MAÇÃ EM TONELADAS NO BRASIL, PERÍODO 2000-2004

Safra	Produção Total	Destinadas à indústria
2000/2001	850.000	130.000
2001/2001	920.000	150.000
2002/2003	980.000	180.000
2003/2004*	1.050.000	210.000

Fonte: ABPM, 2003; * estimativa

De acordo com BOEING (2002), no Brasil, a produção desta fruta está concentrada na Região Sul do País, que tem respondido, nos últimos anos, por mais de 99% da oferta nacional. Pelos dados fornecidos pela Associação Brasileira dos Produtores de Maçã, os pomares brasileiros apresentam a seguinte distribuição varietal: 46% de pomares da cultivar Gala; 45% da cultivar Fuji; 6% da cultivar Golden e o restante, formado por outras cultivares polinizadoras ou de menor valor comercial (ABPM, 2001).

A Tabela 4 apresenta a produção brasileira de maçã (1998/2004).

TABELA 4 – PRODUÇÃO BRASILEIRA DE MAÇÃ (EM TONELADAS)

Ano	Estado Produtor					Brasil
	SC	RS	PR	SP	MG	
1998/99	384.758	304.545	26.780	9.000	1.000	726.083
1999/00	500.142	427.036	36.000	4.885	-	968.063
2000/01	378.748	304.447	23.800	2.820	-	709.815
2001/02	474.516	346.314	33.800	2.710	-	857.340
2002/03	411.346	303.016	31.950	2.370	2.000	835.322
2003/04	583.205	353.140	39.643	1.875	-	977.863

Fonte: ICEPA, 2005; FAO, 2005.

2.1.7 A maçã e a industrialização de frutas

Na América do Sul, aproximadamente 30% das maçãs são processadas em suco todo ano. Em relação à produção de maçãs no Brasil, a safra 2000/2001 teve cerca de 15% destinada à indústria, e estima-se haver uma tendência crescente (ABPM, 2001) porque em alguns países, já no final dos anos 80 industrializava-se mais que atualmente no país. Como exemplo, os Estados Unidos processavam 44% da safra; o Canadá, 42%, a Argentina, 40% e a Alemanha 31% (SCHEMIN, 2003).

Parte da industrialização de frutas refere-se à produção de sucos, a qual atende o apelo dos últimos anos ao crescente consumo das frutas: alimentos saudáveis que promovem menor ganho de massa e fornecem sais minerais e vitaminas. Quanto ao suco de maçã, os novos sistemas de embalagem e técnicas de clarificação permitiram maior desenvolvimento da tecnologia, em especial de suco clarificado e concentrado, levando ao aumento do índice de produção. Há

estabilidade no mercado de suco de maçã, e embora com demanda crescente, mantêm-se o preço elevado (SCHEMIN, 2003).

E, em virtude do processo de globalização, surgiram novas necessidades alimentícias. O melhoramento de tecnologias, tanto de produção quanto de armazenamento e as facilidades de transporte possibilitaram o atendimento à demanda de produtos industrializados. A busca pela praticidade favoreceu a comercialização de produtos prontos para o consumo, como frutas já lavadas, descascadas e fatiadas, entre outros alimentos minimamente processados. Com isso, o consumo de suco de frutas aumentou rapidamente em certos países, embora tenha permanecido relativamente estável o de frutas frescas.

A industrialização de frutas depende das diferenças quanto a preferência e disponibilidade dos sucos de frutas, considerando países distintos (SOUTHGATE, JOHNSON e FENWICK, 1995). Para as maçãs não destinadas à produção de bebidas há outras diferentes possibilidades de industrialização: congeladas, desidratadas, enlatadas e ainda outras opções, como geléias e doces.

2.1.8 Cultivar Fuji

A cultivar Fuji originária do Japão é resultante de melhoramento genético executado pela Estação Experimental de Marioka, por meio do cruzamento de Ralls Janet e Delicious. Inicialmente essa cultivar era chamada de Tohoku 7 e em 1967 recebeu o nome de Fuji. No Brasil foi introduzida no final dos anos 60 (EMPASC, 1986).

Segundo JANZANTTI (1996), a maçã Fuji é mais exigente em frio hibernal do que as cultivares Gala e Golden Delicious, com melhor adaptação nas regiões mais frias do sul do Brasil. Não apresenta alternância de produção, desde que raleada adequadamente. É moderadamente susceptível à sarna e muito susceptível à podridão amarga, especialmente nas regiões menos frias e úmidas.

O fruto é de epiderme rajada, com faixas vermelhas e fundo verde-amarelado, de tamanho médio a grande, forma arredondada, com cavidade peduncular média, pouco profunda, cálice grande, fechado e pedúnculo médio. Nas regiões hibernais mais amenas, o fruto tende a ser mais chato, assimétrico e de tamanho menor. A

polpa é amarelo-claro, firme, quebradiça e muito succulenta. É doce, com boa acidez e sabor excelente (EMPASC, 1986).

Sua conservação é muito boa, com pouca desidratação, mesmo à temperatura ambiente. Pode ser conservada por até seis meses em câmaras frias e por períodos mais longos em câmaras com atmosfera controlada (JANZANTTI, 1996).

2.2 ATIVIDADE DE ÁGUA

Segundo KARATHANOS (1999), a determinação incorreta do conteúdo de umidade pode conduzir a deterioração do produto (microbiológica e reações enzimáticas) e conseqüentemente levar a perda da qualidade. Assim, o conhecimento do conteúdo de umidade exato e o procedimento apropriado para sua determinação são de suma importância quando se trata de alimentos desidratados.

A desidratação de alimentos tem como propósito fundamental abaixar a disponibilidade de água para um nível onde não exista perigo de crescimento microbiano.

A água pode estar presente na amostra sob duas formas:

- a) água não ligada, que está simplesmente contida no material, é a mais abundante e é perdida facilmente à temperatura de bulbo úmido;
- b) água ligada, que faz parte da estrutura do material, ligada a proteínas, açúcares e adsorvida na superfície de partículas coloidais, necessita de níveis elevados de temperatura para sua remoção.

Durante as últimas três décadas a atividade de água (A_w) tem sido um dos mais importantes parâmetros para avaliação da preservação dos alimentos e seu processamento. A atividade de água é definida como a razão entre a pressão parcial de vapor d'água no alimento (P) e a pressão parcial de vapor d'água pura (P_0), ambas na mesma temperatura (ANTONIO, 2002). Da definição de A_w tem-se a equação 2.1:

$$A_w = \frac{P}{P_0} \quad (\text{equação 2.1})$$

Todos os microorganismos têm uma atividade de água mínima (A_w) de desenvolvimento. Em geral as bactérias são mais exigentes do que bolores e leveduras, desenvolvendo-se apenas em meios com elevada A_w . Muitas bactérias não se desenvolvem em $A_w < 0,91$ e muitos bolores não se multiplicam em $A_w < 0,80$ (EIROA, 1981)

A Tabela 5 apresenta os valores de A_w mínima para o desenvolvimento de alguns microorganismos.

TABELA 5 – ATIVIDADE DE ÁGUA MÍNIMA PARA O DESENVOLVIMENTO DE ALGUNS MICRORGANISMOS

MICRORGANISMOS	ATIVIDADE DE ÁGUA MÍNIMA
Bactérias	0,91
<i>Staphylococcus aureus</i>	0,85
Leveduras	0,88
Bolores	0,80
Bactérias halófilas	0,75
Bolores xerófilos	0,61
Leveduras osmotolerantes	0,60

FONTE: ALVES (2003)

ANTONIO (2002) estudou duas frutas quanto aos seus teores de A_w , a banana nanica ($A_w = 0,985$) e o mamão formosa ($A_w = 0,986$), comparando essas frutas com a maçã comercial ($A_w = 0,987$) e a maçã industrial ($A_w = 0,976$), verifica-se que a maçã comercial possui teor próximo ao da banana nanica e do mamão formosa, entretanto a maçã industrial possui A_w menor, isso pode ser relacionado a estrutura do tecido vegetal dessa fruta, pois a maçã industrial devido às intempéries climáticas possui maior porosidade que a maçã comercial, onde seus poros tendem a acumular menos água.

De acordo com BRANDELERO *et al.* (2005), a desidratação osmótica é uma etapa essencial na elaboração de produtos de fruta através da Tecnologia dos Métodos Combinados ou de Obstáculos ("Hurdle Technology"), pois reduz a atividade de água para níveis que, combinando um ou mais obstáculos, aumentam a estabilidade do produto. No processo estudado pelos autores há uma perda de água da fruta para a solução e incorporação de sólidos solúveis pelo produto. Assim a

utilização do pré-tratamento osmótico seguido de secagem convectiva tende a diminuir a atividade de água no produto final.

LIMA *et al.* (2004) estudando melões desidratados osmoticamente e submetidos à secagem em estufa a 65°C, alcançaram uma A_w média de 0,733. SOUSA *et al.* (2003-b) analisando goiabas desidratadas osmoticamente e secas em estufa, obtiveram uma A_w desejada menor que 0,75 (valor que se encontra na faixa de alimentos de umidade intermediária, que varia de 0,65 a 0,85).

2.3 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

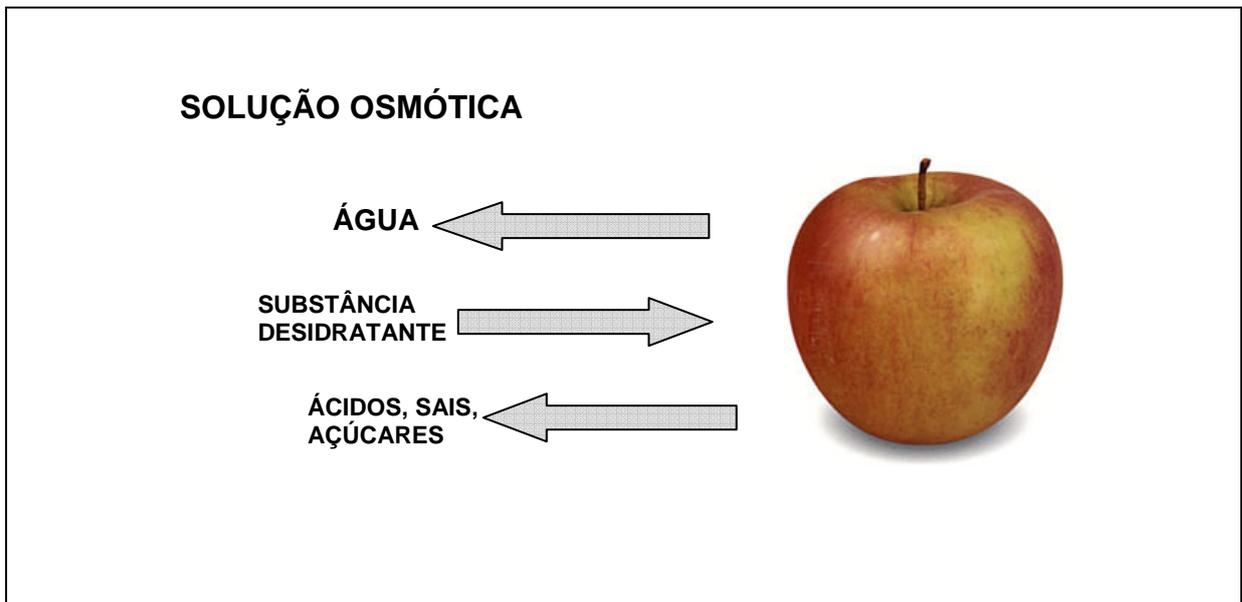
O processo de desidratação osmótica, também denominado desidratação-impregnação por imersão, ou ainda, pré-tratamento osmótico (LENART e LEWICKI, 1990), consiste em remover água do alimento por efeito da pressão osmótica, o que ocorre por imersão do produto em uma solução hipertônica de um ou mais solutos (agente desidratante), durante um tempo e temperatura específicos (PONTING *et al.*, 1966). Nesse processo há incorporação de sólidos, aumentando assim sua concentração no material, e, há diminuição da atividade de água e conseqüente diminuição da deterioração do alimento (SANJINÉZ-ARGANDOÑA, 1999; ANTONIO, 2002; ALVES, 2003).

Em conseqüência dos gradientes de concentração da água e do soluto ocorrem dois fluxos principais em contracorrente por meio das paredes celulares (Figura 2): um fluxo de água difundindo-se desde o interior do produto até a solução e um fluxo em direção oposta, da substância desidratante difundindo-se desde a solução até o produto. Além desses dois fluxos principais, ocorre também um terceiro fluxo, que embora não tenha influência significativa na transferência de massa, poderá afetar as propriedades sensoriais e nutricionais do produto final (PONTING *et al.*, 1966, SANJINÉZ-ARGANDOÑA, 1999).

O pré-tratamento osmótico permite o melhoramento das propriedades dos alimentos tais como: redução da injúria térmica, melhorando a qualidade da textura, a retenção das vitaminas e a estabilização da cor sem adição de sulfitos (MAVROUDIS, GEKAS e SJÖHOLM, 1998; REPPA *et al.*, 1999). É empregado como um pré-processamento a outras operações unitárias como a secagem e o congelamento (PONTING *et al.*, 1966).

Atualmente, o uso da desidratação osmótica como tratamento preliminar visa melhorar a qualidade do alimento desidratado, e não apenas remover água do produto (LENART, 1996; ALVES, 2003).

FIGURA 2 – TRANSFERÊNCIA DE MASSA DURANTE O PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA



Fonte: SANJINÉZ-ARGANDOÑA, 1999.

Esse fenômeno de transferência de massa entre o produto e o meio desidratante é estritamente afetado pela natureza do produto (espécie, variedade, nível de maturação, forma e tamanho), pré-tratamento (LERICI *et al.*, 1985), e das variáveis do processo: concentração da solução osmótica, agente desidratante, temperatura, tempo de imersão, agitação, pressão, relação meio/produto, área superficial exposta (AZOUBEL, 1999; SANTOS, 2003; MOURA, 2004).

Sabe-se que os alimentos com maior conteúdo de umidade são os mais perecíveis, de tal maneira que o controle do conteúdo de umidade de um produto tem sido uma importante ferramenta para a sua conservação.

Um dos processos que permite uma redução parcial do conteúdo de umidade do alimento é a desidratação osmótica, que também possibilita melhora na sua formulação. Seguindo esse parâmetro, PONTING *et al.* (1966), foram os primeiros pesquisadores a sugerirem um processo de desidratação baseado no mecanismo de osmose que poderia ser utilizado para remover a água de alimentos por meio da difusão pelas membranas semipermeáveis das células. Sendo que, nesse processo,

o produto é imerso em uma solução desidratante durante certo tempo. A solução por ser mais concentrada que o produto acaba provocando a transferência de massa entre os mesmos, buscando atingir o equilíbrio.

Pode-se dizer que o pré-tratamento osmótico consiste na imersão da amostra em solução hipertônica (soluções de sal, açúcar, sorbitol, glicol, por exemplo). Pela diferença de concentração dos meios, a água tende a deixar o produto com o objetivo de diluir a solução. A membrana celular responsável pela estrutura dos alimentos atua como uma membrana semipermeável a qual não é completamente seletiva, resultando em duas correntes de transferência de massa: difusão de água do produto para a solução e difusão do soluto da solução osmótica para o alimento (RAOULT – WACK, 1994).

O processo de desidratação-impregnação, tem sido muito utilizado em frutas. Este processo é considerado um método de pré-processamento para a secagem, pasteurização, congelamento e liofilização, além de ser um meio conveniente de controlar a perecibilidade de produtos naturais, mesmo quando estes são mantidos na temperatura ambiente (AZOUBEL, 1999).

De acordo com TORREGGIANNI e BERTOLO (2001) a característica diferencial da desidratação osmótica, comparada aos outros processos de desidratação, é que ela permite a penetração de solutos na amostra, sendo possível modificar, de certa forma, a sua formulação. PEREIRA (2002) diz que esse processo permite ajustar a composição físico-química do objeto em estudo adicionando agentes redutores de atividade de água, incorporar ingredientes ou aditivos como antioxidantes e outros conservantes ao alimento, adicionar solutos de interesse nutricional ou sensorial e fornecer produtos com diferentes características de consistência.

Segundo PONTING *et al.* (1966) e RAOULT-WACK (1994), entre outros, a desidratação osmótica é eficiente na redução de 30 a 50% do peso do material, pelo motivo de que com o passar do tempo há uma diminuição da taxa de osmose. E, a eficiência desse processo pode ser quantificada por meio de valores de perda de massa, perda de umidade e incorporação de sólidos.

Assim, a impregnação osmótica é um processo viável para a remoção parcial da água de materiais celulares, como frutas e vegetais, sem que ocorra a mudança de fase da água e é utilizado como um pré-tratamento a outros processos. Este

ajuda a reduzir mudanças físicas, químicas e biológicas durante o processo de secagem às altas temperaturas (KOWALSKA e LENART, 2001). Uma vez que a quantidade de água livre presente nos alimentos frescos é uma das principais causas da deterioração, logo, faz-se necessária a utilização de métodos ou a combinação destes para tornar o mesmo estável à deterioração química e microbiológica.

A impregnação osmótica tem um efeito protetor na estrutura do material seco. Praticamente a fruta que sofre secagem osmo-convectiva (pré-tratamento osmótico seguido de secagem convectiva) é caracterizada por ter uma estrutura flexível e macia. Além disso, há uma diminuição do encolhimento na secagem (AZOUBEL, 1999).

PONTING *et al.* (1966) já relatava que a utilização de sacarose como agente desidratante em pedaços de frutas, não só reduz o teor de água do produto, mas também protege a sua qualidade, uma vez que a alta concentração de açúcar ao redor da fruta previne a descoloração causada por enzimas oxidativas.

LENART (1996) conseguiu reduzir o encolhimento em maçãs de 80 para 60%, dependendo do grau de impregnação osmótica. Sendo que uma das vantagens deste processo, além da melhoria da qualidade, é a economia de energia; pois o produto é processado em fase líquida, geralmente fornecendo bons coeficientes de transferência de calor e massa. E, também, a água é removida do produto sem mudança de fase.

Em uma situação osmótica ideal uma membrana semipermeável deixaria passar moléculas do solvente, mas não as do soluto. Em frutas e vegetais, as membranas da parede celular são unidades biológicas vivas que podem esticar-se ou dilatar-se sob a influência do crescimento e da pressão gerada no interior das células. Estas membranas celulares estão compostas principalmente de células parenquimáticas, que livremente permitem a passagem das moléculas do solvente, mas também, porém em menor grau, a passagem de algumas moléculas do soluto. A difusão do soluto dependerá do peso molecular do mesmo. Esta membrana pode ser classificada como diferencialmente permeável ao invés de semipermeável (GARCIA DE LA CRUZ, 1998).

É importante salientar que o pré-tratamento osmótico é descrito como um processo parcial na desidratação de frutas. Após a desidratação por osmose, um

método complementar como secagem convencional, congelamento ou pasteurização deve ser utilizado a fim de se obter um produto com boas características de conservação no que diz respeito a sua umidade. E ainda, quando combinada à secagem convencional, esse processo permite uma maior retenção da cor natural do produto, preservação de componentes voláteis e minimização do encolhimento, e, obviamente a redução no consumo de energia durante a etapa de secagem (EL-AQUAR, 2001).

PONTING (1973) e LENART e GRODECKA (1989) relataram, em seus estudos, que uma alta incorporação de soluto durante o processo osmótico pode provocar modificações na composição e sabor do produto final, podendo ainda criar uma barreira na superfície do alimento, causando uma resistência adicional à transferência de massa, dificultando assim processos complementares de secagem. Assim um alto valor de perda de água com uma mínima incorporação de soluto são os parâmetros ideais para um pré-tratamento osmótico. Desse modo, os valores obtidos para o ganho de sólidos nas maçãs estão de acordo com o perfil descrito por esses autores.

Segundo PONTING *et al.* (1966) e FUMAGALLI e SILVEIRA (2004), podem-se ressaltar como vantagens do pré-tratamento osmótico o tempo reduzido a altas temperaturas, baixas alterações em relação a cor e ao sabor, e a remoção de alguns ácidos que foram substituídos pelos açúcares conferindo assim um sabor mais agradável às frutas.

TORREGIANNI e BERTOLO (2001) apresentam como o grande apelo da impregnação osmótica a intensificação da qualidade nutricional e sensorial dos produtos de fruta, podendo ser uma importante ferramenta para desenvolver novos produtos, agregar valor aos produtos existentes no mercado e preparar frutas com propriedades funcionais.

O cálculo da perda de água (PA) e o ganho de sólidos (GS) no processo de desidratação osmótica podem ser obtidos por meio das equações 2.2 e 2.3 (HENG, GUILBERT e CUQ, 1990):

$$PA = 100 \left[\frac{(x_0 - x_t)}{M_0} \right] \quad \text{(equação 2.2)}$$

Onde:

PA = perda percentual de água em relação à massa inicial (%);

x_0 = massa de água inicial do produto (g);

x_t = massa de água do produto a um tempo t (g);

M_0 = massa inicial do produto (g).

$$GS = 100 \left[\frac{(Ms_t - Ms_0)}{M_0} \right] \quad (\text{equação 2.3})$$

Onde:

GS = ganho percentual de sólidos em relação à massa inicial do produto (%);

Ms_0 = massa seca inicial (g);

Ms_t = massa seca em um tempo t (g);

M_0 = massa do produto no tempo inicial (g);

Porém, tentando simplificar essas equações, SHARMA, MULVANEY e RIZVI (2000), propuseram o seguinte:

A redução total da massa (WR) no processo de desidratação osmótica pode ser obtida pela equação 2.4:

$$WR = \frac{(W_0 - W)}{S_0} \quad (\text{equação 2.4})$$

O ganho de sólidos (SG) pode ser obtido pela equação 2.5:

$$SG = \frac{(S - S_0)}{S_0} \quad (\text{equação 2.5})$$

A perda de água (WL) pode ser obtida pela equação 2.6:

$$WL = WR + SG \quad (\text{equação 2.6})$$

Onde:

WR = perda de massa em gramas por gramas de matéria seca inicial (g/gi.m.s.)

W_0 = massa inicial da amostra (g)

W = massa final da amostra (g)

S_0 = massa de matéria seca inicial (gi.m.s.)

SG = ganho de sólidos em gramas de matéria seca por gramas de matéria seca inicial (g/gi.m.s.)

S = massa de matéria seca final (g)

WL = perda de água em gramas de água por gramas de matéria seca inicial (g água/gi.m.s.)

Segundo SANJINÉZ-ARGANDOÑA (1999), os sistemas de processamento de desidratação osmótica, referem-se em sua maioria a sistemas em batelada em escala de laboratório; outros sistemas aplicáveis ao processo osmótico são o sistema semi-contínuo e o sistema contínuo. QI, SHARMA e LEMAGUER (1999), construíram um sistema contínuo para desidratação osmótica em escala piloto de cenoura em cubos utilizando como solução desidratante mistura de soluções de sacarose e sal a diferentes concentrações. As condições mais eficientes de processo encontradas foram soluções de sacarose (44%) e sal (7%) por 16 min de processo apresentando perda de água ao redor de 23% no produto. Concentrações mais elevadas de sacarose obstruíram a canalização do sistema devido à alta viscosidade e à cristalização da solução, os autores indicaram que o cloreto de sódio foi mais efetivo que a sacarose pelo alto poder osmótico e por não apresentar problemas de viscosidade. No entanto, o gosto salgado que o sal confere ao produto, é um fator limitante para a aplicação em frutas (QI, SHARMA e LEMAGUER, 1999).

As vantagens destes sistemas com relação ao sistema batelada, concentram-se basicamente na redução de tempo de operação de processo e no reaproveitamento da solução desidratante, o que implica em menor custo de processo.

2.3.1 Agentes desidratantes

AZOUBEL (1999) relata que a sacarose é considerada a melhor substância osmótica, principalmente quando a desidratação é utilizada como pré-tratamento para a secagem. A presença de sacarose na superfície do material é um obstáculo ao contato com o oxigênio, resultando numa redução do escurecimento enzimático.

Segundo RAOULT-WACK (1994) o soluto pode ser empregado tanto como agente de impregnação quanto de desumidificação. Sendo a impregnação favorecida pelo uso de solutos de baixo peso molecular e a desumidificação por solutos de alto peso molecular. O cloreto de sódio e a sacarose são bastante usados como agentes desidratantes, porém qualquer soluto ou solvente muito solúvel que seja miscível com água pode ser utilizado, como a dextrose e o etanol.

A sacarose é o agente desidratante mais adequado para frutas em virtude de sua eficiência, conveniência e por proporcionar uma conservação do aroma da fruta. Se compararmos economicamente com outros tipos de açúcares utilizados como agentes desidratante, a sacarose destaca-se por apresentar um baixo custo (PONTING *et al.*, 1966).

Quando a solução desidratante é constituída de um soluto e o solvente chama-se solução binária; quando há mais de um soluto, chama-se solução de multicomponentes (SACCHETTI, GIANOTTI e DALLA ROSA, 2001).

Segundo MOURA (2004), outro agente desidratante que se apresenta eficiente na retirada de água e na aceitabilidade sensorial é o sorbitol. TREGUNNO e GOFF (1996) observaram melhores resultados nas características físicas de maçãs como a cor, a rehidratabilidade e a retirada de água utilizando como agente osmótico o sorbitol (50% concentração) e a sacarose (52% concentração) quando comparados com o xarope de milho.

A seguir são apresentados dois agentes desidratantes comumente utilizados na impregnação osmótica de frutas, como a maçã.

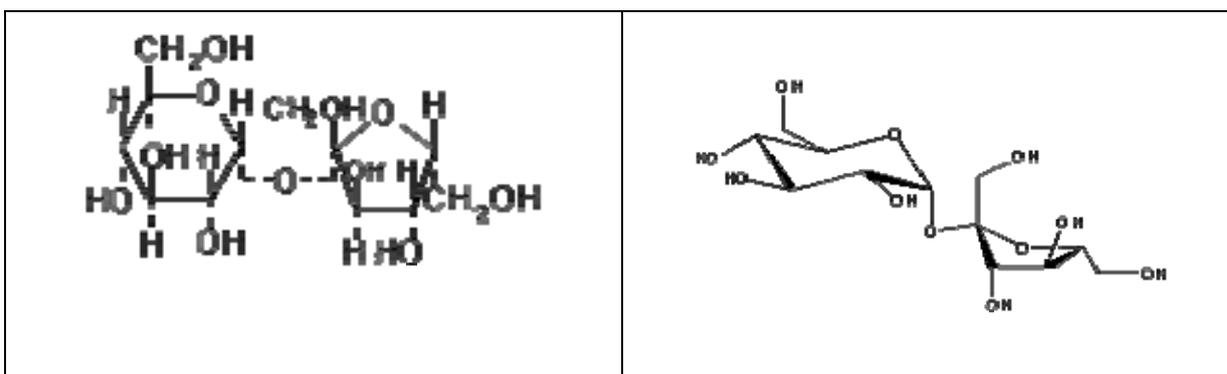
2.3.1.1 Sacarose

No Brasil, o açúcar de mesa é constituído de 99,9% de sacarose e é produzido a partir de cana-de-açúcar. A importância da sacarose decorre de fatores como aceitabilidade, palatabilidade, alta disponibilidade e baixo custo de produção. Foi adotada como padrão de doçura relativa (poder edulcorante igual a um) e de perfil de sabor. A sacarose apresenta rápida percepção da doçura, sendo que o gosto doce aparente é percebido em um ou dois segundos e persiste por aproximadamente 30 segundos (CÂNDIDO e CAMPOS, 1996).

A sacarose é o agente desidratante mais utilizado para frutas devido a sua eficiência na retirada de água, facilmente encontrada e por proporcionar conservação do aroma da fruta. Comparando economicamente com outros açúcares utilizados como agentes desidratantes, a sacarose destaca-se por apresentar baixo custo.

A estrutura da sacarose é apresentada na Figura 3.

FIGURA 3 – ESTRUTURA DA SACAROSE



Fonte: BELITZ e GROSCH, 1988.

2.3.1.2 Sorbitol

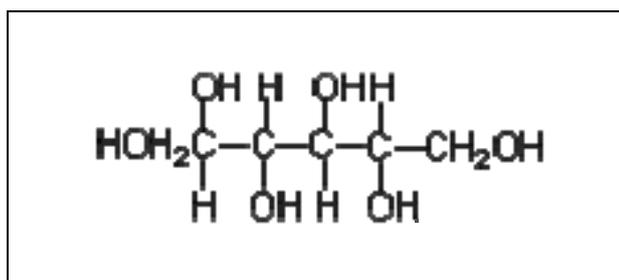
O sorbitol é um poliol utilizado como condicionador de umidade e substituto do açúcar em alimentos *light* (alimento com redução mínima de 25% em determinado nutriente ou calorias quando comparado ao alimento convencional). Não provoca cáries, sendo recomendado na fabricação de balas e confeitos. O ingrediente possui 50 a 70% do dulçor da sacarose. Na verdade, a principal função do sorbitol é ser veículo, ou seja, permite o ganho no corpo e ajuda a difundir o aroma e amaciar o produto. O sorbitol (D-glucitol) é um poliidroxiálcool derivado da dextrose por redução (CÂNDIDO e CAMPOS, 1996).

O sorbitol está presente nas ameixas (1,7 a 4,5%), cerejas, maçãs (0,2 a 1%), peras (1,2 a 2,8%) e pêsegos (0,5 a 1,3%) entre outras frutas e nas algas vermelhas, como as quantidades presentes na natureza não são suficientes para extração comercial ele é sintetizado a partir do amido e da sacarose e fornece 4 kcal/g, não é cariogênico, permitido para diabéticos, na forma cristalina causa efeito refrescante sobre a língua, estável a ácidos e ao calor, alta solubilidade a

temperatura ambiente (83%, 220g/100g H₂O a 20°C), sinérgico com acessulfame-K, aspartame, ciclamato, sacarina e esteviosídeo, ação laxativa/diurética em dose maior que 30-70 g/dia (CÂNDIDO, CAMPOS, 1996).

A estrutura do sorbitol é apresentada na Figura 4.

FIGURA 4 – ESTRUTURA DO SORBITOL



Fonte: CÂNDIDO, CAMPOS, 1996.

VENTURA, GARCIA e WADA (2003) utilizaram o sorbitol para pré-tratar osmoticamente yacon, visando uma máxima perda de umidade e mínima incorporação de sólidos. Foram estudadas as faixas de concentração da solução de sorbitol entre 53 e 73°Brix, temperatura 30 e 45°C. Nas condições otimizadas de temperatura na faixa de 30 a 33°C e concentrações da solução 63 a 69°Brix, foram obtidas perdas de umidade da ordem de 53 a 55% e de incorporação de sólidos de 6,02 a 6,46%.

2.3.2 Concentração da solução osmótica

RAOULT-WACK *et al.* (1992) citado por EL-AQUAR (2001) estudaram a aplicação de soluções altamente concentradas (50 a 70g de soluto/ 100g de solução) na eficiência do pré-tratamento osmótico. Os autores constataram que um aumento da concentração da solução osmótica proporciona uma maior perda de água e, desse modo, uma maior perda de massa pela fruta. Sendo que o uso de soluções osmóticas concentradas pode reduzir as perdas de solutos hidrossolúveis, como o ácido ascórbico, mediante formação de uma camada periférica concentrada em soluto, prevenindo o arraste dos mesmos.

2.3.3 Temperatura

LAZARIDES, KATSANIDIS e NICKOLAIDIS (1995), estudaram a cinética de transferência de massa em maçãs visando à mínima entrada de sólidos no produto com temperaturas de estudo variando entre 20 a 50°C, e concentração de sacarose na faixa de 45 a 68%. Os autores verificaram que o aumento da temperatura e da concentração da solução elevaram as taxas de retirada de água e de ganho de sólidos, sendo o aumento da concentração o maior responsável pelo aumento do conteúdo de sólidos totais na maçã.

THEMELIN *et al.* (1997) verificaram, durante a etapa de secagem, uma limitação no processo de transferência de água na parte interior de fatias de maçã pré-tratadas osmoticamente, isso pela formação de uma camada protetora concentrada em sacarose na superfície das fatias. Constataram ainda, que um aumento da temperatura durante o processo de impregnação osmótica faz com que a taxa de perda de água aumente e ocorra um ganho intermediário de sólidos.

2.3.4 Tempo de imersão

Segundo RAOULT-WACK (1994), a transferência de massa ocorre de modo mais intenso nas primeiras duas horas em relação à perda de água, e nos primeiros 30 minutos para o ganho de sólidos. Após isso o processo torna-se cada vez mais lento. Assim, num processo muito longo com utilização de temperaturas mais baixas haverá um maior ganho de sólidos.

LENART (1996) disse que o processo de desidratação deve ser realizado num curto espaço de tempo, para que se alcance um alto grau de desidratação com um ganho de sólidos relativamente pequeno.

2.3.5 Agitação

PONTING *et al.* (1966) estudaram o incremento de agitação aos sistemas de desidratação e constataram que a agitação é um dos fatores que desempenha importante papel, pois torna o processo mais rápido.

2.3.6 Qualidade dos produtos desidratados osmoticamente

A textura e a cor do alimento são os dois fatores mais afetados durante o processo de desidratação por impregnação osmótica.

2.3.6.1 Textura

É um dos mais importantes atributos que afetam a aceitabilidade de frutas e verduras processadas. Dependendo dos tratamentos aplicados, os alimentos processados podem tornar-se excessivamente moles. Apesar de a textura estar relacionada diretamente com as propriedades mecânicas, esta relação pode modificar-se pelo efeito de sua interação com outros atributos sensoriais como o sabor e a cor (SANJINÉZ-ARGANDOÑA, 1999).

BOLIN e HUXSOLL (1989) estudaram vários pré-tratamentos para aumentar a vida de prateleira de alimentos minimamente processados usando pêssegos, damascos e pêras. Utilizando a avaliação da textura instrumental e tendo como parâmetro de dureza a força-deformação, constataram que tratamentos por impregnação de sais como CaCl_2 (cloreto de cálcio) a 2% e ZnCl_2 (cloreto de zinco) a 1%, seguidos por empacotamento anaeróbio e estocagem em torno de -2°C auxiliaram na conservação da cor e textura firme dos frutos durante o tempo de estocagem.

EL-BULUK, BABIKER e TINAY (1995), constataram que a firmeza da fruta está relacionada à presença de substâncias pécticas, o amaciamento resulta de mudanças degradativas e da solubilização da pectina, devido à ação de enzimas pécticas. Dependendo do índice de maturação da fruta, procede-se à inativação enzimática ou não para a posterior desidratação. Entretanto, TORREGGIANI (1993) disse que a textura do alimento desidratado está associada com a plasticidade e o efeito de inchaço produzido pela água sobre a matriz celulósica e péctica do tecido da fruta, dependendo principalmente dos sólidos insolúveis, da quantidade de água presente nos sólidos solúveis e da atividade de água. Segundo SANJINÉZ-ARGANDOÑA (1999) o favorecimento da entrada de sólidos solúveis pode levar a atividades de água menores, mantendo-se uma consistência aceitável.

Para avaliar o grau de firmeza em kiwis, TORREGGIANI *et al.* (1999) utilizaram testes de penetração que foram aplicados em três lotes dessa fruta fresca estocados há diferentes tempos e temperaturas (38 dias a 0°C, 30 dias a 10°C e 20 dias a temperatura ambiente) e em kiwi desidratado osmoticamente por duas horas em 70% (p/p) – peso por peso – de solução de sacarose após cada tempo de estocagem. A avaliação do grau de firmeza (firme, médio, mole) na fruta fresca, mostrou que a maior diferença encontrada entre os três lotes foi o conteúdo de protopectina relacionada diretamente com a textura (maior conteúdo, maior firmeza). Nas frutas pré-tratadas osmoticamente foi verificado um aumento discreto da firmeza em todos os lotes, verificando que nesse processo possivelmente não houve influencia da protopectina e que esse discreto aumento parece ser devido ao aumento da concentração de sólidos solúveis na própria fruta.

2.3.6.2 Cor

A cor é o atributo mais atrativo ao consumidor. Os produtos de cor forte e brilhante são os preferidos, embora a cor, na maioria dos casos, não contribua para um aumento efetivo no valor nutritivo ou qualidade comestível do alimento.

De grande importância tecnológica é a relação que existe entre a cor e outros fatores de qualidade, como a composição química e o grau de desenvolvimento e alteração. Isto porque se utiliza a cor como índice de transformações naturais dos alimentos frescos ou de mudanças ocorridas no processo industrial (SANJINÉZ-ARGANDOÑA, 1999).

No âmbito da física ótica, a cor é um feixe de radiações luminosas com uma determinada distribuição espectral. Os materiais transferem a luz que chega a eles de forma que a luz transmitida tem diferente distribuição espectral. A capacidade de um material de alterar a distribuição espectral da luz depende da sua composição química e da sua estrutura. HENG, GUILBERT e CUQ (1990) estudando a influência das variáveis do processo da desidratação osmótica em mamão sobre a qualidade do produto final, verificaram que tanto o aumento da temperatura como do tempo de processo são fatores críticos que afetam os pigmentos da fruta.

SZYMCZAK, PLOCHARSKY e KONOPACKA (1998), observaram que maçãs desidratadas osmoticamente em solução de sacarose reconcentrada e reaproveitada por cinco vezes, apresentaram valores mais baixos de luminosidade e cromaticidade do que os produtos obtidos em soluções normais. A alteração da cor no xarope e, conseqüentemente no produto, foi atribuída à oxidação da enzima PPO (polifenoloxidase) presente na fruta, durante o processamento.

Segundo LOZANO e IBARZ (1997), a deterioração da cor em frutas pode ser causada por vários mecanismos como reações de escurecimento enzimático e não-enzimático do tipo Maillard; entretanto, as frutas são menos sensíveis que as verduras à deterioração de cor, quando submetida a temperaturas de cozimento, permitindo assim aperfeiçoar o tempo e a temperatura do processo para obter um produto naturalmente colorido. Constataram que em condições ácidas alguns pigmentos como as antocianinas são rápida e completamente descoloradas à temperatura ambiente, mas por outro lado, os taninos e antocianinas quando sofrem reações de condensação produzem pigmentos amarelos que melhorariam a aparência de alguns produtos.

