



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

**ESTUDO DA TRANSFERÊNCIA DE MASSA E QUALIDADE DO MELÃO
DESIDRATADO OSMOTICAMENTE EM SOLUÇÕES DE SACAROSE E
MALTOSE**

Autora: Cristhiane Caroline Ferrari

Orientadora: Profa. Dra. Miriam Dupas Hubinger

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

Campinas – São Paulo

2005

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

F412e Ferrari, Cristhiane Caroline
Estudo da transferência de massa e qualidade do melão desidratado osmoticamente em soluções de sacarose e maltose / Cristhiane Caroline Ferrari. – Campinas, SP : [s.n.], 2005.

Orientador: Miriam Dupas Hubinger
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1. Melão. 2. Cor. 3. Alimentos - Textura. 4. Difusividade efetiva. 5. Desidratação osmótica. I. Hubinger, Miriam Dupas. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

(ckn/fea)

Palavras-chave em inglês (Keywords): Melon, Color, Food – Texture, Effective diffusivity, Osmotic dehydration

Área de concentração: Engenharia de processos

Titulação: Mestre em Engenharia de Alimentos

Banca examinadora: Miriam Dupas Hubinger

Rosiane Lopes da Cunha

Kil Jin Park

Fernanda Elizabeth Xidieh Murr

Data de defesa: 03/2005

Essa dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS** no **Curso de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas.**

Campinas, ____ de _____ de 2005.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Miriam Dupas Hubinger
(Orientadora)

Prof. Dr. Kil Jin Park
(Membro)

(Membro)
Prof^ª. Dr^ª. Rosiane Lopes da Cunha

Prof^ª. Dr^ª. Fernanda Elizabeth X. Murr
(Membro)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho àqueles que dedicaram
toda a sua vida pela minha formação,
sempre me dando o apoio de
que precisei e acreditando nos meus sonhos.

MEUS PAIS

AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar sempre o meu caminho.

Aos meus pais Telma e João Carlos pelo amor, carinho, apoio e compreensão em todos os momentos.

À Prof^ª. Dr^ª. Miriam Dupas Hubinger pela orientação, amizade, paciência e atenção dedicada durante o período de realização deste trabalho.

À banca, composta pelos professores Dr^ª. Rosiane Lopes da Cunha, Dr. Kil Jin Park e Dr^ª. Fernanda Elizabeth X. Murr, que através de suas valiosas sugestões, contribuíram para o enriquecimento do trabalho.

À Prof^ª. Dr^ª. Helena Maria A. B. Cardello pelo auxílio na realização da análise sensorial.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de Mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

Ao Departamento de Engenharia de Alimentos (DEA) pela oportunidade da realização do curso de Mestrado.

Ao Benassi Comércio de Hortifrutigranjeiros Ltda. – CEASA/Campinas pelo fornecimento dos melões de excelente qualidade.

Ao Departamento de Planejamento Alimentar e Nutrição (DEPAN) por autorizar a utilização do Laboratório de Análise Sensorial e do colorímetro.

À Leila e à Alline pela disposição em ajudar, discutir e por todos os esclarecimentos e sugestões ao longo do trabalho.

À Lílian pela grande amizade e intensa participação na fase experimental do trabalho, dando sempre aquela “mãozinha” nos momentos mais difíceis, principalmente para cortar os cubos de melão.

À Aninha Ito por me emprestar a câmera digital, pelas “caronas” para o CEASA, conversas virtuais pelo “Messenger” e inúmeras doações de manga!!!

À Rê pela ajuda nas análises de açúcares, pelas conversas e companhia quase diária para almoçar e por me agüentar a mais de 7 anos.

À Louise, pela amizade e por sua enorme paciência em também me aturar a mais de 7 anos.

Ao Chico do DEPAN pelo auxílio e colaboração no uso do colorímetro.

À Joyce, técnica do LEP, pela ajuda nas análises químicas, nos orçamentos e por preparar sempre as soluções de “Fehling”.

À Ana e a D. Castorina pela disposição em manter o laboratório sempre limpo e organizado.

À Fezinha e à Aninha pela amizade e ajuda na análise de proteínas.

Aos meus colegas de turma Paty Leal, Érika Cren, Érika Reipert, Daniel (Piti), Roque, Anna Paula W., Feni, Helena, Lizi, Chris, Gustavo, Silmar e Consuelo pelo convívio, colaboração nos estudos, pelas risadas e momentos descontraídos.

Aos meus colegas de laboratório pela amizade, apoio e companhia nas exaustivas horas de trabalho durante esse período.

À Eliana Janet e à Cintia pelas dicas para a realização do trabalho experimental.

Ao Anoar e à Márcia do LAMEFI pela ajuda e à Adélia (técnica) por “emprestar” água destilada e pelo uso do Decagon.

Aos meus amigos e amigas de graduação (FEA98), em especial à Bel, Márcia, Thaís, Mirtes, Patmart, Ivi, Maria Tereza, Fabi e Debs que não estão mais na Unicamp e à Paulinha do Laboratório de Óleos. Lembrem-se que, apesar da distância, eu nunca me esquecerei de vocês, pois todos vocês fizeram parte da melhor etapa da minha vida.

Ao Mauro do Centro de Informática por me ajudar na impressão do “boneco” da minha dissertação.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, o meu muito obrigada.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABELAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
NOMENCLATURA.....	xv
RESUMO	xvii
ABSTRACT	xviii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. MELÃO.....	3
2.2. DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA	6
2.2.1. Variáveis do processo de desidratação osmótica.....	9
Agente desidratante.....	9
Temperatura.....	12
Tempo.....	13
Concentração da Solução.....	14
Agitação.....	15
2.3. QUALIDADE.....	17
2.4. DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE DIFUSÃO DA ÁGUA E DOS SOLUTOS	21
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1. MATERIAL	28
3.2. MÉTODOS.....	29
3.2.1. Caracterização da Matéria-Prima	29
3.2.2. Caracterização da Amostra Controle.....	29
3.2.3. Desidratação Osmótica.....	30
3.2.4. Métodos Analíticos.....	33
3.2.5. Avaliação Sensorial	37
3.2.6. Análise Estatística	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA.....	38

4.2. DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA	39
4.2.1. Perda de Água e Ganho de Sólidos	39
4.2.2. Perda de Peso.....	44
4.2.3. Atividade de Água.....	46
4.2.4. Determinação de Textura.....	49
Tensão na Ruptura.....	49
Tempo de Relaxação e Tensão Residual.....	54
4.2.5. Variação da Cor	60
4.3. CÁLCULO DA DIFUSIVIDADE EFETIVA DA ÁGUA E DOS SOLUTOS	68
4.4. ANÁLISE SENSORIAL	74
5. CONCLUSÕES	78
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
APÊNDICE I.....	90
APÊNDICE II.....	92
APÊNDICE III	94
APÊNDICE IV	96

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Principais componentes do melão	4
Tabela 2.2 – Conteúdo mineral e vitamínico do melão e Ingestão Diária Recomendada (IDR).....	5
Tabela 3.1 - Ensaio de Cinética de Desidratação Osmótica	30
Tabela 4.1 – Composição química centesimal do melão <i>in natura</i>	39
Tabela 4.2 – Caracterização física do melão <i>in natura</i>	39
Tabela 4.3 – Variação do Cromo C* ao longo do processo para os ensaios realizados com sacarose.....	66
Tabela 4.4 – Variação do Cromo C* ao longo do processo para os ensaios realizados com maltose.....	66
Tabela 4.5 – Variação do Tom H* ao longo do processo para os ensaios realizados com sacarose.....	67
Tabela 4.6 – Variação do Tom H* ao longo do processo para os ensaios realizados com maltose.....	67
Tabela 4.7 – Difusividades Efetivas Médias para a Água ($\overline{D_{ef1}}$) e Solutos ($\overline{D_{ef2}}$)	72
Tabela 4.8 – Melhores condições de desidratação osmótica selecionadas.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Transferência de massa durante a desidratação osmótica.....	7
Figura 2.2 – Estrutura da Sacarose	10
Figura 2.3 – Estrutura da α -maltose (A) e β -maltose (B)	11
Figura 3.1 – Foto do melão da variedade <i>Cucumis melo inodorus</i> utilizado nos experimentos deste trabalho	28
Figura 3.2 – Foto do equipamento utilizado nos experimentos deste trabalho	31
Figura 4.1 – Cinéticas de Perda de Água a 30 e 40°C durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose.....	40
Figura 4.2 – Cinéticas de Perda de Água a 30 e 40°C durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose.....	40
Figura 4.3 – Cinéticas de Ganho de Sólidos a 30 e 40°C durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose.....	41
Figura 4.4 – Cinéticas de Ganho de Sólidos a 30 e 40°C durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose.....	41
Figura 4.5 – Cinéticas de Perda de Peso a 30 e 40°C durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose.....	44
Figura 4.6 – Cinéticas de Perda de Peso a 30 e 40°C durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose.....	45
Figura 4.7 – Variação da Atividade de Água durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose a 30°C	46

Figura 4.8– Variação da Atividade de Água durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose a 30°C.....	47
Figura 4.9 – Variação da Atividade de Água durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose a 40°C	47
Figura 4.10 - Variação da Atividade de Água durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose a 40°C.....	48
Figura 4.11 – Variação da Tensão na Ruptura durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose a 30°C	50
Figura 4.12 – Variação da Tensão na Ruptura durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose a 30°C.....	51
Figura 4.13 – Variação da Tensão na Ruptura durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose a 40°C	51
Figura 4.14 – Variação da Tensão na Ruptura durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose a 40°C.....	52
Figura 4.15 – Variação do Tempo de Relaxação Normalizado durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose a 30°C	54
Figura 4.16 – Variação do Tempo de Relaxação Normalizado durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose a 30°C	55
Figura 4.17 – Variação do Tempo de Relaxação Normalizado durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose a 40°C	55
Figura 4.18 – Variação do Tempo de Relaxação Normalizado durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose a 40°C	56
Figura 4.19 – Variação da Tensão Residual Normalizada durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose a 30°C	56

Figura 4.20 – Variação da Tensão Residual Normalizada durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose a 30°C	57
Figura 4.21 – Variação da Tensão Residual Normalizada durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose a 40°C	57
Figura 4.22 – Variação da Tensão Residual Normalizada durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose a 40°C	58
Figura 4.23 – Variação da Luminosidade durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose a 30°C	61
Figura 4.24 – Variação da Luminosidade durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose a 30°C.....	61
Figura 4.25 – Variação da Luminosidade durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose a 40°C	62
Figura 4.26 – Variação da Luminosidade durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose a 40°C.....	62
Figura 4.27 – Variação dos parâmetros a* e b* durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose a 30°C	64
Figura 4.28 – Variação dos parâmetros a* e b* durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose a 30°C.....	64
Figura 4.29 – Variação dos parâmetros a* e b* durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose a 40°C	65
Figura 4.30 – Variação dos parâmetros a* e b* durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose a 40°C.....	65
Figura 4.31 – Linearização da Perda de Água para 8 horas de processo utilizando solução de sacarose (40, 50 e 60°Brix) a 30°C.....	68

Figura 4.32 – Linearização da Perda de Água para 8 horas de processo utilizando solução de sacarose (40, 50 e 60°Brix) a 40°C.....	69
Figura 4.33 – Linearização da Perda de Água para 8 horas de processo utilizando solução de maltose (40, 50 e 60°Brix) a 30°C.....	69
Figura 4.34 – Linearização da Perda de Água para 8 horas de processo utilizando solução de maltose (40, 50 e 60°Brix) a 40°C.....	69
Figura 4.35 – Linearização do Ganho de Sólidos para 8 horas de processo utilizando solução de sacarose (40, 50 e 60°Brix) a 30°C	70
Figura 4.36 – Linearização do Ganho de Sólidos para 8 horas de processo utilizando solução de sacarose (40, 50 e 60°Brix) a 40°C	70
Figura 4.37 – Linearização do Ganho de Sólidos para 8 horas de processo utilizando solução de maltose (40, 50 e 60°Brix) a 30°C.....	70
Figura 4.38 – Linearização do Ganho de Sólidos para 8 horas de processo utilizando solução de maltose (40, 50 e 60°Brix) a 40°C.....	71
Figura 4.39 – Foto do melão fresco.....	75
Figura 4.40 – Foto do melão desidratado osmoticamente por duas horas em solução de sacarose a 40°Brix e 30°C	75
Figura 4.41 – Foto do melão desidratado osmoticamente por duas horas em solução de maltose a 60°Brix e 30°C	75
Figura 4.42 – Foto do melão desidratado osmoticamente por duas horas em solução de maltose a 60°Brix e 40°C	76
Figura 4.43 – Resultados da Análise Sensorial	76

NOMENCLATURA

a^*	parâmetro de cromaticidade da fruta desidratada (+ a^* = vermelho e $-a^*$ = verde)
A	área da amostra (m^2)
AT	teor de açúcares totais do produto (%)
b^*	parâmetro de cromaticidade da fruta desidratada (+ b^* = amarelo e $-b^*$ = azul)
C^*	croma
$\overline{D_{ef}}$	difusividade média efetiva (m^2/s)
F	força (N)
GS	incorporação de sólidos do produto desidratado (%)
GS/PA	relação adimensional
H	altura da amostra (m)
H^*	tom
k_1	elemento viscoso
k_2	elemento elástico (s^{-1})
L^*	luminosidade
L	dimensão característica (m)
m	massa do produto (g)
M	massa de sólidos (sacarose ou maltose) na amostra (g)
N	número de dados utilizados
n	número de termos da série
PA	perda de água do produto desidratado (%)
PA_{∞}^{mod}	perda de água no equilíbrio obtida pelo modelo (%)
PA_{∞}^{exp}	perda de água no equilíbrio obtido experimentalmente (%)
PP	perda de peso do produto desidratado (%)
R^2	coeficiente de regressão
S	constante

S_r	tensão residual
t	tempo (seg)
X	umidade da amostra (g)
X_{bu}	teor de umidade do produto em base úmida (%)
ϵ_H	deformação
σ_H	tensão de Hencky (Pa)
σ	tensão (Pa)
τ	tempo de relaxação (s)

Sub-índices:

1	referente à água
2	referente aos solutos
t	referente ao tempo t
o	inicial
f	final
∞	equilíbrio

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo estudar a cinética de desidratação osmótica de pedaços de melão em soluções de sacarose e maltose, avaliando-se parâmetros de textura e cor ao longo do processo. Cubos de melão da variedade *Cucumis melo inodorus*, cultivar Gold Mine, de 20 mm foram imersos em soluções hipertônicas de sacarose ou maltose nas concentrações de 40 a 60°Brix e o processo foi conduzido por 8 horas com temperatura controlada (30 ou 40°C) e agitação de 120 rpm. Perda de água e de peso, incorporação de sólidos na fruta, atividade de água, cor e textura foram analisadas ao longo do processo em função da temperatura de tratamento, tipo e concentração da solução. O ponto final de equilíbrio e os coeficientes de difusão para a água e os açúcares foram estimados através de um modelo empírico da literatura, baseado na equação de Fick, comparando-se os efeitos da sacarose e da maltose na transferência de massa durante o processo. Para todos os ensaios, a perda de água e de peso aumentaram significativamente com a elevação da temperatura e da concentração da solução desidratante, entretanto os ensaios com maltose promoveram uma maior taxa de saída de água da fruta e menor ganho de sólidos. As características de cor da fruta fresca permaneceram praticamente inalteradas pela desidratação osmótica, observando-se apenas uma intensificação da cor ocasionada pelo aumento dos valores do parâmetro b^* e do croma C^* , devido à concentração de pigmentos provocada pela perda de água ao longo do tempo. Em relação à textura, houve um aumento na natureza viscosa e perda de elasticidade durante o processo, por consequência da incorporação de sólidos, que causa uma plasticidade na estrutura, porém a maltose se mostrou mais efetiva na manutenção das características de textura da fruta fresca. Foram selecionadas as condições mais favoráveis para cada uma das respostas estudadas, com o intuito de se realizar uma análise sensorial, sendo que, especificamente para estes ensaios, o tempo de tratamento foi de duas horas, determinado a partir das cinéticas de perda de água, ganho de sólidos e textura. Os resultados da avaliação sensorial revelaram que a desidratação osmótica forneceu um produto com boa aceitação pelo consumidor.

ABSTRACT

The objective of this work was to study the osmotic dehydration kinetics of melon pieces in two types of solution (sucrose and maltose), with simultaneous evaluation of texture and color parameters all along the process. Melon (*Cucumis melo inodorus*, cultivar Gold Mine) cubes of 20 mm were immersed in hypertonic solution of sucrose or maltose with different concentrations (40 to 60°Brix) and the process was carried out for eight hours under controlled temperature (30°C or 40°C) and agitation (120 rpm). Water and weight loss, solids gain, water activity, color and texture were analysed throughout the process as a function of temperature, osmotic agent and solution concentration. The final equilibrium point and the diffusion coefficients for water and sugar were estimated using an empiric model from literature based on Fick's unsteady law of diffusion in order to compare sucrose and maltose effects in mass transfer rates during the osmotic process. For all treatments, water removal and weight loss increased at a significant level for higher temperature and solution concentrations, but the greatest water loss rate and lowest sugar uptake was verified when using maltose solutions. The color fresh-like characteristics were practically kept by the osmotic dehydration, with a slightly color intensification due to an increase on the b^* parameter and on chrome values, as a consequence of fruit pigments concentration, caused by water loss. For the texture, an increase of viscous nature of fruit and elasticity loss was observed, indicating that the sugar impregnation occurred along the process provoked a plasticity in fruit structure. Maltose showed to be more effective on fruit texture maintenance. The best conditions for each one of the response variables were selected and the final product was evaluated by a sensorial analysis. The treatment time for these tests was two hours, determined by water loss, solids gain and texture kinetics. Sensorial results revealed that osmotic dehydration provided a good product acceptance by the consumer.

1. INTRODUÇÃO

Frutas tropicais *in natura* são importantes fontes de vitaminas, minerais e carboidratos, além de serem muito apreciadas devido ao seu sabor, aroma e cor característica. Na maioria dos países em desenvolvimento, a abundância natural de frutas frescas leva, freqüentemente, a um excedente com relação às exigências locais, resultando em perdas devido à ausência de tratamentos e manuseio pós-colheita adequados e à falta de treinamento e infra-estrutura para o processamento e conservação.

O melão, apesar de ser considerado um produto de elevado valor comercial e ser apreciado por suas características sensoriais, apresenta uma vida útil pós-colheita relativamente curta à temperatura ambiente, o que tem dificultado consideravelmente a sua comercialização nos mercados mais distantes dos centros de produção, contribuindo, desse modo, para o elevado índice de desperdício desse fruto (LIMA *et. al.*, 2004). Como alternativa tecnológica para a redução das perdas pós-colheita, a desidratação osmótica pode ser utilizada na obtenção de frutas de alta umidade, estabilizadas a uma atividade de água maior que 0,92, resultando em um produto de alta qualidade nutricional e sensorial devido principalmente à retirada parcial da água e ao efeito protetor do soluto utilizado (ALZAMORA *et al.*, 1997).

A desidratação osmótica tem sido empregada também como etapa preliminar aos processos convencionais como secagem, liofilização, congelamento, etc, mostrando-se eficiente na manutenção da textura, estabilidade de pigmentos e retenção de aroma dos alimentos, devido às baixas temperaturas utilizadas no processo, baixas perdas de voláteis e do efeito favorável da introdução de certos solutos de interesse nutricional ou sensorial (TORREGGIANI, 1993).

Nos últimos anos, o cultivo de melão tem aumentado significativamente no Brasil, sendo a região Nordeste a responsável pela maior parte da produção do país. Muitos países usam os valores do conteúdo de sólidos solúveis totais como um guia de mercado para a

aceitação do melão com teor mínimo aceitável de 8 a 10°Brix (MENEZES, 1996). Para isso, é necessário que o fruto permaneça na planta até a completa maturação, já que o melão não possui reserva de amido e, portanto, seu conteúdo de açúcares não aumenta após a colheita. Entretanto, na tentativa de capitalizar lucros no início das estações de cultivo, ou aumentar o período de vida útil pós-colheita, o melão é freqüentemente colhido antes de atingir a completa maturação. Nesse contexto, a utilização do processo de desidratação osmótica pode garantir um produto final com maior teor de açúcar, o que significa uma melhora das qualidades sensoriais do melão, um aumento de vida de prateleira e características mais uniformes no produto pré-processado.

Assim, o objetivo geral deste trabalho foi estudar a cinética de desidratação osmótica de cubos de melão em soluções de sacarose e maltose, visando a obtenção de um produto com qualidade tecnológica semelhante ao fruto fresco e com os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar a influência das variáveis: tipo de açúcar, concentração e temperatura da solução desidratante no processo osmótico de pedaços de melão sobre as respostas perda de água e de peso, incorporação de sólidos na fruta e atividade de água e sobre os aspectos relacionados à qualidade final do produto (cor e textura instrumental), visando melhorar as características da fruta fresca;
- Estudar a cinética de transferência de massa durante a desidratação osmótica de cubos de melão com soluções de sacarose e maltose através de um modelo cinético empírico da literatura baseado na equação de Fick;
- Avaliação da qualidade do produto final através da realização de uma análise sensorial.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. MELÃO

O Brasil é atualmente um dos maiores produtores de melão do mundo com uma área colhida de 17 mil hectares, correspondendo a uma produção anual superior a 350 mil toneladas (ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2004). A Região Nordeste é responsável por 95% da produção nacional, sendo que o estado do Rio Grande do Norte concentra cerca de 65% da produção total brasileira, além de se destacar como um dos maiores pólos exportadores de melão do país. Em seguida, estão os estados do CE, BA e PE e, na Região Sul, o estado do Rio Grande do Sul lidera a produção, com aproximadamente 3,5% (AGRIANUAL, 2003).

A produção mundial de melão em 2002 foi de 21,7 milhões de toneladas, sendo que a China, a Turquia, o Irã, os Estados Unidos e a Espanha responderam por mais de 60% da produção anual. O melão é a oitava fruta produzida mundialmente e está entre as dez principais frutas frescas mais exportadas, com um mercado internacional estimado em mais de 1,6 milhão de toneladas por ano, sendo o Brasil o sexto maior exportador do mundo, responsável por cerca de 7% das exportações mundiais (FRUTISÉRIES 2 - CEARÁ - MELÃO, 2003).

O melão (*Cucumis melo* L.) é uma fruta climatérica, ou seja, apresenta um aumento da atividade respiratória durante o amadurecimento, associado à elevada biossíntese de etileno nesta fase, cultivada em clima tropical e pertencente à família *Cucurbitaceae*. As formas botânicas diferenciam-se quanto aos aspectos de sensibilidade ao frio, capacidade de conservação, atividade metabólica e, sobretudo, em forma, tamanho de fruto e estrutura da casca e da polpa. Esta apresenta variação desde laranja escuro até branco e verde, em função da variedade cultivada (MENEZES, 1996).

Do ponto de vista comercial, os melões produzidos pertencem a dois grupos: *Cucumis melo inodorus* Naud. e *Cucumis melo cantaloupensis* Naud., que correspondem, aos melões inodoros e aos aromáticos, respectivamente. Os frutos do primeiro grupo são os denominados melões de inverno, que apresentam frutos com casca lisa ou levemente enrugada, coloração amarela, branca ou verde-escura. Neste grupo, encontram-se as variedades preferencialmente cultivadas no Brasil representadas pelo melão amarelo, cuja produção é em torno de 70%, apresentando uma vida útil pós-colheita de 35 dias. Os frutos do segundo grupo incluem os melões anteriormente classificados como das variedades *Cucumis melo reticulatus* e *Cucumis melo cantaloupensis*, possuem frutos com superfície rendilhada, verrugosa ou escamosa, podendo ou não apresentar gomos, polpa com aroma característico, de coloração alaranjada, salmão ou verde (KANO, 2002).

O melão é um fruto rico em água (aproximadamente 90%), sua porção comestível representa 55% do fruto, possui valor energético relativamente baixo (20 a 40 kcal/100 gramas de polpa) e é bastante apreciado em climas quentes por ser muito refrescante (MENEZES, 1996). A composição química do melão é apresentada na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Principais componentes do melão

Componentes	Quantidade (%)
Água	91,0
Proteínas	1,0
Lipídeos	Traços
Carboidratos	8,0
Fibra	0,3
Cinzas	0,5
Valor calórico	29 kcal/100g

Fonte: Tabela brasileira de composição de alimentos, 2004.

De acordo com BIANCO & PRATT (1977), mais de 97% dos sólidos solúveis totais no melão são açúcares, com a sacarose representando 50% dos sólidos solúveis totais. Durante o desenvolvimento do melão, o conteúdo de açúcares solúveis totais é baixo, sendo composto de glicose e frutose em iguais concentrações, mas no início do amadurecimento

há uma elevação rápida no teor de açúcares, devido a um aumento predominante de sacarose, porém sem alterações na quantidade de glicose e frutose presentes na fruta.

O valor nutritivo desse fruto encontra-se principalmente no seu conteúdo de açúcares que representa em média 5% do peso fresco da polpa e no seu teor de vitaminas (B1, B2, C e A). Além disso, comparado a outros frutos e hortaliças, o melão é rico em elementos minerais, particularmente potássio, sódio e fósforo, como mostra a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Conteúdo mineral e vitamínico do melão e Ingestão Diária Recomendada (IDR)

Substância	Quantidade (em 100 gramas de melão)¹	IDR²
Fósforo (mg)	16	800
Cálcio (mg)	17	800
Sódio (mg)	84,9	500
Potássio (mg)	429,4	3500
Ferro (mg)	0,4	14
Magnésio (mg)	15	300
Vitamina A (mcg)	116	800
Vitamina C (mg)	29	60
Vitamina B1 (mg)	0,04	1,4
Vitamina B2 (mg)	0,03	1,6

Fontes: ¹ FRANCO, 1992.

² NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1989.

Em geral, o melão apresenta uma quantidade significativa de ácidos málico e cítrico. MENDLINGER e PASTERNAK (1992) referem-se a teores de ácido cítrico variando de 0,051% a 0,35%.

O pigmento predominante nas cultivares de melão de polpa alaranjada é o β -caroteno, mas também são encontrados em proporção considerável a β -criptoxantina e o α -caroteno (MENEZES, 1996).

2.2. DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

A demanda por frutas processadas saborosas e de qualidade está crescendo continuamente, tanto para o consumo como também na utilização como ingredientes para outros produtos (sorvetes, cereais, iogurtes, bolos). Nas últimas décadas, estudos relacionados com a desidratação osmótica revelaram a eficiência da utilização dessa técnica como etapa preliminar ou adicional aos processos de secagem e congelamento, obtendo-se produtos de alta qualidade sensorial e nutricional e mais estáveis à contaminação microbiológica e à deterioração química (TORREGGIANI & BERTOLO, 2001).

A desidratação osmótica consiste basicamente na remoção do conteúdo de água do produto com um aumento simultâneo de sólidos por efeito da pressão osmótica, o que ocorre por imersão do alimento sólido (inteiro ou em pedaços) em uma solução hipertônica de um ou mais solutos (agente desidratante) por um certo tempo e temperatura específicos (RAOULT-WACK, 1994).

Durante esse processo, observam-se três fluxos simultâneos em contra-corrente (RAOULT-WACK, 1994):

- saída de água do produto para a solução hipertônica;
- migração do soluto da solução desidratante para o produto, graças a um gradiente de concentração;
- saída de alguns solutos de baixo peso molecular do próprio produto, tais como açúcares, ácidos orgânicos, sais minerais e vitaminas que ocorre em quantidades desprezíveis, quando comparada aos dois outros fluxos de transferência de massa, mas exerce uma importante influência com relação à composição e qualidade do produto final.

A perda de sólidos do alimento está relacionada ao fato de a membrana plasmática – membrana semi-permeável responsável pelo controle da entrada e saída de substâncias da célula – não ser perfeitamente seletiva, permitindo a saída de alguns solutos do alimento juntamente com a água (RASTOGI *et al.*, 2002).

A Figura 2.1 mostra um esquema dos fluxos de transferência de massa durante o processo de desidratação osmótica.

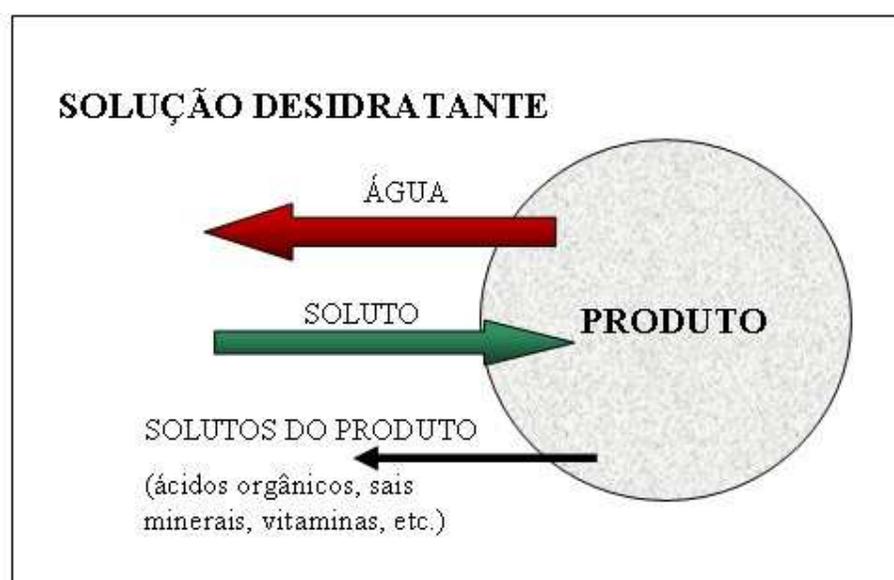


Figura 2.1 - Transferência de massa durante a desidratação osmótica

A característica diferencial da desidratação osmótica em relação a outros processos de desidratação de alimentos é a possibilidade de modificar a sua formulação através da incorporação de solutos na estrutura porosa das frutas e hortaliças. Esses solutos podem ser depressores de pH ou de atividade de água, componentes fisiologicamente ativos, antimicrobianos, entre outros, que possam favorecer a preservação sensorial e nutricional dos produtos, além de formular produtos funcionais, estáveis e mais próximos aos frutos frescos (TORREGGIANI & BERTOLO, 2001; FITO *et al.*, 2001).

O processo de desidratação osmótica apresenta diversas vantagens sobre outros métodos, tais como: redução da injúria térmica, com uma preservação da textura, retenção de vitaminas e estabilização da cor, diminuindo o escurecimento enzimático; diminuição do tempo de secagem, além da redução do consumo de energia na secagem da ordem de 20 a 30%, quando comparada com a secagem convencional por convecção (RAOULT-WACK, 1994; LENART, 1996).

Por outro lado, dentre as desvantagens do processo estão os problemas associados à alta viscosidade da solução que representa uma resistência à transferência de massa, as mudanças estruturais refletidas diretamente nas características de textura do produto e o ganho de sólidos elevado, dependendo das condições de processo, afetando o perfil nutricional do alimento. Além disso, a desidratação osmótica nem sempre resulta num produto com estabilidade microbiológica, sendo necessária a utilização de um processamento complementar e/ou adição de aditivos (RAOULT-WACK, 1994; LAZARIDES *et al.*, 1995).

MAESTRELLI *et al.* (2001) estudaram a influência da desidratação osmótica como pré-tratamento ao congelamento de esferas de melão, utilizando solução de sacarose com concentração de 60°Brix e temperatura ambiente (25°C) por uma hora. Os autores verificaram menores perdas por exsudação e preservação da textura da fruta após o descongelamento nas amostras que sofreram o processo osmótico, devido ao efeito protetor da redução do teor de água no tecido celular antes do congelamento, evitando o colapso estrutural.

Atualmente, o processo osmótico tem sido utilizado como barreira, dentro do conceito da tecnologia dos obstáculos, para o desenvolvimento de alimentos minimamente processados. A suave redução da atividade de água e a possível incorporação de aditivos como antimicrobianos e depressores de pH favorecidas pelo processo, em combinação a outras técnicas como tratamentos térmicos leves, entre outros podem fornecer produtos

estáveis à temperatura ambiente, de boa qualidade nutricional e sensorial e com características similares ao produto fresco (PEREIRA *et al.*, 2004).

NASSU *et al.* (2001) estudaram melão, manga e caju processados através dos métodos combinados. Primeiramente, as frutas foram submetidas ao branqueamento a 100°C por 2 minutos e em seguida sofreram tratamento osmótico em um xarope de sacarose com duas diferentes concentrações de SO₂ (300 e 900ppm). Os testes sensoriais indicaram boa aceitação dos melões em ambos os tratamentos, além de uma aceitação similar entre os melões *in natura* e processados. No caso do caju, as frutas *in natura* obtiveram notas menores para aceitação se comparadas com as processadas, enquanto mangas *in natura* foram mais aceitas do que as processadas. Entretanto, segundo os autores, apesar dessa diferença na aceitação das frutas processadas, a aplicação da técnica dos métodos combinados resultou em produtos com boa aparência, próprios para o consumo ou para a utilização como ingredientes em formulações.

2.2.1. Variáveis do processo de desidratação osmótica

O fenômeno de transferência de massa entre a fruta e o meio desidratante tem influência dos seguintes fatores: tipo e concentração do agente desidratante, temperatura, tempo de processo, agitação, presença de aditivos, tamanho e geometria do produto e proporção fruta/solução (RASTOGI *et al.*, 2002).

Agente desidratante

De acordo com TORREGGIANI (1993), o tipo de açúcar utilizado no processo afeta significativamente a cinética de desidratação osmótica, já que o aumento do peso molecular do soluto provoca um decréscimo do ganho de sólidos e uma maior remoção de água no produto, favorecendo a perda de peso. Por outro lado, açúcares de baixo peso

molecular como a glicose e frutose favorecem o ganho de sólidos, ocasionando uma maior impregnação de açúcares na fruta.

Para a escolha do agente desidratante existem considerações a serem feitas, como as mudanças no valor nutritivo e nas propriedades sensoriais do produto final e o custo do processo. A solução desidratante usada deve ter baixa atividade de água e, além disso, o soluto deve ser inócuo e de gosto agradável (LENART, 1996).

A sacarose é o agente desidratante mais utilizado para frutas em virtude de sua eficiência, conveniência, custo e aroma desejável provocado na fruta. É um dissacarídeo não redutor formado por uma molécula de glicose e uma de frutose unidas por uma ligação glicosídica α 1-2 (BOBBIO & BOBBIO, 1992).

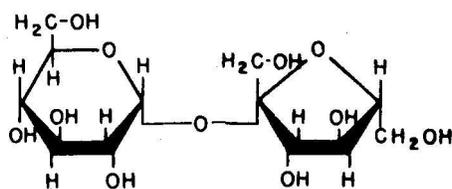


Figura 2.2 – Estrutura da Sacarose

Entretanto, alguns pesquisadores têm empregado outros dissacarídeos no processo osmótico como a maltose, devido ao seu maior efeito protetor nas propriedades de cor e na estrutura celular do produto em relação à sacarose. A maltose é um dissacarídeo redutor, existindo portanto nas duas formas anoméricas α e β (Figura 2.3), formado por duas moléculas de glicose unidas por uma ligação glicosídica α 1-4 (BOBBIO & BOBBIO, 1992). Este açúcar é o elemento básico da estrutura do amido, podendo ser facilmente obtido por hidrólise ácida ou enzimática. É utilizado para o controle de atividade de água em alimentos, por apresentar baixa higroscopicidade e ser menos doce que a sacarose.