NSONZI e RAMASWAMY (1998) avaliaram a qualidade de amoras pré-tratadas osmoticamente pela diferença total de cor e a pela textura final. Estes parâmetros foram relacionados à temperatura, concentração da sacarose e tempo de imersão durante o processo, eles observaram que tempos menores de contato na desidratação osmótica, minimizam a perda de cor durante a secagem por convecção.

MATUSKA, LENART e LAZARIDES (2006) relatam que um processo com altas temperaturas ($>50^{\circ}\text{C}$) resulta em substancial degradação da cor, notaram isso após a segunda hora de pré-tratamento osmótico de morangos revestidos com alginato de sódio.

LIMA *et al.* (2004) verificaram que os valores obtidos para cor, no decorrer do armazenamento de melões desidratados osmoticamente, apresentaram diferença significativa, a $p < 0,05$ para o produto pré-tratado osmoticamente a pressão atmosférica, e $p < 0,001$ para o produto pré-tratado osmoticamente a vácuo, indicando maior tendência ao escurecimento (redução do valor de L^*) com o passar do tempo de armazenamento. Essa mudança de cor pode estar relacionada ao escurecimento não enzimático, que ocorre intensamente na presença de açúcares e

nas faixas de umidade de 14% - 17% e atividade de água de 0,65 - 0,74 nos produtos obtidos.

RODRIGUEZ *et al.* (2003) estudando a secagem osmo-convectiva de algas-marinhas vermelhas verificaram que os valores de L^* (luminosidade) decresciam após os processamentos. E quando os dois processos eram aplicados o parâmetro a^* mantinha-se próximo ao da alga crua, porém se somente a desidratação osmótica fosse empregada era observado uma grande redução nos valores de a^* . O parâmetro b^* diminuiu após todos os processos, porém quando o pré-tratamento osmótico estava envolvido havia um decréscimo mais significativo.

Desidratando osmoticamente goiabas PEREIRA (2002) verificou que as características de cor da fruta *in natura* não foram alteradas durante esse processamento. Observou também que quando as goiabas eram acondicionadas em potes de PET (politereftalato de etileno) a cor era conservada por mais tempo.

PHOTON *et al.* (2001) desidratando osmoticamente maçãs e secando-as em microondas verificaram altos valores de L^* quando utilizavam temperaturas acima de 50°C. E as amostras que eram pré-tratadas osmoticamente antes da secagem em microondas apresentavam um menor escurecimento que aquelas sem esse processamento.

2.3.7 Transferência de massa

No começo da desidratação osmótica são observadas as maiores taxas de transferência de massa devido à diferença de pressão osmótica entre a solução e a parede celular do alimento e a pequena resistência da transferência de massa (NIETO *et al.*, 2004; BARBOSA-CÁNOVAS e VEGA-MERCADO, 2000).

A taxa de transferência de massa durante o pré-tratamento osmótico nas amostras assim como suas mudanças de composição química, segundo RASTOGI, RAGHAVARO e NIRANJAN (1997) e LERICI, *et al.* (1985), dependem da temperatura da solução; natureza e peso molecular do soluto; concentração da solução; geometria do material; estrutura do tecido; agitação e proporção entre solução e alimento; aditivos.

Assim, segundo SANTOS (2003), a transferência de massa depende das propriedades do tecido, especialmente do espaço intercelular presente. Pois quando

o material é imerso em solução osmótica, a desidratação é muito dependente das características da microestrutura biológica inicial, como a porosidade e das variáveis do processo que exercem influência sobre a transferência de massa e sobre a qualidade do produto final. Durante esse processo, pelo menos dois fluxos ocorrem em contracorrente: a água que flui para fora do produto em solução e simultaneamente a transferência de solutos desta solução para o alimento em estudo, por meio da membrana celular (RAOULT-WACK e GUILBERT, 1990; RAOULT-WACK *et al.*, 1994).

ANTONIO (2002) relatou que a transferência de massa, água e solutos observados durante o contato do material sólido com a solução osmótica é devido a diferenças no potencial químico dentro e fora do material. A desidratação do alimento é o principal objetivo do tratamento osmótico, e a atividade de água tanto do produto quanto da solução são parâmetros da maior importância.

TORREGGIANI (1993) relatou que a perda de água durante a impregnação osmótica divide-se em dois períodos: o período inicial onde nas primeiras duas horas do processo ocorre alta taxa de remoção de água e ganho máximo de sólidos nos primeiros 30 minutos; e o período que tem uma extensão de duas a seis horas com decréscimo da taxa de remoção de água. SANTOS (2003) verificou que a mais importante transferência de massa (saída de água do interior dos tecidos) se dá nas primeiras horas do processo, pois o sistema fruta-solução tende a entrar em equilíbrio.

Segundo LIMA *et al.* (2004) o aumento na concentração da solução e o uso de maiores proporções de solução osmótica levam a uma maior perda de massa do fruto, o que pode ser explicado pelo conseqüente aumento da perda de água.

SOUZA NETO (2002) diz ainda que a predominância da taxa de perda de água em relação à de ganho de sólidos durante todo o processo osmótico explica a razão do balanço de massa negativo em todos os tratamentos, registrado pela perda de peso. Observações semelhantes também foram reportadas por BERISTAIN *et al.* (1990) na desidratação osmótica de abacaxi. Segundo estes autores, este fato provavelmente ocorreu devido à dificuldade de difusão da sacarose através da parede celular em virtude do seu elevado peso molecular, ao contrário das moléculas de água, que tem sua difusão favorecida.

2.3.8 Cinética da desidratação osmótica

Segundo ANTONIO (2002), para o estudo da cinética de desidratação osmótica, faz-se uso da Teoria Difusional, a qual se baseia na equação de difusão líquida (Segunda Lei de Fick), onde o fluxo de massa é proporcional ao gradiente de concentração dentro do sólido. A Segunda Lei de Fick é indicada pela equação 2.7.

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = -D_{ef} \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} = 0 \quad (\text{equação 2.7})$$

Onde D_{ef} ($m^2 \cdot s^{-1}$) é o coeficiente efetivo de difusão de massa e C_A (g/100g) é a concentração da espécie A;

Sendo as seguintes condições inicial e de contorno utilizadas, indicadas por CREMASCO (2002):

CI: para $t=0$, $C_A=C_0$;

CC: para $t>0$; $z=0$; $\left. \frac{\partial C_A}{\partial z} \right|_{z=0} = 0$

CC: para $t>0$; $z=a$; $C_A=C_e=K_p C_{A\infty}$, onde K_p =coeficiente de distribuição.

CRANK (1975) apresentou muitas soluções analíticas para a equação da difusão, considerando diferentes condições iniciais e de contorno. Analisou também casos onde a difusividade varia linearmente com a concentração de água. No entanto, essa solução se aplica somente a sólidos com formas geométricas simples e regulares. Assim, para a geometria de placa plana tem-se a equação 2.8:

$$\frac{C_t - C_e}{C_0 - C_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp \left[- (2i+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2} \right] \quad (\text{equação 2.8})$$

Onde:

C_t = concentração média no tempo t ;

C_e = concentração de equilíbrio;

C_0 = concentração inicial;

D_{ef} = difusividade efetiva;

t = tempo;

L = dimensão característica (semi-espessura da placa).

Na desidratação osmótica são utilizadas as concentrações para esses cálculos, já na secagem convectiva utiliza-se no lugar da concentração a umidade.

De acordo com TREYBAL (1963), resolvendo a Lei de Fick para uma geometria retangular, ter-se-ia o produto de três termos adicionais: $[(C_t - C_e) \div (C_0 - C_e)]_a$, correspondente a uma meia espessura a , $[(C_t - C_e) \div (C_0 - C_e)]_b$, correspondente a uma meia espessura b e $[(C_t - C_e) \div (C_0 - C_e)]_c$, correspondente a uma meia espessura c .

No caso de uma geometria cúbica, como a , b e c são iguais, isso corresponderia a elevar a solução de Fick para uma placa infinita ao cubo. Assim, desenvolvendo a equação 2.7 com a condição inicial e as condições de contorno para uma configuração geométrica cúbica, segundo ANTONIO (2002), têm-se a equação 2.9:

$$\frac{C_t - C_e}{C_0 - C_e} = \left[\frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp \left[-(2i+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2} \right] \right]^3 \quad (\text{equação 2.9})$$

Onde a dimensão característica agora passa a ser a aresta do cubo ($2L$).

Normalmente o processo de desidratação osmótica requer várias horas de processamento para atingir o equilíbrio e em alguns casos, segundo AZUARA *et al.* (1992), não é possível alcançar o equilíbrio devido a instabilidade biológica e/ou física do produto o qual se quer desidratar.

Alguns estudos realizados por RASTOGI, RAGHAVARO e NIRANJAN (1997) mostram que é possível determinar a umidade de equilíbrio (X_e), ou a concentração de equilíbrio (C_e), através da extrapolação do gráfico da taxa de desidratação

osmótica em função da umidade, sendo X_e alcançada quando a taxa de desidratação equivale à zero.

Em estudos sobre o assunto, AZUARA *et al.* (1992) encontraram uma equação capaz de prever a cinética de desidratação osmótica, bem como a determinação do ponto de equilíbrio, sem a necessidade de se chegar, de fato, ao equilíbrio, utilizando apenas um curto período de processo. Partindo de um balanço de massa no material que sofre desidratação tem-se a equação 2.10:

$$PA = PA_{\infty} - WS \quad (\text{equação 2.10})$$

Onde:

PA = fração de água perdida pelo alimento no tempo t (g água/100g de amostra);

PA_{∞} = fração de água perdida pelo alimento no equilíbrio (g água/100g de amostra);

WS = fração de água que pode difundir para fora do alimento, mas que permanece dentro do mesmo no tempo t (g água/100g de amostra).

CRANK (1975), baseado na Segunda Lei de Fick, apresentou uma equação para difusão em uma placa plana em contato com uma quantidade infinita de solução, considerando regime transiente, dada pela equação 2.11:

$$\frac{PA_t}{PA_{\infty}} = 2 \left(\frac{D_{ef} t}{\pi L^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{equação 2.11})$$

Onde:

PA_t = fração de água perdida pelo alimento no tempo t (g água/100g de amostra);

PA_{∞} = fração de água perdida pelo alimento no equilíbrio (g água/100g de amostra);

D_{ef} = difusividade efetiva (m^2/s);

t = tempo (s);

L = dimensão característica (m).

Esta equação pode-se ser aplicada na etapa inicial de adsorção, quando se assumiu que a difusão ocorreu em um meio semi-infinito. Neste estágio, a quantidade de água que sai assim como a quantidade de sólidos que entram no alimento é diretamente proporcional à raiz quadrada do tempo. Assim, o valor de D (difusividade aparente) calculado pela equação 2.11 é uma média para várias concentrações durante o processo difusional.

Um modelo matemático para determinar curvas de sorção de umidade em função do tempo foi estudado por PELEG (1988). Esse modelo prediz o conteúdo de umidade após um longo período de exposição, para dados experimentais obtidos em períodos curtos de tempo. Essas curvas são descritas por uma equação de dois parâmetros, a equação 2.12:

$$X_t = X_0 \pm \frac{t}{k_1 + k_2 t} \quad (\text{equação 2.12})$$

Onde:

X_t = conteúdo de umidade no tempo t ;

X_0 = conteúdo de umidade inicial;

k_1 e k_2 = constantes do modelo.

SACCHETTI, GIANOTTI e DALLA ROSA (2001) utilizaram o modelo apresentado por PELEG (1988) com maçãs desidratadas osmoticamente e comprovaram a eficácia do modelo para ajustar os dados experimentais devido aos ótimos resultados de coeficientes de regressão encontrados.

2.4 SECAGEM OSMO-CONVECTIVA

A secagem osmo-convectiva que representa a secagem convectiva com pré-tratamento osmótico vem sendo realizada por diversos autores (MOURA, 2004; ALVES, 2003; EL-AQUAR, 2001; AZOUBEL, 1999; GARCIA DE LA CRUZ, 1998) visando preservar características sensoriais dos alimentos a serem desidratados.

Preservar alimentos por meio da desidratação é um método muito antigo e a secagem ao sol é bastante conhecida, tendo sua origem provavelmente na

antiguidade (COHEN e YANG, 1995). Alguns alimentos, como cereais, por exemplo, são suficientemente secos quando colhidos e permanecem em boas condições por longos períodos, desde que o armazenamento seja feito adequadamente. A maioria dos alimentos, contudo, tem a umidade suficiente para permitir a ação de enzimas e de microrganismos, sendo necessário, portanto, a sua preservação através da secagem (ALVES, 2003).

SANJINÉZ-ARGANDOÑA (1999), estudando a desidratação de goiabas por osmo-convecção (desidratação osmótica e secagem convectiva), observou que temperaturas elevadas de secagem modificam a textura e a cor do produto, apresentando maior rigidez e escurecimento que comprometem a qualidade do produto final.

Para melhorar o aspecto dos produtos osmo-desidratados (que sofreram desidratação osmótica) pode ser empregada a secagem. Durante a secagem de produtos pré-tratados osmoticamente se observa uma diminuição na velocidade de secagem com relação aos produtos sem este pré-tratamento, devido ao efeito da impregnação de solutos na superfície dos alimentos. Por outro lado, a camada superficial evita o encolhimento excessivo do tecido durante o processo, proporcionando uma melhor textura ao produto.

A desidratação é realizada por um processo que utiliza energia térmica para remover parte ou quase a totalidade da água das frutas. Além de visar a preservação da fruta pela redução de sua umidade, é possível limitar ou evitar o crescimento microbiano ou reações de ordem química. Remover a água facilita também o transporte, armazenamento e manuseio do produto final, seja para consumo de forma direta ou para ingrediente na elaboração de outros produtos (TRAVAGLINI, AGUIRRE e SILVEIRA, 2001).

Segundo MOURA (2004), a secagem e desidratação de materiais alimentícios são utilizadas como técnicas de preservação. Os microrganismos que podem causar decomposição não crescem nem se multiplicam em ausência de água livre do produto. E, também, muitas enzimas que poderiam causar mudanças químicas não reagem sem a presença da água livre.

O processo de secagem ainda oferece as seguintes vantagens: facilidade na conservação do produto; estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por longos períodos de tempo; proteção contra degradação enzimática e

oxidativa; economia de energia, não necessitando de posterior refrigeração, e disponibilizando o produto o ano todo.

Segundo SHARMA, MULVANEY e RIZVI (2000) citados por MOURA (2004), as características específicas de cada produto, associadas às propriedades do ar de secagem e ao meio de transferência de calor adotado, determinam diversas condições de secagem. Sendo o processo de secagem dividido em três períodos:

Primeiro período: representa o início da secagem. Nesse período ocorre uma elevação gradual da temperatura do produto e da pressão de vapor da água. Essas elevações prosseguem até o ponto em que a transferência de calor se equivale à transferência de massa.

Segundo período: caracteriza-se pela taxa constante de secagem. Durante esse período, como no anterior, a quantidade de água disponível é grande. A água livre é evaporada. A transferência de massa e de calor é equivalente, e assim a velocidade de secagem é constante. Enquanto existir água na superfície do alimento suficiente para acompanhar a evaporação, a taxa de secagem será constante.

Terceiro período: caracteriza-se pela taxa decrescente de secagem. A água presente na superfície do produto é menor. A transferência de calor não é compensada pela transferência de massa, o fator limitante nessa fase é a redução da migração de umidade do interior para a superfície do alimento. A temperatura do produto aumenta atingindo a temperatura do ar de secagem. Assim, quando o produto atinge o ponto de umidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem, o processo é encerrado. Esse período é quase sempre o único observado na secagem de produtos agrícolas e alimentícios, sendo a migração interna de água quem determina a taxa de secagem. De acordo com AZOUBEL (1999) este período pode ser subdividido em duas fases distintas: uma na qual o coeficiente de difusão é constante e outra com um coeficiente de difusão consideravelmente reduzido.

Segundo STRUMILLO e KUDRA (1986) citado por ALVES (2003) para secagem de materiais biológicos é comum observar apenas o período de taxa decrescente. E esse período é dividido em duas fases distintas:

- a) O coeficiente de difusão é constante. O movimento de água do interior para a superfície ocorre por capilaridade e este mecanismo controla a velocidade de secagem;

- b) Nesta fase o escoamento capilar ocorre apenas em alguns pontos localizados devido à entrada de ar para o interior do produto formando bolsas de ar que ficam dispersas na fase líquida, no interior dos poros e, portanto, o coeficiente de difusão é reduzido.

Segundo KING (1968) citado por AZOUBEL (1999), na segunda fase do terceiro período, onde a umidade de equilíbrio está abaixo da umidade de saturação, a difusão da fase vapor é o mecanismo predominante de transporte de umidade.

Segundo vários autores que estudaram essa combinação (secagem osmoconvectiva) amostras desidratadas osmoticamente requerem menor tempo de secagem que as amostras sem esse pré-tratamento (ALVES, 2003; EL-AQUAR, 2001; AZOUBEL, 1999; GARCIA DE LA CRUZ, 1998).

RAVINDRA e CHATTOPADHYAY (2000) desidrataram cubos de batata em soluções de sacarose (50%) e sal (10%) à 47°C por 4 horas e verificaram que o conteúdo de umidade reduziu de 84% para 60%.

EL-AQUAR (2001), para um mesmo intervalo de umidade encontrou um valor da taxa de secagem para a fruta *in natura* maior do que para o mamão desidratado osmoticamente.

ALVES (2003), EL-AQUAR (2001) e AZOUBEL (1999) verificaram taxas de secagem mais baixas para as amostras pré-tratadas osmoticamente, devido à incorporação de solutos e a compactação da estrutura da amostra em função do próprio pré-tratamento.

SOUSA *et al.* (2003-a) estudando bananas processadas osmoticamente verificaram que de 67,60% de umidade da fruta *in natura*, ao final do pré-tratamento osmótico com sacarose a fruta tinha umidade de 56,39%. E ao secar a fruta osmo-desidratada obtiveram uma umidade de 15,14%.

2.4.1 Cinética de secagem

EL-AQUAR (2001), observou a influência da velocidade do ar de secagem (1,25, 2,25 e 3,25 m/s) para duas temperaturas (40 e 60°C) na secagem de cubos de mamão formosa (*Carica papaya* L.), por meio das curvas de cinética, verificando que a temperatura exerceu maior influência sobre o processo de transferência de

massa, onde a combinação de temperatura e velocidade altas proporcionaram um menor tempo de secagem.

TOGRUL e PEHLIVAN (2003) investigaram o comportamento de damascos durante a secagem convectiva. A taxa de secagem decresceu continuamente com o tempo, mostrando que o mecanismo físico da difusão tem grande influência na secagem do damasco. A variação da temperatura no interior do damasco também foi medida em função da velocidade do ar de secagem e da temperatura do ar a qual teve maior influência nessa taxa.

ALVES (2003) estudando a obtenção de acerola em passa utilizando processos combinados de desidratação osmótica e secagem cita que existem várias teorias para explicar o comportamento da secagem no período de taxa decrescente. A teoria difusional e a teoria capilar são básicas e fundamentam outras teorias.

A teoria difusional utiliza a Segunda Lei de Fick para descrever a secagem no período de taxa decrescente, sendo a equação para transferência, segundo CRANK (1975), a equação 2.13:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla(D_{ef} \nabla X) \quad (\text{equação 2.13})$$

Onde:

X = umidade;

t = tempo;

D_{ef} = difusividade efetiva;

Utilizando a condição inicial e a de contorno e resolvendo a equação obtém-se o perfil interno da umidade, por integração obtém-se a solução para a umidade média no tempo t (X_t), expressa em base seca, como é mostrado na equação 2.14:

$$\frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \left[\frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp \left[- (2i+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2} \right] \right] \quad (\text{equação 2.14})$$

Onde:

X_t = umidade média no tempo t ;

X_e = umidade de equilíbrio;

X_0 = umidade inicial;

D_{ef} = difusividade efetiva;

t = tempo;

L = dimensão característica.

Lembrando que a dimensão característica agora passa a ser a aresta do cubo ($2L$).

ALVES (2003) relata que a solução da equação da teoria difusional utilizada, é uma das mais simples e devido ao seu excelente ajuste com os dados experimentais, o seu emprego é preferido por muitos pesquisadores.

Segundo MOURA (2004) a cinética de secagem ainda pode ser analisada por meio do adimensional de umidade em base seca, X , em função do tempo, como na equação 2.15:

$$X = \frac{M_t - M_{t+\Delta t}}{M_{S0}} \quad (\text{equação 2.15})$$

Onde:

M_t – massa total inicial no tempo $t=0$;

$M_{t+\Delta t}$ – massa total no tempo $t=t+\Delta t$;

M_{S0} – massa seca da amostra após o pré-tratamento.

E em função da taxa de secagem, equação 2.16:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{M_t - M_{t+\Delta t}}{M_{S0} \cdot \Delta t} \quad (\text{equação 2.16})$$

No fenômeno de difusão, as moléculas de soluto (partículas sólidas como a sacarose) e solvente (água), num meio líquido, tendem a se distribuir de maneira homogênea. O movimento das moléculas se dá no sentido de equilibrar a concentração da solução. Quando células são colocadas em meio rico em

determinado soluto (hipertônico), passará a ter no seu interior moléculas desse soluto, (levando em conta que a membrana plasmática seja permeável à substância e que ela seja hipotônica, ou seja, apresente baixa concentração do mesmo produto). Normalmente, quanto menor for a partícula que se difunde, mais rápida será sua passagem através da membrana plasmática. Assim, água, sais minerais, açúcares (monossacarídeos), aminoácidos, se difundem através da membrana com relativa facilidade. Já macromoléculas, como proteínas ou amido não atravessam a membrana, podendo ser, no entanto, capturados pela célula por outros métodos (JUNQUEIRA e CARNEIRO, 1977).

2.5 MICROESTRUTURA DE ALIMENTOS

AGUILERA e STANLEY (1990) definem microestrutura de alimentos a organização dos componentes de um alimento e suas interações. Um alimento ao ser processado tem sua microestrutura destruída e reconstituída, o que poderia ser visto como uma série de operações de reestruturação e reorganização.

Segundo ROTSTEIN (1990) alimentos sólidos naturais, como as frutas, são feitos de tecido celular. Seu modelamento apresenta-se basicamente como uma estrutura celular composta por constituintes como citoplasma, espaço intercelular e parede celular. Essa parede celular é permeável e fornece resistência mecânica. Já as membranas que recobrem o citoplasma são semipermeáveis, permitindo a troca livre de água, e o transporte de açúcares e outros materiais para o interior da célula.

ANTONIO (2002) fala sobre a permeabilidade à água na membrana celular dos tecidos vegetais, lembrando ainda que são poucas as substâncias que conseguem atravessá-la com facilidade. Colocadas em uma solução hipotônica, as células aumentam de volume devido à penetração de água. Se o aumento de volume for muito acentuado, o conteúdo da célula se extravasa devido ao rompimento dessa membrana. Inversamente, quando colocadas em solução hipertônica, as células diminuem de volume devido à saída de água. Seja entrada ou saída de água o que ocorre no interior celular, há alteração na forma da célula, sendo a forma determinada pelo estado de hidratação dos colóides celulares.

Segundo JUNQUEIRA e CARNEIRO (1977), nas soluções isotônicas o volume e a forma da célula não se alteram desde que a membrana plasmática seja impermeável ao soluto.

A migração de água no alimento é governada pelas diferenças de potenciais químicos da água entre duas zonas diferentes do produto. Esta migração pode ser limitada pela porosidade do material, a viscosidade da matriz sólida, e também as interações múltiplas nas quais a água é envolvida. Dependendo também do coeficiente de difusão, temperatura, pressão, composição e fatores geométricos (CORNILLON e SALIM, 2000; ANTONIO, 2002).

De acordo com TORREGGIANI (1993) as taxas de ganho de sólidos e perda de água pelo produto dependem num primeiro momento das propriedades do tecido vegetal. Diferenças das características do tecido vegetal como compactação, massa inicial de substâncias não voláteis, enzimas presentes no alimento, tamanho dos espaços intracelulares, presença de gás retido nos capilares e complexos de pectina e celulose, e grau de geleificação, determinam a cinética do processo de desidratação.

A microscopia (óptica, eletrônica ou atômica) e outras técnicas de imagens (como a ressonância magnética) são técnicas apropriadas para analisar estruturas de alimentos.

SHARMA, SETHI e MAINI (1998), observaram diferenças nos resultados da desidratação osmótica de dois tipos de maçãs (Golden delicious e Red gold). A diferenciação faz-se pela composição físico-química, localização do plantio e tecido celular de cada tipo. Amido, pectina e hemicelulose são os principais polissacarídeos presentes nessas frutas. A quantidade destes polissacarídeos define a rigidez da fruta e com a perda da rigidez, bem como a degradação destes compostos, há aumento de sólidos solúveis e aspecto de fruta amolecida.

FITO *et al.* (2001), utilizaram a microscopia eletrônica de varredura para observar tecidos de berinjela desidratada osmoticamente a vácuo com soluções isotônicas de sacarose e sais de gluconato. Um alargamento no espaço intercelular foi relatado, isso devido aos altos valores de porosidade do vegetal.

TELIS, MURARI e YAMASHITA (2004) relatam o efeito significativo do tempo no pré-tratamento pode ser explicado pela modificação do tecido vegetal,

principalmente nas membranas celulares, que vão enfraquecendo com longos períodos de tempo em exposição à solução osmótica.

De acordo com RODRIGUES e MAURO (2004) o tempo de exposição do produto às soluções desidratantes podem proporcionar uma degradação do tecido celular vegetal. Essa degradação pode ser ainda mais evidente quando há elevação da temperatura de processo.

MAURO, TAVARES e MENEGALLI (2003) investigando o comportamento do tecido de batata em solução osmótica, verificaram que a exposição extensiva da batata em soluções osmóticas indicava degradação da estrutura celular. Como o pré-tratamento osmótico é um processo progressivo, mudanças ocorriam no tecido vegetal, desse modo havia alterações no mecanismo de transferência de matéria dentro da célula.

O pré-tratamento osmótico causa alterações de diferentes níveis nas células em função da distância da epiderme da fruta, definindo assim um perfil estrutural. SALVATORI *et al.* (1998) impregnando sacarose osmoticamente em fatias de maçãs, observaram que internamente há menos mudanças que na parte externa, isto é, a parte exposta diretamente à solução desidratante.

MORENO *et al.* (2000) desidratando osmoticamente morangos com solução de sacarose a 65°Brix, e utilizando dois tipos de branqueamentos (vapor e microondas), verificaram que as amostras branqueadas a vapor mostravam grande degradação na parede celular, enquanto as amostras tratadas com microondas apresentavam bom índice de preservação na parede celular após a desidratação osmótica.

RAVEN, EVERT e EICHHORN (1996) relatam que a perda de turgor celular pode ser decorrente da perda de líquidos do interior das células durante a operação de corte da fruta, pois os vacúolos, espaços presentes no interior das células, contêm o denominado suco celular, cujo principal constituinte é a água.

ANTONIO (2002) analisando a microestrutura de banana nanica observou que na geometria cúbica havia conservação celular no centro da amostra, porém na periferia uma grande destruição celular ficava evidenciada, enquanto na geometria de placa plana não houve diferença entre a região periférica e a central.

2.5.1 Microscopia eletrônica

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é usada para examinar superfícies. A amostra é seca (MEV convencional) ou congelada abaixo de -80°C (cryo-MEV). Uma camada de metal (ouro), responsável pela condutividade elétrica, é pulverizada sobre a amostra para melhor visualização. As imagens geradas por essa técnica possuem bom foco e intensidade e são relativamente fáceis de serem entendidas (KALÁB, ALLAN-WOJTAS e MILLER, 1995).

O MEV destina-se primordialmente ao exame de superfície das amostras, porém as superfícies internas das amostras também podem ser visualizadas desde que a amostra seja fraturada e exposta. Bons resultados de fratura são conseguidos com o congelamento da amostra em nitrogênio líquido e posterior fratura manual.

Este equipamento é constituído por canhão eletrônico, lentes, circuito de varredura, coletor e amplificador de sinais, tubo de raios catódicos, sistema de vácuo, registro de imagens e controles.

A microscopia eletrônica pode alcançar uma profundidade de campo aproximadamente quinhentas vezes maior que a microscopia ótica. O primeiro MEV foi disponibilizado em meados dos anos 60 e relatos de seu uso em microscopia de alimentos surgiu logo após (AGUILERA e STANLEY, 1990).

No MEV os elétrons são acelerados por uma voltagem, e o espaço por eles percorrido antes de atingir a amostra deve conter vácuo para que estes não colidam com moléculas de gás. Quando um feixe de elétrons atinge uma secção ultrafina da amostra (aproximadamente 100nm – nanômetros) alguns dos elétrons incidentes vão ser transmitidos (estes serão usados para formar a imagem na microscopia de transmissão). Mas o feixe incidente também gera elétrons que podem escapar pela superfície, estes podem ser coletados para formar a topografia da amostra.

Na microscopia eletrônica de varredura, um feixe de elétrons atravessa uma coluna evacuada e é focado obliquamente na superfície da amostra. A superfície é então escaneada de forma rasteira repetidamente, liberando elétrons secundários. A profundidade com que o elétron penetra a superfície promove emissão secundária que é uma função da voltagem de aceleração e da densidade da amostra (AGUILERA e STANLEY, 1990).

2.6 ANÁLISE SENSORIAL

Por definição análise sensorial é a área científica usada para evocar, medir, analisar e interpretar reações das características dos alimentos e materiais como são percebidos pelos sentidos da visão, olfato, gosto, tato e audição e permite comparar, diferenciar e qualificar os atributos sensoriais (MONTEIRO, 1984; MEILGAARD, CIVILLE e CARR, 1991; ABNT, 1993; FERREIRA *et al.*, 2000).

A percepção das características sensoriais de um alimento é por meio de sinais elétricos que são enviados ao cérebro pelo sistema nervoso, por meio de uma corrente de neurônios. Primeiramente, certa quantidade de informações sobre estímulo é registrada pelos receptores sensoriais. Os receptores visuais em resposta à luz geram energia elétrica, o tato e a audição respondem à energia mecânica (pressão e vibração) e o gosto e o odor recebem a energia química (ABNT, 1993).

As características sensoriais do ser humano permitem-no comparar, diferenciar e qualificar os atributos sensoriais. A análise sensorial utiliza essa capacidade para avaliação (geralmente de alimentos e bebidas), empregando uma metodologia adequada aos objetivos em estudo, com auxílio de tratamento estatística dos resultados (FERREIRA *et al.*, 2000).

Segundo MEILGAARD, CIVILLE e CARR (1991), o homem apresenta a tendência de apreciar os atributos de um alimento na seguinte ordem: aparência, odor/aroma, consistência, textura e sabor. A decisão de aceitar ou rejeitar um produto é influenciada basicamente pela sua aparência. A cor de um produto envolve componentes físicos e fisiológicos em relação à percepção do olho com o comprimento de onda da luz, que varia de 400 a 500nm correspondendo ao azul, 500 a 600nm correspondendo ao verde e amarelo e de 600 a 800nm ao vermelho.

Assim por meio da visão têm-se as primeiras impressões do produto quanto à sua aparência global, envolvendo características de cor, tamanho, formato, brilho, impurezas, granulometria, e outros atributos de textura (FERREIRA *et al.*, 2000).

Odor/aroma de um produto é detectado quando compostos voláteis são percebidos na cavidade nasal e pelo sistema olfativo externo. Aroma é o odor de um produto alimentício. O odor é a propriedade sensorial perceptível pelo órgão olfativo quando certas substâncias voláteis são aspiradas e o aroma é perceptível pelo

órgão olfativo via retronasal durante a degustação (MEILGAARD, CIVILLE e CARR, 1991; ABNT, 1993).

O sabor dos alimentos tem sido definido como a impressão percebida por meio de sensações químicas de um produto na boca. Sabor inclui aroma, gosto e sensação química. A sensibilidade ao gosto não se limita apenas à língua. Existem outras regiões que respondem também aos estímulos: palato duro, amídalas, epiglote e ainda em certas pessoas a mucosa dos lábios, das bochechas e a superfície inferior da boca (MEILGAARD, CIVILLE e CARR, 1991; FERREIRA *et al.*, 2000).

A textura pode ser definida como a manifestação sensorial da estrutura de um alimento, sendo percebida simultaneamente pelos sentidos do tato e audição. Segundo a ABNT (1993), textura é definida como todas as propriedades reológicas e estruturas (geométricas e de superfície) de um alimento perceptíveis pelos receptores mecânicos, táteis e eventualmente pelos receptores visuais e auditivos.

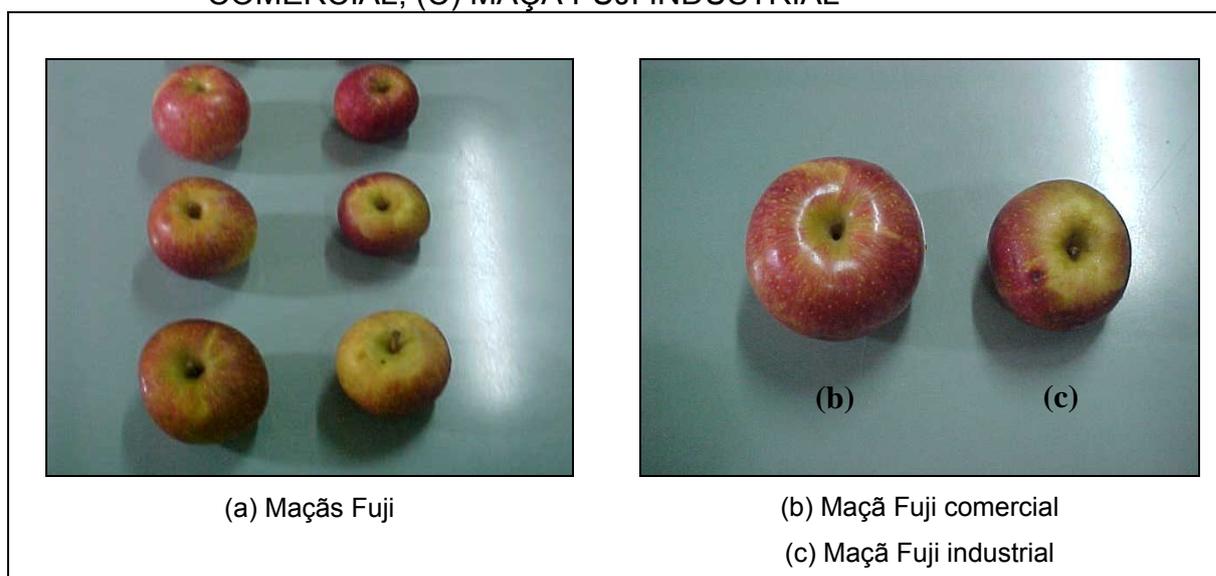
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAL

3.1.1 Matéria-prima

Foram utilizadas maçãs (*Malus domestica*) da variedade Fuji, sendo parte comercial e parte industrial (denominada de “refugo”), fornecidas pela CODAPAR (Companhia Desenvolvimento Agropecuário do Paraná), localizada na cidade de Guarapuava, Paraná. As frutas foram selecionadas fornecendo amostras padronizadas de acordo com tamanho, formato e grau de maturação. A Figura 5 apresenta a matéria-prima utilizada.

FIGURA 5 – MATÉRIA-PRIMA UTILIZADA: (a) MAÇÃS FUJI; (b) MAÇÃ FUJI COMERCIAL; (c) MAÇÃ FUJI INDUSTRIAL



Fonte: CORDOVA, 2005.

3.1.2 Soluções desidratantes

As soluções desidratantes utilizadas no pré-tratamento osmótico foram preparadas com água destilada. A primeira com sacarose comercial (marca União), 50% (p/p); e a segunda com sorbitol (marca Synth) em solução aquosa 70%, também em concentração de 50% (p/p).

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Caracterização da matéria-prima

A maçã *in natura* (tanto a comercial quanto a industrial) foi caracterizada física e quimicamente, com o objetivo de se obter padrões para a comparação com o produto após o tratamento.

As características físicas foram avaliadas pelas medidas de peso total da fruta em gramas, diâmetros longitudinal e transversal em milímetros, altura da fruta em milímetros e relação diâmetro longitudinal por diâmetro transversal (DL/DT).

Quanto à composição físico-química foram determinados os teores de umidade, resíduo mineral fixo (cinzas), proteínas, gordura total, fibras, açúcares redutores em glicose e não redutores em sacarose. Foram também analisados os sólidos solúveis totais, pH, acidez, atividade de água e cor.

3.2.2 Procedimento Experimental

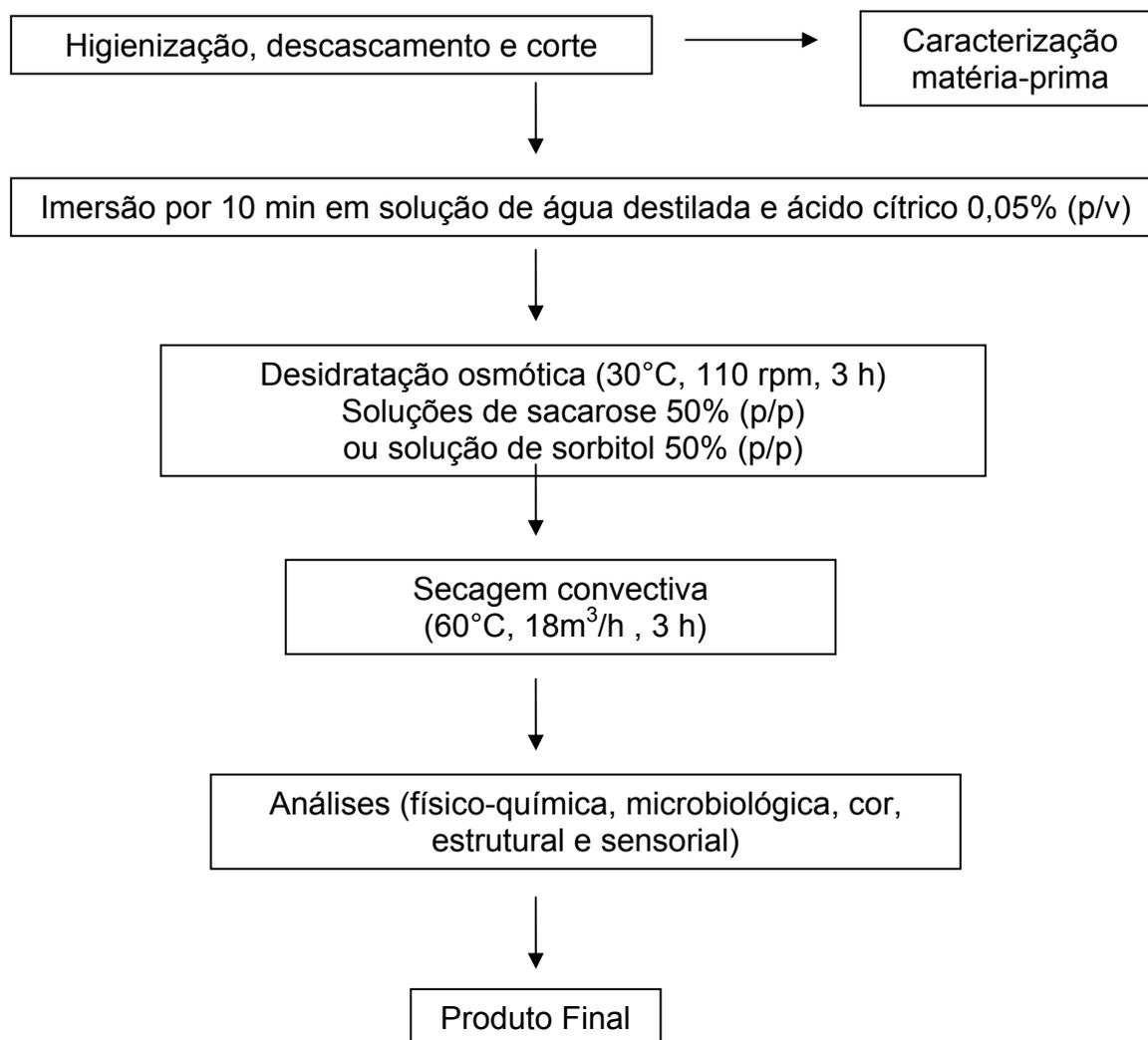
O procedimento experimental do trabalho foi iniciado com a realização de alguns ensaios preliminares de desidratação osmótica e secagem convectiva das amostras de maçã Fuji.