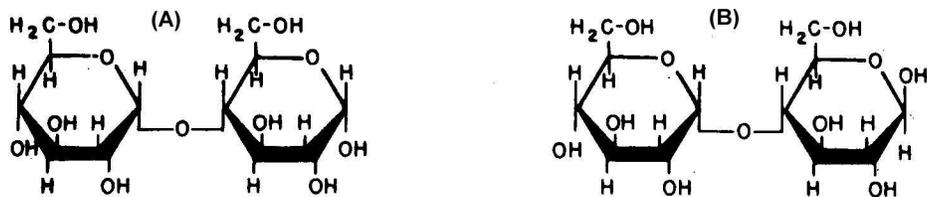


Figura 2.3 – Estrutura da α -maltose (A) e β -maltose (B)

FORNI *et al.* (1997) estudaram a influência do açúcar na estabilidade da cor dos abricós desidratados osmoticamente, secos e congelados. Foram utilizados xaropes de sacarose, maltose e sorbitol à 65% (p/p) e a desidratação osmótica foi conduzida por 45 e 120 minutos na temperatura de 25°C. Segundo os autores, a maltose se mostrou mais efetiva na retenção de ácido ascórbico durante a secagem e também na estabilidade da cor durante o armazenamento a -20°C. Além disso, os abricós tratados osmoticamente com maltose apresentaram um ganho de sólidos inferior, em comparação aos tratamentos utilizando sacarose e sorbitol como agentes desidratantes.

Em outro estudo semelhante realizado com kiwis, TORREGGIANI & BERTOLO (2001) afirmaram que os frutos desidratados osmoticamente com maltose apresentaram maior retenção de clorofila e vitamina C após 6 meses de armazenamento a -10°C.

De acordo com FERRANDO & SPIESS (2001), dissacarídeos tais como a sacarose, maltose, trealose e lactose exercem um papel importante na preservação da funcionalidade da membrana celular, sendo que a trealose e a maltose se mostraram mais eficientes na preservação da estrutura celular da cebola. Além disso, de acordo com os autores, na desidratação osmótica, os açúcares substituem as moléculas de água, no caso da membrana celular, estabilizando os fosfolipídeos e as proteínas de forma a evitar o colapso celular.

DEL VALLE *et al.* (1998) também observaram um efeito protetor da maltose no pré-tratamento osmótico de pedaços de maçã, já que a difusão de açúcares para o produto na desidratação osmótica minimiza o colapso estrutural durante a secagem, resultando na redução do encolhimento celular das amostras secas.

Pesquisadores como ARGAIZ *et al.* (1994) e LAZARIDES & MAVROUDIS (1996) destacam a importância da utilização do xarope de milho de alta maltose como agente desidratante devido ao seu peso molecular relativamente maior do que a sacarose, possibilitando uma maior taxa de perda de água e um ganho de sólidos reduzido, de modo a evitar um impacto negativo nas propriedades sensoriais do produto, por consequência da indesejável e elevada impregnação de sólidos.

Apesar das vantagens apresentadas do uso do xarope de maltose no processo osmótico, as pesquisas com o emprego deste dissacarídeo como agente desidratante ainda são incipientes, sendo necessários mais estudos para comprovar a sua eficiência na desidratação osmótica.

Temperatura

A temperatura constitui um parâmetro importante sobre a cinética de desidratação osmótica, já que temperaturas mais altas proporcionam um aumento da velocidade de transferência de massa. Para TORREGGIANI (1993), a temperatura ótima do processo depende do produto estudado e apesar da taxa osmótica aumentar com a temperatura, temperaturas acima de 45°C podem acarretar alterações das características de cor, sabor, aroma e mudanças na parede celular.

SERENO *et al.* (2001) trabalhando com cilindros de maçã utilizando soluções binárias de sacarose e cloreto de sódio e soluções ternárias com ambos os solutos, em diferentes concentrações e temperaturas, concluíram que a elevação da temperatura provocou simultaneamente maiores taxas de desidratação e de impregnação de sólidos nas amostras.

O efeito da temperatura na cinética de desidratação osmótica de goiabas foi estudado por SANJINEZ-ARGANDOÑA *et al.* (2002b). Os autores constataram que altas temperaturas resultaram numa maior taxa de perda de água, mas não foi observada influência da temperatura na incorporação de sólidos. Entretanto, trabalhando-se com temperaturas superiores a 50°C, há um aumento considerável do ganho de sólidos devido à perda de seletividade da membrana celular, facilitando a difusão do soluto da solução para o produto.

Efeito semelhante foi verificado por LAZARIDES & MAVROUDIS (1996) na desidratação osmótica de batata utilizando xarope de milho de 38 DE como solução desidratante na concentração de 55%, com temperatura variando de 25 a 50°C. Segundo os autores, temperaturas mais altas promovem uma maior perda de água devido à diminuição da viscosidade da solução, pois a alta viscosidade da solução em temperaturas mais baixas representa uma resistência à transferência de massa no processo. Os resultados desse trabalho mostraram uma maior taxa de perda de água no ensaio realizado a 50°C, mas devido ao aumento da permeabilidade da membrana celular ocasionado pela temperatura, um ganho de sólidos em torno de 30% foi observado, proporcionando um efeito negativo nas características organolépticas e nutricionais do produto.

Tempo

O tempo de tratamento é um outro fator que afeta diretamente o processo de desidratação osmótica. Segundo LENART (1996), a taxa de remoção de água e de penetração do soluto são maiores na etapa inicial da desidratação, devido à maior força osmótica de desidratação entre o alimento e a solução hipertônica, observando-se uma diminuição da velocidade de osmose com o tempo. Portanto, a desidratação osmótica deve ser conduzida em um tempo pequeno, visando alcançar um alto grau de desidratação com o menor ganho de sólidos possível, já que tempos muito longos de processo propiciam um produto rico em solutos provenientes da solução desidratante.

Um estudo realizado por SCALZO *et al.* (2001) com melões de duas cultivares (Mirado e Rony) submetidos à desidratação osmótica à temperatura de 25°C por 1, 2, 4 e 6 horas com solução de sacarose à 60°Brix mostrou que ambas as cultivares apresentaram ganho de sólidos solúveis até 6 horas de processo, comportamento diferente de outras frutas, cujo ganho de sólidos manteve-se constante após 4 horas de tratamento.

BETORET *et al.* (2004) avaliando a cinética de desidratação osmótica de fatias de mandioca com cloreto de sódio nas concentrações de 10, 20 e 30% (p/p) a 50°C afirmaram que as taxas de transferência de massa ocorreram de maneira mais intensa nas duas primeiras horas de tratamento, sem alterações significativas após oito horas de desidratação, quando o equilíbrio no sistema foi praticamente alcançado.

Comportamento semelhante foi observado por AZOUBEL (1999) na desidratação osmótica de tomate cereja com soluções binárias de cloreto de sódio e soluções ternárias de cloreto de sódio e sacarose e por SANJINEZ-ARGANDONA (1999) em seu trabalho com goiabas. LAZARIDES *et al.* (1995) ao conduzir estudos sobre desidratação osmótica de cubos de maçã em soluções de sacarose (45-65%) e xarope de milho (18 - 42 DE), relataram que a velocidade de perda de água e ganho de sólidos alcançaram valores altos no início, caindo drasticamente depois da primeira hora de processo. Segundo os autores, a queda rápida da velocidade após uma hora de tratamento é consequência da formação de uma camada de açúcar na superfície das frutas.

Concentração da Solução

A transferência de massa é favorecida pelo aumento da concentração da solução desidratante. O uso de xaropes altamente concentrados, próximos à saturação, provoca um efeito maior na perda de água do produto, reduzindo as perdas de solutos hidrossolúveis, como vitaminas e sais minerais devido à formação de uma camada de soluto ao redor da fruta, impedindo a saída dessas substâncias.

O efeito da solução infusora foi avaliado por RASTOGI & RAGHAVARAO (2004) na desidratação osmótica de abacaxi e por LIMA *et al.* (2004) estudando a desidratação osmótica de cubos de melão a 35°C, com concentrações de sacarose variando de 45 a 65°Brix por 5 horas. De acordo com os autores, soluções mais concentradas acarretaram um aumento no gradiente de pressão osmótica e, conseqüentemente, maiores taxas de perda de água foram obtidas.

Fatias de kiwi foram submetidas à desidratação osmótica com sacarose (35 a 65°Brix) a 30°C como etapa preliminar ao congelamento num estudo realizado por TALENS *et al.* (2002). Os autores observaram que as soluções com menor viscosidade, ou seja, as menos concentradas, provocaram uma maior incorporação de sólidos no tecido da fruta, fato que também foi verificado por GIRALDO *et al.* (2003) trabalhando com desidratação osmótica de cilindros de manga em soluções de sacarose (35-65°Brix) a 30°C. Por outro lado, a perda de água foi consideravelmente menor nos ensaios conduzidos a 35°Brix devido à menor força motriz existente entre o alimento e a solução hipertônica.

A influência da concentração da solução de sacarose (20-65°Brix) na desidratação osmótica de morangos previamente congelados foi estudada por VIBERG *et al.* (1998). Segundo os autores, a solução com concentração de 60°Brix se apresentou como a condição mais favorável para a máxima perda de água com um ganho de sólidos mínimo, conservando as propriedades de textura da fruta.

Agitação

A desidratação osmótica é mais rápida quando o processo é conduzido sob agitação. Ela apresenta um efeito significativo sobre a perda de água, pois garante a remoção da solução concentrada ao redor do material, criando-se uma diferença de concentração favorável à perda de água e em menor grau ao ganho de sólidos. Além disso, um nível adequado de agitação assegura a minimização dos efeitos de resistência externa à transferência de massa. No entanto, deve-se fazer um controle para que não haja danos ao

produto e levar em consideração os custos relacionados com equipamento, energia, entre outros.

Ervilhas foram desidratadas osmoticamente com solução de sacarose (40%) e citrato de sódio (20%), empregado como solução tampão, num estudo realizado por ERTEKIN & CAKALOZ (1996). Os autores verificaram que as taxas de perda de água e ganho de soluto aumentaram com a agitação de 200 rpm, observando, ainda, que o tempo para se atingir o equilíbrio foi bem menor, e a difusividade aparente para o sistema agitado foi quatro vezes maior que no não agitado, comprovando a existência de uma resistência à transferência de massa na solução.

Num trabalho semelhante, MOREIRA & SERENO (2003) estudando a desidratação osmótica de maçãs com concentração de sacarose entre 40 e 60°Brix em condições estáticas (sem agitação) e não estáticas (com circulação da solução desidratante, em fluxo laminar), concluíram que o processo osmótico conduzido em meios agitados levou a um aumento da taxa de perda de água, enquanto que o ganho de sólidos não foi afetado pela agitação do sistema.

MAVROUDIS *et al.* (1998) avaliaram o efeito da agitação na desidratação osmótica de maçãs realizada num tanque com agitador operando numa agitação entre 10 e 1400 rpm. Os experimentos foram conduzidos com solução de sacarose a 50°Brix e 20°C e número de Reynolds variando de 350 a 18500, sendo que valores do número de Reynolds acima de 10000 designam regime turbulento. Observou-se que a perda de água foi maior na região de fluxo turbulento do que na de regime laminar, indicando a existência de uma resistência externa à transferência de massa. Por outro lado, o ganho de sólidos não apresentou diferença significativa entre as duas regiões.

2.3. QUALIDADE

O termo qualidade está relacionado à aceitação do produto pelo consumidor, sendo um dos fatores mais importantes na escolha do método de preservação dos alimentos (LENART, 1996). Segundo SHEWFELT (1999), qualidade engloba os atributos sensoriais percebidos pelo homem (aroma, sabor, cor, aparência e textura), propriedades nutricionais (vitaminas, proteínas, carboidratos, etc) e aspectos de segurança do produto (condição microbiológica, conteúdo de componentes tóxicos).

A cor é um importante atributo de qualidade. Apesar de não estar relacionada com o valor nutricional ou com propriedades funcionais, esta propriedade tem importância tecnológica, pois ela pode ser utilizada como índice de transformações naturais dos alimentos frescos (POMERANZ & MELOAN, 1994).

Como os hábitos dos consumidores tornaram-se mais sofisticados, a importância da textura como atributo de qualidade vem aumentando significativamente. Para estabelecer técnicas eficientes de preservação com o mínimo de dano ao produto, o comportamento da textura deve ser estudado (MASTRÁNGELO *et al.*, 2000).

A textura dos alimentos vegetais tem sua base na estrutura celular e pode ser atribuída principalmente à integridade da parede celular e da lamela média, como também à pressão de turgor gerada dentro das células por osmose. A lamela média é a camada mais externa da parede celular, composta principalmente por pectina. Ela atua como um “adesivo”, conectando as células adjacentes entre si, além de ser sensível ao calor e na sua ausência, as células vegetais podem se separar facilmente (JACKMAN & STANLEY, 1995)

A porção comestível da maioria dos vegetais é composta por células de parênquima, sendo estas células envolvidas por uma membrana, chamada de membrana plasmática, que se caracteriza por ser semi-permeável, permitindo que ocorra entrada ou saída de água da

célula, quando esta se encontra em um meio hipotônico ou hipertônico, respectivamente. Exteriormente à membrana plasmática, está a parede celular. Modelos recentes da parede celular expõem um domínio estrutural da celulose-hemicelulose envolvido por um segundo domínio de substâncias pécticas, enquanto existe um terceiro domínio que contém unidades de proteínas com ligações cruzadas covalentes (PITT, 1992).

A fragilidade das frutas e hortaliças favorece a ocorrência de mudanças estruturais ocasionadas pela ação de enzimas durante o amadurecimento e processamento que são refletidas na textura dos alimentos. A perda de água nos tecidos vegetais ocorrida na desidratação osmótica e mesmo durante a estocagem são governadas pela permeabilidade da parede celular, sendo a textura final marcadamente afetada por esse tipo de processamento.

Na desidratação osmótica, a perda de água e de sólidos naturais do alimento e a incorporação de sólidos são responsáveis por modificações nas propriedades viscoelásticas do tecido devido à plasticidade da estrutura da amostra após o tratamento. Entre as principais alterações ocorridas no processo, estão a perda de turgor da célula, alterações na lamela média e na resistência da parede celular, mudanças nas frações de volume de ar e líquido na amostra, além de variações no tamanho e forma do alimento (CHIRALT *et al.*, 2001).

Para FERRANDO & SPIESS (2001), as propriedades estruturais e sensoriais dos produtos osmoticamente desidratados dependem das mudanças de composição devido à impregnação de solutos, do impacto do processo na parede celular e na lamela média, assim como do grau de dano dentro da membrana plasmática provocado pelo processo.

Em um estudo realizado com goiabas por PEREIRA (2002), as características de cor da fruta fresca não foram alteradas pela desidratação osmótica realizada com solução de sacarose a 60°Brix e 40°C. Em relação à textura, a tensão na ruptura da amostra desidratada osmoticamente foi praticamente três vezes maior que o valor da fruta fresca, o que conferiu

uma característica mais acentuada de dureza, ou seja, maior resistência à compressão. Neste caso, as possíveis perdas estruturais provocadas pela desidratação osmótica podem ter sido compensadas pelo aumento da rigidez da estrutura celular, devido ao elevado teor de fibras da goiaba associado à redução do conteúdo de água da fruta desidratada.

RODRIGUES *et al.* (2003) avaliaram o efeito da desidratação osmótica de mamão com sacarose e aditivos nos parâmetros de cor e nas propriedades reológicas (tensão na ruptura e tempo de relaxação). Foram empregados 4 tipos de soluções contendo sacarose e como aditivos, ácido cítrico ou láctico e lactato de sódio ou cloreto de cálcio. De acordo com os autores, os valores de cor aumentaram, mostrando uma intensificação da cor com o processo. A luminosidade apresentou um ligeiro aumento nas amostras tratadas com cloreto de cálcio, enquanto que nos outros tratamentos houve um decréscimo da luminosidade na primeira hora de desidratação retornando aos valores iniciais ao longo do processo. A utilização de um sal de cálcio no processo levou a valores de tensão na ruptura muito maiores devido à reação do cálcio com a pectina da parede celular, por ação da enzima pectinametilesterase, formando pectato de cálcio, que provoca um enrijecimento da estrutura da fruta. Por outro lado, o tempo de relaxação não variou significativamente entre os tratamentos.

Na desidratação osmótica de kiwis em solução de sacarose a 65°Brix, numa temperatura de 30°C, até que a amostra atingisse uma concentração de 30°Brix, CHIRALT *et al.* (2001) observaram que o tratamento osmótico provocou uma redução da tensão na ruptura, fato atribuído à perda de turgor das células, que se separam e/ou rompem durante a compressão, após o processo.

A influência dos ácidos cítrico e láctico na obtenção de melão osmoticamente desidratado quanto aos aspectos de textura instrumental e cor foi estudado por SANJINEZ-ARGANDOÑA *et al.* (2002a). Para isso, utilizaram-se três tipos de soluções (sacarose + ácido cítrico, sacarose + ácido láctico e sacarose) com diferentes concentrações de sacarose (50 a 70°Brix), sendo a desidratação osmótica realizada em temperatura controlada (30 a 50°C) por até 3 horas. Os autores verificaram que a concentração da solução desidratante e

a temperatura tiveram efeitos significativos no aumento da luminosidade do produto, independente do ácido usado. Em relação à textura, a tensão na ruptura foi menor para as amostras desidratadas osmoticamente, mostrando que estas frutas obtidas foram menos resistentes à compressão.

Os parâmetros de cor e as propriedades mecânicas de fatias de kiwi desidratados osmoticamente e posteriormente submetidos aos processos de congelamento e descongelamento foram avaliados num trabalho realizado por TALENS *et al.*, 2002. Segundo os autores, as amostras pré-tratadas osmoticamente apresentaram uma intensificação da cor após o descongelamento, enquanto que os kiwis sem tratamento osmótico tiveram um decréscimo nos valores de croma, provavelmente devido a uma ligeira degradação dos pigmentos. Também verificaram que a tensão na ruptura foi menor tanto nas amostras desidratadas osmoticamente quanto nas frutas que não tiveram este tratamento, deixando-as mais moles e menos resistentes ao rompimento. Essa característica foi atribuída principalmente aos severos danos mecânicos causados na estrutura celular em consequência do congelamento e descongelamento.