Os ensaios preliminares da impregnação osmótica foram realizados com o objetivo de definir as melhores condições de processo, tais como temperatura do banho termostático, tempo de processamento, concentração da solução, proporção fruto/solução, agitação. Após a verificação das melhores condições de desidratação osmótica para a maçã Fuji tipos comerciais e industriais realizaram-se doze repetições para cada agente desidratante escolhido. Para expressar os resultados obtidos foi feita a média dessas doze repetições.

Com relação à secagem convectiva, foram realizados ensaios preliminares para definir as melhores condições de temperatura, tempo e vazão de ar do secador. Após a determinação das condições de processo mais apropriadas foram realizados oito experimentos, e os resultados foram expressos pelos valores médios desses ensaios.

A Figura 6 apresenta os procedimentos realizados nos experimentos.

FIGURA 6 – DIAGRAMA GERAL DO PROCESSAMENTO DA SECAGEM OSMO-CONVECTIVA DAS MAÇÃS FUJI COMERCIAL E INDUSTRIAL



3.2.3 Pré-tratamento osmótico

As maçãs selecionadas por tamanho, formato e grau de maturação foram lavadas em água corrente, descascadas, lavadas novamente em água corrente e imersas em solução de água destilada e ácido cítrico, para minimização do escurecimento enzimático por 10 min.

Após a higienização, descascamento e retirada das sementes, as maçãs foram cortadas em fatias de um centímetro. Em seguida, foram essas fatias colocadas em cortador adequado para o corte em cubos de um centímetro de aresta.

Os cubos de maçã foram pesados e colocados em saquinhos telados de polietileno com abertura da malha de dois milímetros, segundo a metodologia utilizada por SOUZA NETO *et al.* (2004). Os cubos foram colocados em béquer de 1000ml, contendo a solução desidratante previamente aquecida a 30°C, na proporção amostra/solução de 1:10 (p/p), sendo sistemas separados de maçã comercial e industrial em soluções desidratantes de sacarose e de sorbitol.

As amostras foram colocadas em banho termostático (Figura 7), a 30°C, com agitação de 110 rpm, durante três horas. Foram realizados doze ensaios com cada solução desidratante.

FIGURA 7 - BANHO TERMOSTÁTICO UTILIZADO NA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE MAÇÃ FUJI COMERCIAL E INDUSTRIAL



Fonte: CÓRDOVA, 2005.

Após o pré-tratamento, os cubos de maçã foram imersos em água destilada para remoção do excesso de solução desidratante, e na seqüência colocados sobre papel absorvente para a remoção da água em excesso, e pesados. Durante as três horas do experimento foi realizada a pesagem das amostras, sendo que a cada quinze minutos uma amostra era retirada do conjunto (saquinho mais béquer) para pesagem e determinação da redução total da massa, ganho de sólidos e perda de

água. As amostras foram secas em estufa 105°C por 24 horas para a determinação dos sólidos totais.

Os cálculos de redução total da massa, ganho de sólidos e perda de água no processo de desidratação osmótica foram obtidos por meio das equações indicadas por SHARMA, MULVANEY e RIZVI (2000), equações 2.4, 2.5 e 2.6.

Os valores medidos foram expressos como:

- redução da massa do material em gramas por gramas de matéria seca inicial (WR);
- perda de água em gramas de água por gramas de matéria seca inicial (WL);
- ganho de sólidos em gramas de matéria seca por gramas de matéria seca inicial (GS);
- taxa do ganho de sólidos em gramas por gramas de matéria seca inicial por minuto (dGS/dt);
- taxa de perda de água em gramas de água por gramas de matéria seca inicial por minuto (dWL/dt).

3.2.4 Secagem convectiva

A secagem dos cubos de maçãs foi realizada em secador (convectivo) de bandejas (Figura 8). O secador operou com fluxo de ar horizontal e vazão de ar média de 18m³/h e temperatura de 60°C. O sistema de circulação e recirculação de ar foi realizado com exaustor. Uma serpentina localizada na parte inferior do secador aquece e reaquece o ar de secagem.

A variação da massa dos cubos de maçãs foi medida em intervalos de quinze minutos. Este experimento teve duração de três horas. A escolha do tempo total de secagem foi fundamentada nas curvas de secagem de experimentos realizados anteriormente, e com o parâmetro de parada atividade de água entre 0,5 e 0,6.

As temperaturas de bulbo úmido, bulbo seco em ambiente interno e externo do secador e a umidade relativa do ar foram realizadas com leitura direta em termômetro.

Para facilitar o processo de pesagem as amostras foram colocadas em telas de polietileno dentro do secador.

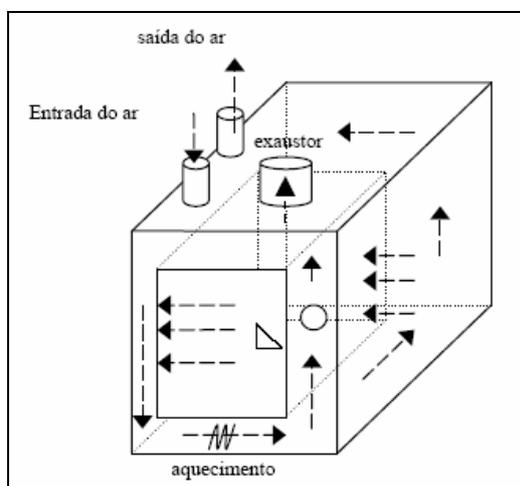
FIGURA 8 – SECADOR DE BANDEJAS UTILIZADO NA DESIDRATAÇÃO DE MAÇÃ FUJI COMERCIAL E INDUSTRIAL



Fonte: CÓRDOVA, 2005.

O esquema de funcionamento do secador convectivo é ilustrado na Figura 9.

FIGURA 9 – ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO SECADOR CONVECTIVO



FONTE: MOURA (2004)

3.2.5 Métodos Analíticos

As análises foram realizadas em triplicata e o resultado expresso como a média dos valores incluindo o desvio padrão.

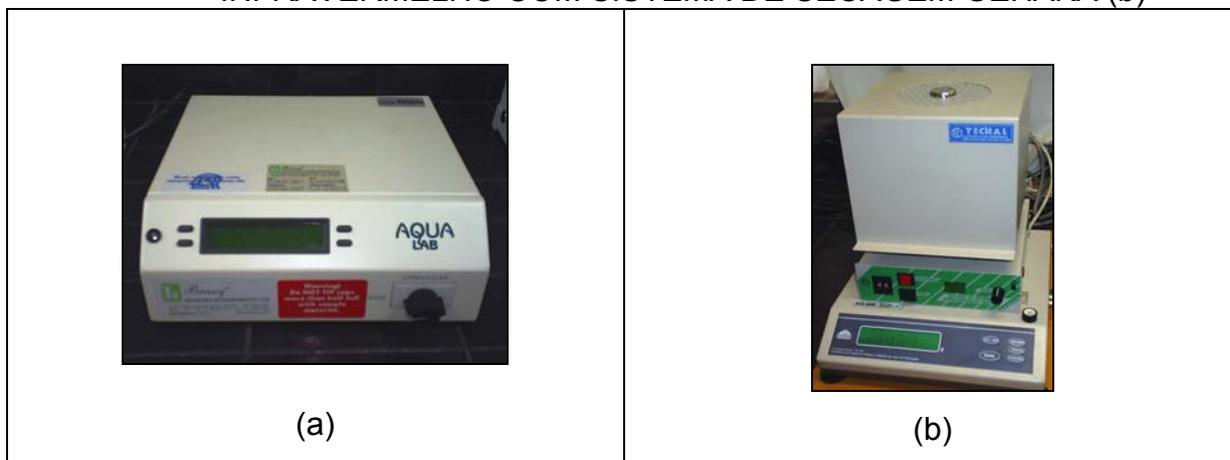
3.2.5.1 Determinação da atividade de água

A determinação da atividade de água foi realizada diretamente, com a utilização de higrômetro (Aqualab Decagon Devices, modelo Série 3TE) – (Figura 10-a) à temperatura de 25°C. Sendo a amostra (cubos de maçã) macerada para a realização da medida. Essa determinação foi realizada segundo a metodologia sugerida por ANTONIO (2002).

3.2.5.2 Determinação da massa da amostra

O peso foi determinado em balança com sistema de secagem infra-vermelho Gehaka, modelo BG-200 (Figura 10-b), para a avaliação da perda da massa decorrente do processo.

FIGURA 10 – HIGRÔMETRO AQUALAB DECAGON DEVICES (a); BALANÇA DE INFRAVERMELHO COM SISTEMA DE SECAGEM GEHAKA (b)



Fonte: CORDOVA, 2005.

3.2.5.3 Determinação de cinzas

O resíduo mineral fixo foi determinado por gravimetria, mediante incineração da amostra em forno mufla a 550°C até a obtenção de cinzas claras, segundo método n°.4.8 do IAL (1985).

3.2.5.4 Determinação de proteína bruta

Determinada pelo método Kjeldahl, de acordo com a metodologia n°.4.12 do IAL (1985), e empregando 5,75 como fator de correção de nitrogênio/proteína para vegetais (BRASIL, 2003).

3.2.5.5 Determinação de extrato etéreo (lipídios)

Os lipídios foram determinados pela extração em aparelho Soxhlet, utilizando-se éter de petróleo como solvente, segundo método n°.4.10 do IAL (1985).

3.2.5.6 Determinação de fibra bruta

Analisou-se a fibra bruta submetendo o material à digestão ácida com solução de ácido sulfúrico 1,25%, seguida por digestão alcalina com hidróxido de sódio 1,25%, segundo método n°.4.15 do IAL (1985).

3.2.5.7 Determinação de carboidratos

A quantidade de carboidratos totais das amostras foi calculada a partir da diferença entre a massa inicial da amostra (100 gramas) e o total da massa de proteínas, de lipídios, de resíduo mineral fixo e de fibra alimentar (USP, 2004).

3.2.5.8 Determinação do valor calórico

O cálculo da energia total metabolizável foi calculado a partir da energia procedente dos nutrientes, considerando os fatores de conversão de Atwer para carboidratos (4,0 kcal), lipídios (9,0 kcal) e proteína (4,0 kcal) (USP, 2004).

3.2.5.9 Determinação de pH

O pH foi determinado pelo processo potenciométrico. Utilizou-se um pHmetro Tecnal, modelo TEC-2. O aparelho foi calibrado com solução tampão de pH 4,0 e

7,0, e em seguida fez-se a leitura direta do pH com imersão do eletrodo no béquer contendo a amostra macerada em solução aquosa, segundo o método n°.4.7.2 do IAL (1985).

3.2.5.10 Determinação da acidez total

A acidez total (ATT) presente nas frutas *in natura* e no produto final foi quantificada por titulação com NaOH 0,1N padronizado, e o resultado foi expresso em porcentagem do ácido predominante na fruta (no caso ácido málico), segundo recomendação do item n°.13.6.2 do IAL(1985).

3.2.5.11 Determinação da umidade

A determinação da umidade das amostras foi feita por gravimetria utilizando estufa convencional a 105°C por 24 horas (IAL n°.4.5.1, 1985); e para confirmação dos resultados utilizou-se um segundo método: por diferença da massa medida em balança de infravermelho com sistema de secagem Geraka com secador modelo SI4020-IVT 200 (Figura 10-b).

3.2.5.12 Determinação de sólidos totais

A determinação de sólidos totais das amostras foi feita por gravimetria utilizando estufa, de acordo com a metodologia n°.13.6.4 do IAL(1985).

3.2.5.13 Determinação de açúcares redutores e totais

A determinação de açúcares redutores e totais foi feita por método titulométrico, segundo a metodologia de Lane e Eynon (IAL n°.4.13.2, 1985), que consiste na redução do cobre presente na solução de Fehling.

3.2.5.14 Determinação de sólidos solúveis

Realizada por leitura direta em refratômetro de bancada Polskie Zakłady Optyczne S.A., modelo RL3, escala 0°Brix a 90°Brix (Figura 11-a). As leituras foram feitas diretamente no equipamento e os resultados foram expressos em °Brix (IAL n°.13.6.1, 1985). As análises foram realizadas em triplicata.

3.2.5.15 Determinação da cor

A cor foi avaliada por meio do sistema de três parâmetros, o CIELAB, proposto pela Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) em 1971 (PEREIRA, 2002). Neste sistema se define um espaço cromático em coordenadas retangulares (L^* , a^* , b^*), associado a outro em coordenadas cilíndricas (L^* , H^* , C^*).

Os parâmetros L^* , a^* e b^* foram fornecidos pelo espectrofotômetro (colorímetro) da marca Hunter Lab Mini Scan XE Plus, modelo 45/0-L (Figura 11-b), onde L^* define a luminosidade ($L^* = 0$ - preto e $L^* = 100$ - branco) e a^* e b^* são responsáveis pela cromaticidade ($+a^*$ vermelho e $-a^*$ verde; $+b^*$ amarelo e $-b^*$ azul).

Para esse teste foi utilizado o sistema de leitura CIELAB, com luminosidade D65 e um ângulo de observação de 10°, e com calibração seguindo os padrões: X=78,90; Y=83,90; Z=88,90.

Com os parâmetros L^* , a^* e b^* foi calculada a diferença média de cor entre a fruta fresca e a processada por meio da equação 3.1 e foram avaliadas as coordenadas cilíndricas C^* e H^* , onde C^* define a cromaticidade (intensidade da cor, sendo valores de croma próximos de zero: cores neutras e quanto próximos de 60: cores vívidas) e H^* o tom (sendo zero = vermelho, 90= amarelo, 180= verde e 270= azul), a partir das equações 3.2 e 3.3.

$$\Delta E^* = \sqrt{(a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2 + (L^* - L_0^*)^2} \quad (\text{equação 3.1})$$

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (\text{equação 3.2})$$

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

As análises foram realizadas em quintuplicata. O índice zero representa o valor do parâmetro para a fruta fresca (CALVO e DURÁN, 1997; PEREIRA, 2002).

FIGURA 11 – REFRAATÔMETRO (a); ESPECTOFOTÔMETRO (b)



Fonte: CORDOVA, 2005.

3.2.5.16 Avaliação microbiológica

As amostras foram examinadas quanto ao desenvolvimento de bolores e leveduras, coliformes fecais e *Salmonellas*, segundo a metodologia proposta por SILVA, JUNQUEIRA e SILVEIRA (1997). Segundo a Resolução RDC n° 12 de janeiro de 2001, da Agência Nacional da Vigilância Sanitária, em Frutas, Produtos de Frutas e similares, para frutas desidratadas com ou sem adição de açúcar é necessário que haja ausência de *Salmonella* em 25g e no máximo 10 NMP/g de coliformes fecais. As análises foram realizadas em triplicata.

3.2.6 Cálculo do coeficiente efetivo de difusividade

O cálculo da difusividade efetiva baseia-se na Lei de Fick, que indica que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água (CRANK, 1975).

Os coeficientes de difusão foram calculados com base na resolução da Lei de Fick, desenvolvida por CRANK (1975) para geometria cúbica.

Para o cálculo da difusividade efetiva (D_{ef}) do processo de desidratação osmótica, utilizou-se a equação 2.9 indicada por ANTONIO (2002).

$$\frac{C_t - C_e}{C_0 - C_e} = \left[\frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp \left[- (2i+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2} \right] \right]^3 \quad (2.9)$$

Onde:

C_t = concentração média no tempo t ;

C_e = concentração de equilíbrio;

C_0 = concentração inicial;

D_{ef} = difusividade efetiva;

t = tempo;

L = dimensão característica (a aresta do cubo de maçã ($2L$)).

Para o cálculo da difusividade efetiva (D_{ef}) do processo de secagem convectiva, utilizou-se a equação 2.14 indicada por ANTONIO (2002).

$$\frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \left[\frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp \left[- (2i+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2} \right] \right]^3 \quad (2.14)$$

Onde:

X_t = umidade média no tempo t ;

X_e = umidade de equilíbrio;

X_0 = umidade inicial;

D_{ef} = difusividade efetiva;

t = tempo;

L = dimensão característica (semi-espessura da placa).

3.2.7 Análise Estrutural

A análise estrutural foi realizada através das imagens das amostras da fruta *in natura*, desidratadas osmoticamente e secas em secador convectivo. Essas imagens

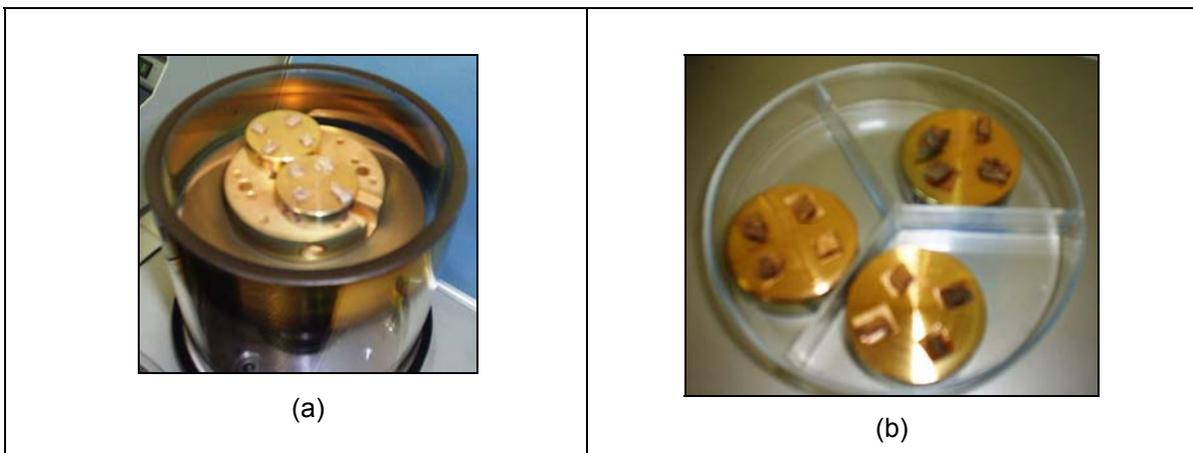
foram geradas pelo Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) Jeol JSM 6360LV do Laboratório de Microscopia Eletrônica da UFPR.

As amostras analisadas no MEV, permaneceram por 24 horas em fixador de álcool etílico, ácido acético glacial e formaldeído, segundo metodologia citada por JOHANSEN (1940).

Em seguida, para remoção total da água das amostras estas foram colocadas sucessivamente, durante 20 minutos, em soluções com diferentes concentrações de álcool etílico (50, 70, 90 e 100%), seguindo a técnica de FEDER e O'BRIEN (1968).

Ao final dessa etapa a amostra foi levada a condição de ponto crítico da acetona (temperatura e pressão nas quais coexiste na forma gasosa e líquida – aproximadamente temperatura de 37°C e pressão de 70bar), no equipamento chamado secador ao ponto crítico com CO₂ líquido, da marca Bal-tec, modelo CPD 030 (Figura 12).

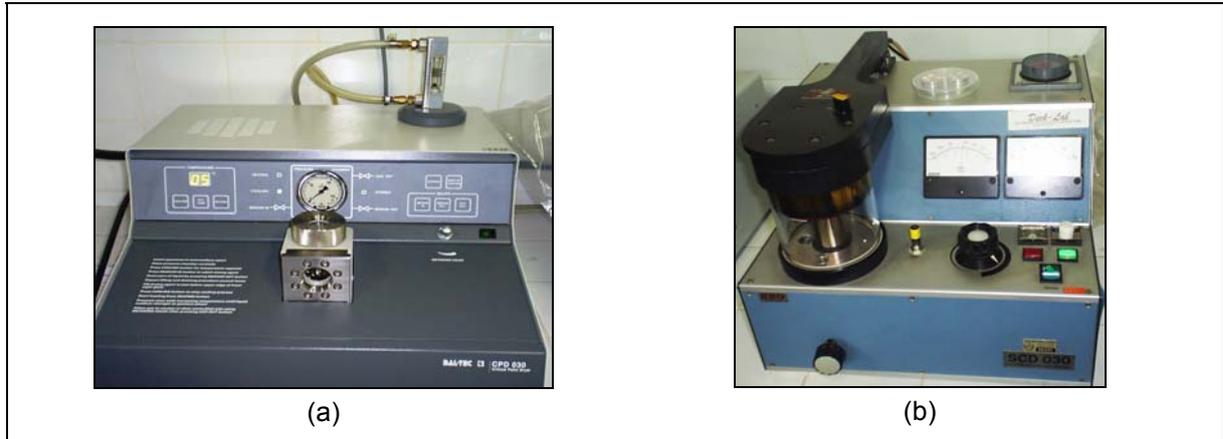
FIGURA 12 – SECADOR AO PONTO CRÍTICO (a); METALIZADOR (b)



Fonte: CORDOVA, 2005.

Em seguida foram as amostras foram montadas nos *stubs* (suportes porta-amostras do microscópio) para serem pulverizadas com ouro no metalizador da marca Balzers Union, modelo SCD 030, para evitar o colapso da superfície (Figura 13).

FIGURA 13 – STUBS COM AMOSTRAS NO METALIZADOR (a); STUBS METALIZADOS (b)



Fonte: CORDOVA, 2005.

Após esse procedimento as amostras foram visualizadas no Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV (Figura 14), regulado a uma distância de oito milímetros da amostra até o feixe , voltagem de aceleração de 15kV e ampliações de 35, 60, 100 e 250 vezes.

FIGURA 14 – MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA



Fonte: CORDOVA, 2005.

3.2.8 Análise Sensorial

A análise sensorial foi realizada por uma equipe de cinquenta julgadores treinados, constituída por alunos, funcionários e professores do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO).

Para a pré-seleção de julgadores foram realizados testes preliminares de preferência utilizando maçãs desidratadas por secagem apenas, isto foi realizado somente como triagem de provadores (Figura 15–a).

O produto final (maçãs desidratadas osmoticamente e submetidas à secagem convectiva com os agentes desidratantes sacarose e sorbitol) foi submetido a uma análise sensorial de preferência (Figura 15–b), utilizando-se escala hedônica de nove pontos e numérica (MEILGAARD, CIVILLE e CARR, 1991), tendo como limites um (desgostei extremamente) e nove (gostei extremamente). A ficha utilizada na realização dessa análise encontra-se no Apêndice 1.

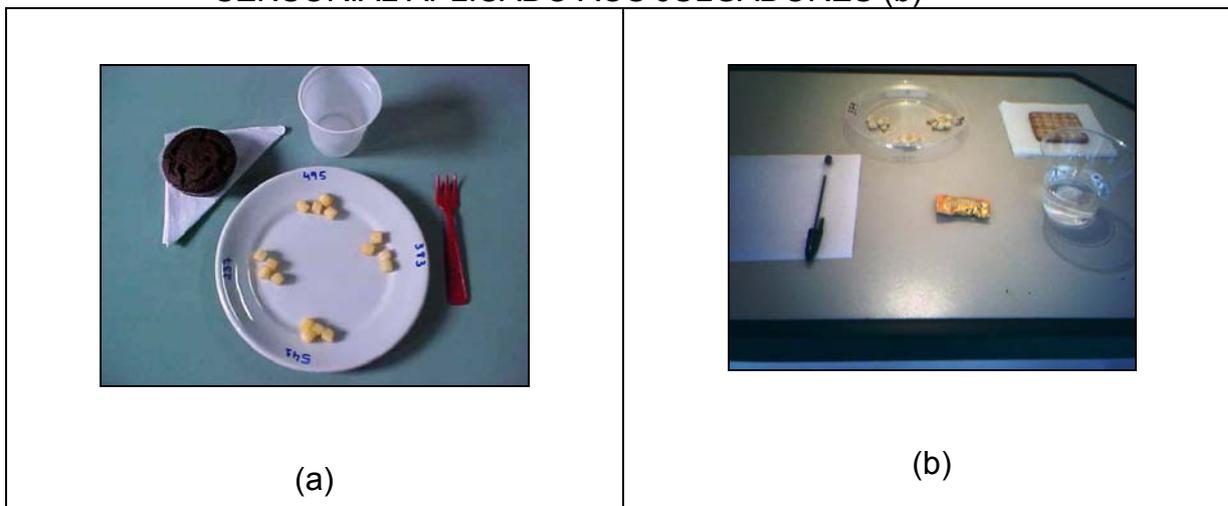
Também foi utilizado o teste de Perfil de Característica, utilizando escala estruturada de cinco pontos, no qual os provadores atribuíram valores às características aparência, cor, odor, sabor e textura, sendo o escore mínimo um (péssimo) e o máximo cinco (excelente). A ficha utilizada na realização dessa análise encontra-se no Apêndice 2.

Por último, realizou-se o teste de Perfil de Atitude (MEILGAARD, CIVILLE e CARR, 1991), estruturado em sete pontos, onde os julgadores atribuíram nota um (comeria sempre) esse produto e nota sete para (nunca comeria) para o produto. A ficha utilizada na realização dessa análise encontra-se no Apêndice 3.

Para a realização dos testes, as posições das amostras foram casualizadas entre os julgadores, sendo estas codificadas com números de três dígitos aleatórios.

Os resultados da análise sensorial foram avaliados estatisticamente por meio da Análise de Variância e Teste de Tukey ao nível de 5% de significância, como objetivo de verificar possíveis diferenças entre as diferentes amostras submetidas ao tratamento, utilizando o programa MSTATC (MICHIGAN STATE UNIVERSITY, 1989).

FIGURA 15 – PRÉ-TESTE DE SELEÇÃO DE JULGADORES (a); TESTE SENSORIAL APLICADO AOS JULGADORES (b)



Fonte: CORDOVA, 2005.

3.2.9 Análise Estatística

Os resultados obtidos nas análises físico-químicas foram analisados estatisticamente pelo programa MSOFFICE MICROSOFT Excel para o ajuste linear, cálculo das médias, desvio padrão e coeficientes de variação e de correlação.

Os dados obtidos na análise sensorial foram avaliados estatisticamente com o objetivo de verificar possíveis diferenças entre as amostras submetidas aos tratamentos com o auxílio do programa MSTATC (MICHIGAN STATE UNIVERSITY, 1989). Essa avaliação estatística foi realizada por meio da Análise de Variância (ANOVA), utilizando-se o delineamento estatístico blocos ao acaso, para verificar a ocorrência de diferenças significativas ($p \leq 0,05$) e as comparações múltiplas entre as médias foram realizadas pelo Teste de Tukey (KOEHLER, 1999).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

4.1.1 Análises físicas da maçã *in natura*

O formato da fruta, representado pela relação diâmetro longitudinal/diâmetro transversal (DL/DT), apresentou-se uniforme e com valores médios de 1,03 e 1,08, para a maçã comercial e para a maçã industrial, respectivamente (Tabela 6).

Segundo PAIVA, MANICA e FIORAVANÇO (1994) as dimensões dos frutos são um indicativo do seu tamanho e de qual cultivar se adapta melhor às exigências do mercado consumidor de frutas ao natural ou industrializadas. Assim, a relação DL/DT é um índice indicador da qualidade, pois quanto mais próximo de 1,0 (um) for essa relação maior será a uniformidade do fruto. BUENO (2005) cita ainda que a relação DL/DT é também um fator de qualidade de produto acabado, tais como compotas e frutas cristalizadas, onde a aparência é essencial.

A Tabela 6 indica os resultados obtidos na determinação dos parâmetros físicos da maçã Fuji comercial e industrial.

TABELA 6 – PARÂMETROS FÍSICOS DA MAÇÃ COMERCIAL E DA INDUSTRIAL

PARÂMETROS	COMERCIAL	INDUSTRIAL
Diâmetro longitudinal (DL) (mm)	70,67±2,81	64,00±4,84
Diâmetro transversal (DT) (mm)	68,65±1,39	59,17±5,07
Relação DL/DT	1,03±0,04	1,08±0,06
Altura (mm)	55,95±1,61	51,83±19,11
Fruta inteira (g)	143,53±3,50	113,70±7,92

4.1.2 Análises físico-químicas da maçã *in natura*

Para caracterizar a matéria-prima fez-se a análise da composição centesimal das maçãs Fuji comercial e industrial. A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos nas análises físico-químicas efetuadas nas amostras *in natura*.

TABELA 7 – COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA EM PORCENTAGEM DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL *IN NATURA* COLETADAS EM GUARAPUAVA/PR E REGIÃO

DETERMINAÇÕES	COMERCIAL	INDUSTRIAL
Umidade	87,20±0,02	85,25±0,05
Cinzas	0,24±0,21	0,21±0,03
Carboidratos	11,88±0,48	13,75±0,56
Extrato etéreo	0,15±0,01	0,12±0,01
Fibra bruta	1,09±0,13	1,07±0,35
Proteínas	0,30±0,02	0,28±0,03

NOTA: valores médios de determinações realizadas em triplicata

Observando a Tabela 7 verifica-se que tanto a maçã comercial quanto a industrial apresentam alto valor de umidade. Estes valores são menores que os valores citados por PROTZEK (1997) e pela USDA (2004), apresentados na Tabela 2.

Para a determinação de cinzas (resíduo mineral fixo) os valores encontrados nos dois tipos de maçã da variedade Fuji, mostram-se elevados quando comparados ao valor citado pela USDA (2004), Tabela 2, porém são próximos entre si, indicando que as amostras analisadas de maçã comercial (valor encontrado para cinzas 0,23%) e maçã industrial (valor encontrado para cinzas 0,21%) são semelhantes quanto ao teor de cinzas. Os dados obtidos na determinação de cinzas são próximos ao encontrado por CURTI (2003) em estudo utilizando maçã da variedade Gala.

O teor de proteínas (0,29% para a maçã comercial e 0,27% para a industrial) e lipídios/extrato etéreo (0,14% para a maçã comercial e 0,12% para a industrial) são próximos ao valor relatado pela USDA (2004), Tabela 2. Porém há uma discrepância desses valores quando comparados ao valor encontrado por MENDEZ *et al.* (1995) para teor de lipídios em maçã Fuji com casca, cujo valor foi de 0,72g/100g.

Analisando os dados obtidos para a determinação de fibra bruta observaram-se dados de 1,82% para a maçã comercial e 1,66% para a maçã industrial. Valores próximos ao relatado por CURTI (2003), e superiores ao encontrado na USDA (2004), Tabela 2.

O valor da energia total metabolizável encontrado foi de 61,14 kcal/100g para a maçã comercial e 60,21 kcal/100g para a maçã industrial. Esses valores são

maiores que o encontrado na USDA (2004), 48 kcal, Tabela 2. Porém, esses dados aproximam-se dos citados por MENDEZ *et al.* (1995), 60 kcal, e CURTI (2003), 55 kcal/100g de maçã.

Os valores de acidez titulável total (ATT), pH e sólidos solúveis totais (SST) das maçãs comercial e industrial podem ser visualizados na Tabela 8.

TABELA 8 – ACIDEZ TITULÁVEL, pH E SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL *IN NATURA* COLETADAS EM GUARAPUAVA/PR E REGIÃO

DETERMINAÇÃO	MAÇÃ COMERCIAL	MAÇÃ INDUSTRIAL
Acidez titulável total (ATT) (g/100g de ácido málico)	0,22±0,027	0,27±0,012
pH (a 25°C)	3,93±0,042	3,85±0,174
Sólidos solúveis totais (SST) (°Brix a 20°C)	14,90±0,047	15,20±0,124
Relação SST/ATT	67,72±0,262	56,29±0,524

NOTA: valores médios de determinações realizadas em triplicata

O valor de pH (Tabela 8) obtido para a maçã comercial é menor que o pH de 3,80 relatado por LOPES FILHO (1993) para maçãs Fuji da região de Guarapuava. O pH da maçã comercial (3,93) está próximo ao registrado por VICENZI *et al.* (1998), pH de 3,97 em maçãs Fuji refrigeradas. Com relação à maçã industrial há pouca informação na literatura desse produto, porém GOULARTE e ANTUNES (1999) caracterizaram maçãs Fuji passadas (com excesso de maturação), as quais tinham padrões parecidos com os da maçã industrial. O pH da maçã industrial coletada em Guarapuava-PR e região (pH = 3,85) se assemelha ao encontrado por GOULARTE e ANTUNES (1999) para a maçã Fuji passada ou seja, com excesso de maturação, pH = 3,83.

Os teores de acidez titulável total (ATT) obtidos para a maçã comercial (0,22g/100 g de ácido málico) e para a maçã industrial (0,27g/100g ácido málico) foram menores que os valores de 0,29g/100g determinado por LOPES FILHO (1993) e 0,342g/100g (FONTOURA, 1987), para maçãs Fuji.

O valor de 14,90°Brix de sólidos solúveis totais da maçã Fuji comercial ficou acima dos teores encontrados por LOPES FILHO (1993) e GOULARTE e ANTUNES (1999), que foram de 13,8 e 14,00, respectivamente. Para a maçã industrial o valor

obtido foi 15,20°Brix e o relatado por GOULARTE e ANTUNES (1999) foi de 15,80°Brix para maçãs Fuji com excesso de maturação.

As relações SST/ATT foram elevadas (67,72 para a maçã comercial e 56,29 para a maçã industrial), indicando uma boa relação entre o sabor e concentração de açúcares dessas frutas, sugerindo que ambas podem ser consumidas *in natura* (BUENO, 2005).

Os valores de açúcares redutores, não-redutores e totais das maçãs comercial e industrial são indicados na Tabela 9.

TABELA 9 – AÇÚCARES REDUTORES, NÃO-REDUTORES E TOTAIS DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL *IN NATURA* COLETADAS EM GUARAPUAVA/PR E REGIÃO

DETERMINAÇÃO	MAÇÃ COMERCIAL	MAÇÃ INDUSTRIAL
Açúcar Redutor (% em glicose)	10,95±0,268	10,23±0,205
Açúcar Não-redutor (% em sacarose)	1,34±0,099	3,47±0,368
Açúcares Totais (% em sacarose)	12,29±0,209	13,70±0,047
Acidez titulável total (ATT) (g/100g de ácido málico)	0,22±0,027	0,27±0,012
Relação Açúcar Total/ATT	55,86±0,239	50,74±0,170

NOTA: valores médios de determinações realizadas em triplicata

Os valores obtidos para açúcares redutores, não-redutores e totais são maiores que os registrados por GOULARTE e ANTUNES (1999), tanto para a maçã comercial quanto para a industrial. Contudo, VICENZI *et al.* (1998) relataram diferentes valores para a maçã Fuji comercial, em seu estudo obtiveram 13,20% para açúcares redutores, 0,62% para açúcares não-redutores e 13,82% para açúcares totais.

As relações açúcar total/ATT foram elevadas (55,86 para a maçã comercial e 50,74 para a maçã industrial), segundo CZELUSNIAK *et al.* (2003) quanto mais baixa for essa razão mais interessante é a variedade de maçã estudada para processos industriais, pois reflete alto teor de ácido málico, o que é um parâmetro de seleção nas indústrias de sucos.

Quando essa relação de açúcar total/ATT encontra-se acima de 25 (adimensional) a variedade é indicada para o consumo *in natura* ou para outros fins industriais que não o processamento de sucos.

Comparando os resultados obtidos com o relatado por CZELUSNIAK *et al.* (2003), verifica-se que ambas as razões de açúcar total/ATT estão acima do registrado por esses autores (40,32) para a maçã Fuji procedente do Rio Grande do Sul, o que indica que a maçã industrial da região de Guarapuava não é indicada para o processamento de suco.

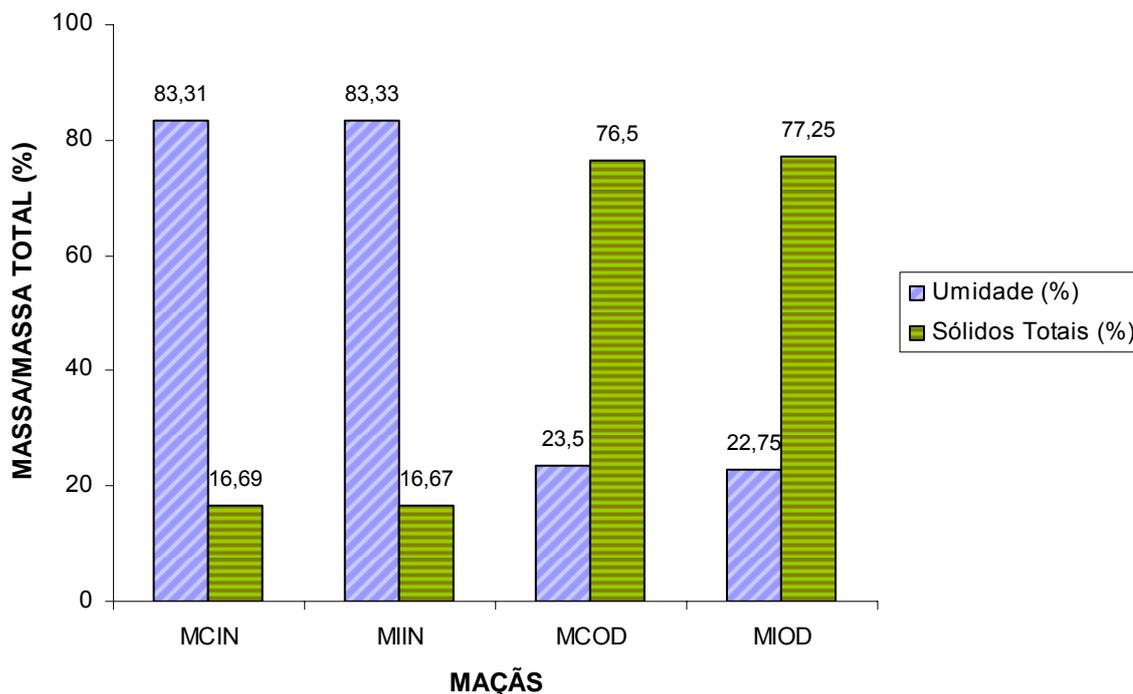
4.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO PRODUTO FINAL

A Figura 16 e as Tabelas 10 e 11 apresentam os resultados obtidos nas análises físico-químicas efetuadas nas maçãs comercial e industrial, após o processamento. Consideram-se produtos finais as maçãs (comercial e industrial) desidratadas osmoticamente com sacarose e submetidas à secagem convectiva, pois a análise sensorial (discutida no item 4.9) revelou certa rejeição pelas amostras processadas com o agente desidratante sorbitol. Desse modo, foram realizadas apenas análises físico-químicas para as maçãs processadas com o agente desidratante sacarose.

Observando a Figura 16 verifica-se que tanto a maçã comercial quanto a industrial quando *in natura* possuem alto valor de umidade e valores baixos para sólidos totais. Porém isso se altera quando as amostras são submetidas a desidratação osmótica, onde há redução parcial da atividade de água e conseqüente diminuição da umidade aumentando desse modo os sólidos totais. E, quando feita a secagem após esse pré-tratamento osmótico, reduziu-se ainda mais a atividade de água.

Conforme indicado, na Figura 16, a desidratação osmótica promoveu aumento dos sólidos totais e redução da umidade da maçã, o que possibilita o aumento da vida de prateleira do produto.

Essa redução da umidade foi de 59,81% para a maçã comercial e de 60,58% para a industrial. Os resultados estão de acordo com os padrões da legislação vigente (BRASIL, 2001). Foi verificado, ainda, um aumento médio de 60,20% de sólidos totais após o processamento.

FIGURA 16 – TEORES DE UMIDADE E SÓLIDOS TOTAIS DAS MAÇÃS

NOTA: MCIN (maçã comercial *in natura*); MIIN (maçã industrial *in natura*); MCODE (maçã comercial osmo-desidratada com sacarose) e MIOD (maçã industrial osmo-desidratada com sacarose).

SANTOS (2003) observou um aumento de 59,43% dos sólidos totais quando elaborou um estruturado de manga, cuja base é a desidratação osmótica seguida de secagem em estufa.

Os valores de acidez titulável total (ATT), pH e sólidos solúveis totais (SST) dos produtos finais são apresentados na Tabela 10.

TABELA 10 – ACIDEZ TITULÁVEL, pH E SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE

DETERMINAÇÃO	MCOD SACAROSE	MIOD SACAROSE
Acidez titulável total (ATT) (g/100g de ácido málico)	0,34±0,004	0,41±0,002
pH (a 25°C)	3,87±0,020	3,81±0,017
SST (°Brix a 20°C)	48,50±0,094	49,90±0,081
Relação SST/ATT	142,64±0,402	121,70±0,020

NOTA: valores médios de determinações realizadas em triplicata - MCODE (maçã comercial osmo-desidratada) e MIOD (maçã industrial osmo-desidratada)

Observando os valores de pH na Tabela 10 verifica-se uma redução no pH de 3,93 para 3,87 na maçã comercial, e de 3,85 para 3,81 na maçã industrial. Os valores de pH encontrados se aproximam apenas da faixa ótima de crescimento de leveduras (pH de 4 a 6,5), porém com uma embalagem adequada o risco de contaminação diminui consideravelmente.

SANTOS (2003) elaborando um estruturado de polpa de manga parcialmente desidratada por osmose, também conseguiu redução do pH, observou uma redução de 15,81% após o processamento osmótico. Já PEREIRA (2002) osmo-desidratando goiabas obteve um acréscimo de 2,63% no pH.

O teor de acidez titulável total (ATT) obtido para o produto final teve um aumento de 55,40% para a maçã comercial e de 49,45% para a industrial, em relação à fruta *in natura*, devido a utilização de ácido cítrico na prevenção do escurecimento enzimático, realizada antes do pré-tratamento osmótico.

LIMA *et al.* (2004) estudando a estabilidade de melões secos e desidratados osmoticamente com solução de sacarose a 65°Brix, verificaram uma acidez titulável de 0,317g ácido cítrico/100g para o produto final. SANTOS (2003) observou um acréscimo de 19,64% na determinação de acidez titulável total, quando comparou a manga *in natura* ao estruturado de manga.

Os valores de sólidos solúveis totais dos produtos finais tiveram um aumento de 33,6°Brix para a maçã comercial e 34,7°Brix para a industrial, em relação às maçãs *in natura* (comercial 14,90°Brix e industrial 15,20°Brix). Esse aumento elevado dos teores de sólidos solúveis totais em relação às frutas *in natura* deve-se a alta concentração da solução osmótica e a retirada de água do produto ao pré-tratá-lo osmoticamente com posterior secagem. GOULARTE e ANTUNES (1999) concentrando maçãs comercialmente passadas, conseguiram um resultado de 74,02°Brix nessa concentração com solução de sacarose a 50%.

As relações SST/ATT foram elevadíssimas (142,64 para o produto final da maçã comercial e 121,70 para o da maçã industrial), isso é atribuído aos altos valores de sólidos solúveis totais em relação aos valores de acidez titulável, nos produtos finais.

Os valores de açúcares (redutores, não-redutores e totais) dos produtos finais podem ser visualizados na Tabela 11.

TABELA 11 – AÇÚCARES REDUTORES, NÃO-REDUTORES E TOTAIS DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE

DETERMINAÇÃO	MCOD	MIOD
	SACAROSE	SACAROSE
Açúcar Redutor (% em glicose)	58,79±0,216	59,65±0,478
Açúcar Não-redutor (% em sacarose)	6,83±0,019	8,52±0,014
Açúcares Totais (% em sacarose)	65,62±0,081	68,17±0,053
Acidez titulável total (ATT) (g/100g de ácido málico)	0,34±0,004	0,41±0,002
Relação Açúcar Total/ATT	193,00±0,205	166,26±0,073

NOTA: valores médios de determinações realizadas em triplicata - MCOD (maçã comercial osmo-desidratada) e MIOD (maçã industrial osmo-desidratada)

Os valores obtidos para açúcares redutores, não-redutores e totais tiveram um aumento significativo em relação aos determinados para as frutas *in natura*. Os açúcares redutores aumentaram em média 48,63%. Para o produto final à base de maçã comercial houve um aumento de 5,49% nos açúcares não-redutores e de 5,05% para o à base de maçã industrial. GOULARTE e ANTUNES (1999), concentrando maçãs com maturação avançada obtiveram um aumento de 33,56% no teor de açúcar não-redutor em relação às frutas *in natura*. ANGELINI (2002) desidratando kiwis osmoticamente, observou um acréscimo de 41,96% dos açúcares redutores, em relação ao valor nos frutos *in natura*.

A incorporação de sólidos fez com que os teores de açúcares totais aumentassem em 53,33% para maçã comercial osmo-desidratada e 54,47% para a industrial. SANTOS (2003) observou um aumento de 19,64% para o estruturado de manga. PEREIRA (2002) apenas desidratando osmoticamente goiabas sem secagem, obteve um acréscimo de 9,2% no teor de açúcares totais. Segundo GOULARTE, ANTUNES e ANTUNES (2000) o teor de açúcar redutor em maçãs super maduras concentradas osmoticamente aumentou 39,54%.

As relações açúcar total/ATT encontram-se bem altas, 193 para a maçã comercial osmo-desidratada e 166,26 para a industrial. Isso demonstra o caráter doce do produto em relação ao gosto ácido, uma vez que o teor de açúcar total é bem elevado.

4.3 ATIVIDADE DE ÁGUA

4.3.1 Determinação da atividade de água da maçã *in natura* e do produto final

Entre uma mesma variedade de maçãs podem ocorrer diferenças de atividade de água (A_w), que são decorrentes do local e época de plantio e colheita e também do estágio de maturação da fruta. Os valores das atividades de água determinadas para as maçãs *in natura* e para os produtos finais são apresentados na Tabela 12.

TABELA 12 – ATIVIDADES DE ÁGUA DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL *IN NATURA* E APÓS PROCESSAMENTO

MAÇÃ FUJI	A_w da fruta <i>in natura</i>	A_w após pré-tratamento osmótico	ΔA_w DO e <i>in natura</i>	A_w após secagem convectiva	ΔA_w secagem e DO	ΔA_w secagem e <i>in natura</i>
comercial com sacarose	0,987±0,001	0,946±0,003	4,15%	0,534±0,002	43,55%	45,89%
industrial com sacarose	0,976±0,004	0,959±0,002	1,74%	0,532±0,002	44,52%	45,50%
comercial com sorbitol	0,987±0,001	0,960±0,003	2,73%	0,558±0,003	41,87%	43,46%
industrial com sorbitol	0,976±0,004	0,958±0,005	1,84%	0,557±0,001	41,86%	42,93%

NOTA: valores médios de determinações realizadas em quintuplicata; DO = desidratação osmótica; ΔA_w = variação da atividade de água.

A maçã é uma fruta que apresenta alta A_w , o que a torna mais susceptível a contaminação microbológica do que as frutas desidratadas, onde a A_w é relativamente baixa. Pode-se observar na Tabela 12 que na fruta *in natura* existe maior quantidade de água livre na maçã comercial em relação à industrial. Segundo os resultados obtidos para a determinação de A_w , pode-se utilizar a maçã industrial no lugar da comercial.

Segundo a Tabela 12, a atividade de água após o pré-tratamento osmótico das maçãs comerciais é de 0,946 para aquelas amostras desidratadas com solução de sacarose e de 0,960 para as desidratadas com solução de sorbitol. Para as maçãs industriais, é de 0,959 para as desidratadas com solução de sacarose e de 0,958 para aquelas que foram desidratadas com solução de sorbitol.

PAES (2005) verificou uma A_w igual a 0,988 para a maçã Gala, este valor está próximo de 0,987, resultado obtido para a maçã Fuji comercial *in natura*.

Os resultados obtidos para A_w da maçã Fuji são semelhantes aos encontrados por ANTONIO (2002) para a banana nanica e o mamão formosa.

Comparando os valores obtidos nesse trabalho com os valores relatados por BRANDELERO *et al.* (2005), LIMA *et al.* (2004) e SOUSA *et al.* (2003-b) pode-se verificar que os produtos finais possuem baixa atividade de água ($A_w < 0,65$), que está abaixo do mínimo requerido para o crescimento de microorganismos (bolores, leveduras e bactérias). Portanto, as maçãs secas e pré-tratadas osmoticamente, tanto com sacarose como com sorbitol, possivelmente não devem apresentar problemas microbiológicos se embaladas corretamente.

Valores de A_w na faixa de 0,3 a 0,5 marcam a transição do estado cristalino para o amorfo em sistemas alimentícios com açúcares simples. Consequentemente, o alimento desidratado passa a não ser aceito sensorialmente devido à perda da crocância. A perda dessa característica é devida à absorção de umidade, onde a água afeta a textura dos alimentos secos através do amaciamento e plastificação da matriz protéica, o que altera a resistência mecânica do material (LABUZA e KATZ, 1981). Também por esse motivo a A_w a ser considerada foi escolhida na faixa de 0,5 a 0,6.

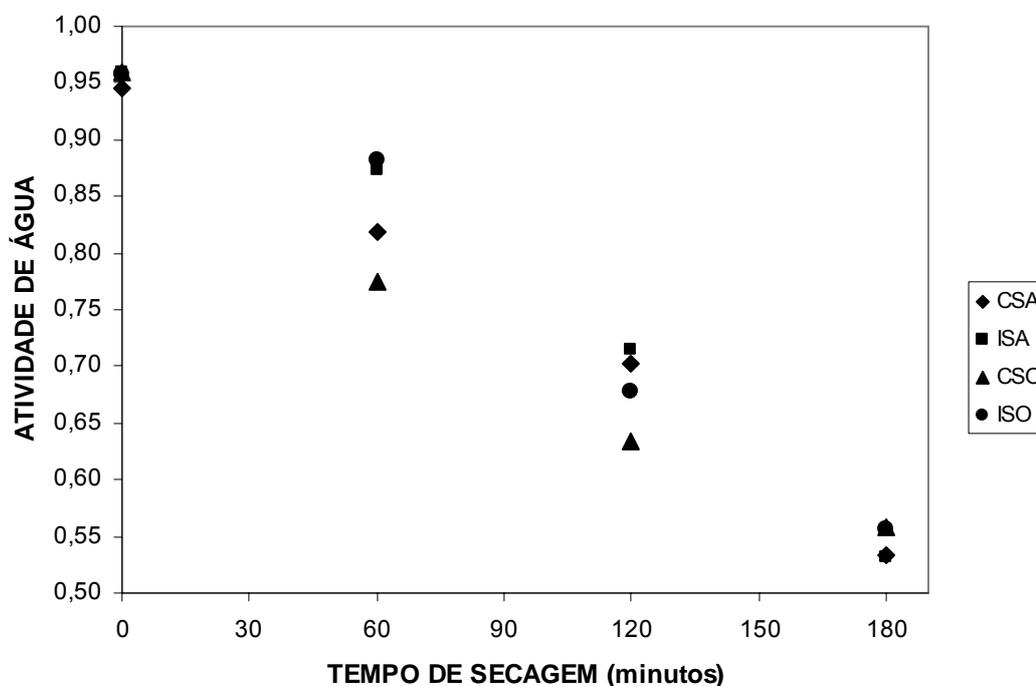
Pelas Figura 17 e Tabela 13 é possível observar que os resultados da atividade de água durante o pré-tratamento osmótico tiveram um comportamento não-linear, ou seja, oscilando nos dados de A_w principalmente para a maçã industrial.

No início do processo, por um período de aproximadamente 30 minutos, observa-se uma rápida perda de água do produto. Na seqüência, a taxa de perda de água reduz tornando-se praticamente constante até o final do processo.

Pode-se dizer que o processo utilizado foi mais eficiente que o utilizado por SANTOS (2003) pois houve uma redução na faixa de 1,74% a 4,15%, entre a A_w inicial e a A_w após o processo osmótico. Os valores encontrados por SANTOS (2003), com redução média de 1,51% na A_w , são elevados para a conservação do produto sem embalagem adequada.

A Figura 17 indica as curvas da atividade de água obtidas durante o pré-tratamento osmótico das amostras.

FIGURA 17 – CURVAS DA ATIVIDADE DE ÁGUA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL



NOTA: CSA (maçã comercial osmo-desidratada com sacarose), ISA (maçã industrial osmo-desidratada com sacarose), CSO (maçã comercial osmo-desidratada com sorbitol) e ISO (maçã industrial osmo-desidratada com sorbitol)

A Tabela 13 mostra as equações do ajuste linear das curvas de A_w versus o tempo determinadas na desidratação osmótica e seus coeficientes de correlação.

TABELA 13 – EQUAÇÕES DO AJUSTE POLINOMIAL DAS ATIVIDADES DE ÁGUA DURANTE O PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO

EXPERIMENTO	EQUAÇÃO DO AJUSTE POLINOMIAL	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R^2)
CSA	$y = 1 \times 10^{-6} x^2 - 0,0004x + 0,9842$	0,955
ISA	$y = 5 \times 10^{-7} x^2 - 0,0002x + 0,9751$	0,960
CSO	$y = 1 \times 10^{-7} x^2 - 0,0001x + 0,9837$	0,912
ISO	$y = 6 \times 10^{-7} x^2 - 0,0002x + 0,9741$	0,957

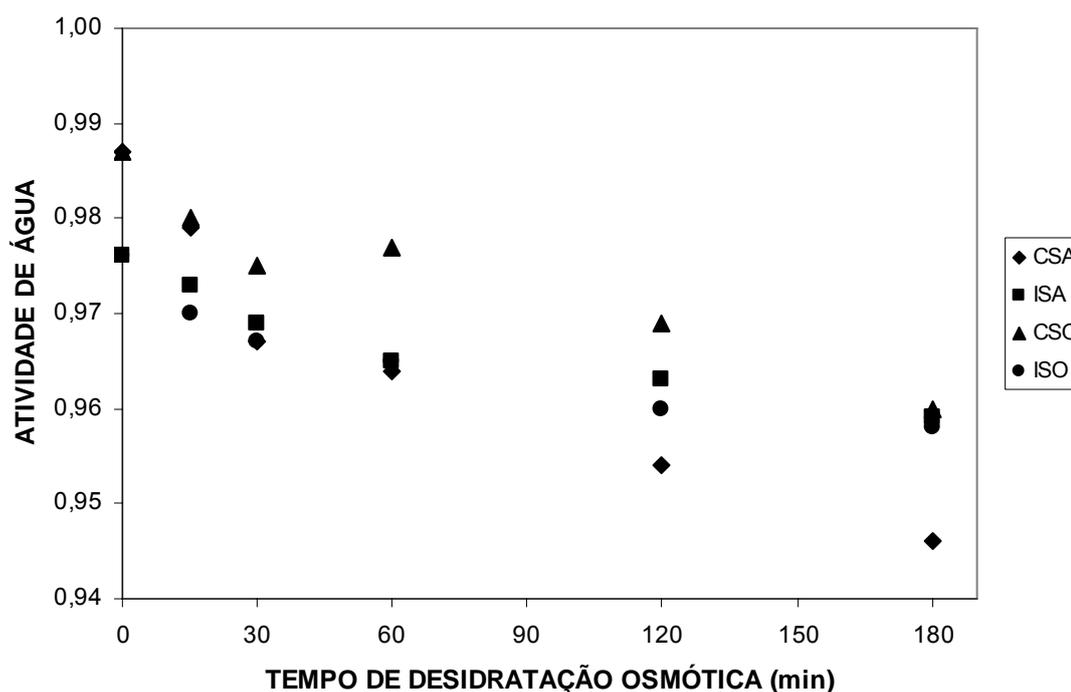
NOTA: CSA (maçã comercial osmo-desidratada com sacarose), ISA (maçã industrial osmo-desidratada com sacarose), CSO (maçã comercial osmo-desidratada com sorbitol) e ISO (maçã industrial osmo-desidratada com sorbitol)

Nesse sentido, cabe salientar que no produto obtido por SANTOS (2003) apesar de ocorrer a redução da A_w , não é possível garantir a sua conservação sem uma embalagem adequada.

SATO, CUNHA e SANJINÉZ-ARGANDOÑA (2005) relataram que a atividade de água de goiabas após 30 minutos de processo reduziu de 0,992 para valores entre 0,985 e 0,975. Sendo que as atividades de água menores foram obtidas para àquelas amostras processadas a altas temperaturas.

A Figura 18 mostra as curvas da atividade de água durante a secagem convectiva. Deve ser observado que o valor inicial da atividade de água na Figura 19 é o valor final da atividade de água da Figura 17.

FIGURA 18 – CURVAS DA ATIVIDADE DE ÁGUA DA SECAGEM CONVECTIVA DE MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE



NOTA: CSA (maçã comercial osmo-desidratada com sacarose), ISA (maçã industrial osmo-desidratada com sacarose), CSO (maçã comercial osmo-desidratada com sorbitol) e ISO (maçã industrial osmo-desidratada com sorbitol)

A Tabela 14 apresenta as equações do ajuste linear da atividade de água *versus* o tempo da secagem convectiva das amostras e seus coeficientes de correlação.

TABELA 14 – EQUAÇÕES DO AJUSTE LINEAR DAS ATIVIDADES DE ÁGUA DURANTE A SECAGEM CONVECTIVA

EXPERIMENTO	EQUAÇÃO DO AJUSTE LINEAR	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R^2)
CSA	$y = -0,0023 x + 0,9533$	0,993
ISA	$y = -0,0024 x + 0,9856$	0,977
CSO	$y = -0,0022 x + 0,9337$	0,967
ISO	$y = -0,0023 x + 0,9798$	0,973

NOTA: CSA (maçã comercial osmo-desidratada com sacarose), ISA (maçã industrial osmo-desidratada com sacarose), CSO (maçã comercial osmo-desidratada com sorbitol) e ISO (maçã industrial osmo-desidratada com sorbitol)

Pelas Figura 18 e Tabela 14 é possível observar que os resultados da atividade de água durante a secagem convectiva apresentaram um comportamento linear.

Após a secagem convectiva foi observado uma redução média na A_w de 44,44% de redução na A_w (de 0,981 para 0,545 – valores médios). Os valores de A_w do produto final foram menores que a A_w obtida por SANTOS (2003), cujo valor foi de 0,583.

A partir dos resultados combinados da desidratação osmótica e secagem convectiva pode-se afirmar que em todas as amostras houve em média uma redução de 44,44% no valor da atividade de água. Este fato indica que o processo combinado foi efetivo para reduzir a possibilidade de desenvolvimento de microorganismos no produto, e aumentar assim o tempo de vida de prateleira.

Em relação as amostras analisadas, os resultados indicam que a maçã comercial tratada com sacarose foi a que mais reduziu em termos de A_w , em média 45,89%.

Considerando a redução da atividade de água obtida, tanto com a solução de sacarose quanto com a de sorbitol, sugere-se que a combinação do pré-tratamento osmótico e a secagem convectiva seria uma alternativa viável para a indústria de frutas, uma vez que há redução no tempo de processamento, em média duas horas a menos de uso do secador convectivo, economizando assim energia elétrica para a indústria.

4.4 AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA

4.4.1 Análises microbiológicas da maçã *in natura* e do produto final

Para avaliação microbiológica as amostras foram analisadas quanto à presença de *Salmonella*, Coliformes e bolores e leveduras.

Os resultados obtidos nas determinações de *Salmonella* e Coliformes encontram-se de acordo com os padrões microbiológicos estabelecidos pela Resolução RDC nº12, de 02 de janeiro de 2001, da Agência Nacional da Vigilância Sanitária (ANVISA, 2001).

Para bolores e leveduras a ANVISA não determina padrões para esse produto, portanto, os valores obtidos não podem ser considerados como limitantes da sua vida de prateleira, mas apenas relacionados com as características sensoriais do produto.

Os resultados microbiológicos para as maçãs *in natura* estão indicadas na Tabela 15:

TABELA 15 – RESULTADOS DAS ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DA MAÇÃ FUJI *IN NATURA*

DETERMINAÇÃO	MAÇÃ COMERCIAL	MAÇÃ INDUSTRIAL	PADRÕES MICROBIOLÓGICOS*
Coliformes a 45°C (NMP/g)	< 3	< 3	5x10 ² (máximo)
<i>Salmonella sp</i> /25g	ausente	ausente	Ausência em 25g

NOTA: valores médios de determinações realizadas em triplicata; *BRASIL (2001)

A contagem de bolores e leveduras das amostras *in natura* apresentaram valores de 1x10² UFC/g, entretanto, esse valor diminuiu consideravelmente nas amostras dos produtos finais (< 1x10 UFC/g). Isso sugere que foram seguidas as normas de higienização do produto, e que o processamento foi eficiente.

Os resultados obtidos nas análises microbiológicas do produto final (maçãs secas e pré-tratadas osmoticamente) são apresentados na Tabela 16.

TABELA 16 – RESULTADOS DAS ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS PARA O PRODUTO FINAL

DETERMINAÇÃO	MCOD SACAROSE	MCOD SORBITOL	MIOD SACAROSE	MIOD SORBITOL	PADRÕES MICROBIOLÓGICOS *
Coliformes a 45°C (NMP/g)	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	10 ² (máximo)
<i>Salmonella sp</i> /25g	ausente	ausente	ausente	ausente	Ausência em 25g

NOTA: valores médios de determinações realizadas em triplicata; *BRASIL (2001)
MCOD (maçã comercial osmo-desidratada) e MIOD (maçã industrial osmo-desidratada)

Como os resultados das análises de coliformes apresentaram valores inferiores a 0,3, e a presença de *Salmonella sp* não foi detectada nas amostras analisadas, pode-se dizer que essas amostras atenderam aos padrões estabelecidos pela legislação federal vigente (BRASIL, 2001), indicando que o produto pode ser empregado para consumo humano e, portanto pode ser utilizado como matéria-prima no processamento de outros produtos, como na fabricação de panetones, por exemplo.

4.5 PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO

4.5.1 Cinéticas da desidratação osmótica

O estabelecimento do tempo da desidratação osmótica foi realizado inicialmente pelos dados da literatura. É importante citar que o ganho de sólidos é maior com o passar do tempo até se atingir o equilíbrio, portanto, quanto menor esse tempo menos alterado estruturalmente está o produto (MOURA, 2004; KOWALSKA e LENART, 2001; LENART, 1996). Após os primeiros ensaios e análises dos resultados estabelecidos o tempo foi fixado em três horas.

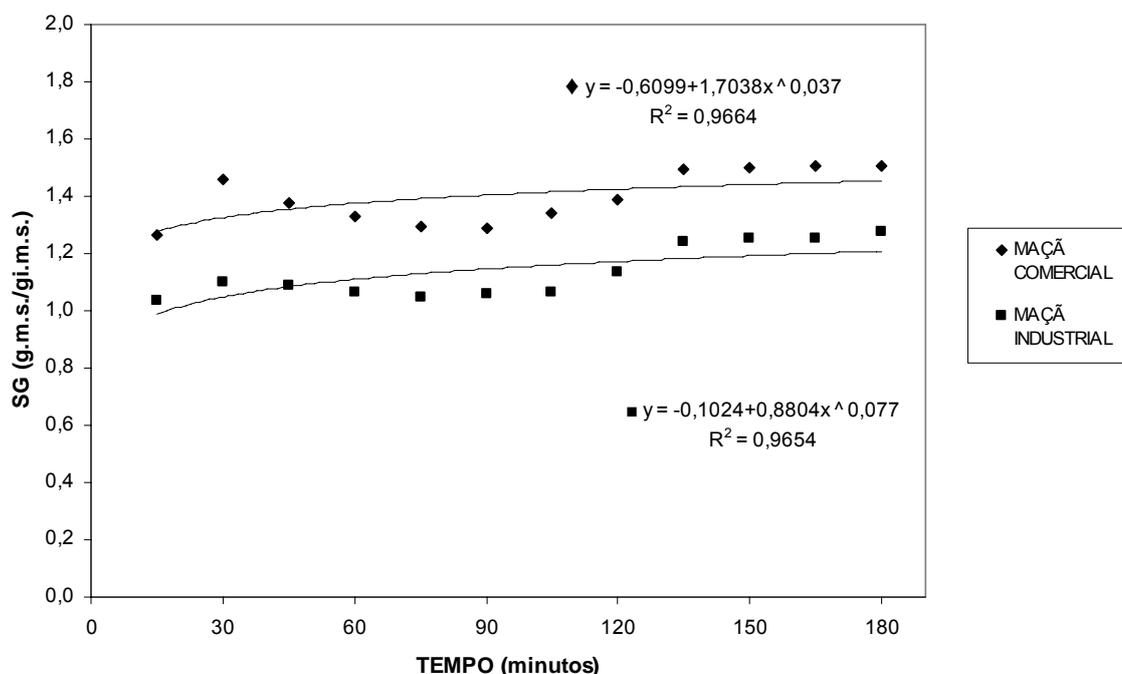
Segundo TELIS, MURARI e YAMASHITA (2004), o efeito do tempo na desidratação osmótica pode ser explicado pela modificação do tecido vegetal, principalmente das membranas celulares, que vão enfraquecendo com longos períodos de tempo de exposição à solução osmótica.

ANTONIO (2002) estudando a desidratação osmótica de banana nanica e mamão formosa em solução de sacarose obteve em torno de 11,70% para o ganho

de sólidos para a banana, e 9,70% para o ganho de sólidos no mamão. Verificando assim que a variável concentração de sacarose mostrou ter maior influência sobre a resposta de ganho de sólidos, indicando assim que quanto maior a concentração da solução osmótica maior será a incorporação de sólidos no produto.

A Figura 19 indica o ganho de sólidos das maçãs comercial e industrial durante a impregnação osmótica, quando utilizada a solução de sacarose de 50°Brix como agente desidratante.

FIGURA 19 – GANHO DE SÓLIDOS DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL DURANTE O PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%



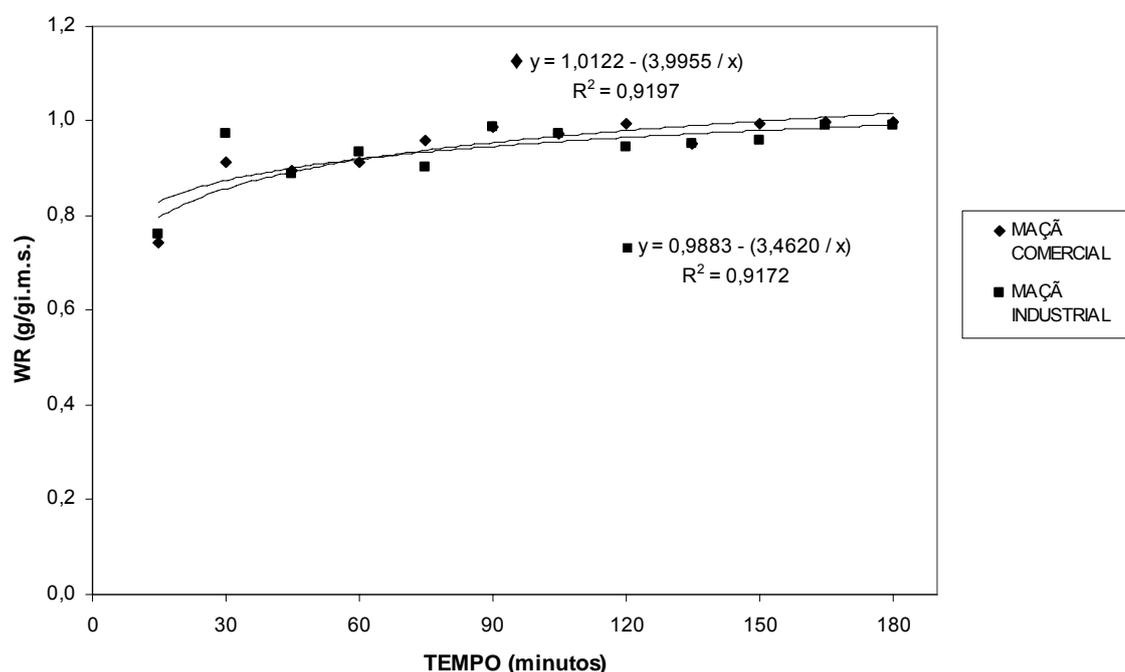
NOTA: SG = ganho de sólidos em gramas de matéria seca por gramas de matéria seca inicial (g.m.s./g.i.m.s.)

Os dados da Figura 19 indicam que inicialmente, no período de 30 minutos, ocorre uma intensa incorporação de sólidos na amostra e, que após esse período ela se mantém praticamente constante. Dessa forma, o tempo de três horas de impregnação osmótica com sacarose foi suficiente para as amostras e a solução

osmótica entrarem em equilíbrio (conforme é indicado na Figura 29). Observa-se ainda que a maçã comercial incorporou mais sólidos que a industrial.

A Figura 20 indica a redução da massa das amostras de maçã comercial e industrial durante a impregnação osmótica, em solução de sacarose a 50°Brix.

FIGURA 20 – REDUÇÃO DA MASSA DAS AMOSTRAS DE MAÇÃ FUJI COMERCIAL E INDUSTRIAL DURANTE O PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%



NOTA: WR = redução do peso em gramas por gramas de matéria seca inicial (g.m.s./gi.m.s.)

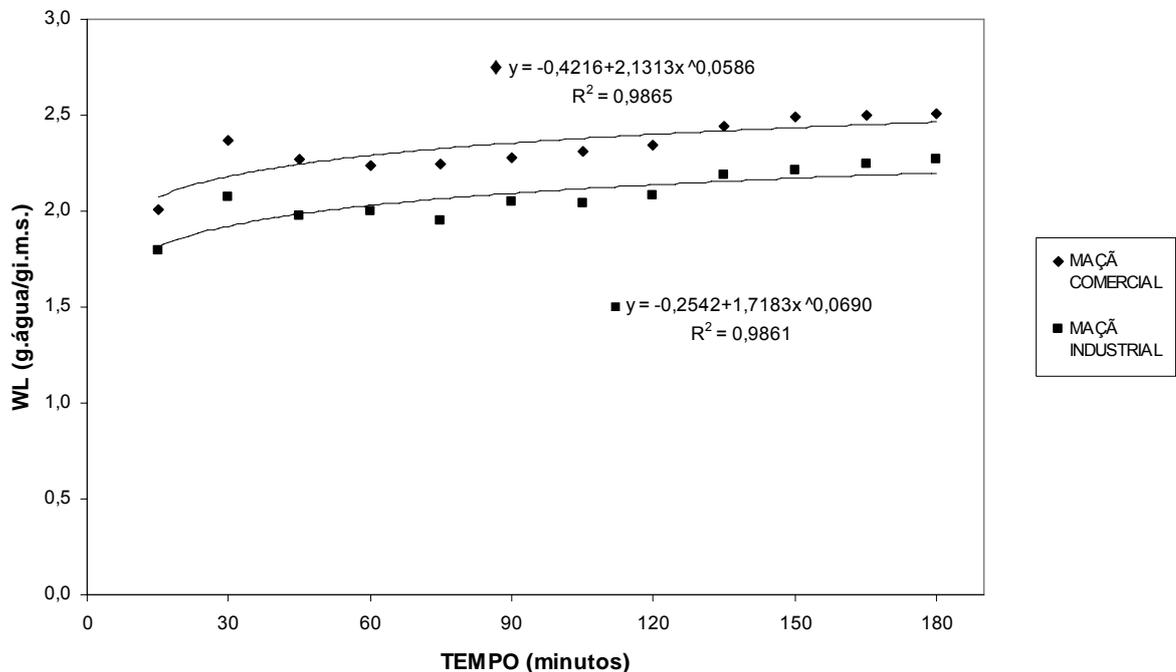
Verifica-se que essa redução da massa foi similar para os dois tipos de maçãs avaliadas, ou seja, inicialmente ocorre uma elevada perda de peso. Observa-se na Figura 21, que a redução da massa foi proporcional à retirada de água, sendo os valores de perda de água superiores aos da perda da massa das amostras e, na seqüência a taxa de redução de massa fica praticamente constante.

Verifica-se que há um aumento na perda de massa com o decorrer do processo de desidratação osmótica e tendência à estabilização ao longo do tempo, provavelmente devido ao equilíbrio atingido no sistema. Esse comportamento foi

estudado por vários pesquisadores, RAOULT-WACK (1994), LENART (1996), ANTÔNIO (2002), SANTOS (2003), MOURA (2004).

Durante o processo observa-se que na primeira hora ocorre uma retirada maior de água das amostras, conforme apresentado na Figura 21. Após esse período, o processo tende ao equilíbrio se mantendo quase que inalterado até a segunda hora de desidratação.

FIGURA 21 – PERDA DE ÁGUA DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL DURANTE O PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%



NOTA: WL = perda de água em gramas de água por gramas de matéria seca inicial (g.m.s./gi.m.s.)

Comparando as Figuras 19 e 21 observa-se que a perda de água é bem maior que o ganho de sólidos.

Isso é de suma importância para esse processo, uma vez que, um dos objetivos da desidratação osmótica é a pequena incorporação de sólidos e a grande perda de água. LENART (1996) relata que o pré-tratamento osmótico deve ser realizado por um pequeno período de tempo suficiente para atingir altas taxas de redução de água e baixos ganhos de sólidos, para que as características da fruta possam ser preservadas.

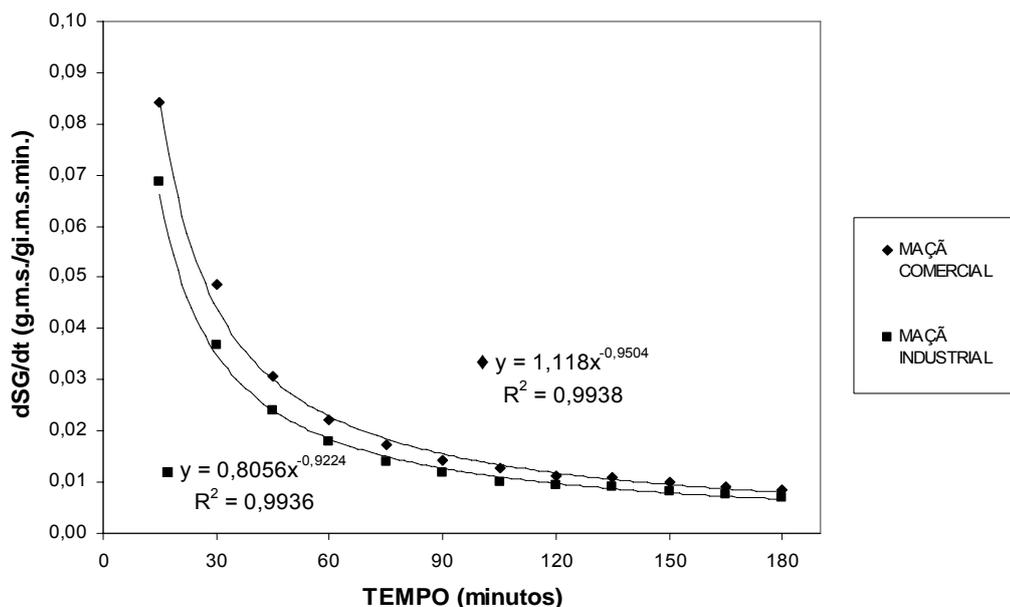
Segundo PONTING *et al.* (1966) e FUMAGALLI e SILVEIRA (2004), a alta concentração de açúcares em contato com as frutas previne o possível escurecimento enzimático e a fermentação causada por fungos e leveduras, sendo possível a obtenção de um produto final com coloração clara.