2.4. DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE DIFUSÃO DA ÁGUA E DOS SOLUTOS

A maioria dos modelos existentes para o estudo da cinética de desidratação osmótica estão baseados na Segunda Lei de Fick, que se baseia na equação da difusão, onde o fluxo de massa é proporcional ao gradiente de concentração entre o sólido e a solução. CRANK (1975) apresentou diversas soluções analíticas para a Segunda Lei de Fick, considerando diferentes condições iniciais e de contorno. Em sistema de coordenadas retangulares (x, y e z), a equação de difusão é expressa como:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{ef} \frac{\partial X}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{ef} \frac{\partial X}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{ef} \frac{\partial X}{\partial z} \right) \quad (2.1)$$

Assumindo regime não estacionário e forma geométrica de uma placa plana infinita com espessura 2L, onde a transferência de umidade durante a desidratação osmótica é predominantemente unidirecional e considerando D_{ef} constante, a equação 2.1 se reduz a:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial^2 X}{\partial y^2} \quad (2.2)$$

Para a situação de umidade inicial X_0 uniforme, desprezando as resistências externas à transferência de massa e considerando o encolhimento do produto durante a desidratação desprezíveis, as condições de contorno para a umidade X são:

$$X = X_0 \quad \text{em } t = 0 \quad 0 < y < L \quad (2.2a)$$

$$X = X_e \quad \text{em } y = L \quad t > 0 \quad (2.2b)$$

$$\frac{\partial X}{\partial y} = 0 \quad \text{em } y = 0 \quad t > 0 \quad (2.2c)$$

A solução da equação 2.2 com as condições de contorno 2.2a, 2.2b e 2.2c é:

$$\frac{X_t - X_\infty}{X_o - X_\infty} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-(2n+1)^2 \pi^2 D_{ef1} \frac{t}{4L^2}\right] \quad (2.3)$$

E para o soluto:

$$\frac{M_t - M_\infty}{M_o - M_\infty} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-(2n+1)^2 \pi^2 D_{ef2} \frac{t}{4L^2}\right] \quad (2.4)$$

Onde:

X = umidade da amostra (g);

M = massa de sólidos (sacarose ou maltose) na amostra (g);

D_{ef1} = difusividade efetiva da água (m²/s);

D_{ef2} = difusividade efetiva do soluto (m²/s);

t = tempo (s);

n = número de termos da série;

L = dimensão característica (m).

Vários autores utilizaram a solução da equação de difusão de Fick apresentada por CRANK (1975) para determinar os coeficientes de difusividade aparente da água e do soluto, como BARONI (1997) que estudou o efeito da concentração da solução desidratante e da temperatura na desidratação osmótica de cebola durante a cinética do processo. A desidratação foi realizada às temperaturas de 22, 30 e 40°C com concentração de NaCl de 5, 10 e 15% em peso. Os resultados obtidos mostraram que quanto maior a concentração do sal e a temperatura, maior é a taxa de transferência de massa e, portanto, maiores são os coeficientes de difusão.

Efeito semelhante foi verificado por RASTOGI & RAGHAVARAO (1997) e RASTOGI & RAGHAVARAO (2004) na modelagem da cinética de desidratação osmótica de cenoura e abacaxi, respectivamente, e por RASTOGI *et al.* (1997), no estudo da transferência de massa durante a desidratação osmótica de bananas. Em todos os casos foi empregada a solução da Segunda Lei de Fick e, segundo os autores, o gradiente de pressão osmótica é responsável pela difusão da água do alimento para a solução, sendo que maiores temperaturas e concentrações de solução resultam no aumento do gradiente de pressão osmótica e, conseqüentemente, maiores valores para os coeficientes de difusão da água e dos solutos são encontrados.

No estudo da cinética da desidratação osmótica de tomates utilizando a segunda lei de Fick, TELIS *et al.* (2003) também verificaram uma dependência da taxa de transferência de massa com a concentração de NaCl (5 e 10% p/p) e sacarose (30 e 40% p/p) na solução osmótica. Taxas maiores de perda de água e de impregnação de solutos foram obtidas com a utilização da solução mais concentrada de agente desidratante no processo. Além disso, os coeficientes de difusividade aparente para a água foram mais altos nas concentrações mais elevadas de NaCl, enquanto que o aumento da concentração de sacarose resultou em coeficientes de difusividade mais baixos. Para o ganho de NaCl, soluções com menor concentração de sacarose apresentaram coeficientes de difusividade para o sal mais elevados, enquanto que a difusividade para a sacarose aumentou com a diminuição da concentração de sal na solução osmótica, mostrando a existência de um efeito interativo entre os dois solutos no processo.

SERENO *et al.* (2001) estudaram a modelagem da desidratação osmótica de cilindros de maçã em soluções de sacarose e NaCl durante 4 horas de processo com diferentes temperaturas e concentrações através de um modelo que pode ser comparado a uma simplificação da solução da equação de difusão de Fick (equações 2.3 e 2.4). Os resultados desse trabalho mostraram que o modelo utilizado apresentou boas estimativas dos coeficientes de transferência de massa para a água e os solutos, além de uma influência marcante da temperatura e da concentração na taxa de perda de água.

Segundo AZUARA *et al.* (1992), as equações utilizadas para descrever a cinética do processo osmótico são complexas e geralmente específicas para certas condições de processo e configurações geométricas, além de não predizerem o ponto de equilíbrio. Diante disso, os autores encontraram uma equação capaz de prever a cinética de desidratação osmótica e o ponto final do equilíbrio, sem a necessidade de se chegar, de fato, ao equilíbrio, utilizando apenas um curto período de processo. O modelo pode ser utilizado para caracterizar a desidratação osmótica de diferentes tipos de alimentos, sem restrições de geometria. Partindo-se de um balanço de massa no material que sofrerá desidratação, obtém-se as seguintes equações para a perda de água (PA_t) ou para o ganho de sólidos do produto (GS_t) em função do tempo, respectivamente:

$$PA_t = \frac{S_1 \cdot t (PA_\infty)}{1 + S_1 t} \quad (2.5)$$

$$GS_t = \frac{S_2 \cdot t (GS_\infty)}{1 + S_2 t} \quad (2.6)$$

Onde:

S_1 = constante relacionada à perda de água;

S_2 = constante relacionada ao ganho de sólidos;

PA_∞ = perda de água no equilíbrio (%);

GS_∞ = ganho de sólidos no equilíbrio (%).

Os valores das constantes (S_1 e S_2) e PA_∞ e GS_∞ (situação de equilíbrio) podem ser calculados a partir da linearização das equações 2.5 e 2.6:

$$\frac{t}{PA_t} = \frac{1}{S_1 (PA_\infty)} + \frac{t}{PA_\infty} \quad (2.7)$$

$$\frac{t}{GS_t} = \frac{1}{S_2(GS_\infty)} + \frac{t}{GS_\infty} \quad (2.8)$$

Como as taxas de transferência de massa durante a desidratação osmótica são maiores no início do processo, é comum a utilização de versões simplificadas da equação de difusão de Fick, considerando um curto tempo de tratamento, regime transiente, difusão em um meio semi-infinito, concentração da solução osmótica constante e resistência externa à transferência de massa desprezível. Esta equação é apresentada por CRANK (1975):

$$\frac{PA_t}{PA_\infty} = 2 \cdot \left(\frac{D_{ef} t}{\pi L^2} \right)^{1/2} \quad (2.9)$$

Onde:

PA_t = perda de água no tempo t (%)

PA_∞ = perda de água no equilíbrio (%);

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

L = dimensão característica (m).

A equação 2.9 indica que a quantidade de água saindo do alimento é diretamente proporcional à raiz quadrada do tempo, sendo que o valor de D_{ef} calculado corresponde a uma difusividade média para a faixa de concentrações durante o processo difusional.

Relacionando a equação 2.9 com o modelo proposto pela equação 2.5, obtém-se uma expressão simples para calcular a difusividade da água a diferentes tempos:

$$(D_{ef})_t = \frac{\pi}{4} \left[\left(\frac{S_1 L}{1 + S_1 t} \right) \left(\frac{PA_\infty^{\text{mod}}}{PA_\infty^{\text{exp}}} \right) \right]^2 \quad (2.10)$$

Onde:

PA_{∞}^{mod} = valor da perda de água no equilíbrio (%) obtido pela equação (2.7);

PA_{∞}^{exp} = valor da perda de água no equilíbrio (%) obtido experimentalmente;

$(D_{ef})_t$ = difusividade efetiva no tempo t.

Quando PA_{∞}^{exp} é desconhecido, assume-se que seu valor é igual a PA_{∞}^{mod} e a equação 2.10 pode ser usada para obter boas estimativas para $(D_{ef})_t$, desde que os dados da cinética sejam adequadamente ajustados pela equação 2.5 e 2.6.

Rearranjando a equação 2.10 para uma geometria cúbica, isto é, considerando a dimensão característica como sendo a aresta do cubo, e substituindo-a na equação 2.5, chega-se à equação 2.11:

$$D_{ef1} = \frac{\pi}{4t^{1/3}} \left[\left(\frac{S_1 L^3}{1 + S_1 t} \right) \left(\frac{PA_{\infty}^{\text{mod}}}{PA_{\infty}^{\text{exp}}} \right) \right]^{2/3} \quad (2.11)$$

Analogamente, a difusividade dos solutos pode ser obtida pela equação 2.12:

$$D_{ef2} = \frac{\pi}{4t^{1/3}} \left[\left(\frac{S_2 L^3}{1 + S_2 t} \right) \left(\frac{GS_{\infty}^{\text{mod}}}{GS_{\infty}^{\text{exp}}} \right) \right]^{2/3} \quad (2.12)$$

A difusividade efetiva média $\overline{D_{ef}}$ foi calculada de acordo com a seguinte equação:

$$\overline{D_{ef}} = \frac{\sum_{i=1}^n (D_{ef_t})_i}{N} \quad (2.13)$$

Onde:

$(D_{ef,t})_i$ = difusividade efetiva no tempo t ;

N = número de dados utilizados.

O efeito do agente osmótico (NaCl e a mistura NaCl-sacarose) e da concentração da solução (10 e 25% p/p) na desidratação osmótica de tomate cereja à temperatura ambiente (25°C) foi estudado por AZOUBEL & MURR (2000). Determinou-se a cinética de perda de água através do modelo de AZUARA, baseado na segunda lei de Fick e aplicado para uma geometria esférica. Os autores concluíram que o modelo foi capaz de descrever todo o processo osmótico até o ponto de equilíbrio e que os valores do coeficiente de difusividade obtidos pela equação da segunda lei de Fick mostraram a influência da concentração de soluto na desidratação osmótica, ou seja, maior perda de água e ganho de sal com o aumento da concentração de agente desidratante.

Na modelagem matemática da cinética de desidratação osmótica de cubos de mamão, EL-AOUAR (2001) verificou que os dados experimentais foram melhor ajustados aplicando-se o modelo de AZUARA, uma vez que as difusividades calculadas pelo modelo difusional baseado na solução da equação de difusão de Fick apresentaram erros relativos superiores.

Trabalhando com desidratação osmótica de fatias de maçã, KAYMAK-ERTEKIN & SULTANOGLU (2000) avaliaram a influência da concentração da solução de sacarose, dextrose ou sacarose/dextrose e da temperatura (20 – 50°C) em 8 horas de processo. O ponto final de equilíbrio e os coeficientes de difusividade para a água e solutos foram estimados usando o modelo de AZUARA, obtendo-se resultados satisfatórios. De acordo com os autores, o aumento da concentração da solução e da temperatura favoreceu a difusão da água do produto para a solução. Além disso, nas soluções contendo sacarose e dextrose, tanto a perda de água como o ganho de sólidos foram maiores com o aumento da proporção de dextrose na solução.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. MATERIAL

Matéria-prima:

Foi utilizado melão da variedade *Cucumis melo inodorus*, cultivar Gold Mine fornecido pelo CEASA Campinas / SP, usando como critério de seleção: nível de maturação, intensidade da cor e Brix (9-10°Brix), mesmo tamanho e forma, a fim de se obter amostras relativamente homogêneas (Figura 3.1).



Figura 3.1 – Foto do melão da variedade *Cucumis melo inodorus* utilizado nos experimentos deste trabalho

Agente desidratante:

- Sacarose comercial (marca União);
- Maltose (xarope de milho de alta maltose – Malteggill® 63/82) adquirida da Cargill do Brasil (especificações no Apêndice I).

As soluções desidratantes foram preparadas com água destilada nas concentrações de 40 a 60°Brix.

Agente Sanitizante

A sanitização da matéria-prima foi feita com a utilização do Desinfetante Clorado para Frutas e Verduras – Sumaveg, da Diversey Lever, na concentração de 0,66% (p/v).
Componente Químico: Dicloro S. Triazinatriona Sódica Dihidratada.

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Caracterização da Matéria-Prima

A matéria-prima foi caracterizada quanto à composição química centesimal, sendo determinados os teores de umidade, cinzas, proteínas, lipídeos, açúcares redutores e totais e acidez segundo A.O.A.C (1995). As características físicas foram avaliadas pelas medidas de peso, comprimento, diâmetro, sólidos solúveis, pH e atividade de água.

3.2.2. Caracterização da Amostra Controle

O melão *in natura*, usado como controle, foi caracterizado com o objetivo de se obter padrões para a comparação com o produto após o tratamento, sendo submetido às determinações de atividade de água, açúcares, cor, textura instrumental e umidade.

3.2.3. Desidratação Osmótica

A Tabela 3.1 apresenta todos os ensaios de desidratação osmótica realizados para avaliar o efeito das variáveis: tipo de açúcar, concentração da solução e temperatura sobre as respostas umidade, atividade de água, perda de peso, incorporação de açúcares, cor, tensão máxima na ruptura e tempo de relaxação.

Tabela 3.1 - Ensaios de Cinética de Desidratação Osmótica

Ensaio	Tipo de açúcar	Concentração (°Brix)	Temperatura (°C)
1	Sacarose	40	30
2	Sacarose	50	30
3	Sacarose	60	30
4	Sacarose	40	40
5	Sacarose	50	40
6	Sacarose	60	40
7	Maltose	40	30
8	Maltose	50	30
9	Maltose	60	30
10	Maltose	40	40
11	Maltose	50	40
12	Maltose	60	40

Os frutos foram descascados manualmente, cortados em cubos de 20 mm, pesados e então colocados em frascos de 600ml com a solução desidratante nas concentrações de 40 a 60°Brix, previamente aquecida em temperaturas de 30 ou 40°C, de acordo com a Tabela 3.1 A relação amostra:solução utilizada foi 1:10 (p/p), para garantir a concentração da solução constante durante todo o processo. Os ensaios de desidratação osmótica para a determinação da cinética do processo foram conduzidos à temperatura controlada em banho termostático, marca Tecnal, modelo TE-420 (Figura 3.2), com agitação (120 rpm) durante 8 horas com retirada de amostras nos tempos: 0,5, 1, 1,5, 2, 3, 4, 6, 7 e 8 horas de processo.



Figura 3.2 – Foto do equipamento utilizado nos experimentos deste trabalho

Em seguida, o melão foi drenado, enxaguado com água destilada para retirar o excesso de xarope, colocado sobre papel absorvente para a remoção da solução em excesso e pesado novamente para a determinação da perda de peso em relação à massa inicial do produto, avaliada através da equação:

$$PP(\%) = 100 \cdot \left[1 - \frac{m_f}{m_0} \right] \quad (3.1)$$

sendo:

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

m_0 = massa inicial do produto (g);

m_f = massa final do produto (g).

A perda de água em termos percentuais foi calculada pela equação:

$$PA(\%) = 100 \cdot \left[1 - \left(\frac{m_f \cdot X_{buf}}{m_0 \cdot X_{bu0}} \right) \right] \quad (3.2)$$

sendo:

PA = perda de água do produto desidratado (%);

X_{bu0} = teor de umidade em base úmida inicial do produto (%);

X_{buf} = teor de umidade em base úmida final do produto (%).

O ganho de sólidos, ou incorporação de açúcares, foi calculado por meio da seguinte equação:

$$GS(\%) = 100 \cdot \left[\frac{AT_f \cdot m_f - AT_0 \cdot m_0}{m_0} \right] \quad (3.3)$$

sendo:

GS = incorporação de sólidos do produto desidratado (%);

AT_0 = teor de açúcares totais inicial do produto (%);

AT_f = teor de açúcares totais final do produto (%).

O cálculo da difusividade aparente da água e dos solutos foi realizado conforme o modelo de AZUARA *et al.* (1992), adaptado para a geometria cúbica, em estado não estacionário conforme o item 2.4. O ajuste foi feito através do software STATISTICA[®] 5.0.

Após a realização dos ensaios para avaliação da cinética de desidratação osmótica, foram escolhidas as condições mais favoráveis do processo para cada uma das seguintes respostas: maior perda de água e menor incorporação de açúcares simultaneamente, ou seja, menor relação GS/PA (RAVINDRA & CHATTOPADHYAY, 2000), maior abaixamento

da atividade de água, textura e cor mais próximas da fruta fresca. Determinadas essas condições, o melão foi submetido a novos ensaios de desidratação osmótica para a realização de uma avaliação sensorial, a fim de se verificar a aceitação do produto pelo consumidor, sendo que o tempo do tratamento foi definido a partir das cinéticas de perda de água, perda de peso, ganho de sólidos e textura.

3.2.4. Métodos Analíticos

As análises foram realizadas nas amostras de melão “in natura” e no melão desidratado osmoticamente, em triplicata. O resultado final foi dado pela média da triplicata e pelo desvio padrão.

Determinação de atividade de água

A determinação da atividade de água foi realizada à temperatura de 25°C, utilizando-se o equipamento Aqualab, modelo CX-2 (Decagon Devices Inc., Pullman, WA).