Nos experimentos realizados com a sacarose, observou-se para a maçã comercial um ganho médio de sólidos de 5,02%, sendo que no final do processo esse valor foi de 6,50%, uma perda média de massa de 34,38%, e perda média de água de 39,40%, sendo que no final da desidratação osmótica esse valor foi de 45,42%.

E para a maçã industrial: um ganho médio de sólidos de 3,66%, sendo 4,10% de sólidos incorporados no final do processo, uma perda média de massa de 35,14%, e perda média de água de 37,13%, e o valor de 46,70% foi registrado no final desse pré-tratamento.

A Figura 22 apresenta a taxa do ganho de sólidos da maçã comercial e industrial durante a impregnação osmótica em solução de sacarose a 50°Brix.

FIGURA 22 – TAXA DO GANHO DE SÓLIDOS DAS MAÇÃS PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%



NOTA: dSG/dt = taxa de ganho de sólidos *versus* o tempo em gramas de matéria seca por gramas de matéria seca inicial por minuto (g.m.s./g.i.m.s.min)

É possível observar na Figura 22 que nos primeiros trinta minutos da desidratação osmótica o ganho de sólidos é mais significativo. Com o passar do tempo essa taxa foi diminuindo tendendo a permanecer constante. Esses resultados confirmam os obtidos por MOURA (2004) e KOWALSKA e LENART (2001), que indicam que a maior transferência de massa do sistema ocorre na primeira hora de pré-tratamento osmótico.

SOUSA *et al.* (2003-a), estudando a desidratação osmótica de bananas processadas, verificaram que tanto a concentração da solução quanto a proporção fruto:solução influenciam o transporte de massa. Obtiveram, ao final de cinco horas de processo perdas de água na faixa de 18,71 a 33,14%, e ganhos de sólidos entre 4,74 e 14,69%, utilizando soluções de sacarose a 45, 55 e 65°Brix.

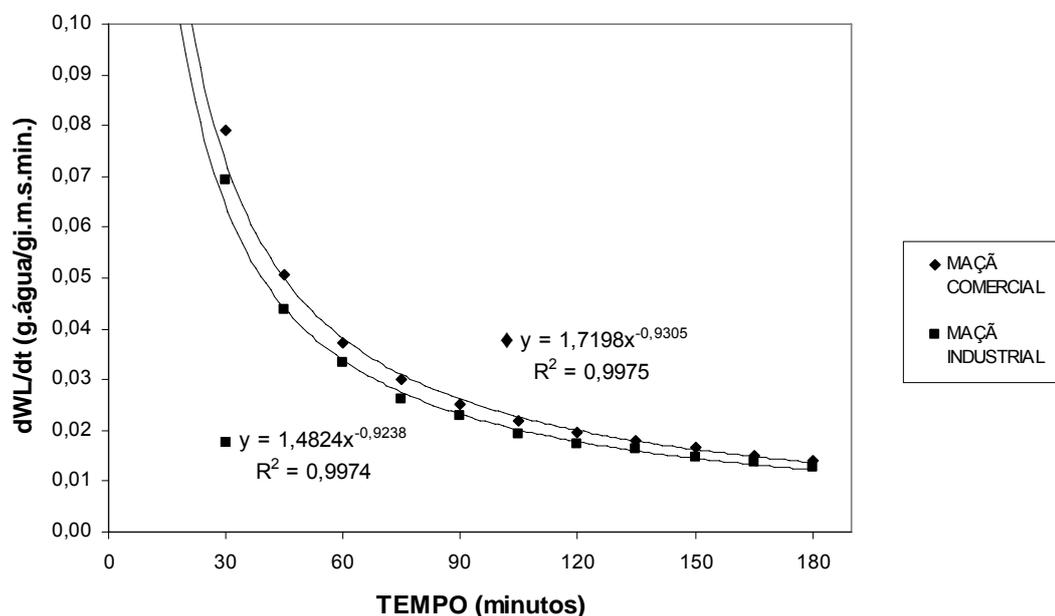
SANTOS (2003) estudando a desidratação osmótica de mangas para elaboração de um estruturado dessa fruta, relata uma perda média de 31,49% da massa, 37% de perda de umidade e 12% de incorporação de sólidos.

A Figura 23 indica a taxa de perda de água das maçãs comercial e industrial durante a impregnação osmótica, quando utilizada a solução de sacarose de 50°Brix.

Na Figura 23 observa-se que a taxa de perda de água apresentou similaridade com a taxa de ganho de sólidos nas maçãs osmo-desidratadas com sacarose, e que os maiores valores de perda de água ocorrem nos primeiros 30 minutos, diminuindo à medida que a troca de massa com o sistema é reduzida.

SPIAZZI e MASCHERONI (1997) encontraram valores de 60% para a perda de água e 8% para o ganho de sólidos de cubos de maçãs desidratados osmoticamente a 40°C e 60% em concentração de sacarose, para um tempo de 180 minutos de processo. PHOTON *et al.* (2001) desidratando osmoticamente maçãs em microondas obtiveram um ganho de sólidos de 0,976 g/gi.m.s e 5,309 g.água/gi.m.s. para a perda de água.

FIGURA 23 – TAXA DA PERDA DE ÁGUA DAS MAÇÃS PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%



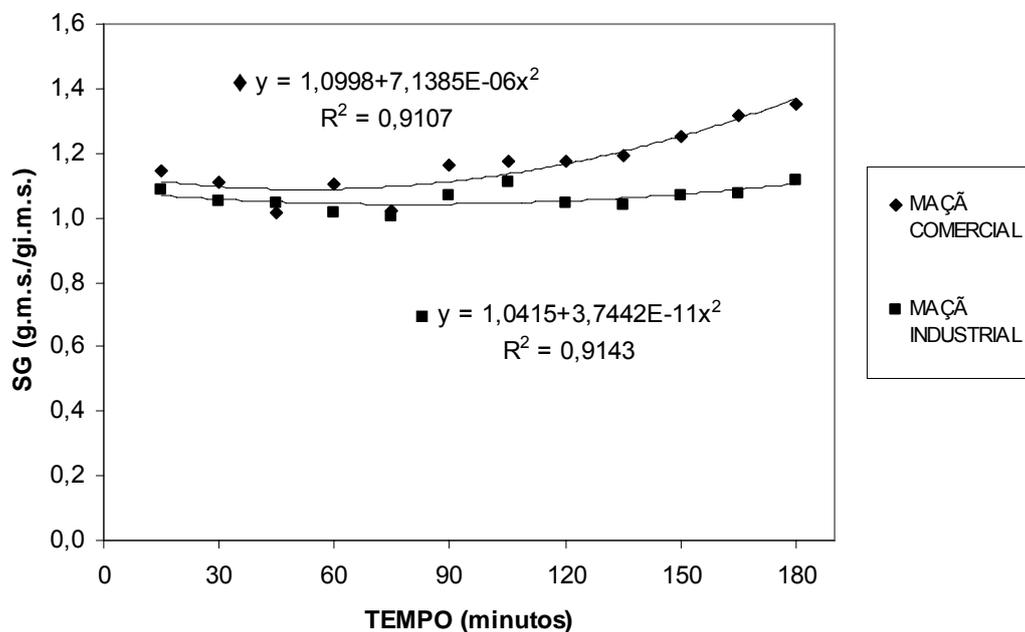
NOTA: dWL/dt = taxa de perda de água *versus* o tempo em gramas de água por gramas de matéria seca inicial por minuto (g.m.s./gi.m.s.min)

A Figura 24 apresenta o ganho de sólidos das maçãs comercial e industrial utilizando o sorbitol para a impregnação osmótica.

Os resultados indicam que o maior ganho de sólidos ocorre nos primeiros 15 minutos, enquanto, que para a solução de sacarose ocorre nos primeiros 30 minutos. Este comportamento pode ser associado a massa molecular dos agentes desidratantes. O sorbitol tem $PM_{\text{sorbitol}} = 294$ e a sacarose $PM_{\text{sacarose}} = 342$. Dessa forma, o sorbitol tem maior facilidade de transporte no meio celular do que a sacarose.

MOURA (2004) desidratando osmoticamente yacon com sorbitol relatou uma redução máxima de massa de 9 g/gi.m.s. Enquanto, as maçãs com esse mesmo pré-tratamento alcançaram uma redução média máxima de 0,98 g/gi.m.s. (comercial) e 1 g/gi.m.s. (industrial), o que indica um menor encolhimento da amostra.

FIGURA 24 – GANHO DE SÓLIDOS DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL DURANTE O PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO COM SOLUÇÃO DE SORBITOL A 50%

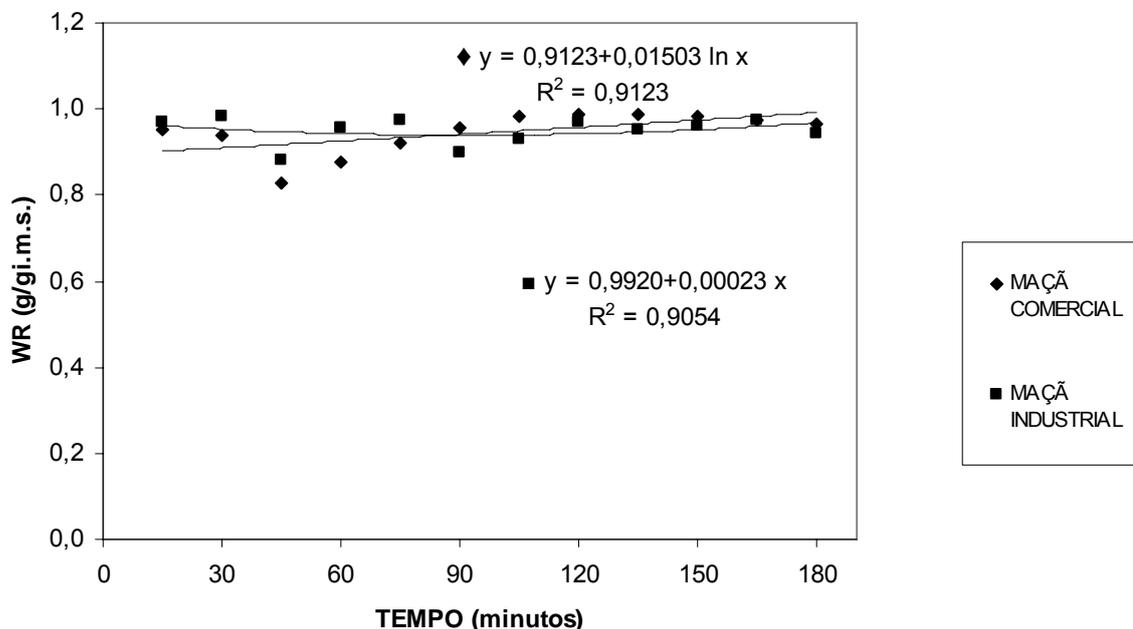


NOTA: SG = ganho de sólidos em gramas de matéria seca por gramas de matéria seca inicial (g.m.s./g.i.m.s.)

Comparando as Figuras 19 e 24 verifica-se que a utilização da sacarose como agente desidratante possibilitou uma maior incorporação de sólidos que com o uso de sorbitol. Isso ficou evidenciado na maçã comercial, onde a impregnação da sacarose atingiu em média 5%, enquanto o ganho de sólidos com a impregnação de sorbitol ficou em média 2%. Do ponto de vista de otimização do processo de desidratação osmótica, o emprego de sorbitol mostrou-se uma alternativa viável, pois proporcionou uma menor incorporação de sólidos às maçãs, tanto na comercial quanto na industrial. ARAÚJO *et al.* (2004) desidratando osmoticamente nectarinas com glicose de milho obteve um ganho de sólidos de apenas 2%.

A redução da massa das amostras das maçãs osmo-desidratadas com sorbitol é apresentada na Figura 25, onde pode-se observar que ambas as amostras de maçãs tiveram o mesmo comportamento, ou seja, redução similar de peso.

FIGURA 25 – REDUÇÃO DA MASSA DAS AMOSTRAS DE MAÇÃ FUJI COMERCIAL E INDUSTRIAL DURANTE O PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO COM SOLUÇÃO DE SORBITOL A 50%



NOTA: WR = redução do peso em gramas por gramas de matéria seca inicial (g.m.s./gi.m.s.)

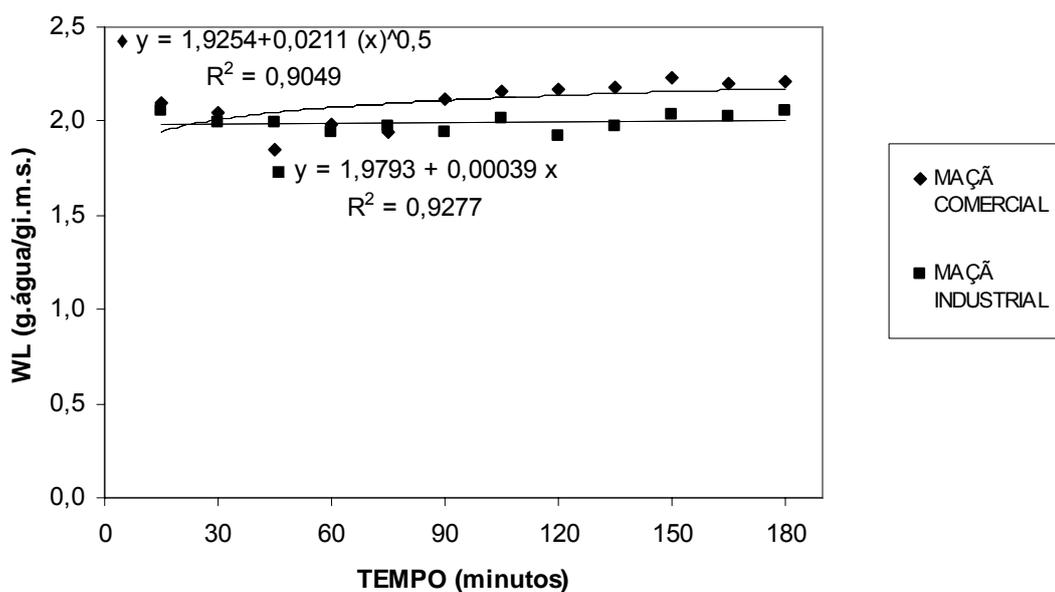
A Figura 26 apresenta a perda de água das maçãs comercial e industrial durante a impregnação osmótica, quando utilizada a solução de sorbitol a 50% como agente desidratante.

Os dados para a perda de água podem ser visualizados na Figura 26. Durante a desidratação osmótica com sorbitol, observa-se que ambas as amostras de maçãs (comercial e industrial) se comportam similarmente em relação à perda de água. Sendo a maior retirada de água observada na primeira hora do processo, assim como foi observado por MOURA (2004), que também verificou uma maior retirada de água na yacon na primeira hora de pré-tratamento osmótico com sorbitol.

Comparando as Figuras 24 e 26 observa-se que a perda de água é bem maior que o ganho de sólidos. PONTING (1973), LENART e GRODECKA (1989), TREGUNNO e GOFF (1996) e LENART (1996), relataram que quanto menor o índice de ganho de sólidos num processo de desidratação osmótica melhor é o resultado em termos de cor, textura e sabor do produto final, pois não se altera em

demasia o sabor da fruta *in natura*. Por outro lado, quanto maior a perda de água, menor sua atividade de água e maior a sua vida de prateleira, além da redução de possíveis contaminações microbiológicas.

FIGURA 26 – PERDA DE ÁGUA DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL DURANTE O PRÉ-TRATAMENTO OSMÓTICO COM SOLUÇÃO DE SORBITOL A 50%

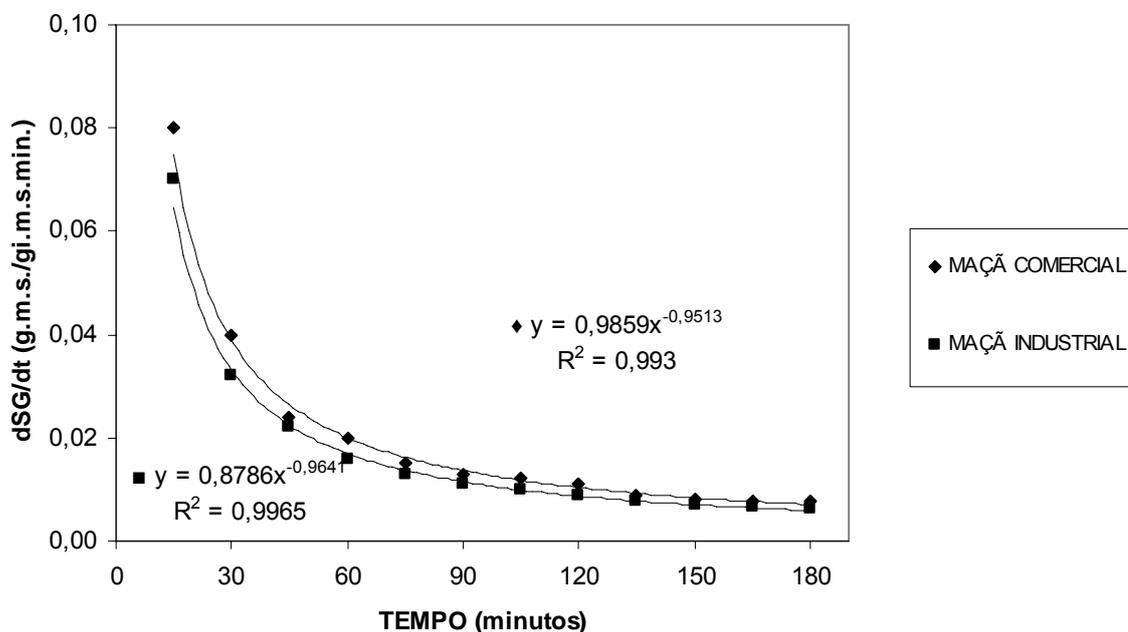


NOTA: WL = perda de água em gramas de água por gramas de matéria seca inicial (g.m.s./gi.m.s.)

Os dados da taxa de ganho de sólidos com a utilização da solução de sorbitol como agente desidratante são apresentados na Figura 27.

Observa-se que a taxa do ganho de sólidos foi maior nos primeiros minutos do processo e que após 60 minutos há um decréscimo dessa taxa até se alcançar o equilíbrio. Isso mostra que durante a primeira hora a transferência de massa é mais significativa, com valores máximos nos primeiros 30 minutos. Esses resultados são similares aos obtidos por ARAÚJO *et al.* (2004) e MOURA (2004).

FIGURA 27 – TAXA DO GANHO DE SÓLIDOS DAS MAÇÃS PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE COM SOLUÇÃO DE SORBITOL A 50%



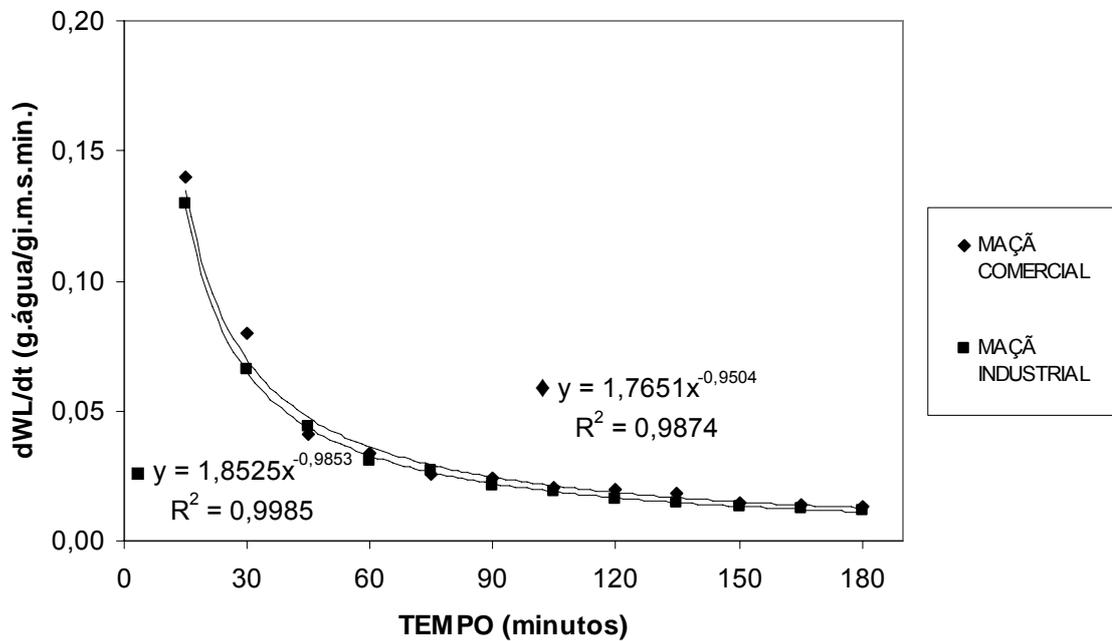
NOTA: dSG/dt = taxa de ganho de sólidos *versus* o tempo em gramas de matéria seca por gramas de matéria seca inicial por minuto (g.m.s./gi.m.s.min)

Na Figura 28 observa-se a taxa de perda de água das amostras de maçãs pré-tratadas osmoticamente com solução de sorbitol.

Verifica-se que até os primeiros 45 minutos a taxa de perda de água é um pouco maior para a maçã comercial, porém após esse período ambas apresentam dados bastante próximos.

Nos experimentos realizados com a solução de sorbitol, observou-se para a maçã comercial um ganho médio de sólidos de 2,22%, uma perda média de massa de 27,90%, e perda média de água de 30,10%. Para a maçã industrial foi observado um ganho médio de sólidos de 0,90%, uma perda média de massa de 26,94%, e perda média de água de 27,90%.

FIGURA 28 – TAXA DA PERDA DE ÁGUA DAS MAÇÃS PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE COM COM SOLUÇÃO DE SORBITOL A 50%



NOTA: dWL/dt = taxa de perda de água *versus* o tempo em gramas de água por gramas de matéria seca inicial por minuto (g.m.s./gi.m.s.min)

FORNI *et al.* (1997) estudando a estabilidade de damascos osmo-desidratados com sacarose, sorbitol e maltose, observaram que o sorbitol causou uma maior perda de água e um maior ganho de sólidos que a sacarose e a maltose. Verificaram também, que a maltose proporcionou a melhor estabilidade da cor no produto final, porém o processo torna-se viável economicamente quando se utiliza a sacarose.

De acordo com TREGUNNO e GOFF (1996) seus melhores resultados nas características físicas de maçãs (cor, rehidratabilidade e retirada de água) foram obtidos com o uso de sorbitol e de sacarose quando comparados com o xarope de milho. E há maior firmeza nas maçãs desidratadas osmoticamente com sorbitol ou sacarose do que aquelas pré-tratadas com o xarope de milho.

4.5.2 Relação de sólidos solúveis totais

Inicialmente, com auxílio de um refratômetro foi determinada a concentração média de sólidos solúveis totais nas soluções de sacarose (50°Brix) e de sorbitol (41°Brix), nas amostras de maçã comercial (14,9°Brix) e industrial (15,2°Brix).

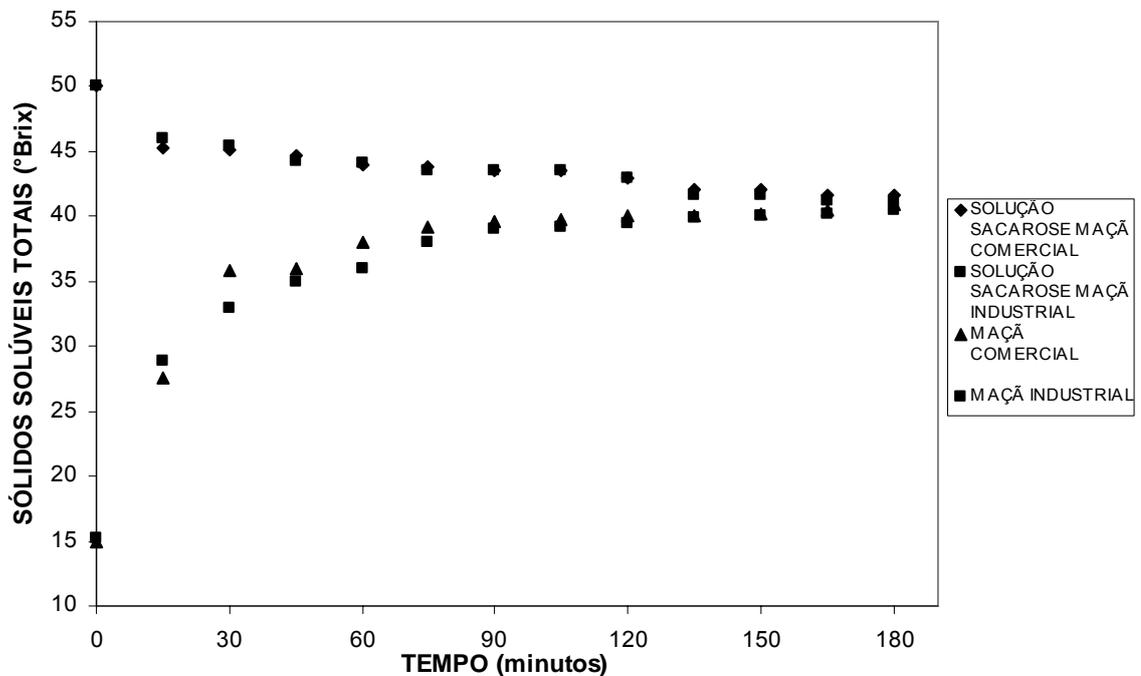
Considerando a diferença de concentração da solução e da amostra, o processo de transferência de massa ocorre da solução para a amostra e da amostra para a solução em menor intensidade.

A partir da determinação de sólidos solúveis totais (SST) da solução de sacarose e das amostras foi obtida a Figura 29.

Os dados indicam um mesmo comportamento para ambas as amostra e soluções desidratantes, no caso a solução de sacarose.

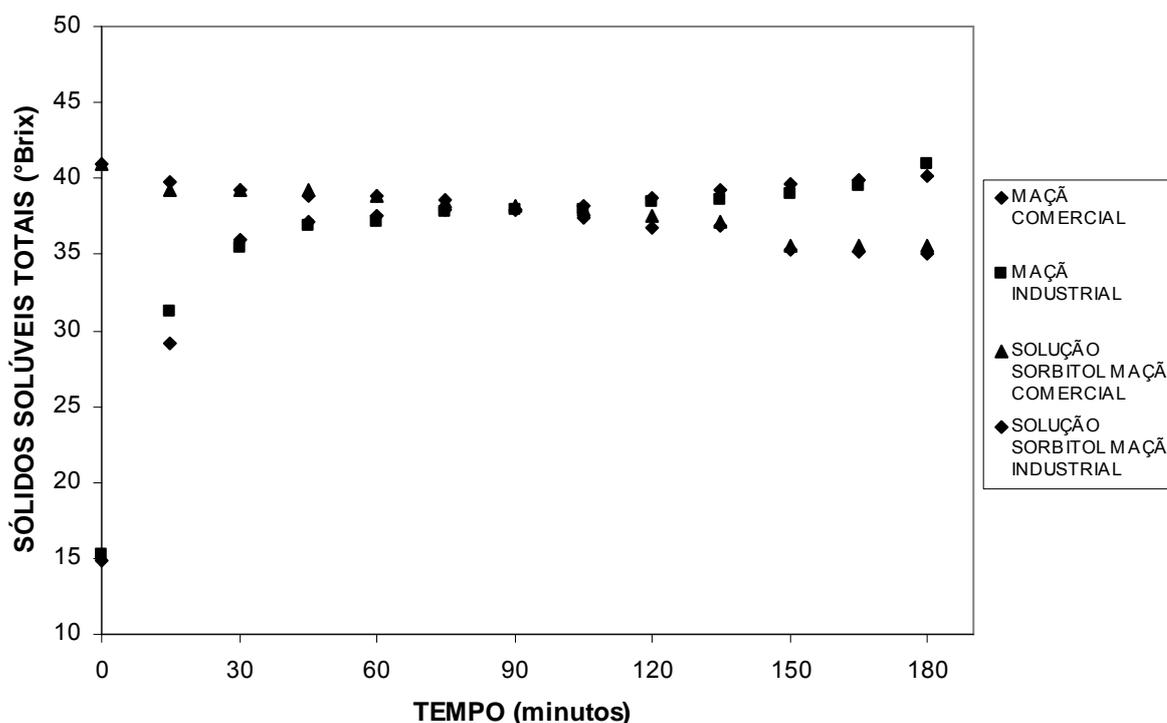
Os resultados indicam que após aproximadamente 120 minutos a troca de massa no sistema reduz e ao final de 180 minutos o equilíbrio é estabelecido.

FIGURA 29 – RELAÇÃO DE SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS DAS MAÇÃS PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%



A relação de sólidos solúveis totais (SST) durante o processo de desidratação osmótica com solução de sorbitol é apresentada na Figura 30.

FIGURA 30 – RELAÇÃO DE SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS MAÇÃS PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE COM SOLUÇÃO DE SORBITOL A 50%



Os dados da Figura 30 indicam que ocorre a mesma tendência da Figura 30. Assim há redução da transferência de massa aos 120 minutos de processo e o equilíbrio é atingido ao final dos 180 minutos, similarmente como no pré-tratamento osmótico com a solução de sacarose.

Comparando as Figuras 29 e 30 observa-se que a determinação de 180 minutos para o pré-tratamento foi eficiente, uma vez que o equilíbrio de ambos os sistemas (sacarose-amostra e sorbitol-amostra) é estabelecido nesse período de tempo.

KAYMAK-ERTEKIN e SULTANOGLU (2000) estudando a transferência de massa em maçãs provenientes de Izmir (Turquia) desidratadas osmoticamente com sacarose, obtiveram uma relação de SST onde a solução de 60°Brix ao final do

processo alcançava aproximadamente 52°Brix, e as maçãs de 18°Brix ao atingir o equilíbrio registraram teor de SST em torno de 49°Brix.

4.5.3 Coeficiente efetivo de difusividade na desidratação osmótica

Na Tabela 17 são indicados os resultados obtidos no cálculo dos coeficientes efetivos de difusão calculados durante o pré-tratamento osmótico.

TABELA 17 – VALORES DOS D_{ef} – DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

AMOSTRA ANALISADA	Def (m ² /s)
Maçã comercial com solução de sacarose	3,597 x 10 ⁻¹⁰
Maçã industrial com solução de sacarose	3,354 x 10 ⁻¹⁰
Maçã comercial com solução de sorbitol	4,043 x 10 ⁻¹⁰
Maçã industrial com solução de sorbitol	3,151 x 10 ⁻¹⁰

Os valores dos coeficientes efetivos de difusão variam de 3,151 a 4,043x10⁻¹⁰ m²/s. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por SIMAL *et al.* (1998), que determinaram coeficientes difusivos na faixa de 2,6x10⁻¹⁰ a 6,8x10⁻¹⁰ m²/s para maçãs Golden, sendo as amostras na forma de cubos de um cm de aresta, quando desidratadas osmoticamente a 40°C com solução de sacarose de 70°Brix.

LAZARIDES e MAVROUDIS (1996) calcularam coeficientes na faixa de 0,88 a 2,14x10⁻¹⁰ m²/s para batatas desidratadas osmoticamente em temperaturas de 25 a 50°C. RODRIGUES e MAURO (2004) determinaram coeficientes difusivos de 0,779 x 10⁻¹¹ m²/s quando avaliaram as características da maçã Gala em fatias osmo-desidratadas com solução de sacarose a 50°Brix,.

GARCIA DE LA CRUZ (1998) desidratando rodela de berinjela obteve coeficientes difusivos na faixa de 0,242 a 0,321x10⁻¹⁰ m²/s, trabalhando com diferentes concentrações de cloreto de sódio e temperaturas de 25°C, 35°C e 45°C.

JENA e DAS (2005) estudando a desidratação osmótica de maçã Red delicious verificaram que com o aumento da temperatura de trabalho há tendência de aumentar o valor da difusividade efetiva. Determinaram coeficientes de difusão de 0,34x10⁻¹⁰ em média para as soluções desidratantes de sacarose (50, 60 e 70°Brix) e 0,78 a 3,46x10⁻¹⁰ para a maçã.

De acordo com TAKEUCHI, SABADINI e CUNHA (2005), a estrutura física do material tem uma grande influência no processo de difusão, assim em frutas e cereais há alta porosidade que implica em elevada difusividade da umidade e conseqüente rápido aumento da atividade de água. Dessa maneira, elevados valores de coeficiente de difusão implicariam em perda mais rápida de crocância de frutas ou cereais em meio aquoso, como leite, por exemplo.

4.6 SECAGEM CONVECTIVA

4.6.1 Cinéticas da secagem convectiva

A secagem envolve fenômenos simultâneos de transferência de calor e de massa, onde o calor é transferido para o produto e a umidade é removida na forma de vapor d'água para uma fase gasosa não-saturada (SCHULTZ, 1999; VASQUES, VALLE e VALLE, 2004).

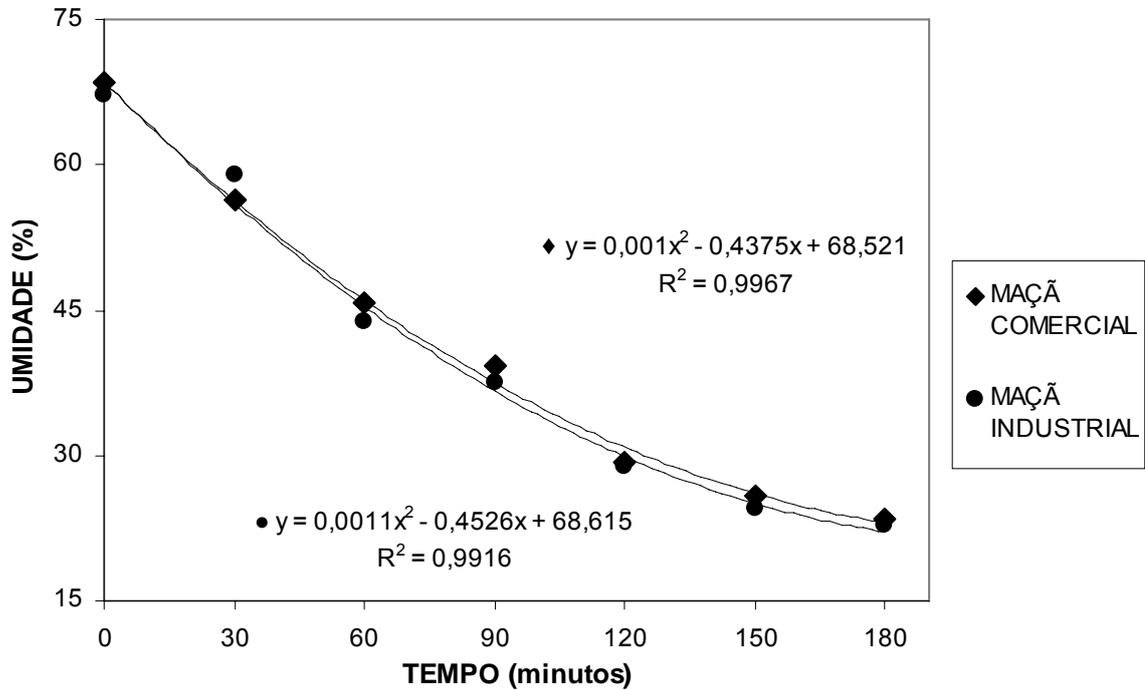
A secagem final dos cubos de maçã foi realizada em secador com fluxo de ar horizontal a 60°C e vazão média do ar de $18 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. O critério de parada de secagem foi estipulado pelo tempo necessário para o produto atingir um valor de atividade de água média na faixa de 0,5 a 0,6.

Os dados utilizados para a construção das curvas de secagem foram as médias dos valores da umidade da amostra determinados em oito repetições. As curvas de secagem estão indicadas nas Figuras 31 e 32.

A Figura 31 apresenta a curva da secagem osmo-convectiva das maçãs comercial e industrial com impregnação osmótica de sacarose.

Observando a Figura 31 verifica-se que ambas as amostras (maçãs comercial e industrial) apresentam o mesmo comportamento. Comparando os valores das umidades iniciais e finais das amostras observa-se um decréscimo médio de 34,10%. ROCHA, SILVA e FINZER (2004) alcançaram uma redução de apenas 9,75% no teor de umidade na secagem de cubos de gengibre por 180 minutos.

FIGURA 31 – CURVA DA SECAGEM OSMO-CONVECTIVA DAS MAÇÃS PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%

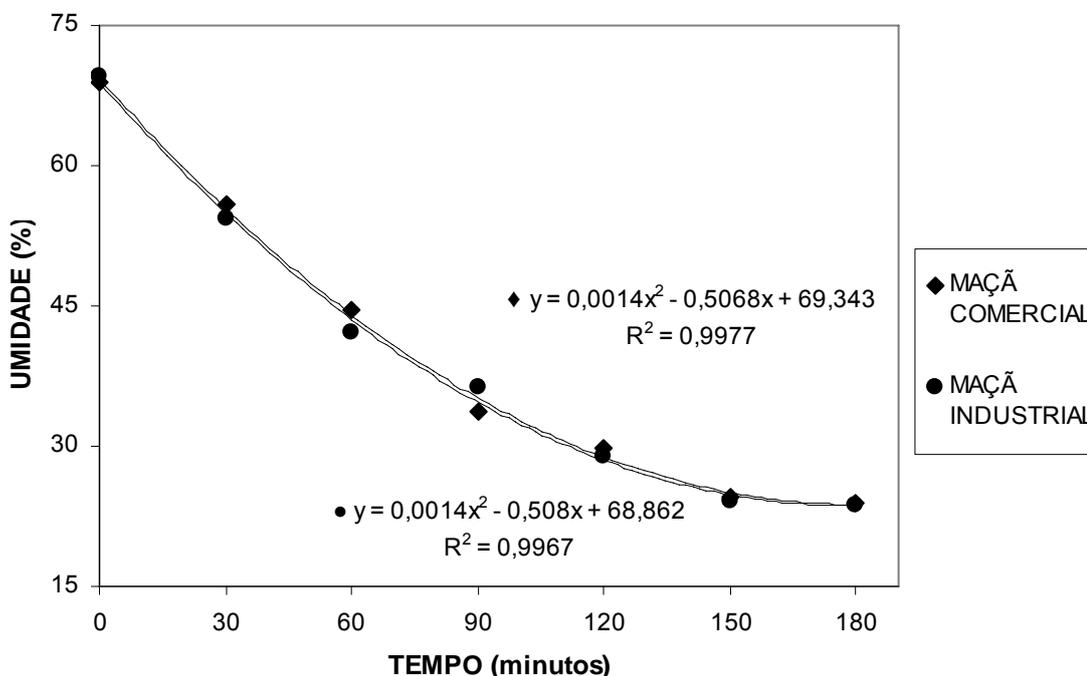


SIMAL *et al.* (1997) utilizaram cubos de maçã *in natura* e desidratados osmoticamente para modelar curvas de secagem e observaram que a temperatura influenciou a cinética de secagem e para as temperaturas acima de 60°C os cubos apresentaram um endurecimento na superfície.