Determinação da massa da amostra

A massa foi medida em balança semi-analítica marca Marte, modelo AM5500, para a verificação da perda de peso decorrente do processo.

Determinação de açúcares redutores e totais

A determinação foi feita segundo a metodologia de Munson-Walker General Method (A.O.A.C., 1995).

Determinação de umidade

Foi realizada utilizando-se estufa à vácuo a 70°C , a uma pressão menor que 10 kPa, por um período de 24 horas (A.O.A.C., 1995).

Determinação de textura

A determinação de textura foi realizada através da avaliação da tensão máxima na ruptura, do tempo de relaxação e da tensão residual da amostra, com o auxílio do texturômetro Universal Testing Machine, modelo TATX2i, marca Stable Micro Systems (COSTELL *et al.*, 1997). Para se desconsiderar a influência do grau de maturação da fruta na textura, os resultados obtidos foram normalizados, ou seja, relacionados com os respectivos valores de tensão na ruptura, tempo de relaxação e tensão residual para a fruta fresca utilizada em cada ensaio, por meio da razão entre eles.

A tensão na ruptura foi determinada através de um ensaio de compressão uniaxial a altas deformações da amostra, utilizando uma placa cilíndrica de acrílico lubrificada de 60mm de diâmetro, a uma velocidade de compressão de 1mm/s e 80% de deformação da amostra (SANJINEZ-ARGANDOÑA *et al.*, 2002a). Os dados da força e altura fornecidos pelo equipamento foram convertidos à tensão de Hencky (σ_H) e deformação (ε_H), considerando o produto incompressível, de acordo com as equações 3.4 a 3.6.

$$\sigma_H = \frac{F(t)}{A(t)} \quad (3.4)$$

$$\varepsilon_H = -\ln\left(\frac{H(t)}{H_0}\right) \quad (3.5)$$

onde:

σ_H = tensão de Hencky (Pa);

ε_H = deformação;

F(t) = força (N) em função do tempo t (s).

$$A(t) = \frac{A_0 H_0}{H(t)} \quad (3.6)$$

onde:

$A(t)$ = área (m²) em função do tempo (s);

A_0 = área inicial da amostra (m²);

H_0 = altura inicial da amostra (m);

$H(t)$ = altura da amostra (m) em função do tempo (s).

A tensão máxima na ruptura foi calculada pelo valor do pico da curva tensão-deformação para as amostras *in natura* e osmoticamente desidratadas.

O tempo de relaxação e a tensão residual foram avaliados através de um ensaio de compressão uniaxial a baixas deformações da amostra, utilizando uma placa cilíndrica de acrílico lubrificada de 60mm de diâmetro, durante 600s, usando velocidade inicial de 7mm/s e deformação de 5% da amostra. Como as amostras apresentaram comportamento viscoelástico não linear nas condições de deformação estipuladas para o ensaio (Apêndice II), o tempo de relaxação e a tensão residual foram calculados pela curva tensão-relaxação, linearizada através da equação 3.7 (PELEG, 1980).

$$\frac{\sigma_0 \cdot t}{\sigma_0 - \sigma_t} = k_1 + k_2 \cdot t \quad (3.7)$$

onde:

σ_0 = tensão inicial (Pa);

σ_t = tensão (Pa) em função do tempo (s);

t = tempo (s);

k_1 = elemento viscoso;

k_2 = elemento elástico (s⁻¹).

A partir das constantes k_1 e k_2 , calculou-se o tempo de relaxação (τ) e a tensão residual (S_r), através das equações 3.8 e 3.9, considerando-se que no tempo de relaxação $\sigma_t = 0,75 \sigma_0$ (LEWICKI & LUKASZUK, 2000).

$$\tau = \frac{k_1}{4 - k_2} \quad (3.8)$$

$$S_r = 1 - \frac{1}{k_2} \quad (3.9)$$

Determinação de cor

A cor do melão fresco e desidratado foi avaliada através do sistema de leitura de três parâmetros, o CIELAB, proposto pela Comissão Internationale de l'Eclairage (CIE) em 1971. Os parâmetros L^* , a^* e b^* foram fornecidos pelo espectrofotômetro de bancada Color Quest II, marca Hunter Lab, 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). O modelo de calibração utilizado foi Reflectância Especular Incluída (RSIN), com uma fonte de iluminação D65 e ângulo de observação de 10° . Os valores da luminosidade foram normalizados, para minimizar a influência do grau de maturação das frutas nos resultados finais.

Com os parâmetros L^* , a^* e b^* , foram avaliadas as coordenadas cilíndricas C^* e H^* , onde C^* define o croma e H^* o tom, a partir das equações 3.10 e 3.11.

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (3.10)$$

$$H^* = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (3.11)$$

3.2.5. Avaliação Sensorial

As amostras obtidas dos ensaios de desidratação osmótica realizados nas melhores condições foram submetidas a uma análise sensorial, utilizando-se escala hedônica não estruturada de 9 cm tendo como limites desgostei muitíssimo e gostei muitíssimo. O produto foi avaliado em relação à aparência, textura, sabor, aroma e impressão global por 35 provadores não treinados e consumidores de melão. As amostras foram servidas em pratos de plástico, sob iluminação ambiental e codificadas com números de 3 dígitos aleatórios. A ficha aplicada no teste encontra-se no Apêndice III.

Os resultados foram analisados estatisticamente pela análise de variância aplicando o teste de Tukey com o objetivo de se verificar possíveis diferenças entre as amostras submetidas aos diversos tratamentos e em relação à amostra *in natura*.

3.2.6. Análise Estatística

Os resultados foram avaliados estatisticamente através da Análise de Variância, aplicando o Teste de Duncan ao nível de 5% de significância, com o auxílio do programa STATISTICA® 5.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo são apresentados de acordo com os seguintes itens:

- a) Caracterização física e composição química do melão da variedade *Cucumis melo inodorus*;
- b) Avaliação dos efeitos das variáveis: tipo e concentração da solução osmótica e temperatura de desidratação sobre as respostas perda de água, perda de peso, ganho de sólidos, atividade de água, textura e cor, além da escolha das melhores condições de processo;
- c) Determinação dos coeficientes de difusão da água e dos solutos através do modelo de AZUARA *et al.* (1992);
- d) Análise sensorial, visando avaliar a qualidade do produto final e verificar a sua aceitação pelo consumidor.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

A composição química centesimal e a caracterização física do melão da variedade *Cucumis melo inodorus*, cultivar Gold Mine encontram-se nas Tabelas 4.1 e 4.2, respectivamente. Os dados apresentados correspondem a uma média de, no mínimo, três determinações com seu desvio padrão.

Tabela 4.1 – Composição química centesimal do melão *in natura*

Análise	Valor Médio (%)
Umidade (base úmida)	90,59 ± 1,13
Cinzas	0,41 ± 0,01
Proteínas	0,42 ± 0,02
Açúcares Totais	8,34 ± 0,83
Açúcares Redutores	4,81 ± 0,51
Lipídeos	0,21 ± 0,01
Acidez	0,11 ± 0,01

Tabela 4.2 – Caracterização física do melão *in natura*

Característica	Especificação
Peso Médio (g)	2193,28 ± 157,41
Comprimento Médio (cm)	17,70 ± 0,74
Diâmetro Médio (cm)	13,17 ± 0,57
Sólidos Solúveis (°Brix)	9,50 ± 0,83
pH	5,53 ± 0,09
Atividade de Água	0,982 ± 0,002

4.2. DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

4.2.1. Perda de Água e Ganho de Sólidos

A influência do tempo, da temperatura e da concentração da solução desidratante na perda de água e na incorporação de sólidos durante o processo de desidratação osmótica podem ser observados nas Figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4.

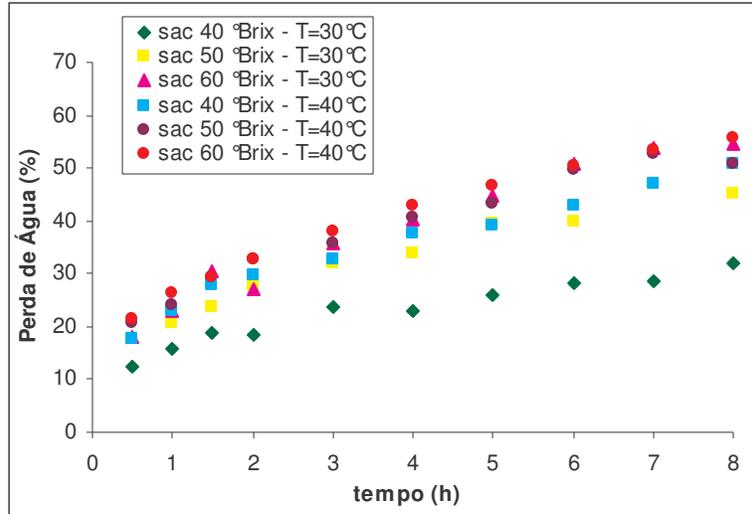


Figura 4.1 – Cinéticas de Perda de Água a 30 e 40°C durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose

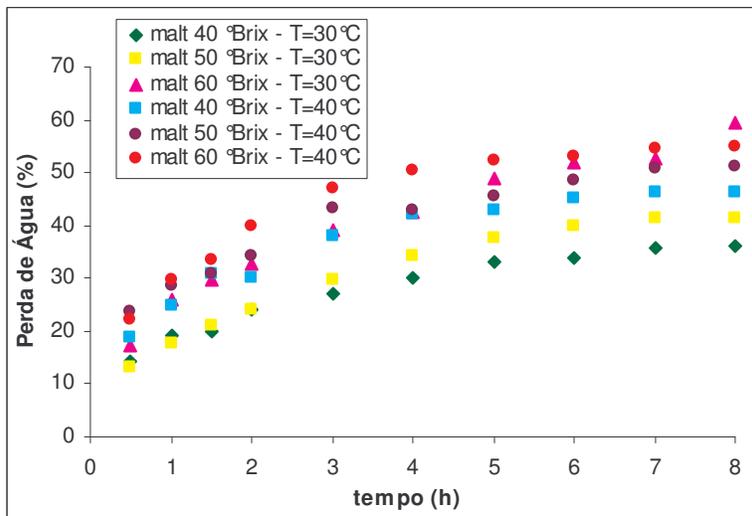


Figura 4.2 – Cinéticas de Perda de Água a 30 e 40°C durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose

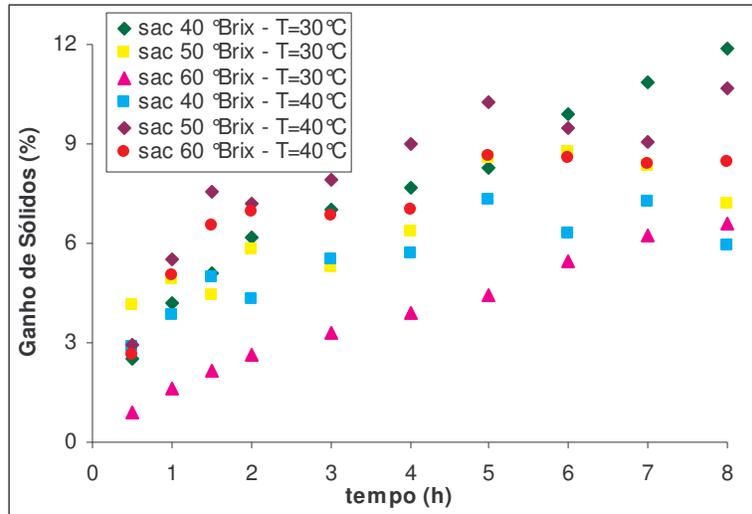


Figura 4.3 – Cinéticas de Ganho de Sólidos a 30 e 40°C durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose

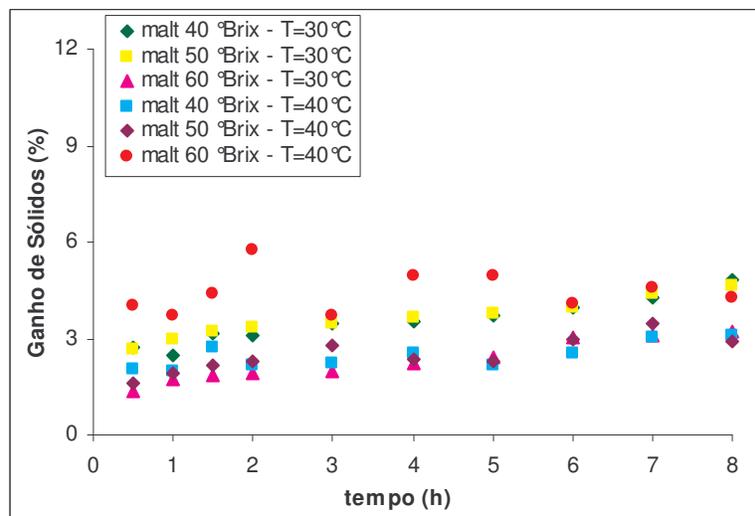


Figura 4.4 – Cinéticas de Ganho de Sólidos a 30 e 40°C durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose

De acordo com as Figuras 4.1 e 4.2, verificou-se uma maior perda d'água nas duas primeiras horas de processo em comparação à perda de água alcançada em 8 horas de desidratação, principalmente nos ensaios realizados com maltose, consequência da maior força osmótica de desidratação existente entre o alimento e a solução hipertônica no início do processo. Além disso, em todos os ensaios, foi observada uma tendência à estabilização

ou redução da perda de água a partir da sexta hora provavelmente devido à aproximação do equilíbrio.

O aumento da concentração da solução osmótica e da temperatura favoreceram a perda de água no produto pelo maior gradiente de pressão osmótica na interface produto/solução, proporcionando uma maior taxa de transferência de massa. Comportamento semelhante foi relatado por RASTOGI & RAGHAVARAO (2004), LAZARIDES *et al.* (1995) e TALENS *et al.* (2002) em trabalhos similares, onde os autores afirmam que maiores taxas de perda de água são obtidas com a combinação alta temperatura e concentração da solução hipertônica.

Para o ganho de sólidos, foram observadas diferenças marcantes entre os tratamentos com sacarose e maltose (Figuras 4.3 e 4.4). De maneira geral, o melão desidratado osmoticamente com solução de maltose apresentou uma incorporação de solutos inferior ao processado com sacarose. Este fato se deve às diferenças entre o peso molecular das duas soluções utilizadas, pois de acordo com o Apêndice I, o xarope de maltose apresenta em sua composição moléculas de dextrose (glicose) e maltose, resultando num xarope com peso molecular superior do que o xarope de sacarose. Comportamento semelhante foi observado por LAZARIDES & MAVROUDIS (1996), LAZARIDES *et al.* (1995) e FORNI *et al.* (1997) nos seus trabalhos com batatas, maçãs e abricós, respectivamente, e, além disso, segundo ARGAIZ *et al.* (1994), o xarope de milho gera um produto não muito doce com características semelhantes à fruta fresca.

Através dos gráficos de cinética de ganho de sólidos no processo (Figuras 4.3 e 4.4), observou-se uma maior taxa de incorporação de sólidos até a segunda hora de desidratação para os dois solutos, sendo que após este período a incorporação de maltose apresentou uma tendência ao equilíbrio. Para o ganho de sacarose, foi verificado um comportamento distinto em relação à maltose, havendo uma incorporação considerável de solutos até a oitava hora de processo em todas as condições estudadas, principalmente nas soluções a 40

e 60°Brix a 30°C, provavelmente devido ao menor peso molecular deste açúcar que facilita a sua difusão para o produto.

Analisando o efeito da concentração da solução osmótica no ganho de sólidos, notou-se uma diminuição da incorporação tanto de sacarose quanto de maltose com o aumento da concentração da solução, pois soluções mais concentradas limitam a entrada de sólidos no produto pela formação de uma camada superficial de açúcar ao redor da fruta. Esta ocorrência foi comprovada por SANJINEZ-ARGANDOÑA (1999) e TALENS *et al.* (2002) em seus trabalhos com goiabas e kiwis, respectivamente. Entretanto, no presente trabalho, este fenômeno ocorreu apenas à temperatura de 30°C, quando a viscosidade da solução é maior, representando uma barreira para a transferência de massa da solução para a fruta. Por outro lado, a redução da viscosidade da solução a 40°C resultou numa maior taxa de incorporação de sólidos com o aumento da concentração da solução infusora.

Em relação à influência da temperatura, o melão desidratado osmoticamente com sacarose a 40°C apresentou um ganho de açúcares superior ao processado à temperatura de 30°C, favorecido pela temperatura mais alta que altera a permeabilidade da membrana celular, permitindo um maior ingresso de sacarose para a fruta, exceto para a concentração de 40°Brix (Figura 4.3). Por outro lado, nos tratamentos com maltose, uma maior incorporação de açúcares foi verificada somente na concentração de 60°Brix (Figura 4.4), enquanto que nas outras concentrações (40 e 50°Brix), observou-se um menor ganho de sólidos à temperatura de 40°C, fato que pode ser atribuído a uma possível maior preservação da estrutura celular pela maltose, impedindo uma entrada elevada de açúcar para o interior da fruta numa temperatura mais alta.

Considerando a análise feita para a perda de água e o ganho de sólidos durante a desidratação osmótica, para selecionar a condição que proporcione simultaneamente uma maior redução da umidade e menor incorporação de açúcares, utilizou-se a relação adimensional GS/PA proposta por RAVINDRA & CHATTOPADHYAY (2000), sendo que menores valores dessa relação garantem um ganho de sólidos pequeno e uma maior

perda de água. De acordo com os valores de GS/PA obtidos durante a cinética de desidratação para cada ensaio (Apêndice IV), escolheu-se como melhor condição para essa resposta o ensaio com solução de maltose na concentração de 60°Brix e temperatura igual a 30°C.

4.2.2. Perda de Peso

As Figuras 4.5 e 4.6 mostram a perda de peso das amostras em função do tempo de processo, da concentração da solução e da temperatura.

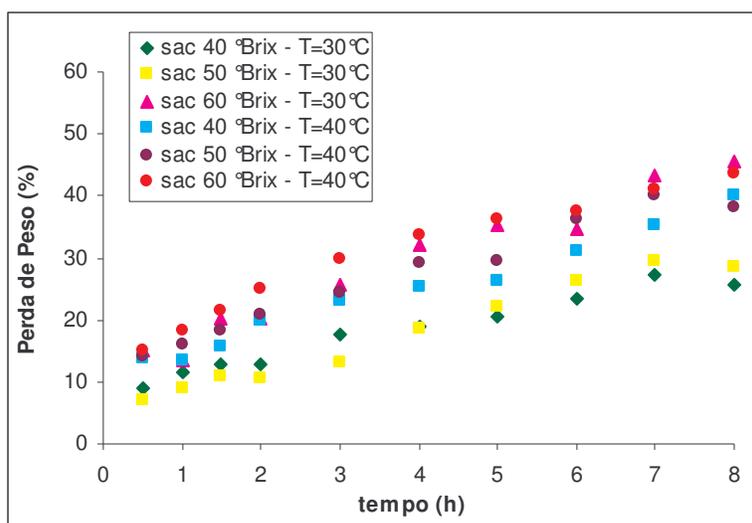


Figura 4.5 – Cinéticas de Perda de Peso a 30 e 40°C durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose

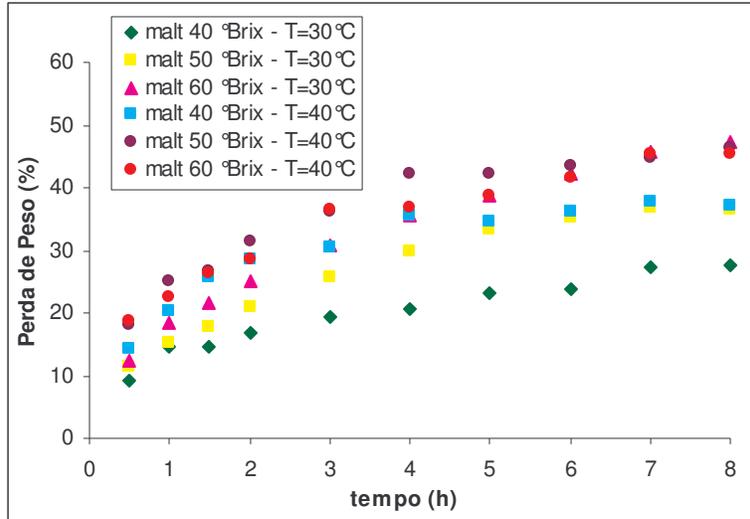


Figura 4.6 – Cinéticas de Perda de Peso a 30 e 40°C durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose

Assim como a perda de água, a maior taxa de perda de peso ocorreu durante as duas primeiras horas de processo. Analisando as Figuras 4.5 e 4.6, observa-se até a sexta hora de processo um aumento da perda de peso em todos os ensaios, após esse período pode-se visualizar uma tendência à estabilização da perda de peso devido ao equilíbrio atingido entre a fruta e a solução hipertônica. Em contrapartida, um ligeiro aumento do peso foi observado em dois ensaios (sacarose 50°Brix – 40°C e sacarose 40°Brix – 30°C) na oitava hora de processo (Figura 4.5), que está associado a uma maior impregnação de sacarose na fruta (Figura 4.3), como consequência dos danos no tecido celular do melão, ocasionados pela temperatura e tempo de processo.

Pode-se observar também nas Figuras 4.5 e 4.6 que a concentração da solução desidratante apresenta um efeito positivo na perda de peso devido ao aumento da pressão osmótica. Com relação à temperatura, esta variável mostra uma forte influência na perda de peso, uma vez que temperaturas mais elevadas promovem um aumento na difusividade da água, intensificando a perda de água e, conseqüentemente, a perda de peso do produto.

4.2.3. Atividade de Água

A água é o principal constituinte dos alimentos frescos, como é o caso das frutas, sendo possível estabelecer uma estreita relação entre o conteúdo de água no alimento e sua conservação. A atividade de água, expressa pelo teor de água livre no produto, é considerada um parâmetro de referência no processamento de alimentos, uma vez que está relacionada com o crescimento microbiano e com as reações químicas e enzimáticas que podem ocorrer no produto durante o armazenamento.

As Figuras 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10 ilustram a variação desta propriedade em função da temperatura e concentração da solução durante o processo.

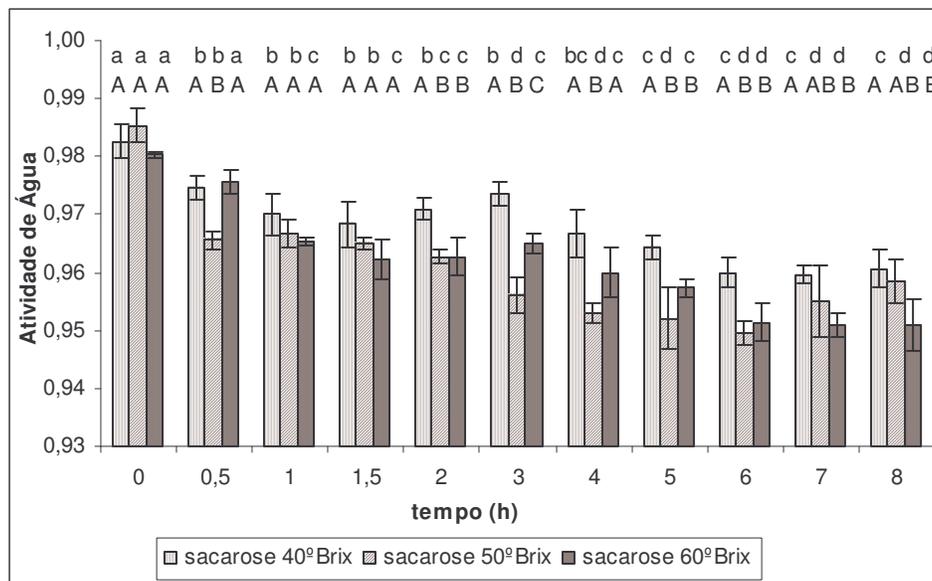


Figura 4.7 – Variação da Atividade de Água durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose a 30°C

Letras minúsculas representam a variação de cada tratamento com o tempo de processo e as letras maiúsculas representam a variação entre os tratamentos para cada tempo da cinética. Colunas com a mesma letra minúscula ou maiúscula não diferem entre si para $p < 0,05$.

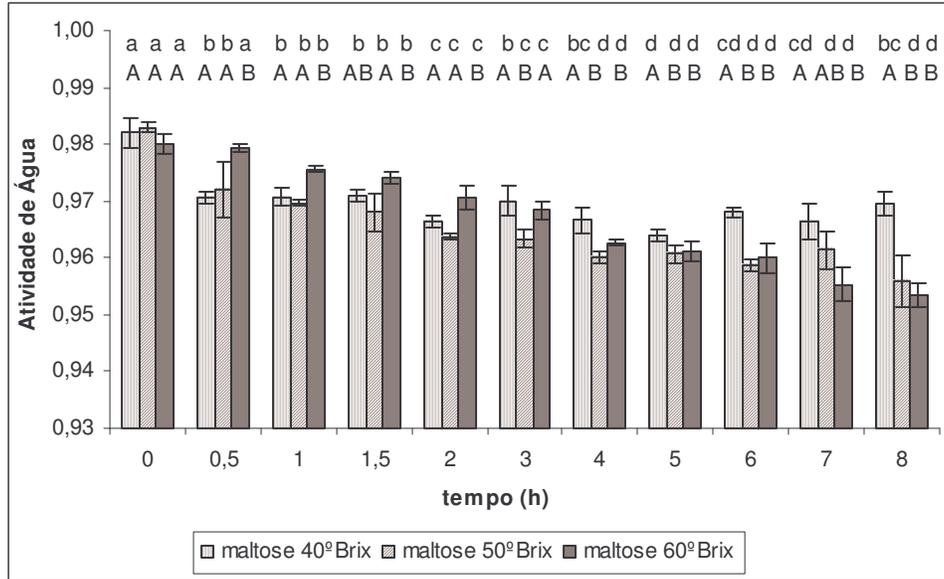


Figura 4.8– Variação da Atividade de Água durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose a 30°C

Letras minúsculas representam a variação de cada tratamento com o tempo de processo e as letras maiúsculas representam a variação entre os tratamentos para cada tempo da cinética. Colunas com a mesma letra minúscula ou maiúscula não diferem entre si para $p < 0,05$.

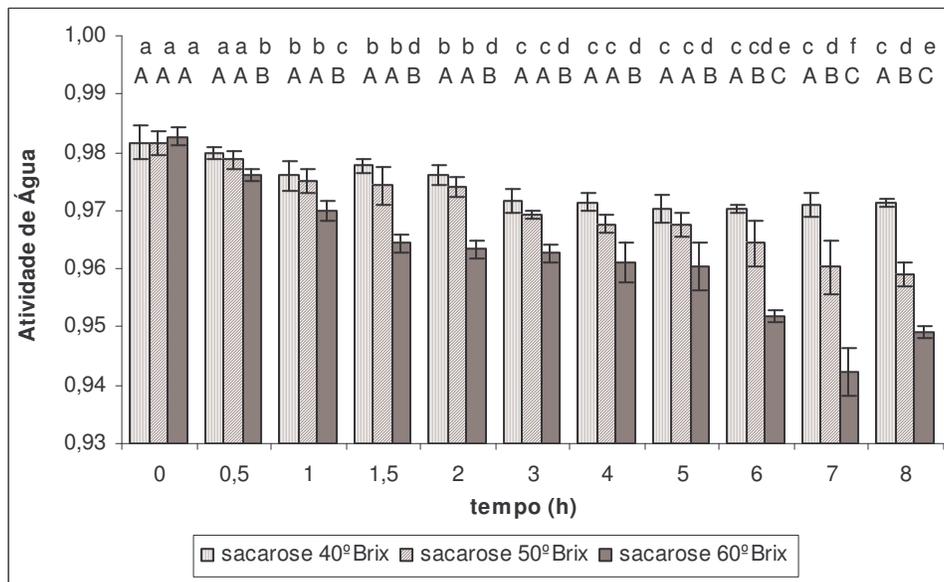


Figura 4.9 – Variação da Atividade de Água durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose a 40°C

Letras minúsculas representam a variação de cada tratamento com o tempo de processo e as letras maiúsculas representam a variação entre os tratamentos para cada tempo da cinética. Colunas com a mesma letra minúscula ou maiúscula não diferem entre si para $p < 0,05$.

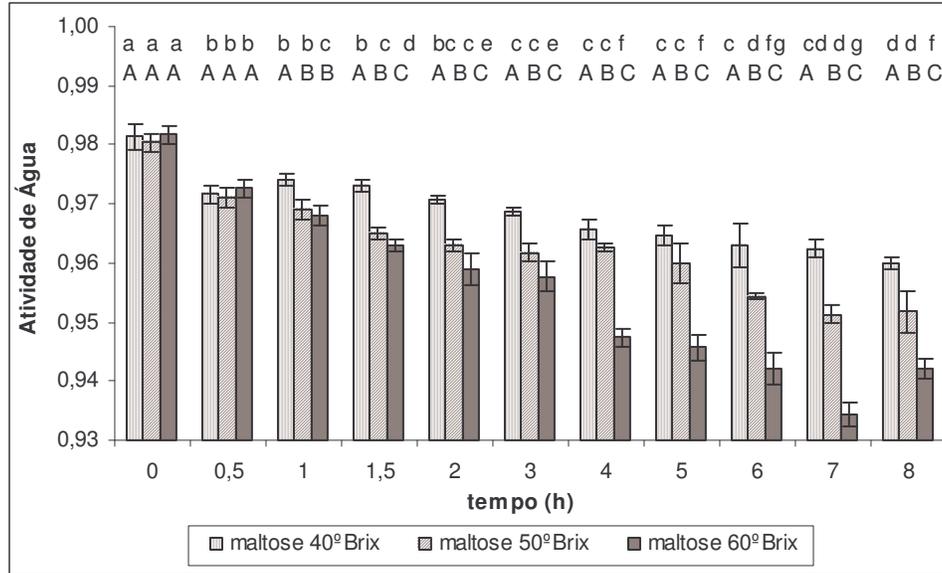


Figura 4.10 - Variação da Atividade de Água durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose a 40°C

Letras minúsculas representam a variação de cada tratamento com o tempo de processo e as letras maiúsculas representam a variação entre os tratamentos para cada tempo da cinética. Colunas com a mesma letra minúscula ou maiúscula não diferem entre si para $p < 0,05$.

Foi observado um decréscimo nos valores de atividade de água do melão em todos os tratamentos durante a cinética, no entanto, apesar das maiores taxas de perda de água e de peso nas duas primeiras horas de processo, verificou-se uma queda significativa ($p < 0,05$) dos valores desta propriedade até a quinta hora de processo, notando-se uma tendência ao equilíbrio após este período. Apenas o ensaio com maltose a 60° Brix e 40°C (Figura 4.10) apresentou uma alteração significativa da atividade de água até o final do processo, provavelmente devido ao efeito sinérgico da combinação entre elevada concentração da solução osmótica e alta temperatura de processo.

De maneira geral, o aumento da concentração da solução desidratante provocou uma maior redução na atividade de água nos ensaios realizados a 40°C (Figuras 4.9 e 4.10), havendo diferença estatisticamente significativa a $p < 0,05$ na atividade de água entre os tratamentos durante praticamente todo o processo. No entanto, este comportamento não pareceu muito evidente na temperatura de 30°C, pois a partir da quarta hora de processo os

valores da atividade de água entre os tratamentos com sacarose e maltose nas concentrações de 50 e 60°Brix não diferiram significativamente a $p < 0,05$ (Figuras 4.7 e 4.8).

A elevação da temperatura de 30 para 40°C acarretou uma depressão na atividade de água do produto, sendo que para a sacarose esta variação foi mais branda (Figuras 4.7 e 4.9). Por outro lado, nos experimentos com maltose, a redução da atividade de água se deu de forma mais acentuada (Figuras 4.8 e 4.10), o que pode ser explicado pelo maior número de moles de soluto no xarope de maltose.

Pelo exposto, pode-se concluir que a maltose se mostrou mais eficiente na depressão da atividade de água do que a sacarose e, como esta redução foi mais intensa à maior temperatura e concentração da solução, escolheu-se como condição mais favorável para esta resposta o ensaio com maltose na temperatura de 40°C e concentração de 60°Brix.

4.2.4. Determinação de Textura

Tensão na Ruptura

A variação da tensão na ruptura durante o processo pode ser vista nas Figuras 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14. A análise estatística dos dados experimentais não foi apresentada, pois apesar da realização de um número maior de repetições para esta análise (quintuplicata), não foram observadas diferenças significativas entre as determinações de tensão na ruptura das amostras aos níveis de 5% e 10% de significância. Tal variação nas medidas da tensão na ruptura se deve à heterogeneidade entre as frutas e a falta de uniformidade em sua estrutura interna, uma vez que as propriedades mecânicas de um material biológico são determinadas pela estrutura e pelos constituintes da parede celular, afetados pelas condições de processo e pelas pequenas variações no nível de maturação, variedade e época de colheita. Uma grande variabilidade na matéria-prima também foi observada em trabalhos

realizados com goiabas (PEREIRA *et al.*, 2004) e maçãs (LEWICKI & LUKASZUK, 2000).

No presente trabalho, de acordo com as Figuras 4.12 e 4.14, os tratamentos com maltose resultaram em desvios na tensão na ruptura bem menores que os apresentados nas amostras processadas com sacarose (Figuras 4.11 e 4.13), mostrando um efeito protetor da maltose na preservação da estrutura celular, garantindo uma maior uniformidade nas características estruturais da fruta.