KOWALSKA e LENART (2001) trabalhando com secagem de cubos de maçã, abóbora e cenoura em soluções contendo sacarose a 61,5°Brix à temperatura de 30°C, notaram que nos primeiros 30 minutos o conteúdo de umidade da maçã foi reduzido de 48%, enquanto da abóbora e da cenoura o conteúdo foi reduzido em torno de 50% e 47%, respectivamente.

A curva da secagem osmo-convectiva das maçãs comercial e industrial com impregnação osmótica de sorbitol é apresentada na Figura 32.

FIGURA 32 – CURVA DA SECAGEM OSMO-CONVECTIVA DAS MAÇÃS PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE COM SOLUÇÃO DE SORBITOL A 50%



Na Figura 32 observa-se que ambas as amostras (maçãs comercial e industrial) têm comportamentos similares. Comparando as umidades inicial e final das amostras verifica-se um decréscimo médio de 34,37%, valor próximo do encontrado para as maçãs pré-tratadas com sacarose.

MOURA (2004) secando convectivamente rodela de yacon pré-tratadas com solução de sorbitol a 30°Brix, verificou que o tempo de secagem convectiva foi menor para as fatias pré-tratadas osmoticamente do que as amostras *in natura*. Observou também que a secagem na temperatura de 70°C retirou um maior teor de água, aproximadamente 3,7 kg água/ kgi.m.s. (quilograma de água por quilograma de massa seca inicial) e as temperaturas de 50°C e 60 °C retiraram respectivamente 2,8 e 3,0 kg água/ kg.m.s. Com relação ao tempo de secagem a temperatura de 70°C retirou mais água em menor tempo enquanto as temperaturas de 50°C e 60°C alcançaram a tendência ao equilíbrio em um maior tempo com menor teor de água retirada.

4.6.2 Coeficiente efetivo de difusividade na secagem convectiva

Na Tabela 18 são apresentados os coeficientes efetivos de difusão calculados durante a secagem convectiva.

TABELA 18 – VALORES DOS D_{ef} – SECAGEM CONVECTIVA

AMOSTRA ANALISADA	Def (m ² /s)
Maçã comercial com solução de sacarose	5,139 x 10 ⁻¹⁰
Maçã industrial com solução de sacarose	5,206 x 10 ⁻¹⁰
Maçã comercial com solução de sorbitol	5,490 x 10 ⁻¹⁰
Maçã industrial com solução de sorbitol	5,666 x 10 ⁻¹⁰

Esses coeficientes efetivos de difusão variam de 5,139 a 5,666x10⁻¹⁰ m²/s. Essa variação é consideravelmente pequena uma vez que os dados se mantêm na mesma ordem de grandeza (ordem 10⁻¹⁰) e isto representa uma boa relação entre os resultados. Esses dados estão próximos do alcançado por SIMAL *et al.* (1997) para cubos de maçãs secos a 60°C e osmo-desidratados a 30°C, os autores encontraram um resultado médio de difusividade efetiva de 5,40x10⁻¹⁰ m²/s.

Os resultados também estão de acordo com os obtidos por VASQUES, VALLE e VALLE (2004), que estudando a desidratação (pelo método da secagem convectiva a 60°C) de fatias de maçãs Fuji e Gala de Santa Catarina, encontraram difusividades efetivas de 7,75x10⁻¹⁰ m²/s para a maçã Fuji e 6,33x10⁻¹⁰ m²/s para a Gala. Segundo os autores ao final do processo a difusividade efetiva tende a ser maior, pois à medida que a água vai sendo removida há aumento dos espaços intercelulares, possibilitando a formação de pequenos canais de condução de vapor até a superfície do tecido vegetal.

HONORES (1995) estudando a secagem convectiva 60°C de maçãs Golden, obteve difusividades médias de 5,55x10⁻¹⁰ m²/s para a maçã em rodela, e de 8,09x10⁻¹⁰ m²/s para a geometria cúbica.

SIMAL *et al.* (1997) ainda obtiveram um coeficiente efetivo difusivo de 12,67x10⁻¹⁰ m²/s para cubos de maçã *in natura* submetidos à secagem convectiva a 60°C. Os autores relatam que houve um decréscimo de 38-64% na difusividade efetiva entre os tempos de 30 e 180 minutos do processo.

ALVES (2003) diz que o aumento da temperatura favorece a transferência de massa aumentando assim a difusividade efetiva.

TAKEUCHI, SABADINI e CUNHA (2005), analisaram os coeficientes de difusão em cereal e leite, e verificaram que a porosidade da amostra não é a única responsável pelo processo de difusão, mas também a composição dessa amostra. Além disso, as condições de processamento, devido às altas temperaturas podem influenciar as características da matriz do produto e assim, afetar o processo difusivo. O processamento em baixas umidades, como a extrusão, resulta em um produto altamente higroscópico.

4.7 AVALIAÇÃO DA COR

Para avaliação da cor das amostras *in natura*, osmoticamente desidratadas e submetidas à secagem convectiva, foram utilizados os parâmetros L^* (luminosidade), a^* e b^* (cromaticidade), ΔE^* (diferença média de cor entre a fruta fresca e a processada), C^* (croma) e H^* (tom), a partir das equações 3.1, 3.2 e 3.3.

Após a desidratação osmótica, os valores da luminosidade (L^*) em relação a todos os casos foram significativamente mais baixos quando comparados aos da fruta fresca ($p < 0,05$). Ao contrário do que ocorreu para as maçãs (comercial e industrial), na desidratação osmótica de kiwis por 3,5 horas, com solução de sacarose a 62°Brix e 40°C, VIAL, GUILBERT e CUQ (1991) observaram aumento de L^* e diminuição de a^* com relação à fruta fresca.

Na Tabela 19 são apresentados os valores dos parâmetros de cor para as maçãs *in natura*, osmo-desidratadas e após a secagem convectiva.

Com relação ao parâmetro b^* a maçã comercial pré-tratada com solução de sacarose após secagem apresentou valores mais próximos à fruta fresca com grau de significância de $p < 0,05$, em relação às outras amostras. Segundo SANJINÉZ-ARGANDOÑA, NISHIYAMA e HUBINGER (2002) este fato parece estar associado ao ligeiro escurecimento químico do xarope possivelmente devido à elevação da temperatura e ao tempo de tratamento, acentuando a cor amarela da solução e influenciando diretamente o produto processado.

TABELA 19 – VALORES DOS PARÂMETROS DE COR DAS MAÇÃS *IN NATURA* E PROCESSADAS

AMOSTRA ANALISADA	L*	a*	b*	ΔE^*	C*	H*
Maçã comercial <i>in natura</i>	69,57 ^a	0,13 ^a	20,81 ^a	-	13,58 ^a	1,54 ^a
Maçã industrial <i>in natura</i>	69,91 ^a	-0,11 ^b	17,88 ^d	-	11,51 ^a	-1,56 ^c
Maçã comercial após DO com solução de sacarose	54,67 ^b	0,36 ^g	10,59 ^c	18,07 ^a	10,58 ^a	1,53 ^a
Maçã industrial após DO com solução de sacarose	57,90 ^b	-0,41 ^f	13,51 ^c	14,90 ^b	13,50 ^a	-1,54 ^c
Maçã comercial após DO com solução de sorbitol	55,89 ^b	1,42 ^d	15,05 ^c	12,80 ^b	14,98 ^a	1,47 ^b
Maçã industrial após DO com solução de sorbitol	58,30 ^b	-0,07 ^b	11,20 ^c	13,49 ^b	11,19 ^a	-1,56 ^c
Maçã comercial pré-tratada com solução de sacarose após secagem	59,85 ^c	0,83 ^c	20,46 ^a	9,75 ^c	20,44 ^b	1,53 ^a
Maçã industrial pré-tratada com solução de sacarose após secagem	60,25 ^c	-0,90 ^d	26,06 ^b	14,94 ^b	26,04 ^b	-1,53 ^c
Maçã comercial pré-tratada com solução de sorbitol após secagem	56,29 ^b	2,09 ^e	14,25 ^c	12,69 ^b	14,09 ^a	1,42 ^b
Maçã industrial pré-tratada com solução de sorbitol após secagem	58,43 ^b	-0,27 ^f	14,35 ^c	12,01 ^b	14,34 ^a	-1,55 ^c

NOTA: DO (desidratação osmótica).

Médias com letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente a $p < 0,05$.

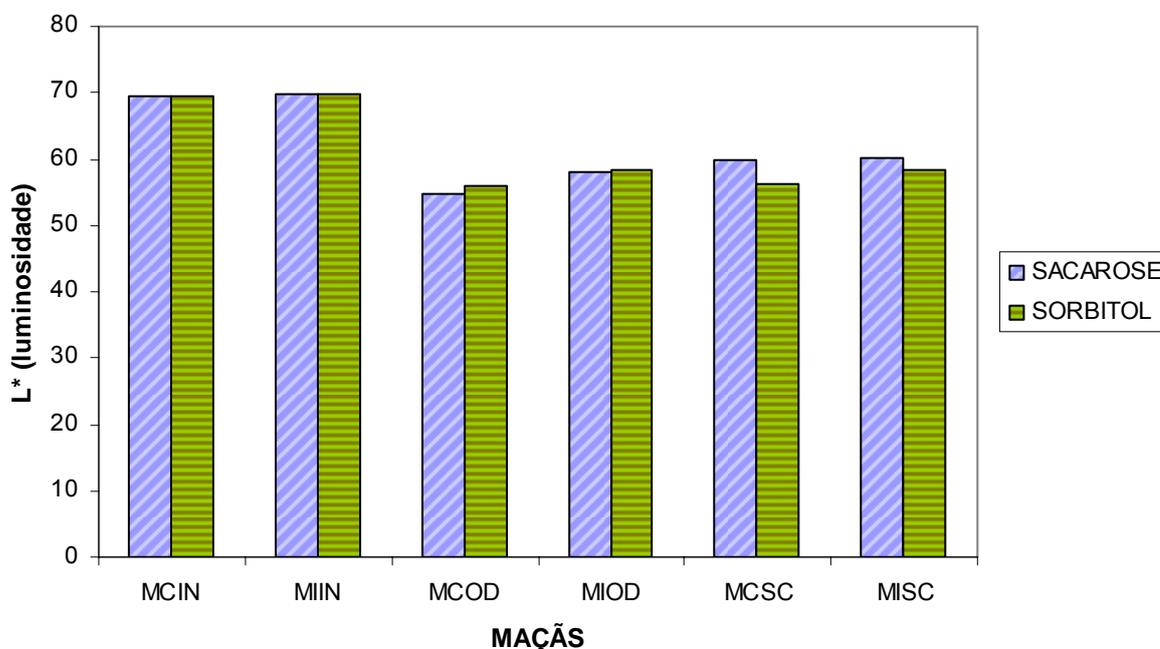
L* (luminosidade), a* (croma verde-vermelho), b* (croma azul-amarelo), ΔE^* (diferença média de cor entre a fruta fresca e a processada), C* (índice de croma), H* (tonalidade).

O índice de saturação (C*) e o ângulo de tom (H*) podem melhorar o entendimento das variações da cor encontradas nas amostras. O C* indica a variação do grau de intensidade do croma (a* e b*) da amostra tratada com relação à fresca. Observa-se na Tabela 19 que as amostras de maçãs secas e pré-tratadas com sacarose apresentaram valores diferentes de C* em relação à fruta *in natura*. Verifica-se ainda que ΔE^* (diferença média de cor entre a fruta fresca e a processada) apresenta diferença significativa a $p < 0,05$ na amostra de maçã comercial desidratada e pré-tratada com sacarose.

Por sua vez, os valores da tonalidade (H^*) das maçãs comerciais osmo-desidratadas com sacarose e após a secagem convectiva apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) com relação à fruta fresca. Os valores de H^* podem ser negativos pela influência dos valores de a^* , e também por causa da ausência da coloração vermelha na polpa da fruta.

A Figura 33 apresenta os valores do parâmetro luminosidade $L^* = 0$ (preto) e $L^* = 100$ (branco) para as maçãs *in natura* e após o processamento.

FIGURA 33 – VALORES DE L^* (LUMINOSIDADE) DAS MAÇÃS *IN NATURA* E PROCESSADAS

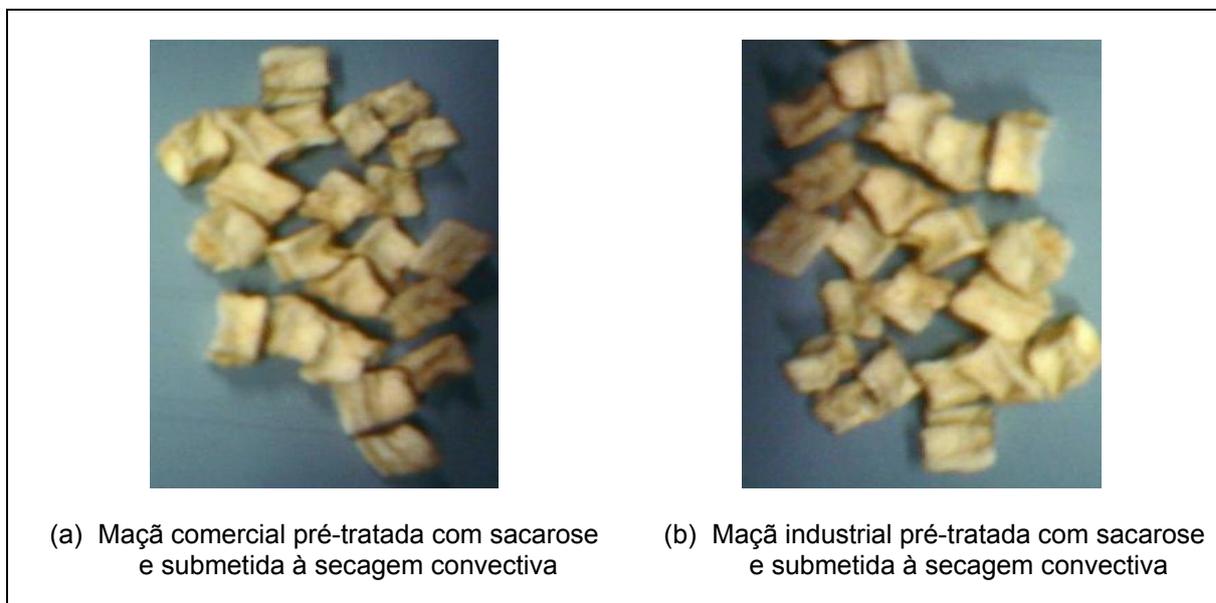


NOTA: MCIN (maçã comercial *in natura*); MIIN (maçã industrial *in natura*); MCOD (maçã comercial desidratada osmoticamente), MIOD (maçã industrial desidratada osmoticamente), MCSC (maçã comercial osmo-desidratada e seca) e MISC (maçã industrial osmo-desidratada e seca).

Observa-se na Figura 33 que no final do processo de osmo-convecção houve maior escurecimento (redução do valor L^*) em relação às maçãs *in natura*. Essas mudanças de luminosidade nas amostras podem ser explicadas pela absorção de açúcares durante a osmose e o incremento dos mesmos durante a secagem, bem como pelo efeito da temperatura que favorece processos de escurecimento.

A Figura 34 apresenta o aspecto das maçãs comercial e industrial após a desidratação osmótica com o uso da sacarose.

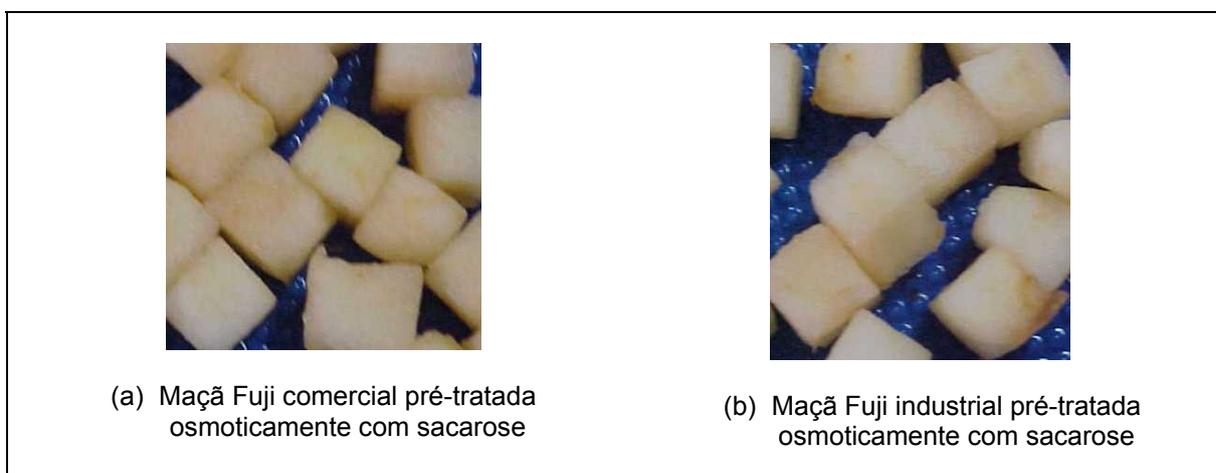
FIGURA 34 – MAÇÃS DESIDRATADAS OSMOTICAMENTE COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%: MAÇÃ COMERCIAL (a); MAÇÃ INDUSTRIAL (b)



Fonte: CORDOVA, 2005.

A Figura 35 apresenta o aspecto final após a secagem das maçãs comercial e industrial pré-tratadas com sacarose.

FIGURA 35 – MAÇÃS DESIDRATADAS OSMOTICAMENTE COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50% APÓS A SECAGEM CONVECTIVA: MAÇÃ COMERCIAL (a); MAÇÃ INDUSTRIAL (b)



Fonte: CORDOVA, 2005.

Comparando as Figuras 34 e 35 e verificando os resultados da Tabela 19, observa-se que realmente houve um escurecimento provavelmente enzimático, e que a maçã comercial apresentou um escurecimento mais significativo em ambos os processos que a industrial. Ambas as amostras sofreram encolhimento após a secagem convectiva, em torno de 25% para a maçã comercial e 30% para a industrial. LEWICKI e PORZECKA-PAWLAK (2005) verificaram um encolhimento de 30% em maçãs nos primeiros 120 minutos de processo.

4.8 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL – MICROSCOPIA

A análise estrutural foi realizada por meio do estudo das imagens geradas pelo Microscópio Eletrônico de Varredura das amostras da fruta *in natura*, desidratadas osmoticamente e após secagem convectiva.

A Figura 36 apresenta as fotos geradas pelo microscópio eletrônico de varredura para as microestruturas das maçãs comercial e industrial *in natura* e pré-tratadas osmoticamente com solução desidratante de sacarose a 50°Brix.

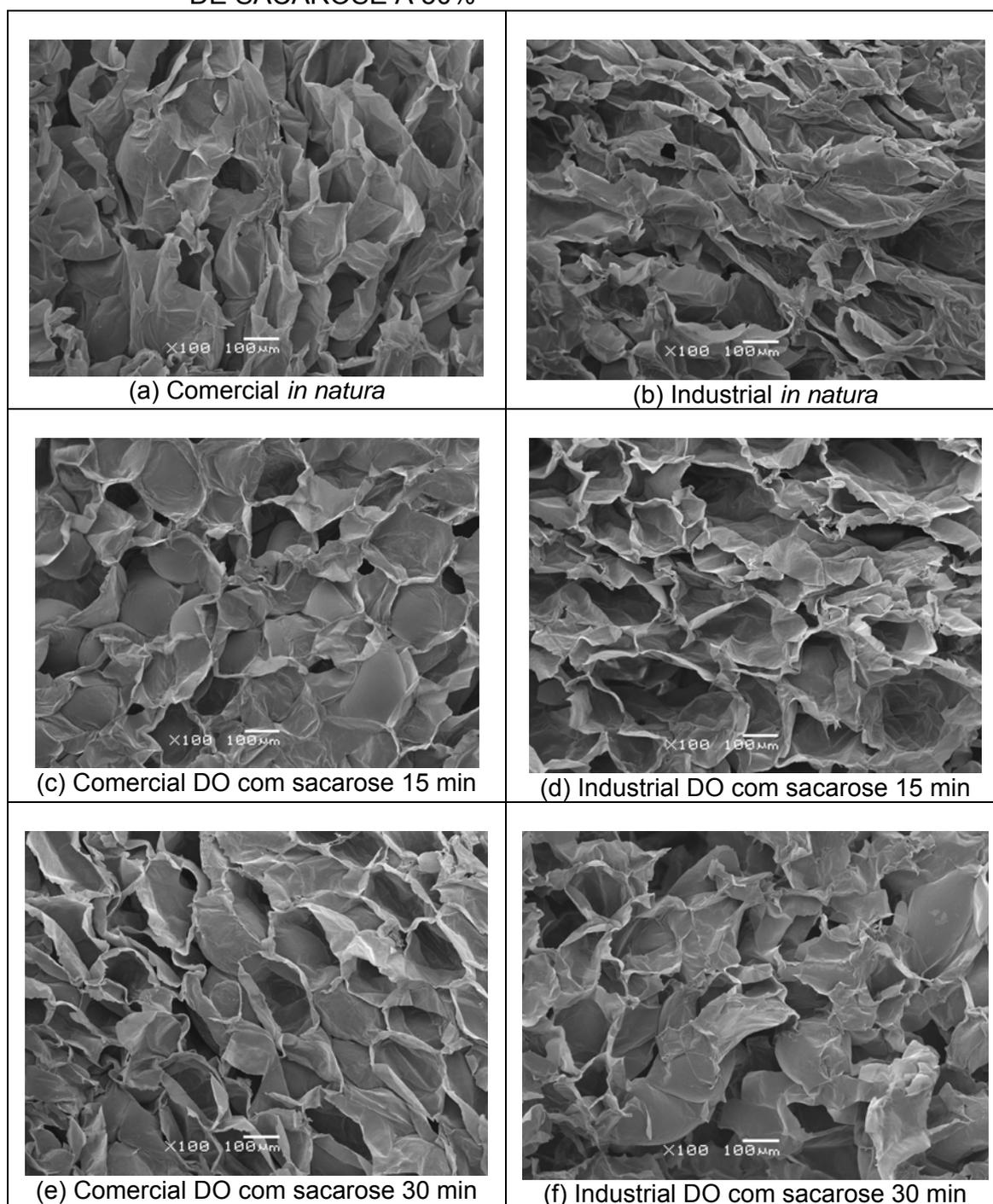
As Figuras 36 (a) e 36 (b) apresentam as estruturas das maçãs comercial e industrial, respectivamente. Onde podem ser visualizadas células com pequena separação intracelular, paredes com turgor (pressão hidrostática dentro da célula vegetal) e certo alinhamento celular. Na maçã industrial verifica-se que suas células parecem mais alongadas que as da comercial.

Da Figura 36 (c) a 36 (f) são apresentadas as estruturas celulares das maçãs comercial e industrial durante o pré-tratamento osmótico com sacarose a 50°Brix na temperatura de 30°C, em tempos de 15 e 30 minutos. Observa-se certo desalinhamento celular ao longo do tempo em relação às estruturas de ambas as amostras *in natura*.

LEWICKI e PORZECKA-PAWLAK (2005) verificaram que no pré-tratamento osmótico, devido à alta pressão osmótica da solução, há alterações na distribuição espacial dos gradientes de pressão no tecido vegetal. As células que entram em contato direto com a solução osmótica perdem mais água e liberam a pressão presente no interior da célula, diminuindo assim o turgor celular. Em relação ao encolhimento causado pela desidratação osmótica, uma parte da parede celular está

sujeita às forças de encolhimento, o restante dessa parede é impedido de encolher intensivamente pelas forças de estiramento. Essas forças são responsáveis pela deformação e enrugamento da superfície celular.

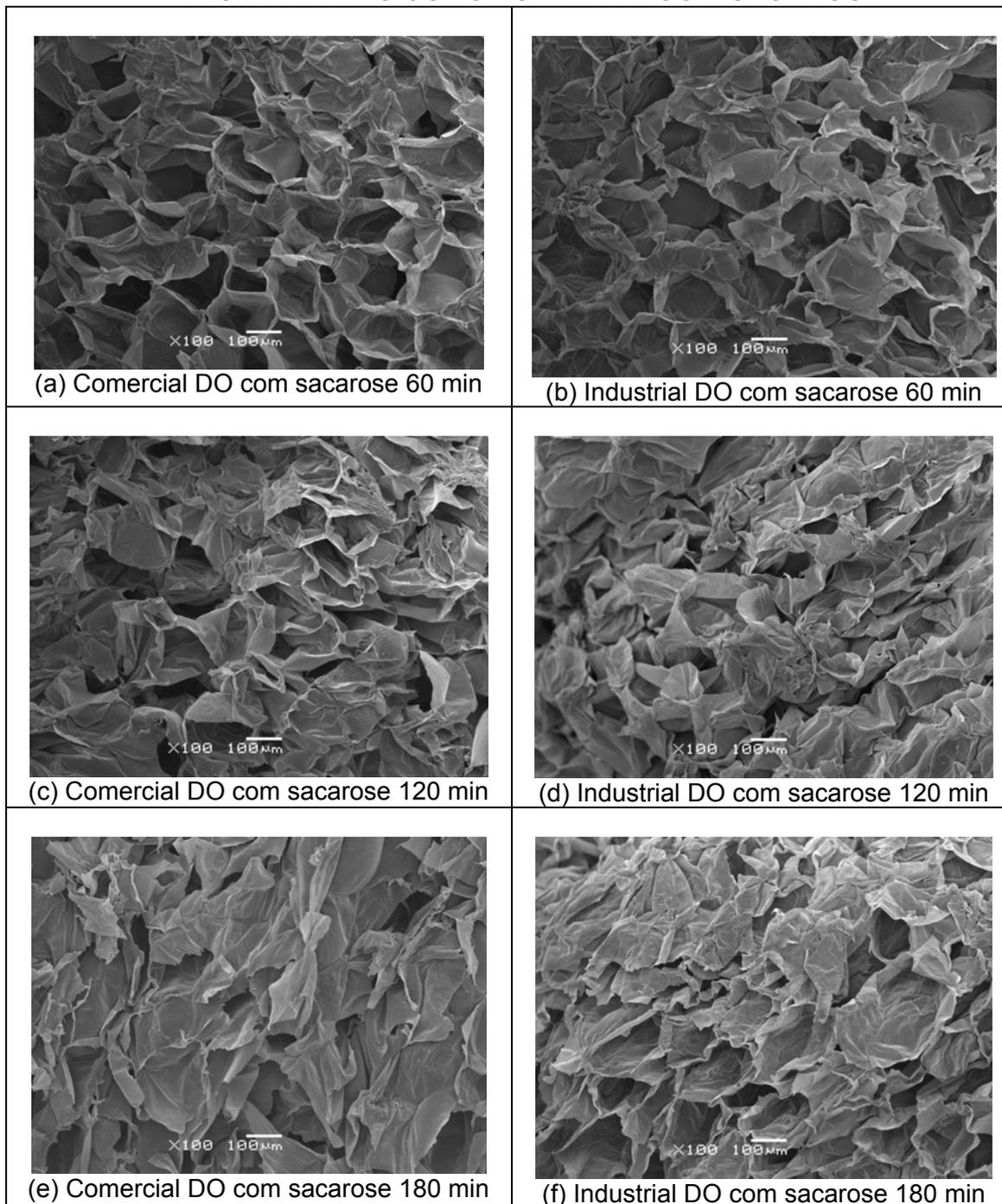
FIGURA 36 – MICROESTRUTURAS DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL *IN NATURA* E DESIDRATADA OSMOTICAMENTE COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%



NOTA: DO = desidratação osmótica. Os aumentos foram realizados com ampliação de 100 vezes

As microestruturas das maçãs pré-tratadas osmoticamente nos tempos de 60, 120 e 180 minutos de processo são apresentadas na Figura 37.

FIGURA 37 – MICROESTRUTURAS DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL DESIDRATADAS OSMOTICAMENTE COM SACAROSE



NOTA: DO = desidratação osmótica. Os aumentos foram realizados com ampliação de 100 vezes

Observa-se nas Figuras 37 (a) e 37 (b) que há diminuição do espaço intracelular em relação às maçãs *in natura*.

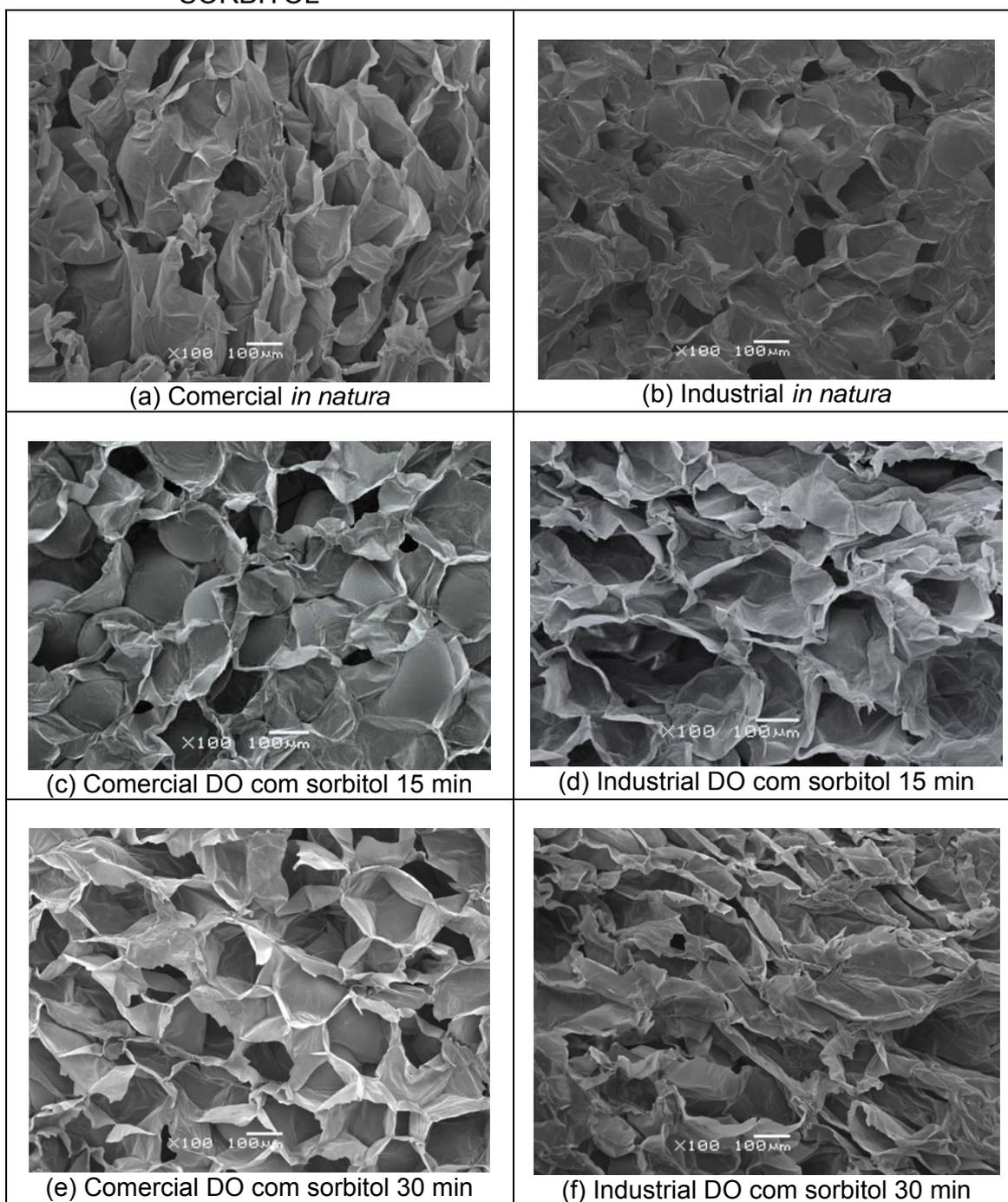
Da Figura 37 (c) a 37 (f) observa-se que houve uma ligeira ruptura da parede celular, isso é devido ao aumento do tempo em exposição à solução osmótica. As células das Figuras 37 (e) e 37 (f) mostram-se um tanto desordenadas em relação e com muito menos turgor que as das Figuras 37 (a) e 37 (b), isso é explicado pela perda de água ser elevada aos 180 minutos de processo. Analisando ainda as maçãs desidratadas osmoticamente no tempo de 180 minutos, pode-se observar que há maior enrugamento na maçã comercial que na industrial, a amostra mostra tendência de destruição celular.

LEWICKI e PORZECKA-PAWLAK (2005) observaram que as maiores alterações na transferência de massa em relação ao peso e conteúdo de matéria seca ocorriam nos primeiros 30 minutos do processo, enquanto as propriedades microscópicas como formato e tamanho das células e configuração do espaço intracelular apresentam mudanças durante todo o tempo de investigação do pré-tratamento osmótico.

NIETO *et al.* (2004) comparando fatias de maçãs desidratadas osmoticamente com solução de 25% de glicose com fatias da fruta *in natura*, verificaram que a amostra *in natura* apresenta células túrgidas, espaços intracelulares distintos e estrutura da parede celular aparentemente consistente. As amostras pré-tratadas osmoticamente apresentaram colapso gradativo.

A Figura 38 ilustra as microestruturas das maçãs *in natura* e pré-tratadas osmoticamente com sorbitol a 41°Brix e 30°C.

FIGURA 38 – MICROESTRUTURAS DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL *IN NATURA* E DESIDRATADA OSMOTICAMENTE COM SORBITOL



NOTA: DO = desidratação osmótica. Os aumentos foram realizados com ampliação de 100 vezes

Da Figura 38 (c) a 38 (f) observa-se desordem celular na microestrutura de ambas as amostras. Porém na Figura 38 (f) observa-se que há grande redução do turgor das células, ou seja, há evidência da retirada de água e diminuição dos espaços intracelulares.

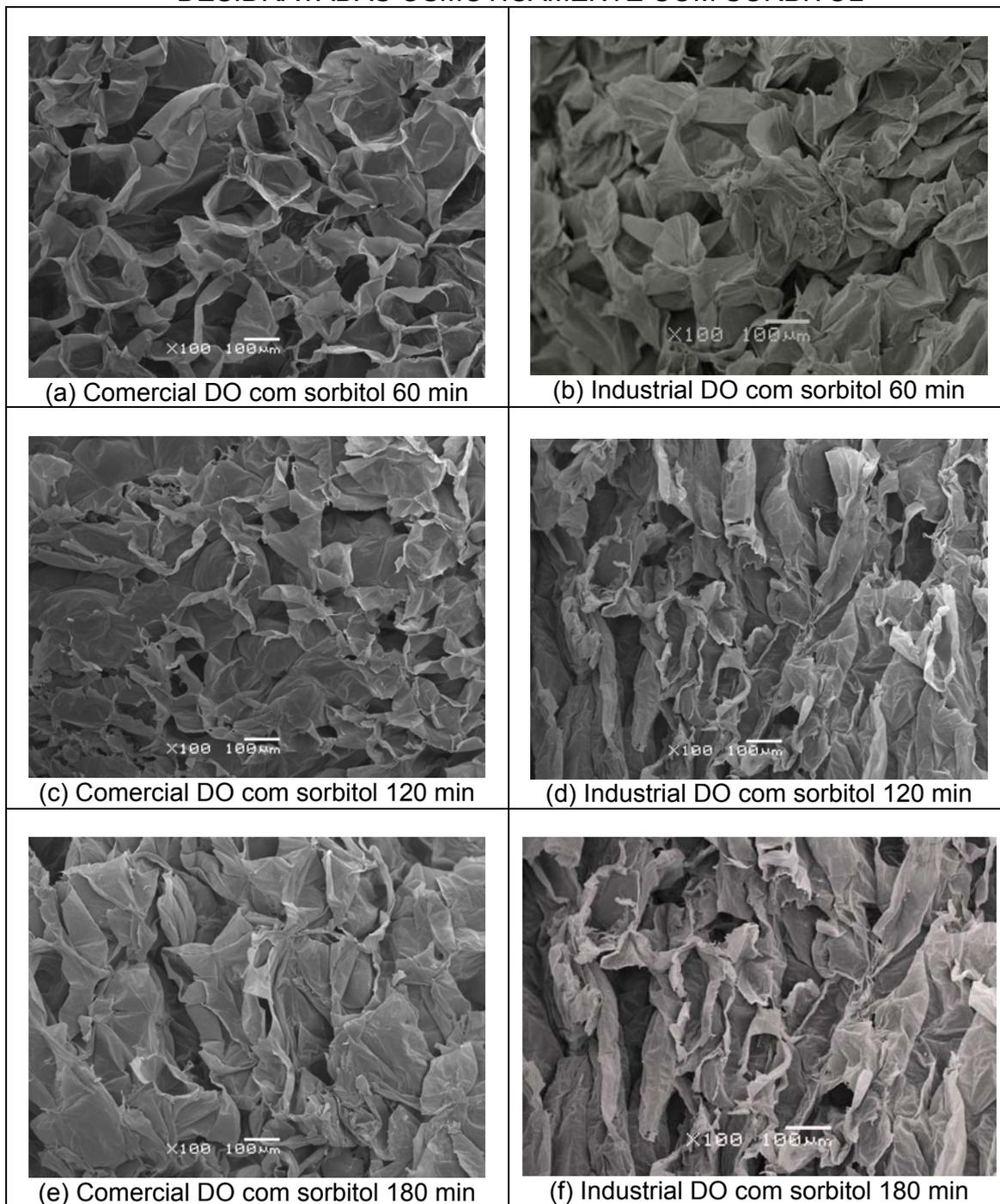
Estudando a microestrutura do mamão formosa desidratado osmoticamente, ANTONIO (2002) observou que mesmo utilizando baixas temperaturas e baixas concentrações de sacarose no pré-tratamento houve grande modificação na estrutura celular dessa fruta. E já nos primeiros momentos da desidratação osmótica as paredes celulares apresentavam-se fragilizadas e os espaços intracelulares diminuindo ao longo do processamento.