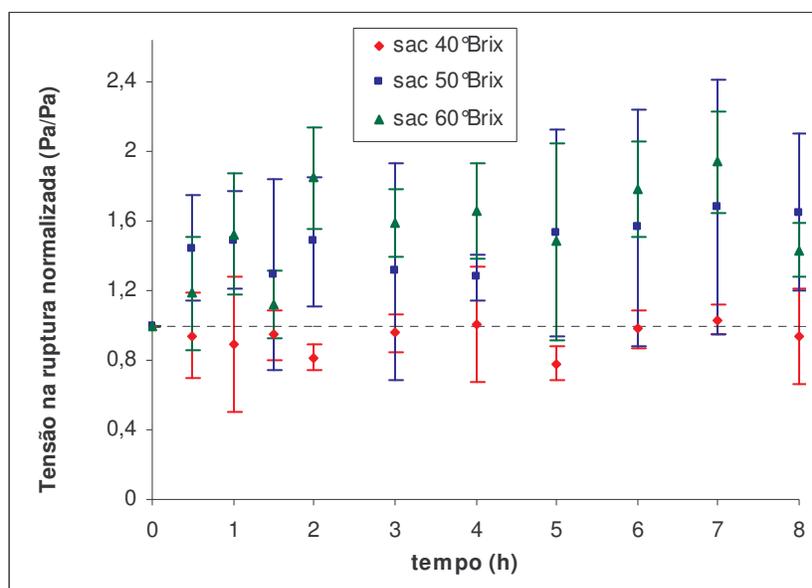


Figura 4.11 – Variação da Tensão na Ruptura durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose a 30°C

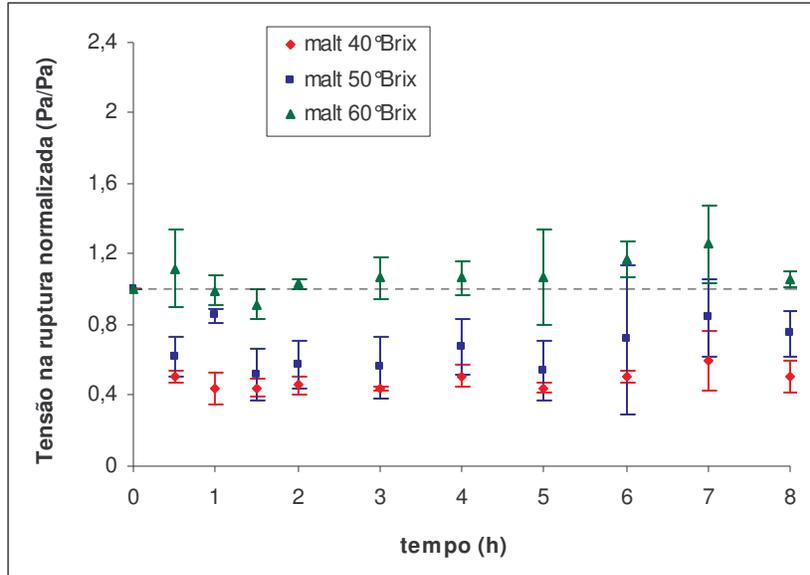


Figura 4.12 – Variação da Tensão na Ruptura durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose a 30°C

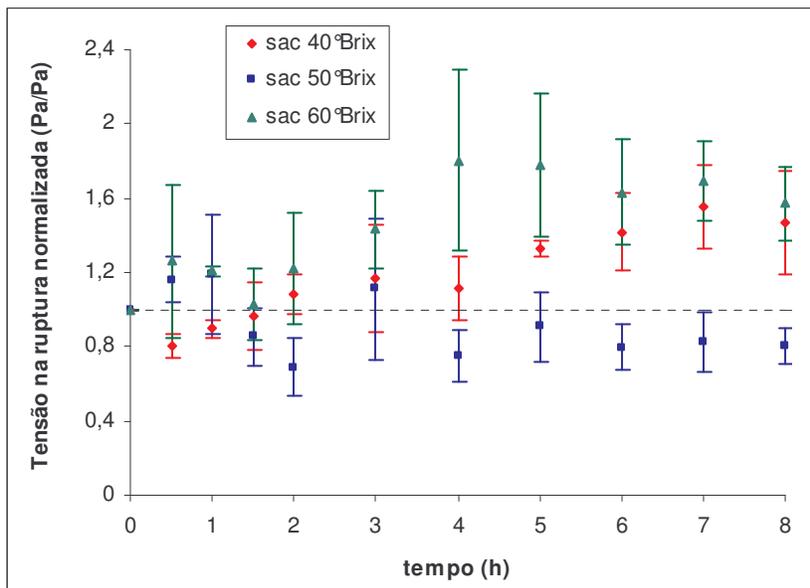


Figura 4.13 – Variação da Tensão na Ruptura durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose a 40°C

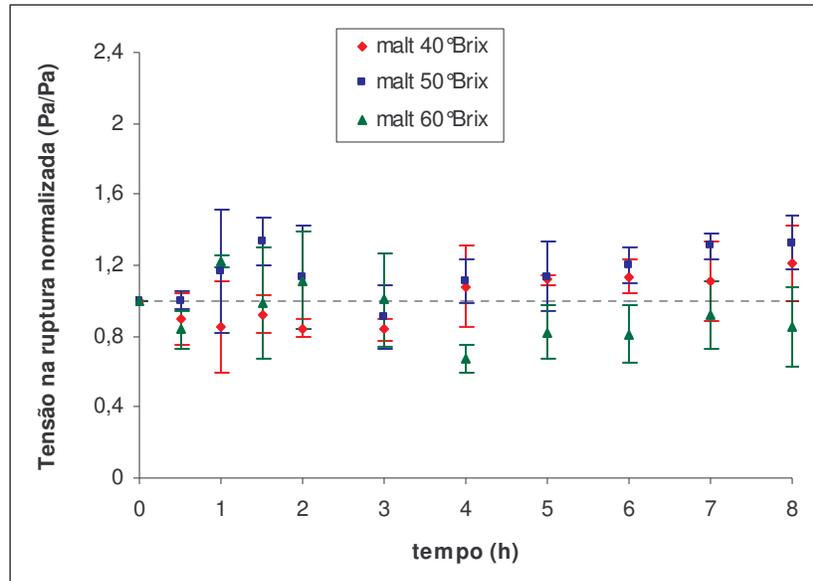


Figura 4.14 – Variação da Tensão na Ruptura durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose a 40°C

Na Figura 4.11, observam-se maiores valores de tensão na ruptura ao longo do tempo de desidratação osmótica para o ensaio realizado com concentração de 60°Brix de sacarose, sendo possível afirmar que estas amostras apresentaram uma característica mais acentuada de dureza, isto é, maior resistência à deformação. Este comportamento pode ser resultado da elevada viscosidade da solução nesta condição, acarretando a cristalização dos açúcares na superfície da amostra e, conseqüentemente, levando à formação de uma estrutura mais rígida. Apesar dos grandes desvios nas medidas da tensão na ruptura para a concentração de 50°Brix, foi verificada uma tendência ao aumento desta tensão com o tempo de processo, mas de menor intensidade em relação ao observado no tratamento com concentração de 60°Brix. Por outro lado, o melão desidratado osmoticamente com solução de sacarose a 40°Brix apresentou valores de tensão na ruptura normalizada oscilando ao redor de um ao longo das 8 horas de experimento.

Menores valores na tensão na ruptura das amostras processadas foram constatados nos ensaios utilizando maltose em concentrações de 40 e 50°Brix (Figura 4.12). O amolecimento da fruta foi maior nas duas primeiras horas de processo devido à maior taxa de transferência de massa no início da desidratação, ocorrência que também foi relatada por

MONSALVE-GONZÁLEZ *et al.* (1993) em maçãs desidratadas osmoticamente e, segundo os autores, a mudança de textura no processo osmótico é atribuída principalmente aos fluxos de perda de água e ganho de sólidos e a fatores químicos e enzimáticos, como a decomposição da pectina presente na parede celular. Considerando que a perda de água e o ganho de sólidos são parâmetros importantes na alteração da textura dos produtos desidratados osmoticamente, pode-se afirmar que o tratamento com solução de maltose a 60°Brix, por apresentar uma pequena incorporação de sólidos, resultou em valores de tensão na ruptura muito próximos da unidade, indicando que as características da fruta fresca foram mantidas durante o processo.

Analisando as Figuras 4.13 e 4.14, verifica-se no início do processo para todas as condições, valores da tensão na ruptura semelhantes aos da fruta *in natura*, apresentando pequenas oscilações, e, a partir da terceira hora, comportamentos distintos foram observados nos ensaios. A desidratação osmótica conduzida com solução de sacarose (50°Brix) e maltose (60°Brix) provocou um declínio na tensão na ruptura das frutas, proporcionando um produto com menor resistência à deformação e mais mole. Isto pode ter ocorrido por ação da temperatura, degradando o tecido celular e, portanto, permitindo uma maior penetração de solutos no produto, o que acarreta uma maior plasticidade da estrutura celular. Em contrapartida, nas outras condições, a tensão na ruptura aumentou ligeiramente após três horas de desidratação, apresentando uma tendência à estabilização no final do processo, sendo este aumento da tensão na ruptura consequência da maior taxa de perda de água observada nesses ensaios em comparação com o ocorrido nos tratamentos realizados à 30°C (Figuras 4.1 e 4.2).

Com estas avaliações, sugeriu-se como condições mais indicadas para a obtenção de um produto com características de textura similares à fruta fresca, os tratamentos com sacarose e maltose nas concentrações de 40 e 60°Brix, respectivamente, ambos realizados à temperatura de 30°C, por apresentarem alterações pouco significativas nos valores da tensão na ruptura ao longo do processo (Figuras 4.11 e 4.12).

Tempo de Relaxação e Tensão Residual

O comportamento viscoelástico das amostras durante a cinética de desidratação osmótica foi avaliado através do tempo de relaxação e da tensão residual. Segundo LEWICKI & LUKASZUK (2000), o tempo de relaxação corresponde ao tempo que se leva para relaxar (ou aliviar) as tensões, quando o produto é deformado por um certo tempo, enquanto que a tensão residual representa a tensão que não é relaxada, mesmo após um tempo de relaxação infinito. A variação destes dois parâmetros reológicos ao longo do processo osmótico pode ser observada nas Figuras 4.15 até 4.22.

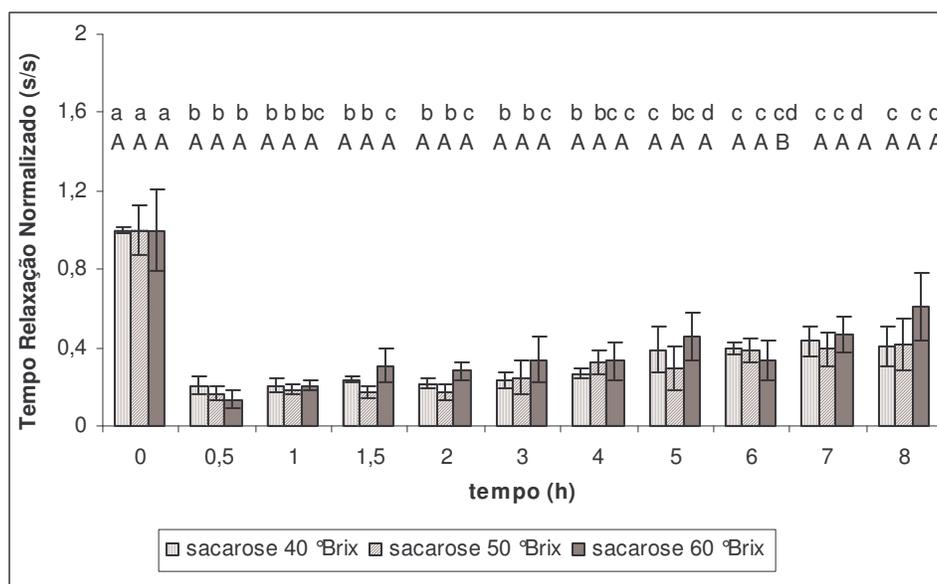


Figura 4.15 – Variação do Tempo de Relaxação Normalizado durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose a 30°C

Letras minúsculas representam a variação de cada tratamento com o tempo de processo e as letras maiúsculas representam a variação entre os tratamentos para cada tempo da cinética. Colunas com a mesma letra minúscula ou maiúscula não diferem entre si para $p < 0,05$.

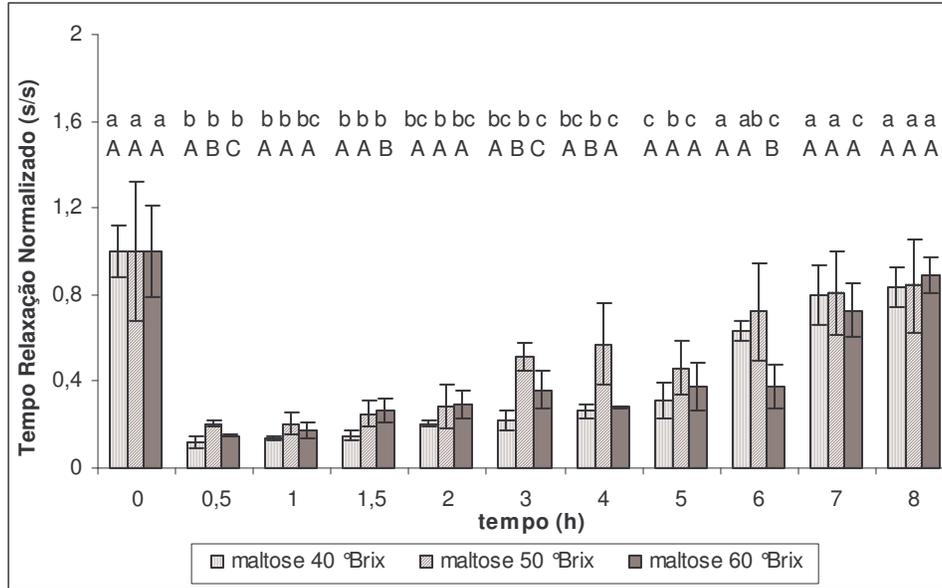


Figura 4.16 – Variação do Tempo de Relaxação Normalizado durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose a 30°C

Letras minúsculas representam a variação de cada tratamento com o tempo de processo e as letras maiúsculas representam a variação entre os tratamentos para cada tempo da cinética. Colunas com a mesma letra minúscula ou maiúscula não diferem entre si para $p < 0,05$.

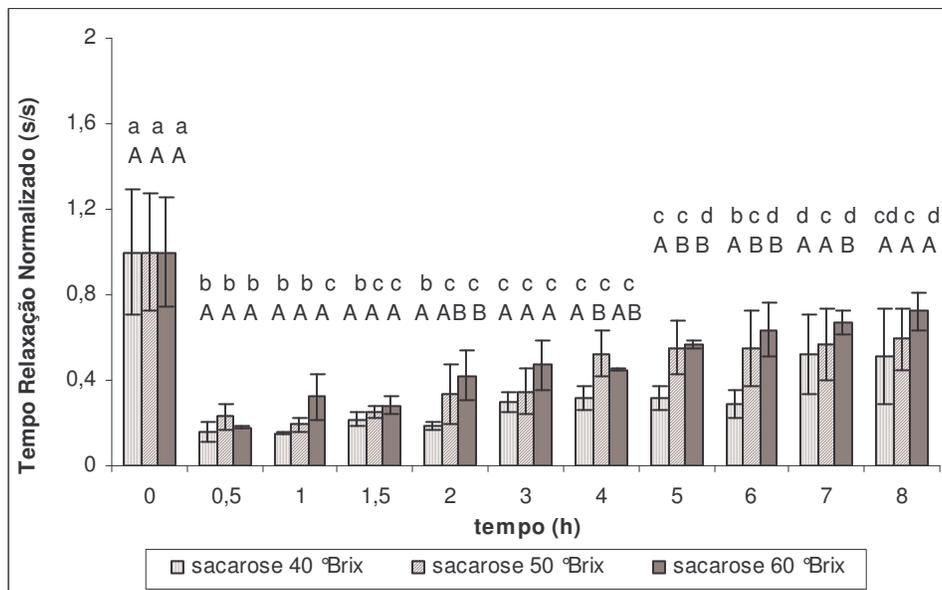


Figura 4.17 – Variação do Tempo de Relaxação Normalizado durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose a 40°C

Letras minúsculas representam a variação de cada tratamento com o tempo de processo e as letras maiúsculas representam a variação entre os tratamentos para cada tempo da cinética. Colunas com a mesma letra minúscula ou maiúscula não diferem entre si para $p < 0,05$.

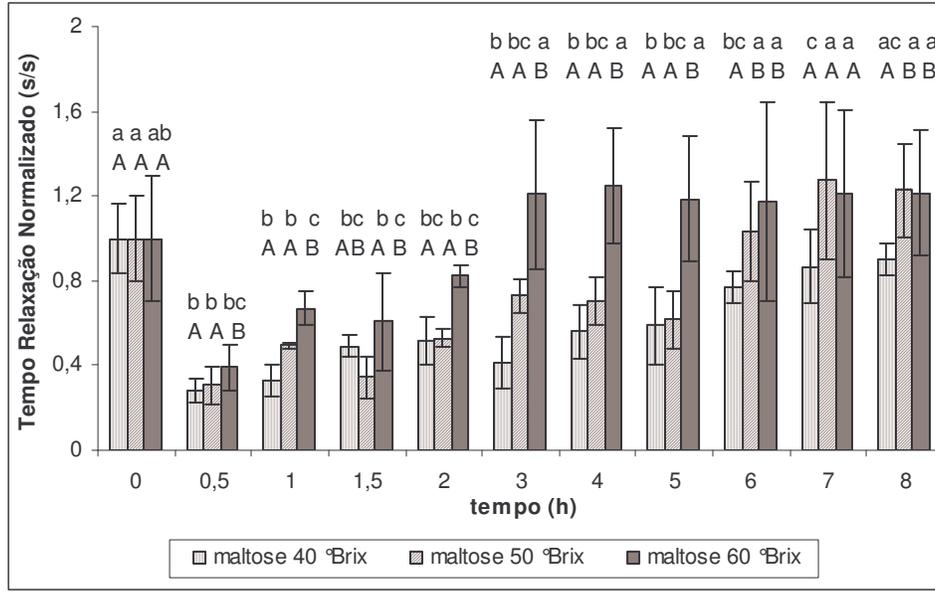


Figura 4.18 – Variação do Tempo de Relaxação Normalizado durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose a 40°C

Letras minúsculas representam a variação de cada tratamento com o tempo de processo e as letras maiúsculas representam a variação entre os tratamentos para cada tempo da cinética. Colunas com a mesma letra minúscula ou maiúscula não diferem entre si para $p < 0,05$.

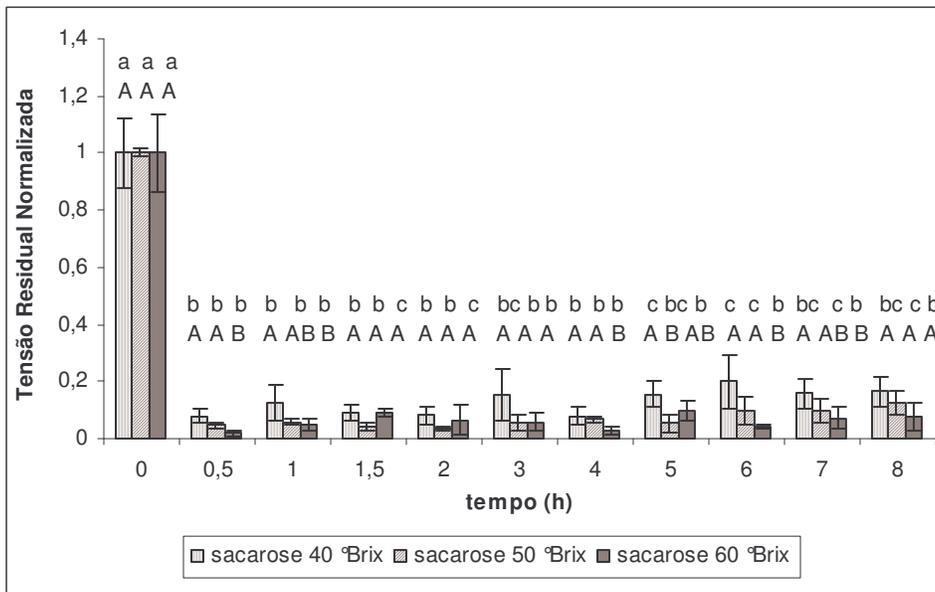


Figura 4.19 – Variação da Tensão Residual Normalizada durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose a 30°C

Letras minúsculas representam a variação de cada tratamento com o tempo de processo e as letras maiúsculas representam a variação entre os tratamentos para cada tempo da cinética. Colunas com a mesma letra minúscula ou maiúscula não diferem entre si para $p < 0,05$.