NIETO *et al.* (2004) verificaram que muitos aspectos da estrutura celular são afetados durante a desidratação osmótica, como alteração da parede celular, ruptura da lamela média, encolhimento celular, entre outras mudanças. Essas alterações podem afetar a permeabilidade da membrana, podendo influenciar nas propriedades de transporte do soluto durante o processo.

A Figura 39 apresenta as microestruturas das maçãs comercial e industrial pré-tratadas osmoticamente com sorbitol nos tempos de 60, 120 e 180 minutos.

Analisando as Figuras 39 de 39 (a) a 39 (f) observa-se que houve maior dano celular nas amostras de maçã industrial, sendo mais evidente nas Figuras 39 (d) e 39 (f). Há grande redução nos espaços intracelulares e presença de enrugamento no tecido vegetal.

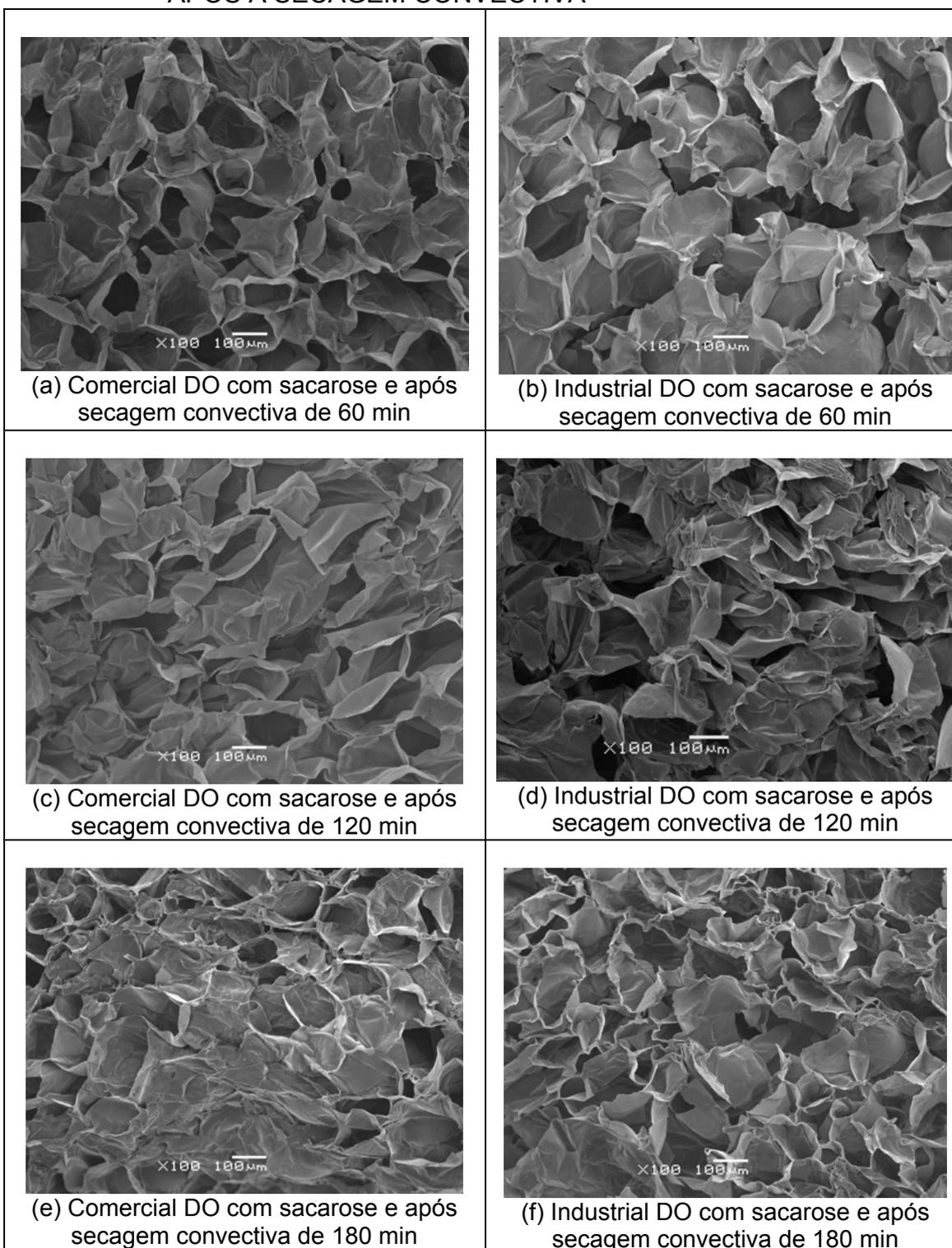
FIGURA 39 – MICROESTRUTURAS DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL DESIDRATADAS OSMOTICAMENTE COM SORBITOL



NOTA: DO = desidratação osmótica. Os aumentos foram realizados com ampliação de 100 vezes

As microestruturas das maçãs pré-tratadas osmoticamente com sacarose e submetidas a posterior secagem são apresentadas na Figura 40.

FIGURA 40 – MICROESTRUTURAS DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE COM SACAROSE E APÓS A SECAGEM CONVECTIVA



NOTA: DO = desidratação osmótica. Os aumentos foram realizados com ampliação de 100 vezes

Observando as Figuras 40 (a) a 40 (f) observa-se que houve uma redução dos espaços intracelulares. Porém não houve alterações profundas quanto à microestrutura celular nas amostras. Ocorreu uma diminuição gradativa no turgor das células vegetais, aparentando um murchamento das mesmas, explicando assim a retirada de água que o processo de secagem proporciona. Assim as células apresentam paredes corrugadas (com enrugamento) e não há uniformidade no tamanho dessas células.

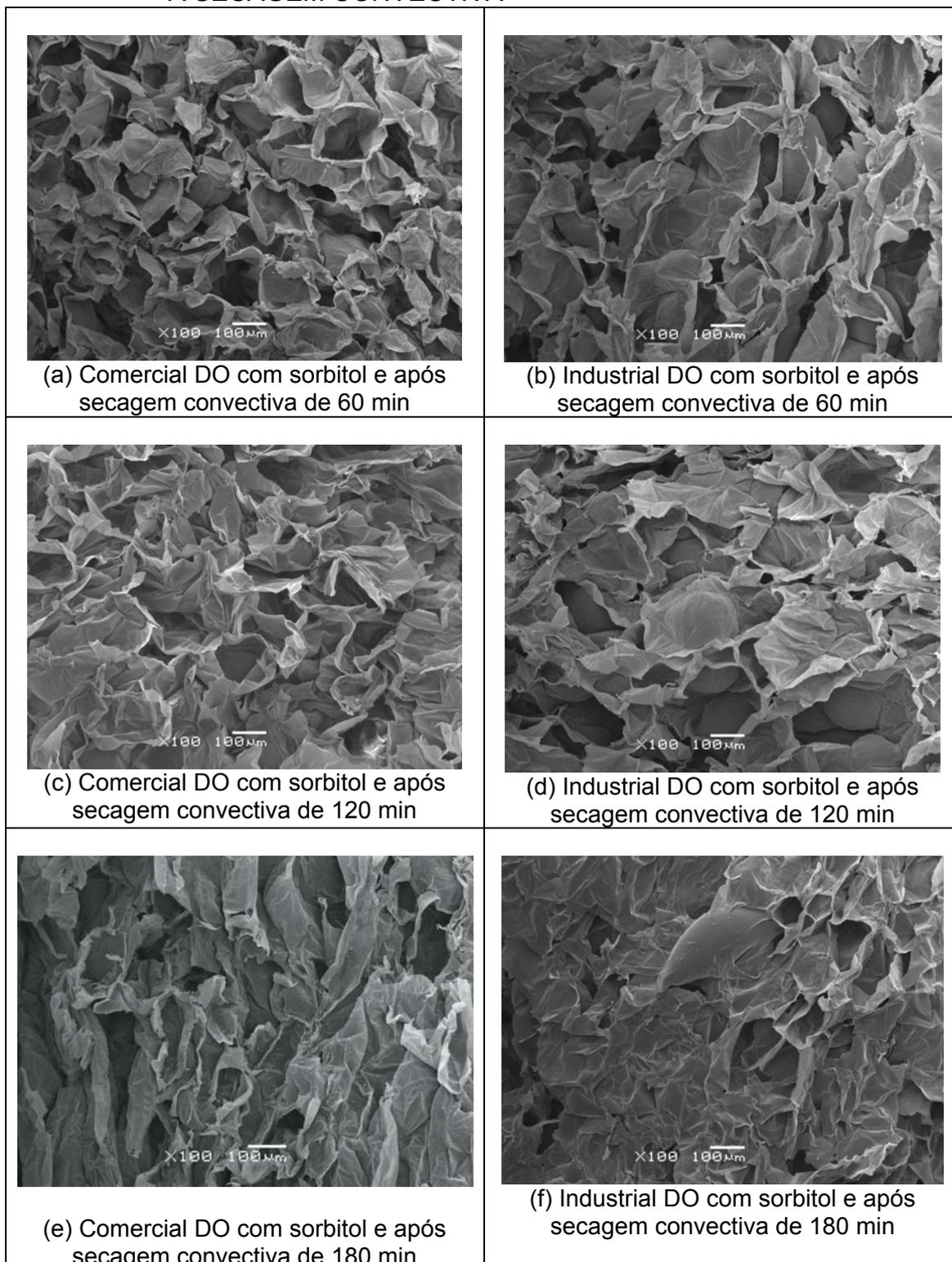
Analisando ainda a Figura 40 verifica-se, devido ao aspecto do parênquima (parênquima é o tecido vegetal composto de células com parede fina que usualmente deixa espaços intercelulares entre elas), que houve encolhimento gradativo ao longo do tempo de processo da parede celular. Observa-se também que ocorreu a plasmólise (colapso dos vacúolos, ou seja, colapso das vesículas preenchidas com a seiva vegetal), isto é, colapso da célula vegetal, devido a grande redução do espaço intracelular.

LEWICKI e PORZECKA-PAWLAK (2005) verificando o comportamento do tecido de maçãs, encontraram alterações na aparência e na configuração da periferia do parênquima celular e correlacionaram isto até os 120 minutos do processo osmótico. Aos 180 minutos houve um aumento substancial dos espaços intracelulares, porém diminuição do número desses espaços. Isso provavelmente ocorreu porque algumas células se separaram, ou seja, houve ruptura da lamela média que dividia uma célula da outra.

Assim um processo prolongado de desidratação osmótica pode desintegrar o tecido vegetal e destruí-lo se esse processo se estender excessivamente, podendo trazer conseqüências como alterações químicas e enfraquecer a lamela média a ponto de favorecer um estiramento que possivelmente romperia essa estrutura extravasando seu interior celular.

A Figura 41 ilustra as microestruturas das maçãs pré-tratadas osmoticamente com sorbitol após a secagem convectiva.

FIGURA 41 – MICROESTRUTURAS DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE COM SORBITOL E APÓS A SECAGEM CONVECTIVA



NOTA: DO = desidratação osmótica. Os aumentos foram realizados com ampliação de 100 vezes

Analisando a Figura 41 de (a) a 41 (f), observa-se que houve uma elevada redução dos espaços intracelulares e no intervalo de tempo de 120 minutos e no produto final (180 minutos) houve grandes alterações principalmente na maçã industrial, sendo uma dessas modificações a perda da parede celular, devido à exposição em tempo demasiado à solução de sorbitol.

A solução desidratante de sorbitol conseguiu extrair muita água do interior das células, entretanto em algumas partes da amostra houve ruptura da membrana celular. Assim essa diminuição do turgor no interior celular desse tecido vegetal confirma os dados de transferência de massa obtidos no estudo da desidratação osmótica, onde há um menor ganho de sólidos em relação à tendência de maior perda de água.

4.9 AVALIAÇÃO SENSORIAL

Após avaliar microbiologicamente o produto final procedeu-se então a análise sensorial como descrita no item 3.2.8. Sendo que para a realização dos testes, as posições das amostras foram casualizadas entre os julgadores, onde as amostras foram codificadas com números de três dígitos aleatórios. As fichas utilizadas na análise sensorial encontram-se nos APÊNDICES.

4.9.1. Teste de preferência

Realizou-se teste de preferência (com utilização de escala hedônica estruturada de 1 a 9) para as maçãs comercial e industrial pré-tratadas osmoticamente com sacarose e com sorbitol, e submetidas à secagem convectiva. Esse teste foi realizado para averiguar o quanto esses produtos foram apreciados pelos consumidores.

Os dados do teste de preferência submetidos à análise de variância (ANOVA), a partir dos dados fornecidos pelos provadores encontram-se na Tabela 20, onde é possível observar que há diferença significativa em relação ao teste de preferência em relação ao sabor das maçãs obtidas por secagem osmo-convectiva, entre as amostras, sendo o valor de $p=0,05$ (ao nível de 5% de significância). Como

o teste de F mostrou que pelo menos uma amostra é diferente estatisticamente, o teste de Tukey foi aplicado para verificar qual a amostra que difere estatisticamente.

TABELA 20 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA APLICADA AOS RESULTADOS DO TESTE DE PREFERÊNCIA DO SABOR DAS MAÇÃS DESIDRATADAS POR SECAGEM OSMO-CONVECTIVA

CV	GL	SQ	QM	F	F TABELADO (p<0,05)
Amostra	3	992,53	330,85	122,43*	2,80
Provador	49	195,12	3,98	1,47 ^{ns}	1,60
Resíduo	147	397,21	2,70	-	-
Total	199	1584,87	-	-	-

NOTA: * – significativo ao nível de 5%; ns – não significativo. CV (causas de variação); GL (graus de liberdade); SQ (soma dos quadrados); QM (quadrado médio).

Na Tabela 21 são indicadas as médias das notas atribuídas pelos julgadores às amostras pré-tratadas osmoticamente e submetidas à secagem convectiva.

TABELA 21 – MÉDIAS DAS NOTAS PARA O TESTE DE PREFERÊNCIA DO SABOR DAS MAÇÃS DESIDRATADAS POR SECAGEM OSMO-CONVECTIVA

AMOSTRAS	MÉDIAS
341	7,20 ^a (gostei moderadamente)
458	6,90 ^a (gostei ligeiramente)
526	2,56 ^b (desgostei muito)
679	2,64 ^b (desgostei muito)

NOTA: Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ao nível de significância de 5%. 341 (maçã comercial osmoticamente desidratada com sacarose); 458 (maçã industrial osmoticamente desidratada com sacarose); 526 (maçã comercial osmoticamente desidratada com sorbitol); 679 (maçã comercial osmoticamente desidratada com sorbitol).

Observa-se na Tabela 21 que as amostras pré-tratadas com sorbitol diferem significativamente daquelas tratadas com solução de sacarose a 50°Brix, porém não diferem estatisticamente entre si. Com base nesses dados admitiram-se como produtos finais apenas as maçãs pré-tratadas osmoticamente com sacarose, pois as notas atribuídas àquelas pré-tratadas com sorbitol são relativamente baixas em média 58% das notas foram abaixo de três para as maçãs desidratadas com solução de sorbitol a 50%, enfatizando que não houve boa aceitação do sorbitol como

agente desidratante na análise sensorial. Verifica-se ainda que em média 62% das notas foram acima de sete, para as maçãs desidratadas com solução de sacarose a 50%.

SANTOS (2003) formulando um estruturado de manga (produto pré-tratado osmoticamente e com posterior secagem) obteve 87,31% de aceitação do produto, resultado alcançado por meio de análise sensorial, onde a autora aplicou teste de aceitação com o uso de escalas hedônicas.

4.9.2. Teste de perfil de características

O teste de perfil de característica foi realizado com uma escala de cinco pontos, visando avaliar o perfil das amostras, sendo os atributos escolhidos aparência, cor, odor, sabor e textura.

As notas atribuídas das características do perfil sensorial das maçãs pré-tratadas osmoticamente e com posterior secagem convectiva estão apresentadas na Tabela 22.

TABELA 22 – MÉDIAS OBTIDAS PELOS JULGADORES NAS MAÇÃS DESIDRATADAS POR SECAGEM OSMO-CONVECTIVA NO TESTE DE PERFIL DE CARACTERÍSTICAS

ATRIBUTOS SENSORIAIS	341	458	526	679
Aparência	4,06 ^a	4,02 ^a	4,04 ^a	4,00 ^a
Cor	3,58 ^a	3,54 ^a	3,64 ^a	3,56 ^a
Odor	3,08 ^a	3,02 ^a	3,00 ^a	3,04 ^a
Sabor	4,16 ^a	4,10 ^a	1,82 ^b	1,78 ^b
Textura	3,34 ^a	3,26 ^a	2,96 ^b	2,90 ^b

NOTA: Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa ao nível de significância de 5% (Teste de Tukey). 341 (maçã comercial osmoticamente desidratada com sacarose); 458 (maçã industrial osmoticamente desidratada com sacarose); 526 (maçã comercial osmoticamente desidratada com sorbitol); 679 (maçã comercial osmoticamente desidratada com sorbitol).

Observa-se na Tabela 22 que as médias das notas atribuídas às características de aparência, cor e odor não apresentaram diferença significativa.

Entretanto nos quesitos sabor e textura as maçãs pré-tratadas com sacarose diferiram significativamente ao nível de 5% daquelas tratadas com sorbitol. Pelas notas atribuídas percebe-se que houve melhor aceitação das maçãs desidratadas osmoticamente com sacarose quanto à textura e ao sabor.

Com base nesses resultados e nos obtidos no teste de preferência, neste estudo em questão, verificou-se que as amostras pré-tratadas com sorbitol apresentaram sabor residual, o qual diminui a aceitabilidade do produto pelo consumidor.

ALVES (2003) estudando a aceitação de acerolas desidratadas osmoticamente com soluções binárias (água + açúcar) e ternárias (água + açúcar + sal), obteve notas iguais ou superiores a cinco para o processo com solução binária. Porém as amostras pré-tratadas com solução ternária não apresentaram boa aceitação, uma vez que o sal deixa um efeito residual no produto final.

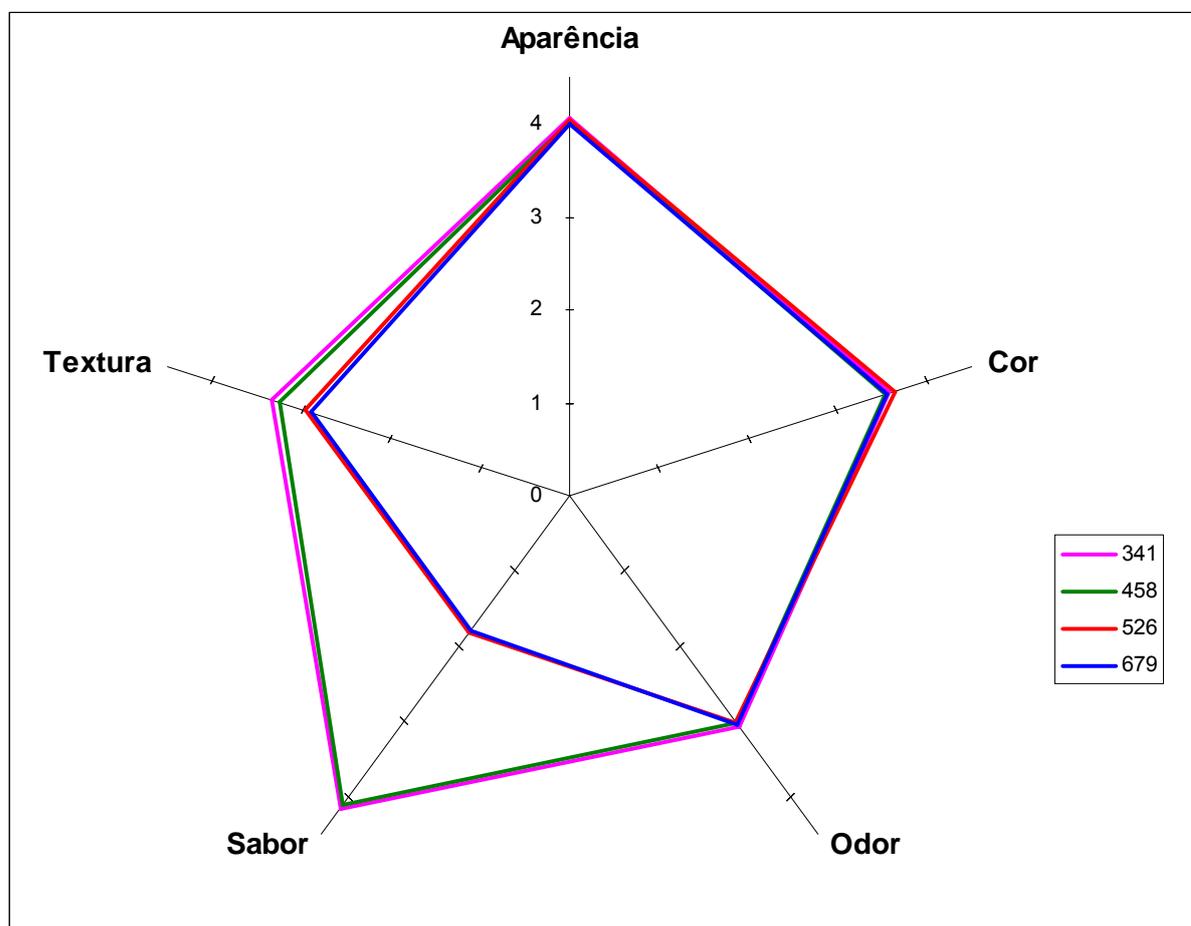
O resultado do teste de perfil de característica para os produtos finais encontra-se ilustrado na Figura 42.

No teste de perfil de característica utilizou-se uma escala onde de 1 a 2,9 considera-se um padrão inaceitável de qualidade, de 3 a 3,9 padrão aceitável e de 4 a 5 padrão excelente de qualidade.

Assim analisando a Figura 42 pode-se observar que os atributos sabor e textura influenciaram no perfil sensorial dos produtos finais. Isso pode ser explicado pelo uso de sorbitol como agente desidratante, que afeta intensivamente o sabor na maçã desidratada, fazendo com que o consumidor aceite menos ou até mesmo rejeite esse produto.

No quesito textura, há grande influência no tecido vegetal da maçã *in natura*, em especial da maçã industrial. Sendo que quanto mais firme for a maçã melhor será a textura após o processamento.

FIGURA 42 – PERFIL SENSORIAL DAS MAÇÃS COMERCIAL E INDUSTRIAL PRÉ-TRATADAS OSMOTICAMENTE E SUBMETIDAS À SECAGEM CONVECTIVA



NOTA: 341 (maçã comercial osmoticamente desidratada com sacarose); 458 (maçã industrial osmoticamente desidratada com sacarose); 526 (maçã comercial osmoticamente desidratada com sorbitol); 679 (maçã industrial osmoticamente desidratada com sorbitol).

Quanto aos percentuais de notas “5” atribuídas aos quesitos analisados, houve 50% de notas “5” para a aparência da amostra 526, 34% para ambas as amostras 526 e 679 no item cor, 14% para as amostras 341 e 526 para odor, 38% das notas máximas (cinco) para o sabor da amostra 341 e, 30% para a textura das amostras 341 e 458. Analisando essas percentagens verifica-se que a amostra 341 atingiu os maiores percentuais para número de notas máximas, e embora não tendo boa aceitabilidade a amostra 526 alcançou bons índices de notas máximas, sendo que a amostra 526 se destacou nos quesitos aparência, cor e odor.

AZEREDO e JARDINE (2000) utilizando o pré-tratamento osmótico aplicado à tecnologia de métodos combinados, obtiveram abacaxi desidratado de boa qualidade, sendo esses bem aceitos sensorialmente.

Desidratando maçãs com soluções ternárias (água + açúcar + sal), SACCHETTI, GIANOTTI e DALLA ROSA (2001) conseguiram uma boa aceitabilidade para o produto resultante desse processo. Relatam que isso foi possível devido à utilização de altas concentrações de açúcar (sacarose) não permitindo que o sal (cloreto de sódio) evidenciasse seu efeito residual.

PEREIRA *et al.* (2003) relataram que a análise sensorial das goiabas mostrou que as características de aroma, textura e aparência da amostra osmoticamente desidratadas se apresentaram um pouco inferior em relação à amostra *in natura* (goiaba variedade Paluma). O sabor, no entanto, mostrou-se superior ao da goiaba fresca e os outros atributos (impressão global e cor) permaneceram inalterados após o tratamento osmótico.

VASQUES, VALLE e VALLE (2004) analisaram sensorialmente duas variedades de maçãs (Fuji e Gala) pré-tratadas osmoticamente com sacarose e desidratadas por secagem convectiva. Nessa análise, os autores alcançaram um índice de aprovação de 79% para as fatias desidratadas de maçã Gala, enquanto para a maçã Fuji obtiveram uma aceitação de 83%. Observaram, ainda, que para ambas as cultivares o parâmetro decisivo na escolha do produto foi o paladar, assim o sabor teve predominância sobre os outros fatores.

4.9.3. Teste de atitude

Para avaliar a intenção de consumo das amostras de maçãs comercial e industrial desidratadas por secagem osmo-convectiva, aplicou-se o teste de atitude com escala estrutura de sete pontos.

As médias das notas do teste de preferência relatadas pelos julgadores em relação às amostras estão apresentadas na Tabela 23.

TABELA 23 – MÉDIAS DAS NOTAS PARA O TESTE DE ATITUDE DA INTENÇÃO DE CONSUMO DAS MAÇÃS OBTIDAS POR SECAGEM OSMO-CONVECTIVA

AMOSTRAS	MÉDIAS
341	6,36 (comeria muito frequentemente)
458	6,12 (comeria muito frequentemente)
526	2,68 (comeria muito raramente)
679	2,76 (comeria muito raramente)

NOTA: 341 (maçã comercial osmoticamente desidratada com sacarose); 458 (maçã industrial osmoticamente desidratada com sacarose); 526 (maçã comercial osmoticamente desidratada com sorbitol); 679 (maçã comercial osmoticamente desidratada com sorbitol).

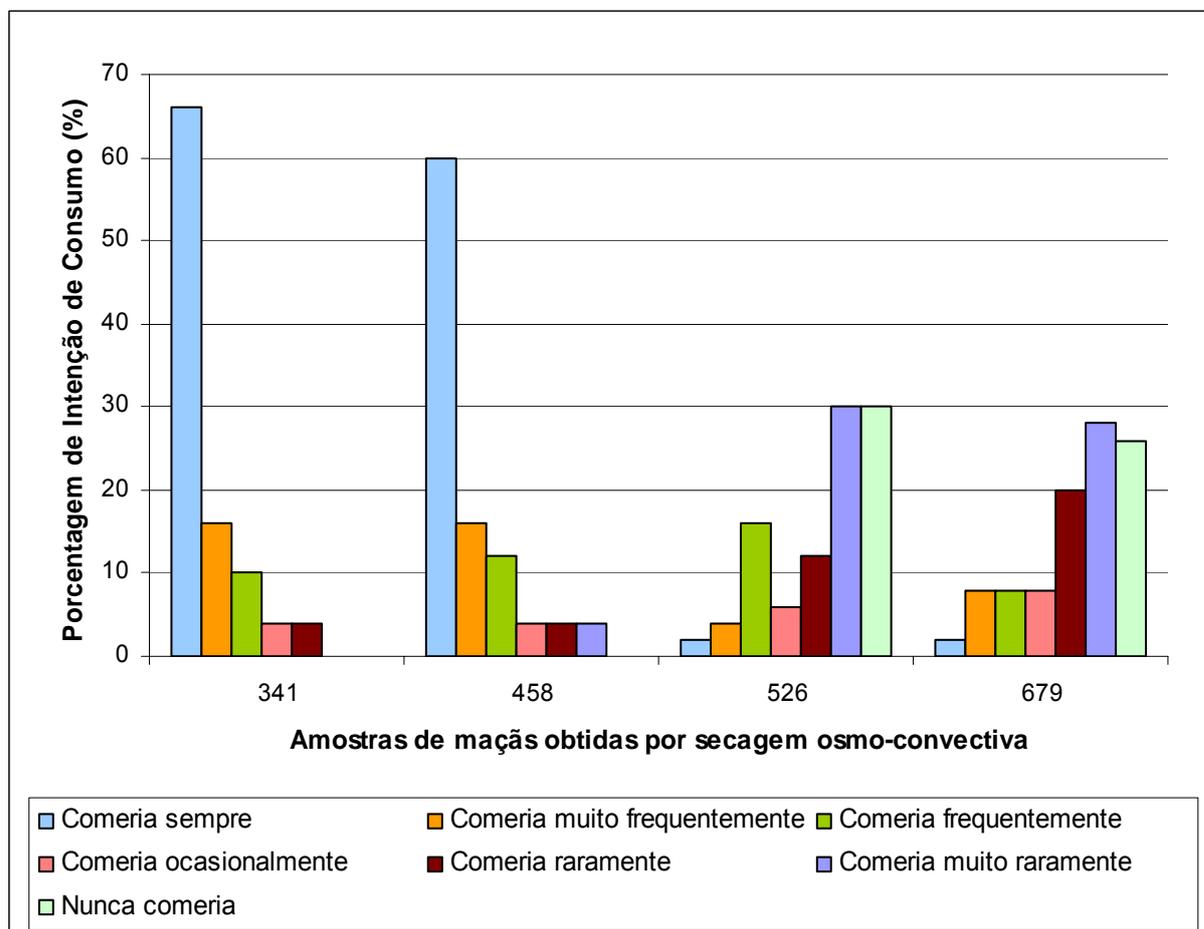
Observa-se na Tabela 23, que as amostras desidratadas osmoticamente com solução desidratante de sorbitol a 50% apresentam médias inferiores a três. Desse modo, como já foi verificado no Teste de Preferência (item 5.9.1) as maçãs pré-tratadas com sorbitol não foram bem aceitas. Indicando que o uso do sorbitol nesse caso não foi aprovado pelo grupo de julgadores.

As porcentagens de intenção de consumo foram elevadas para as amostras de maçãs pré-tratadas com sacarose, em média 66% (para a maçã comercial) e 60% (para a industrial) dos julgadores disseram que comeriam sempre o produto. Entretanto para as amostras desidratadas osmoticamente com sorbitol houve rejeição por parte dos julgadores, pois os índices de provável consumo foram: 30% comeriam muito raramente e também 30% dos 50 provadores nunca comeriam a maçã comercial pré-tratada com sorbitol. E 28% dos julgadores comeriam muito raramente, e 26% nunca comeriam a maçã industrial desidratada osmoticamente com sorbitol.

TREPTOW, QUEIROZ e ANTUNES (1998) verificando a preferência e a aceitação de fatias desidratadas de maçãs, relatam que o sabor foi registrado como fator decisivo na escolha do consumidor. Os outros atributos praticamente não influenciaram nesse estudo com exceção da textura que obteve um índice de 26% para aceitação do produto. Na análise global de aceitação a cultivar Fuji recebeu um percentual de 74% indicando sua aceitação plena, enquanto somente 8% dos cem julgadores disseram que não comeriam o produto, e 18% comeriam essa maçã desidratada caso o produto encontrar-se disponível, porém não sairiam somente para comprá-la.

Os resultados do Teste de Atitude estão ilustrados na Figura 43.

FIGURA 43 – HISTOGRAMA DA FREQUÊNCIA DA INTENÇÃO DE CONSUMO DO TESTE DE PERFIL DE ATITUDE PARA AS MAÇÃS DESIDRATADAS



NOTA: 341 (maçã comercial osmoticamente desidratada com sacarose); 458 (maçã industrial osmoticamente desidratada com sacarose); 526 (maçã comercial osmoticamente desidratada com sorbitol); 679 (maçã comercial osmoticamente desidratada com sorbitol).

Observando a Figura 43 tem-se que se somadas as notas obtidas nos itens “comeria sempre”, “comeria muito frequentemente” e “comeria frequentemente”, as porcentagens ultrapassariam 92% para a amostra 1 (maçã comercial osmoticamente desidratada com solução de sacarose a 50%), 88% para a amostra 2 (maçã industrial osmoticamente desidratada com solução de sacarose a 50%), 22% para a amostra 3 (maçã comercial osmoticamente desidratada com solução de sorbitol a 50%), 18% para a amostra 4 (maçã industrial osmoticamente desidratada com solução de sorbitol a 50%). Indicando assim que se a amostra 1 ou a amostra 2

estivessem disponíveis no mercado consumidor teriam boa aceitação e bons índices de venda.

CALIARI *et al.* (2004) desidrataram osmoticamente batata *baroa* com soluções de açúcar e sal. Os pesquisadores realizaram testes sensoriais para os atributos aparência e textura, as análises dos resultados mostraram que os consumidores não detectaram diferença alguma entre o controle (amostra sem tratamento) e as amostras de batata *baroa* desidratadas osmoticamente. Já para os atributos sabor e intenção de compra foi evidenciada a preferência dos consumidores pelas amostras previamente desidratadas.

5 CONCLUSÃO

As condições estudadas na desidratação osmótica e na secagem convectiva foram eficazes na redução da umidade no produto final, correspondendo a uma redução média de 60% após a secagem.

A atividade de água reduziu em média 44% após o processamento.

Os valores médios de difusividade efetiva foram de $3,54 \times 10^{-10}$ m²/s na desidratação osmótica, e de $5,37 \times 10^{-10}$ m²/s na secagem convectiva.

Por meio dos exames de microscopia de varredura eletrônica pode-se afirmar que tanto a desidratação osmótica quanto a secagem convectiva foram eficientes. Houve alterações nas paredes celulares, porém a estrutura celular manteve-se estável.

Foi verificado o escurecimento (redução do valor de L* - luminosidade) em maior e menor grau em todas as amostras após os processos de desidratação osmótica e secagem convectiva, em relação às maçãs *in natura*.

A análise sensorial mostrou que houve preferência pelas maçãs pré-tratadas com sacarose. Quanto aos atributos analisados no perfil de características apenas o sabor e a textura apresentaram diferenças significativas.

Em relação ao teste de atitude as porcentagens de intenção de consumo foram elevadas para as amostras de maçãs pré-tratadas com sacarose, em média torno de 66% (para a maçã comercial) e 60% (para a industrial) dos julgadores disseram que comeriam sempre o produto.

A partir dos resultados obtidos constata-se que a utilização de solução de sacarose para a desidratação da maçã Fuji dos tipos comercial e industrial é eficiente na redução da atividade de água do produto e torna-o aceitável sensorialmente.

Pode-se concluir que a desidratação osmótica e a secagem convectiva permitem a obtenção de um produto capaz de agregar valor à maçã industrial, viabilizando o desenvolvimento deste processamento na região de Guarapuava, Paraná.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros sugere-se:

Testes com outros edulcorantes para o pré-tratamento osmótico, o que possibilitaria que diabéticos e pessoas em dietas restritivas de açúcar pudessem consumir a maçã osmo-desidratada.

Uso também outros agentes osmóticos, tais como xarope de milho e maltodextrina para verificar qual deles fornece melhores condições de desidratação osmótica. Outras variáveis podem ser estudadas como outras concentrações, temperaturas, geometrias das amostras, bem como diferentes tempos de trabalho.

A quantificação dos teores de açúcar pode ser feita por outro método como cromatografia ou espectrofotometria.

Utilização dos Modelos de PELEG (1988) e AZUARA, GARCIA e BERISTAIN (1996) para possível predição do comportamento experimental da desidratação osmótica tanto da maçã comercial quanto da industrial.

Aplicação da maçã osmo-desidratada em produtos de panificação, como panetones e pães doces recheados. E analisar a aceitação desses novos produtos.

Aplicação de outros métodos de secagem e estudo das cinéticas de cada método.

Estudo do pré-tratamento osmótico e secagem convectiva em outras frutas e outros vegetais.

Estudo do aproveitamento de possíveis resíduos gerados pelo processo.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Análise sensorial dos alimentos e bebidas. NBR 12806:** Terminologia. Rio de Janeiro, 1993. 8 p.

ABPM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE MAÇÃ. **Informações Estatísticas 2001.** Disponível em <<http://www.abpm.org.br>> acesso em 28 ago. 2003.

ABPM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE MAÇÃ. **Informações Estatísticas 2003.** Disponível em <<http://www.abpm.org.br>> acesso em 30 ago. 2003.

AGUILERA, J. M.; STANLEY, D. W. **Microstructural principles of food & engineering.** 1.ed. Cambridge: Elsevier Applied Science, 1990, 343 p.

ALZAMORA, S.; GERSCHENSON, L.; VIDALES, S. & NIETO, S. **Structural changes in the minimal processing of fruits: some effects of blanching and sugar impregnation.** Report of the meeting between CYTED and UNILEVER Representatives, 1997.

ALVES, D. G. **Obtenção de acerola (*Malpighia puniceifolia* L.) em passa utilizando processos combinados de desidratação osmótica e secagem.** 2003. 149p. Tese (Doutorado), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.

ANGELINI, R. **Desidratação osmótica de kiwi (*Actinidia deliciosa* L.): estudo da reutilização da solução osmótica.** 2002. 72p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.

ANTONIO, G. C. **Influência da estrutura celular e da geometria da amostra na taxa de transferência de massa do processo de desidratação osmótica de banana nanica (*Musa cavendishi*) e de mamão formosa (*Carica papaya* L.).**

2002. 105p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução CNNPA nº12, de 1978.** Disponível em <http://www.anvisa.gov.br/legisl/resol/12_78_frutas_secas.htm> Acesso em: 23 junho 2005.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução RDC nº12, de 02 de janeiro de 2001.** Disponível em <<http://www.anvisa.gov.br/legisl/resol.htm>> Acesso em: 12 outubro 2005.

ARAÚJO, E. A. F.; AZOUBEL, P. M.; EL-AQUAR, A. A.; MURR, F. E. X. Desidratação osmótica de nectarina (*Prunus persica*) em glicose de milho. In: **XV Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, 2004, Curitiba. Anais XV Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2004, p.104-111.

AZEREDO, H. M. C.; JARDINE, J. G. Desidratação osmótica de abacaxi aplicada à tecnologia de métodos combinados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.20, p. 74-82, 2000.

AZOUBEL, P. M. **Desidratação osmótica e secagem de tomate cereja (*Lycopersicon esculentum*, var. *Cerasiforme*).** 1999. 102p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.

AZUARA, E.; CORTÉS, R.; GARCIA, H. S.; SILYSTROM, M. Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 27, p. 409-418, 1992.

AZUARA, E.; GARCIA, H. S.; BERISTAIN, C. I. Effect of the centrifugal force on osmotic dehydration of potatoes and apples. **Food Research International**, v.29, n.2, 195-199, 1996.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. e VEGA-MERCADO, H. **Desidratación de alimentos**. Zaragoza: Editorial Acribia S.A., 2000.

BELITZ, H. D.; GROSCH, W. **Química de los alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1988, 813p.

BENDER, R. J. Botânica e fisiologia. In: **Manual da cultura da macieira**. Florianópolis: EMPASC, 1986. 562 p.

BERISTAIN, C. I.; AZUARA, E.; CORTÊS, R.; GARCIA, H. S. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings. **International Journal of Food Science and Technology**, v.25, p. 576-582, 1990.

BOEING, G. Aspectos econômicos da cultura da maçã. **Agroindicadores**, Florianópolis: Instituto Cepa/SC, fev. 2002. Disponível em: <http://www.icepa.com.br/agroindicadores/opiniaio/analise_maca.htm>. Acesso em: 19 mai. 2005.

BOLIN, H. R.; HUXSOLL, C. C. Storage Stability of Minimally Processed Fruit. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 13, p. 281-292, 1989.

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

BRANDELERO, R. P. H.; VIEIRA, A. P.; TELIS, V. R. N; TELIS-ROMERO, J; YAMASHITA, F. Application of edible coatings in processed pineapples products by hurdle technology: desorption isotherms and kinetics of the osmotic dehydration. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, p.285-290, 2005.

BRASIL, Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução – RDC nº12, de 02 de janeiro de 2001. Aprova regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 02 jan. 2001. Disponível em <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12_01rdc.htm> Acesso em 03 nov. 2005.

BRASIL, Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução – RDC nº360, de 23 de dezembro de 2003. Aprova regulamento técnico sobre rotulagem de alimentos embalados. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 23 dez. 2003. Disponível em <<http://www.anvisa.gov.br/alimentos/legis/especifica/regutex.htm>> Acesso em 30 dez. 2005.

BRAUN, G. Apple juice concentrate prices for the crop 2001. **Fruit Processing**, v.11, n.10, p.395-398, out. 2001.

BUENO, R. O. G. **Características de qualidade de biscoitos e barras de cereais ricos em fibra alimentar a partir de farinha de semente e polpa de nêspera**. 2005. 97p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Curitiba – PR.

CALIARI, M. SOARES, M. FERNANDES, T. N.; GONÇALVES, S. Desidratação osmótica de batata baroa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.34, p. 15-20, 2004.

CAMILO, A. P.; DENARDI, F. Efeito do carbaryl sobre o ‘russeting’ da maçã (*Malus domestica* Borkh), cultivares ‘Gala’, ‘Fuji’ e ‘Golden Delicious’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 3, p. 580-583, dez., 2001.

CÂNDIDO, L. M. B.; CAMPOS, A. M. **Alimentos para fins especiais: dietéticos**. São Paulo: Varela, 1996. 423p.

CALVO, C.; DURÁN, L. Propriedades Físicas II – Ópticas y Color. In: AGUILERA, J. M. **Temas em Tecnologia de Alimentos**, México: Ed. Instituto Politécnico Nacional, 1997, v. 1, cap. 7, p. 261-288.

COHEN, J. S.; YANG, C. S. Progress in food dehydration. **Trends in Food Science and Technology**, v. 6, p. 20-24, 1995.

CÓRDOVA, K. R. V. **Álbum de fotos** – referente à dissertação de mestrado “Desidratação osmótica e secagem convectiva de maçã Fuji comercial e industrial”. 2005.

CORNILLON, P.; SALIM, L. C. Characterization of water mobility and distribution in low and intermediate moisture food system. **Magnetic Resonance Imaging**, v.18, p. 335-341, 2000.

CRANK, J. **The mathematical of diffusion**. 2 ed., Claredon Press Oxford, 1975, 414p.

CREMASCO, M. A. **Fundamentos de transferência de massa**. Campinas:Unicamp. 2º ed. 2002. p. 252-258.

CRUESS, W. V. **Produtos industriais de frutas e hortaliças**. São Paulo: Edgard Blücher, v.II. 1973. p. 462-471.

CRUZ, G. A. **Desidratação de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Editora Globo, 1990. 208p.

CURTI, F. **Efeito da maçã Gala (*Malus domestica* Borkh) na lipidemia de ratos hipercolesterolêmicos**. 2003. 75p. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. ESALQ/USP, Piracicaba – SP.

CZELUSNIAK, C.; OLIVEIRA, M. C. S.; NOGUEIRA, A.; SILVA, N. C. C.; WOSIACKI, G. Qualidade de maçãs comerciais produzidas no Brasil: aspectos físico-químicos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.6, n.1, p. 25-31, 2003.

EIROA, U. M. N. Atividade de água: influência sobre o desenvolvimento de microrganismos e métodos de determinação em alimentos. **Boletim do Ital**, v.18, p.353-383, 1981.

EL-AQUAR, A. A. **Avaliação do processo combinado de desidratação osmótica e secagem na qualidade de cubos de Mamão Formosa (*Carica papaya* L.)**. 2001. 113p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.

EL-BULUK, R. E.; BABIKER, E. E.; EL TINAY, A. H. Biochemical and physical changes in fruits of four guava cultivars during growth and development. **Food Chemistry**, v. 54, p. 279-282, 1995.

EMPASC – EMPRESA CATARINENSE DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual da Cultura da Macieira**. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, Florianópolis: Departamento de Informação e Documentação (DID/EMPASC), 1986, 562 p.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Faostat Database – Fruit excl. melons, total production (Mt), world, 2004**. Disponível em <<http://apps.fao.org/>> Acesso em 25 out. 2005 (a).

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Faostat Database – Apples, total production (Mt), world, 2004**. Disponível em <<http://apps.fao.org/>> Acesso em 25 out. 2005 (b).

FEDER, N.; O'BRIEN, T. P. Plant microtechnique: some principles and new methods. **American Journal Botany**, v. 55, n.1, p. 123-142, 1968.

FERREIRA, V. L. P.; ALMEIDA, T. C. A.; PETTINELLI, M. L. C.; SILVA, M. A. A. P.; CHAVES, J. B. P.; BARBOSA, E. M. M. **Análise sensorial: testes discriminativos e afetivos**. Campinas: SBCTA, 2000. 127 p. (Manual: Série Qualidade).

FITO, P.; CHIRALT, A.; BETORET, N.; GRAS, M.; CHÁFER, M.; MARTINÉS-MONZÓ, J.; ANDRÉS, A.; VIDAL, D. Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering: application in functional fresh food development. **Journal Food Engineering**, v. 49, p. 175-183, 2001.

FONTOURA, P. S. G. **Caracterização físico-química e sensorial de algumas variedades de maçãs cultivadas no Estado do Paraná para consumo “in natura” e fins tecnológicos**. 1987. 88p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Curitiba – PR.

FORNI, E.; SORMANI, A.; SCALISE; TORREGGIANI, D. The influence of sugar composition on the colour stability of osmodehydrofrozen intermediate moisture apricots. **Food Research International**, v.30, p. 87-94, 1997.

FUMAGALLI, F.; SILVEIRA, A. M. Avaliação do processo de desidratação osmótica na qualidade da pêra. . In: **XV Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, 2004, Curitiba. Anais XV Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2004, p.243-250.

GARCIA DE LA CRUZ, A. **Desidratação osmótica e secagem de beringela**. 1998. 155p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.

GOULARTE, V. D. S., ANTUNES, P. L. Caracterização físico-química de maçãs Fuji concentradas com açúcares e desidratadas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.5, p.149-151, 1999.

GOULARTE, V. D. S., ANTUNES, E. C., ANTUNES, P. L. Qualidade de maçã Fuji osmoticamente concentrada e desidratada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.20, p. 160-163, 2000.

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

HENTSCHKE, R. **Aspectos sobre classificação e comercialização de maçã no Brasil**. Florianópolis, ACARESC/Coordenação Estadual de Horticultura, 1984, 43 p.

HONORES, W. J. C. **Estudo de secagem de maçã (*Malus spp.* Variedade Golden Delicium)**. 1995. 84p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.

IAL. INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. v.1. São Paulo: IAL, 1985, 533 p.

ICEPA – CENTRO DE ESTUDOS DE SAFRAS E MERCADOS. **Maçã: produção e mercado favoráveis em 2004**. Disponível em <<http://www.icepa.com.br>> Acesso em 09 set. 2005.

JANZANTTI, N. S. I. **Composição de voláteis de maçãs (*Malus domestica*) cultivar Fuji**. II. **Efeito do processamento e do armazenamento na composição de voláteis de suco clarificado de maçãs Fuji**. 1996. 180p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.

JENA, S.; DAS, H. Modelling for moisture variation during osmo-concentration in apple and pineapple. **Journal of Food Engineering**, v.66, p. 425-432, 2005.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: Mc Graw Hill Book, 1940, 523p.

JUNQUEIRA, L. C. U.; CARNEIRO, J. **Biologia Celular**. 2.ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S. A., 1977. Cap. 12: A célula vegetal: p. 238-249.

KALÁB, M.; ALLAN-WOJTAS, P.; MILLER, S. S. Microscopy and other imaging techniques in food structure analysis. **Trends in Food Science & Technology**, v. 6, jun., 1995.

KARATHANOS, V.T. Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. **Journal of Food Engineering**, v. 39, p. 337-344, 1999.

KAYMAK-ERTEKIN, F.; SULTANOGLU, M. Modelling of mass during osmotic dehydration of apples. **Journal of Food Engineering**, v.46, p. 243-250, 2000.

KING, C. J. Rates of moisture sorption and desorption in porous dried foodstuffs. **Food Technology**, v. 22, p. 165-171, 1968.

KLUGE, R. A.; NACHTIGAL, J. C.; FACHINELLO, J. C.; BILHALVA, A. B. **Fisiologia e manejo pós-colheita de frutas de clima temperado**. 1. ed. Pelotas: Editora e Gráfica da UFPel, 1997, v.1. 163 p.

KOEHLER, H. S. **Estatística Experimental**. UFPR, Curitiba, 1999, 128 p.

KOWALSKA, H.; LENART, A. Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables. **Journal of Food Engineering**, v.49, p. 137-140, 2001.

LABUZA, T. P.; KATZ, E. E. Effect of water activity on the sensory crispness and mechanical deformation of snack food products. **Journal of Food Science**, v.46, p. 403-409, 1981.

LAZARIDES, H. N.; KATSANIDIS, E.; NICKOLAIDIS, A. Mass transfer kinetics during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake. **Journal of Food Engineering**, v.25, p. 151-166, 1995.

LAZARIDES, H. N.; MAVROUDIS, N. E. Kinetics of osmotic dehydration of a highly shrinking vegetable tissue in a salt-free medium. **Journal of Food Engineering**, v.30, p. 61-74, 1996.

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

LENART, A.; GRODECKA, E. Influence of kind of osmotic substance on the kinetics of convection drying of apples and carrots. **Food Technology Nutrition**, v.18, p.27-35, 1989.

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

LERICI, C. R.; PINNAVAIA, G.; DALLA ROSA, M.; BARTOLU, C. C. L. Osmotic Dehydration of fruit: Influence of Osmotic Agents on Drying Behavior and Product Quality. **Journal of Food Science**, v. 50, p. 1217-1219, 1985.

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

LIMA, A. S.; FIGUEIREDO, R. W.; MAIA, G. A.; LIMA, J. R.; SOUSA, P. H. M. Estudo da estabilidade de melões desidratados obtidos por desidratação osmótica seguida de secagem convencional. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.26, n.1, p. 107-109, 2004.

LOPES FILHO, J. C. **Aproveitamento da maçã industrial (*Pirus malus*, L.) da região de Guarapuava – PR para produtos alimentícios utilizando tecnologia simplificada.** 1993. 106p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Curitiba – PR.

LOZANO, J. E.; IBARZ, A. Colour changes in Concentrated Fruit Pulp during Heating at High Temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 31, p. 365-373, 1997.

MATUSKA, M.; LENART, A.; LAZARIDES, H.N. On the use of edible coatings to monitor osmotic dehydration kinetics for minimal solids uptake. **Journal of Food Engineering**, v.72, p. 85-91, 2006.

MAURO, M. A.; TAVARES, D. Q.; MENEGALLI, F. C. Behavior of plant tissue in osmotic solutions. **Journal of Food Engineering**, v.56, p. 1-5, 2003.

MAVROUDIS, N. E.; GEKAS, V.; SJÖHOLM, I. Osmotic dehydration of apples – effects of agitation and raw materials. **Journal of Food Engineering**, v.35, p.191-209, 1998.

MENDEZ, M. H. M.; DERIVI, S. C. N.; RODRIGUES, M. C. R.; FERNANDES, M. L. **Tabela de composição de alimentos: amiláceos, cereais e derivados, hortaliças e leguminosas**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense, 1995. 43.

MICHIGAN STATE UNIVERSITY, **MSTATC**, versão 2.10, East Lansing, MI, 1989, 2 disquetes, 3^{1/2} pol., MSDOS.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Normas de identidade, qualidade acondicionamento, embalagem e apresentação de maçã**. Brasília, ed. 1993, 15p.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory evaluation techniques**. Boca Raton, CRC Press, 1991, 394p.

MONTEIRO, C. L. B. **Técnicas de avaliação sensorial**. 2.ed. Curitiba: CEPPA, Universidade Federal do Paraná, 1984, 100 p.

MORENO, J.; CHIRALT, A.; ESCRICHE, I.; SERRA, J. A. Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries. **Food Research International**, v. 33, p. 609-616, 2000.

MOURA, C. P. **Aplicação de redes neuronais para a predição e otimização do processo de secagem de yacon (*Pilymnia sonchifolia*) com pré-tratamento osmótico**. 2004. 98p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Curitiba – PR.

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

NSONZI, F.; RAMASWAMY, H. S. Osmotic Dehydration Kinetics of Blueberries. **Drying Technology**, v. 16, p. 725-741, 1998.

PAES, S. S. **Estudo da impregnação a vácuo de maçãs (var. Gala)**. 2005. 86p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis – SC.

PAIVA, M. C.; MANICA, I.; FIORAVANÇO, J. C. Competição entre quatro cultivares e três seleções de goiabeira em Eldorado do Sul - RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, p.917-922, 1994.

PELEG, M. An empirical model for the description of moisture sorption curves. **Journal of Food Science**, v.53, n.4, p.1216-1217, 1219, 1988.

PEREIRA, L. M. **Acondicionamento de goiabas minimamente processadas por desidratação osmótica em embalagens sob atmosfera modificada**. 2002. 159p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.

PEREIRA, L. M.; RODRIGUES, A. C. C.; SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; JUNQUEIRA, V. C. A.; CARDELLO, H. M. A. B.; HUBINGER, M. D. Vida-de-prateleira de goiabas minimamente processadas acondicionadas em embalagens

sob atmosfera modificada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, p. 427-433, 2003.

PETRI, J. L.; DENARDI, F.; SUZUKI, A. Epagri 405-Fuji Suprema: Nova cultivar de macieira. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 10, n. 3, p. 48-50, 1997.

PHOTON, F.; AHRNÉ, L. M.; FUNEBO, T.; KIDMAN, S.; LANGTON, M. SJÖHOLM, I. Effects of combined osmotic and microwave dehydration of apple on texture, microstructure and rehydration characteristics. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v.34, p. 95-101, 2001.

PONTING, J. D. Osmotic dehydration of fruits – recent modifications and applications. **Process Biochemistry**, v.8, p. 18-20, 1973.

PONTING, J. D.; WALTERS, G. G.; FORREY, R. R.; JACKSON, R.; STANLEY, W. L. Osmotic Dehydration of Fruits. **Food Technology**, v. 10, p. 125-128, 1966.

PROS, J. S. **A maçã e a saúde**. Lisboa: Editorial Presença, 1980, 110p.

PROTZEK, E. C. **Desenvolvimento de tecnologia para o aproveitamento do bagaço de maçã na elaboração de pães e biscoitos ricos em fibra alimentar**. 1997. 94p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Curitiba – PR.

QI, H.; SHARMA, S. K.; LEMAGUER, M. Modeling Multicomponent Mass Transfer in Plant Material in Contact with Aqueous Solutions of Sucrose and Sodium Chloride during Osmotic Dehydration. **International Journal of Food Properties**, v. 2, p. 39-54, 1999.

RAOULT-WACK, A. L.; GUILBERT, S. La déshydratation osmotique ou procédé de déshydratation-imprégnation par immersion dans des solutions concentrées. **Les Cahiers de L'Ensba** 'L'eau dans les procédés de transformation et de conservation des aliments', v. 7, p. 171, 1990.

RAOULT-WACK, A. L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods, **Food Science & Technology**, v. 5, p.255-260, 1994.

RAOULT-WACK, A. L.; RIOS, G.; SAUREL, R.; GIROUX, F.; GUILBERT, S. Modeling of dewatering and impregnation soaking process (osmotic dehydration). **Food Research International**, v. 27, p. 207-209, 1994.

RASTOGI, N. K.; RAGHAVARO, K. S.; NIRANJAN, K. Mass transfer during osmotic dehydration of banana: Fickian diffusion in cylindrical configuration. **Journal of Food Engineering**, v. 34, p. 429-440, 1997.

RAVEN, P. H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. 5ed. Editora Guanabara Koogan, p.14-67, 1996.

RAVINDRA, M. R.; CHATTOPADHYAY, P. K. Optimisation of osmotic preconcentration and fluidised bed drying to produce dehydrated quick-cooking potato cubes. **Journal of Food Engineering**, v.44, p.5-11, 2000.

REPPA, A.; MANDALA, J.; KOSTAROPOULOS, A. E.; SARAVACOS, G. D. Influence of solute temperature and concentration on the combined osmotic and air drying. **Drying Technology**, v.17, p. 1449-1458, 1999.

ROCHA, G. V. M.; SILVA, A. L. A.; FINZER, J. R. D. Secagem de gengibre em geometria cúbica. **Fazu em Revista**, Faculdades Associadas de Uberaba, n.1, p. 107-109, 2004.

RODRIGUES, A. E.; MAURO, M. A. Water and sucrose diffusion coefficients in apple during osmotic dehydration. In: **14th International Drying Symposium (IDS 2004)** – Proceedings of the 14th International Drying Symposium, São Paulo, v.C, p. 2097-2104, 2004.

RODRIGUEZ, T. V.; ROJAS, A. M.; CAMPOS, C. A.; GERSCHENSON, L. N. Effect of osmotic dehydration on the quality of air-dried *Porphy*. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v.36, p. 415-422, 2003.

ROTSTEIN, E. Prediction of equilibrium and transport properties in cellular foods. **Drying'89**, Bristol: Hemisphere Publishing Corporation, p. 63-69, 1990.

SACCHETTI, G.; GIANOTTI, A.; DALLA ROSA M. Sucrose-salt combined effects on mass transfer kinetics and product acceptability – study on apple osmotic treatments. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 163-173, 2001.

SALVATORI, D.; ANDRÉS, A.; CHIRALT, A.; FITO, P. Structural and compositional profiles in osmotically dehydrated apple. **Journal of Food Science**, v.63, p. 606-610, 1998.

SANHUEZA, R. M. V. **A produção integrada de maçã no Brasil**. Disponível em <http://www.cpatsa.embrapa.br/sbpif6/arquivos_palestras/Palestra_Rosa_Sanhueza.doc> Acesso em 19 mai. 2005.

SANJINÉZ-ARGANDOÑA, E. J. **Desidratação de Goiaba (*Psidium guajava L.*) por imersão e secagem**. 1999. 102p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.

SANJINÉZ-ARGANDOÑA, E. J.; NISHIYAMA, C.; HUBINGER, M. D. Qualidade final de melão osmoticamente desidratado em soluções de sacarose com adição de ácidos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p. 1803-1810, 2002.

SANTOS, C. N. P. **Elaboração de um estruturado de polpa de manga (*Mangifera indica L. cv Tommy Atkins*) parcialmente desidratada por osmose**. Campinas, 2003. 80 p. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.

SATO, A. C. K.; CUNHA, R. L.; SANJINÉZ-ARGANDOÑA, E. J. Avaliação da cor, textura e transferência de massa durante o processamento de goiabas em calda. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.8, p. 149-156, 2005.

SCHEMIN, M. H. C. **Obtenção de pectina alimentícia a partir de bagaço de maçã**. 2003. 85p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Curitiba – PR.

SCHULTZ, E. L. **Influência das condições de secagem sobre o encolhimento e propriedades de transporte em fatias de maçã**. 1999. 113p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Química, Florianópolis – SC.

SHARMA, S. K.; SETHI, V.; MAINI, S. B. Osmotic dehydration in apple: influence of variety, location and treatment on mass transfer and quality of dried rings. **Acta Alimentaria**, v. 27, p. 245-256, 1998.

SHARMA, S. K.; MULVANEY, S. J.; RIZVI, S. H. **Food process engineering: theory and laboratory experiments**. New York: John Wiley & Sons, 2000, 348p.

SILVA, S. **Frutas no Brasil**. São Paulo. Ed. Empresa das Artes, p. 169-171. 1996.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F. A. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos**. São Paulo: Livraria Varela. 1997. 295 p.

SIMAL, S.; DEYÁ, E.; FRAU, M.; ROSSELLÓ, C. Simple modelling of air drying curves of fresh and osmotically pré-dehydrated apple cubes. **Journal of Food Engineering**, v.33, p. 139-150, 1997.

SIMAL, S.; BENEDITO, J.; SÁNCHEZ, E. S.; ROSSELLÓ, C. Use of ultrasound to increase mass transport rates during osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 36, p. 323-336, 1998.

SOUSA, P. H. M.; MAIA, G. A.; SOUZA FILHO, M. S. M.; FIGUEIREDO, R. W.; NASSU, R. T.; SOUZA NETO, M. A. Influência da concentração e da proporção fruto:xarope na desidratação osmótica de bananas processadas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, p. 126-130, dez., 2003. (a)

SOUSA, P. H. M.; MAIA, G. A.; SOUZA FILHO, M. S. M.; FIGUEIREDO, R. W.; SOUZA, A. C. R. Goiabas desidratadas osmoticamente seguidas de secagem em estufa. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabel, v.25, n.3, p. 414-416, dez., 2003. (b)

SOUTHGATE, D. A. T.; JOHNSON, J. T.; FENWICK, G. R. Valor nutritivo y salubridad de los zumos de frutas elaborados. In: ARSHURST, P. R. **Producción y Envasado de Zumos y Bebidas de Frutas sin Gas**. Zaragoza: Acribia, p. 321-348. 1995.

SOUZA NETO, M. A.; MAIA, G. A.; LIMA, J. R.; FIGUEIREDO, R. W.; SOUZA FILHO, M. S. M.; LIMA, A. S. Cinética de desidratação osmótica de manga. **Publicatio UEPG Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, v. 10(2), p. 37-44, agosto, 2004.

SOUZA NETO, M. A. **Desidratação osmótica de manga Coité com e sem utilização de vácuo com complemento de secagem em estufa**. 2002, 65p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE.

SPIAZZI, E. A.; MASCHERONI, R. H. Mas 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.

STRUMILLO, C.; KUDRA, T. **Drying: principles, applications and design**. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1986.

SZYMCZAK, J. A.; PLOCHARSKY, W. J.; KONOPACKA, D. The influence of Repeated use of Sucrose Surup on the Quality of Osmo-convectively Dried Sour Cherries. **Drying 98 – Proceedings of the 11th International Drying Symposium (IDS'98)**, v. A, p. 895-902, 1998.

TAKEUCHI, K. P.; SABADINI, E.; CUNHA, R. L. Análise das propriedades mecânicas de cereais matinais com diferentes fontes de amido durante o processo de absorção de leite. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, p. 78-85, 2005.

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.

TOGRUL, T. I.; PEHLIVAN, D. Modelling of drying of single apricot. **Journal of Food Engineering**. v.58, p.23-32, 2003.

TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**, v. 26, p. 59-68, 1993.

TORREGGIANI, D; FORNI, E; MAESTRELLI, A; QUADRI, F. Influence of osmotic dehydration on texture and pectic composition of kiwifruit slices. **Drying Technology**, v. 17, p. 1387-1397, 1999.

TORREGGIANI, D., BERTOLO, G. Osmotic pré-treatments in Fruit Processing: chemical, physical and structural effects. **Journal Food Process Eng.** V.49, p. 247-253, 2001.

TRAVAGLINI, D. A.; AGUIRRE, J. M.; SILVEIRA, E. T. Desidratação de frutas. In: **Desidratação de frutas e hortaliças – Manual Técnico**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, p. 3.1-3.40, 2001.

TREGUNNO, N. B; GOFF, H. D. Osmodehydrofreezing of apples: structural and textural effects. **Food Research International**, v.29, p. 471-479, 1996.

TREMELIN, A.; RAOULT-WACK, A. L.; LEBERT, A.; DANZART, M. Multicriteria optimization of food combining soaking prior to air drying. **Drying Technology**, v. 15, n. 9, p. 2263-2279, 1997.

TREPTOW, R. O.; QUEIROZ, M. I.; ANTUNES, P. L. Preferência e aceitação de fatias desidratadas de maçãs (*Malus domestica* Borkh). **Revista Brasileira de Agrociência**, v.4, p. 41-46, 1998.

TREYBAL, R. E. Drying. In: **Mass Transfer Operation**. New York: McGraww-Hill, 1963, p. 569-575.

USDA. **National Nutriente Database for Standard Reference**. Release 17 (2004). Disponível em <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl> Acesso em 23 out. 2005.

USP – UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SÃO PAULO. **Tabela de composição de alimentos**: projeto integrado de composição de alimentos. Disponível em: <<http://www.fcf.usp.br/tabela/tbmenu.php>> Acesso em 24 set. 2004.

VASQUES, A. R.; VALLE, R. C. S. C.; VALLE, J. A. B. Estabelecimento de parâmetros de desidratação de fatias de maçã fuji e gala com estudo de preferência sensorial. In: **XV Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, 2004, Curitiba. XV Anais XV Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2004, p. 76-82.

VENTURA, F. C.; GARCIA, N. H. P.; WADA, J. K. A. Desidratação osmótica de yacon utilizando sorbitol como agente desidratante. In: **II Simpósio em Ciências de Alimentos – SIMPOCAL**, Anais. II Simpósio em Ciências de Alimentos – SIMPOCAL , Florianópolis, 2003.

VIAL, C.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. Osmotic dehydration of kiwi fruits: influence of process variables on the color and ascorbic acid content. **Sciences des Aliments**, v.11, p. 63-84, 1991.

VICENZI, R; BILHALVA, A. B. Casca de arroz como coadjuvante de prensagem na extração do suco de maçã (*Malus domestica*, Borkh). **Revista Brasileira de Agrociência**, v.2, n.2, 89-94, mai-ago, 1998.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – FICHA DE ANÁLISE SENSORIAL DO TESTE DE PREFERÊNCIA**AVALIAÇÃO SENSORIAL DE MAÇÃ DESIDRATADA OSMOTICAMENTE**

Nome: _____ Data: ___/___/___

TESTE DE PREFERÊNCIA

Por favor, avalie as amostras utilizando a escala abaixo para descrever o quanto você gostou ou desgostou do produto.

- 9 – gostei extremamente**
- 8 – gostei muito**
- 7 – gostei moderadamente**
- 6 – gostei ligeiramente**
- 5 – nem gostei/nem desgostei**
- 4 – desgostei ligeiramente**
- 3 – desgostei moderadamente**
- 2 – desgostei muito**
- 1 – desgostei extremamente**

341 _____

458 _____

526 _____

679 _____

COMENTÁRIOS:

APÊNDICE 2 – FICHA DE ANÁLISE SENSORIAL DO TESTE DE PERFIL DE CARACTERÍSTICAS

AVALIAÇÃO SENSORIAL DE MAÇÃ DESIDRATADA OSMOTICAMENTE

Nome: _____ Data: ___/___/___

TESTE DO PERFIL DE CARACTERÍSTICAS

Você está recebendo amostras de maçã desidratada osmoticamente. Após a degustação atribua notas para cada característica avaliada, de acordo com o seguinte critério:

- 1 – péssimo**
- 2 – regular**
- 3 – bom**
- 4 – muito bom**
- 5 – excelente**

Amostra	341	458	526
Características			
Aparência			
Cor			
Odor			
Sabor			
Textura			

COMENTÁRIOS:

APÊNDICE 3 – FICHA DE ANÁLISE SENSORIAL DO TESTE DE ATITUDE**AVALIAÇÃO SENSORIAL DE MAÇÃ DESIDRATADA OSMOTICAMENTE**

Nome: _____ Data: ___/___/___

TESTE DE ATITUDE

Por favor, avalie as amostras utilizando a escala abaixo para descrever qual seria sua atitude em relação ao produto.

- 1 – comeria sempre**
- 2 – comeria muito frequentemente**
- 3 – comeria frequentemente**
- 4 – comeria ocasionalmente**
- 5 – comeria raramente**
- 6 – comeria muito raramente**
- 7 – nunca comeria**

341 _____

458 _____

526 _____

679 _____

COMENTÁRIOS:

APÊNDICE 4 – DADOS UTILIZADOS NA CINÉTICA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE MAÇÃ FUJI COMERCIAL COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%

Tempo (min)	SG (g/gi.m.s.)	WR (g/gi.m.s.)	WL (g água/gi.m.s.)	dSG/dt (g/gi.m.s.*min)	dWL/dt (g/gi.m.s.*min)
0	0	0	0	0	0
15	1,264821	0,742647	2,007468	0,084321	0,133831
30	1,457185	0,912069	2,369254	0,048573	0,078975
45	1,378337	0,896107	2,274444	0,030630	0,050543
60	1,327352	0,913625	2,240977	0,022123	0,037350
75	1,291538	0,958019	2,249557	0,017221	0,029994
90	1,288346	0,987313	2,275659	0,014315	0,025285
105	1,340439	0,971816	2,312255	0,012766	0,022021
120	1,387000	0,996151	2,383151	0,011211	0,019512
135	1,494049	0,952391	2,446440	0,011067	0,018122
150	1,500104	0,994757	2,494861	0,010001	0,016632
165	1,504731	0,998442	2,503173	0,009120	0,015171
180	1,507999	0,997542	2,505541	0,008378	0,013920

NOTA: SG – ganho de sólidos; WR – perda de massa; WL – perda de água; dSG/dt – taxa de ganho de sólidos *versus* o tempo; dWL/dt – taxa de perda de água *versus* o tempo.

APÊNDICE 5 – DADOS UTILIZADOS NA CINÉTICA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE MAÇÃ FUJI INDUSTRIAL COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%

Tempo (min)	SG (g/gi.m.s.)	WR (g/gi.m.s.)	WL (g água/gi.m.s.)	dSG/dt (g/gi.m.s.*min)	dWL/dt (g/gi.m.s.*min)
0	0	0	0	0	0
15	1,032610	0,761668	1,794278	0,068841	0,119619
30	1,099620	0,974671	2,074291	0,036654	0,069143
45	1,086717	0,887601	1,974318	0,024149	0,043874
60	1,067601	0,933211	2,000812	0,017793	0,033347
75	1,048569	0,904295	1,952864	0,013981	0,026038
90	1,058515	0,988064	2,046579	0,011761	0,022740
105	1,064608	0,974051	2,038359	0,010136	0,019413
120	1,135024	0,943581	2,078605	0,009459	0,017322
135	1,241347	0,951115	2,192462	0,009195	0,016240
150	1,253174	0,959307	2,212481	0,008354	0,014750
165	1,253843	0,991395	2,245238	0,007599	0,013607
180	1,277095	0,991064	2,268159	0,007095	0,012601

NOTA: SG – ganho de sólidos; WR – perda de massa; WL – perda de água; dSG/dt – taxa de ganho de sólidos *versus* o tempo; dWL/dt – taxa de perda de água *versus* o tempo.

APÊNDICE 6 – DADOS UTILIZADOS NA CINÉTICA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE MAÇÃ FUJI COMERCIAL COM SOLUÇÃO DE SORBITOL A 50%

Tempo (min)	SG (g/gi.m.s.)	WR (g/gi.m.s.)	WL (g água/gi.m.s.)	dSG/dt (g/gi.m.s.*min)	dWL/dt (g/gi.m.s.*min)
0	0	0	0	0	0
15	1,144745	0,952204	2,096949	0,080000	0,140000
30	1,110204	0,940190	2,050394	0,040000	0,080000
45	1,018081	0,826692	1,844773	0,024000	0,040995
60	1,105236	0,876836	1,982072	0,020000	0,034000
75	1,023714	0,920480	1,944194	0,015000	0,025923
90	1,161273	0,955362	2,116635	0,013000	0,024000
105	1,176278	0,984932	2,161210	0,012000	0,020583
120	1,176078	0,988801	2,164879	0,011000	0,020000
135	1,191018	0,985280	1,176298	0,009000	0,018000
150	1,253974	0,982047	2,236021	0,008000	0,015000
165	1,319470	0,975000	2,294470	0,007890	0,014000
180	1,350000	0,964697	2,314697	0,007778	0,013138

NOTA: SG – ganho de sólidos; WR – perda de massa; WL – perda de água; dSG/dt – taxa de ganho de sólidos *versus* o tempo; dWL/dt – taxa de perda de água *versus* o tempo.

APÊNDICE 7 – DADOS UTILIZADOS NA CINÉTICA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE MAÇÃ FUJI INDUSTRIAL COM SOLUÇÃO DE SORBITOL A 50%

Tempo (min)	SG (g/gi.m.s.)	WR (g/gi.m.s.)	WL (g água/gi.m.s.)	dSG/dt (g/gi.m.s.*min)	dWL/dt (g/gi.m.s.*min)
0	0	0	0	0	0
15	1,088257	0,970000	2,058257	0,07000	0,130000
30	1,048950	0,982845	2,031795	0,032000	0,060000
45	1,044567	0,882337	1,926904	0,022000	0,044000
60	1,016802	0,955848	1,972650	0,016000	0,031000
75	1,005233	0,972107	1,977340	0,013000	0,027000
90	1,066505	0,900000	1,966505	0,011000	0,021000
105	1,109403	0,930000	2,039403	0,010000	0,019222
120	1,046212	0,967584	2,013796	0,009000	0,016021
135	1,039109	0,950000	1,989109	0,007697	0,014641
150	1,068908	0,962072	2,030980	0,007126	0,013544
165	1,075890	0,975920	2,051810	0,006521	0,012268
180	1,113633	0,944772	2,058405	0,006187	0,011436

NOTA: SG – ganho de sólidos; WR – perda de massa; WL – perda de água; dSG/dt – taxa de ganho de sólidos *versus* o tempo; dWL/dt – taxa de perda de água *versus* o tempo.

APÊNDICE 8 – DADOS UTILIZADOS NA CINÉTICA DA SECAGEM CONVECTIVA DE MAÇÃ FUJI COMERCIAL E INDUSTRIAL COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%

Tempo (min)	UMIDADE (%) *	
	Maçã Comercial	Maçã Industrial
0	68,40	67,20
30	56,30	58,90
60	45,70	43,80
90	39,20	37,50
120	29,30	28,90
150	25,80	24,60
180	23,50	22,75

NOTA: * valores médios de ensaios realizados em triplicata

APÊNDICE 9 – DADOS UTILIZADOS NA CINÉTICA DA SECAGEM CONVECTIVA DE MAÇÃ FUJI COMERCIAL E INDUSTRIAL COM SOLUÇÃO DE SORBITOL A 50%

Tempo (min)	UMIDADE (%) *	
	Maçã Comercial	Maçã Industrial
0	69,00	69,50
30	55,90	54,30
60	44,60	42,10
90	33,70	36,20
120	29,8	29,00
150	24,60	24,10
180	23,90	23,70

NOTA: * valores médios de ensaios realizados em triplicata

APÊNDICE 10 – DADOS UTILIZADOS NA RELAÇÃO DE SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE MAÇÃ FUJI COMERCIAL E INDUSTRIAL COM SOLUÇÃO DE SACAROSE A 50%

Tempo (min)	MAÇÃ COMERCIAL*		MAÇÃ INDUSTRIAL*	
	Solução	Amostra	Solução	Amostra
0	50,00	14,90	50,00	15,20
15	45,30	27,50	46,00	28,90
30	45,20	35,80	45,40	39,20
45	44,70	40,00	44,20	41,00
60	44,00	41,90	44,10	43,40
75	43,80	43,20	43,60	44,00
90	43,60	44,10	43,50	45,40
105	43,50	45,20	43,50	46,10
120	43,00	45,60	42,90	46,40
135	42,10	46,50	41,70	47,80
150	42,10	47,90	41,70	48,80
165	41,60	48,30	41,20	49,10
180	41,60	48,50	41,20	49,40

NOTA: As análises foram realizadas em triplicata

APÊNDICE 11 – DADOS UTILIZADOS NA RELAÇÃO DE SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE MAÇÃ FUJI COMERCIAL E INDUSTRIAL COM SOLUÇÃO DE SORBITOL A 50%

Tempo (min)	MAÇÃ COMERCIAL*		MAÇÃ INDUSTRIAL*	
	Solução	Amostra	Solução	Amostra
0	41,00	14,90	41,00	15,20
15	39,30	29,10	39,80	31,30
30	39,30	36,00	39,20	35,40
45	39,20	37,10	38,90	36,90
60	38,80	37,60	38,90	37,20
75	38,50	37,90	38,60	37,80
90	38,20	38,00	37,90	37,90
105	38,00	38,20	37,40	37,90
120	37,50	38,70	36,80	38,50
135	37,20	39,30	36,90	38,60
150	35,60	39,70	35,30	39,00
165	35,60	39,90	35,20	39,50
180	35,60	40,10	35,10	40,90

NOTA: As análises foram realizadas em triplicata