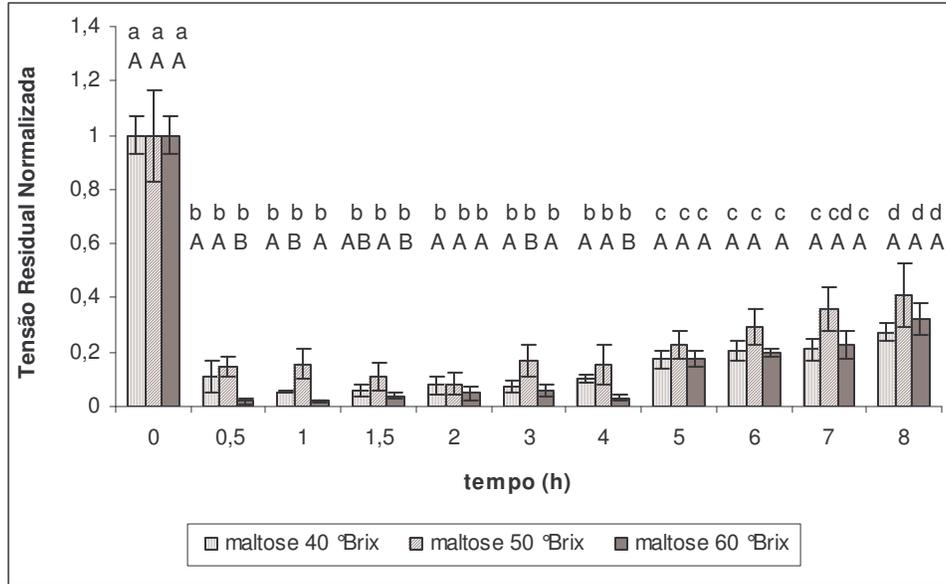


Figura 4.20 – Variação da Tensão Residual Normalizada durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose a 30°C

Letras minúsculas representam a variação de cada tratamento com o tempo de processo e as letras maiúsculas representam a variação entre os tratamentos para cada tempo da cinética. Colunas com a mesma letra minúscula ou maiúscula não diferem entre si para $p < 0,05$.

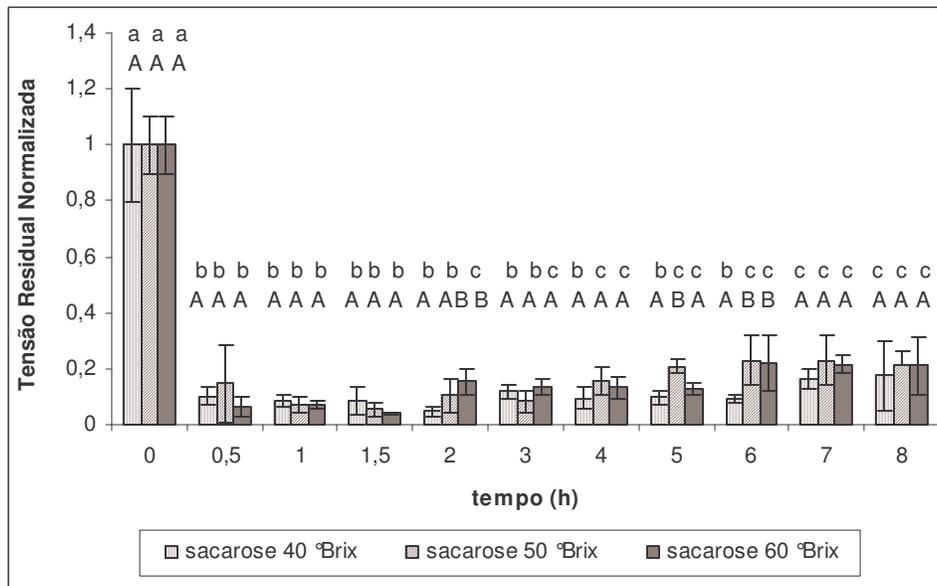


Figura 4.21 – Variação da Tensão Residual Normalizada durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose a 40°C

Letras minúsculas representam a variação de cada tratamento com o tempo de processo e as letras maiúsculas representam a variação entre os tratamentos para cada tempo da cinética. Colunas com a mesma letra minúscula ou maiúscula não diferem entre si para $p < 0,05$.

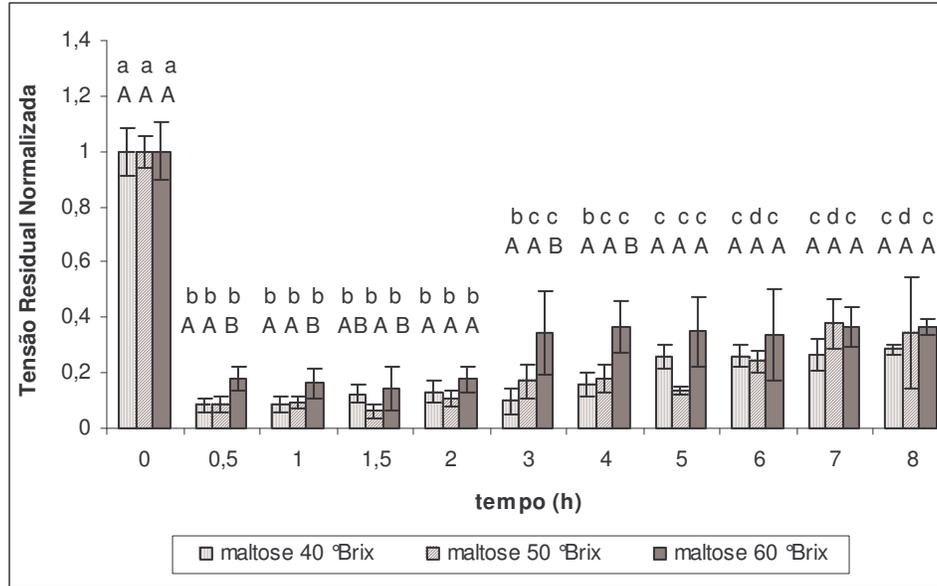


Figura 4.22 – Variação da Tensão Residual Normalizada durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose a 40°C

Letras minúsculas representam a variação de cada tratamento com o tempo de processo e as letras maiúsculas representam a variação entre os tratamentos para cada tempo da cinética. Colunas com a mesma letra minúscula ou maiúscula não diferem entre si para $p < 0,05$.

Conforme observado nas Figuras 4.15 a 4.22, houve diferença estatisticamente significativa no tempo de relaxação e na tensão residual das amostras ao longo do processo osmótico a um intervalo de confiança de 95% ($p < 0,05$). As amostras *in natura* apresentaram valores superiores destes parâmetros em relação aos da fruta processada, indicando que características de elasticidade e viscosidade da fruta *in natura* não foram preservadas durante a desidratação osmótica, mesmo em curtos tempos de processo. KROKIDA *et al.* (2000b) também verificaram uma diminuição do tempo de relaxação em bananas e maçãs desidratadas osmoticamente, fato que está relacionado com a incorporação de sólidos no processo, onde os açúcares tendem a ocupar os espaços inter e intracelulares, substituindo as moléculas da água, e assim, ocasionando uma plasticidade da estrutura celular, refletindo diretamente no comportamento reológico do produto devido à simultânea perda de elasticidade e ao aumento da natureza viscosa nas frutas processadas osmoticamente. No entanto, este comportamento pode ser melhor visualizado nas duas primeiras horas de processo, quando os fluxos de transferência de massa ocorrem de maneira mais intensa, fazendo com que as amostras neste período relaxem mais

rapidamente e, portanto, apresentem uma tensão residual quase nula (Figuras 4.19, 4.20, 4.21 e 4.22), o que significa que o produto é pouco resistente à deformação.

Após duas horas de tratamento, verificou-se uma tendência ao aumento do tempo de relaxação e da tensão residual até o final do processo, sendo que este aumento foi mais acentuado nos ensaios realizados com maltose em ambas as temperaturas de processo. De acordo com as Figuras 4.16 e 4.18, na última hora de desidratação, o tempo de relaxação não diferiu estatisticamente ($p < 0,05$) das amostras *in natura*, levando a crer que ocorreu uma recuperação do comportamento elástico da fruta *in natura* no final da desidratação. Isso se deve ao fato de que o ganho de sólidos nos experimentos conduzidos com maltose se manteve praticamente inalterado a partir da terceira hora de processo devido à aproximação do equilíbrio, havendo apenas um fluxo considerável de saída de água do produto, embora em menor velocidade em comparação com o início do processo. Portanto, a redução ou cessação do ganho de açúcares ao longo da desidratação juntamente com o fluxo de saída de água até a oitava de tratamento pode ter provocado um aumento da natureza elástica do produto no final do processo. Em relação à tensão residual, foi verificado um aumento deste parâmetro durante a cinética de desidratação osmótica, mas em menor intensidade, resultando num produto mais resistente à deformação, conseqüência do aumento da natureza elástica da fruta (Figuras 4.20 e 4.22).

As frutas desidratadas osmoticamente com solução de sacarose também tiveram um ligeiro aumento do tempo de relaxação com o processo, contudo ao longo da cinética foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os valores do tempo de relaxação das amostras processadas e das frutas não submetidas à desidratação osmótica (Figuras 4.15 e 4.17). Apesar da diminuição da velocidade de difusão da água com o decorrer do processo, a taxa de incorporação de açúcares mostrou um comportamento linear até a oitava hora de processo, o que resultou em valores de tempo de relaxação inferiores à fruta fresca ao longo de toda a cinética, além de valores de tensão residual praticamente desprezíveis, indicando que as frutas processadas com sacarose apresentaram uma natureza mais viscosa do que a fruta fresca durante o tratamento osmótico (Figuras 4.19 e 4.21).

Diante destas análises, é possível afirmar que o comportamento viscoelástico das frutas desidratadas osmoticamente, avaliado pelo tempo de relaxação e tensão residual, sofre influência dos fluxos de transferência de massa ocorridos durante o processo. A perda de turgor da célula, devido à saída de água do produto, acarreta a desintegração da estrutura celular, resultando em alterações nas características viscoelásticas dos produtos processados osmoticamente. Entretanto, apesar dos danos celulares ocorridos no processo, a maltose apresentou um maior efeito protetor no comportamento viscoelástico das frutas durante a desidratação, observado pelos maiores valores do tempo de relaxação e da tensão residual em relação à sacarose ao longo do processo, fato que está associado aos menores valores do adimensional GS/PA (Apêndice IV) obtidos com a utilização da maltose como agente desidratante, revelando que altas taxas de perda de água e menores taxas de ganho de sólidos são fatores importantes para uma maior preservação do comportamento viscoelástico das frutas desidratadas osmoticamente.

4.2.5. Variação da Cor

Para a avaliação de cor das amostras durante a cinética de desidratação osmótica foram utilizados os parâmetros L^* , a^* e b^* , além do croma C^* e tom H^* .

As Figuras 4.23, 4.24, 4.25 e 4.26 ilustram a variação do parâmetro L^* (luminosidade) em função do tempo de processo para todos os tratamentos osmóticos realizados.

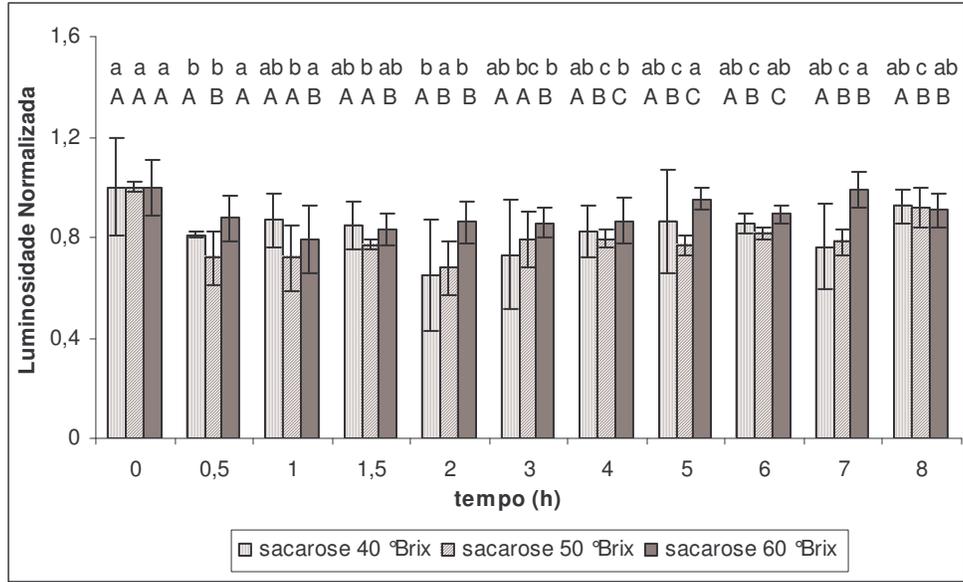


Figura 4.23 – Variação da Luminosidade durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose a 30°C

Letras minúsculas representam a variação de cada tratamento com o tempo de processo e as letras maiúsculas representam a variação entre os tratamentos para cada tempo da cinética. Colunas com a mesma letra minúscula ou maiúscula não diferem entre si para $p < 0,05$.

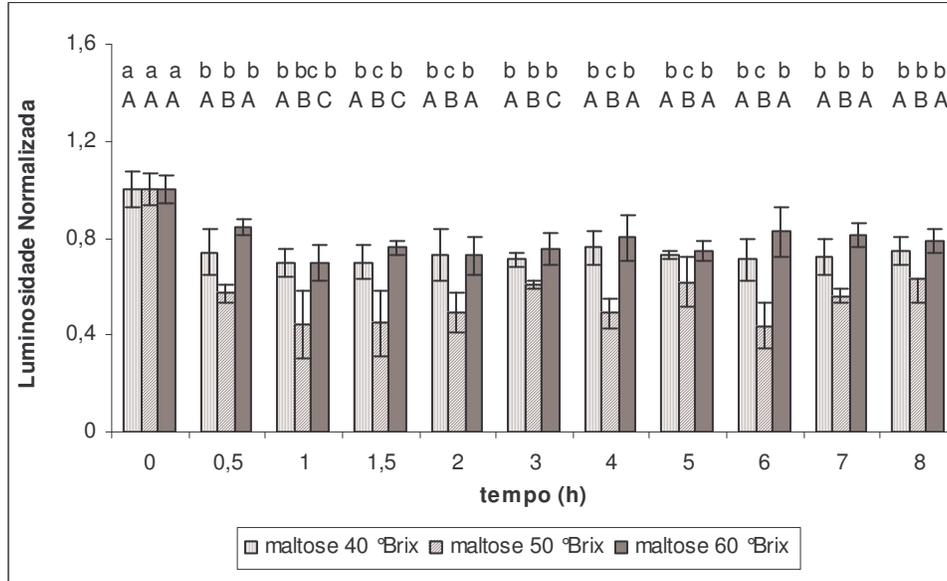


Figura 4.24 – Variação da Luminosidade durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose a 30°C

Letras minúsculas representam a variação de cada tratamento com o tempo de processo e as letras maiúsculas representam a variação entre os tratamentos para cada tempo da cinética. Colunas com a mesma letra minúscula ou maiúscula não diferem entre si para $p < 0,05$.

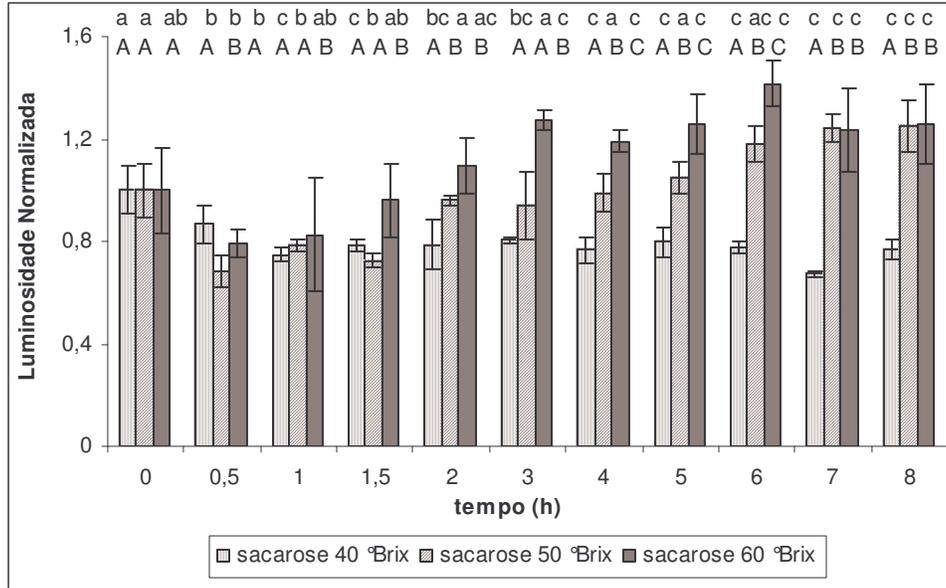


Figura 4.25 – Variação da Luminosidade durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose a 40°C

Letras minúsculas representam a variação de cada tratamento com o tempo de processo e as letras maiúsculas representam a variação entre os tratamentos para cada tempo da cinética. Colunas com a mesma letra minúscula ou maiúscula não diferem entre si para $p < 0,05$.

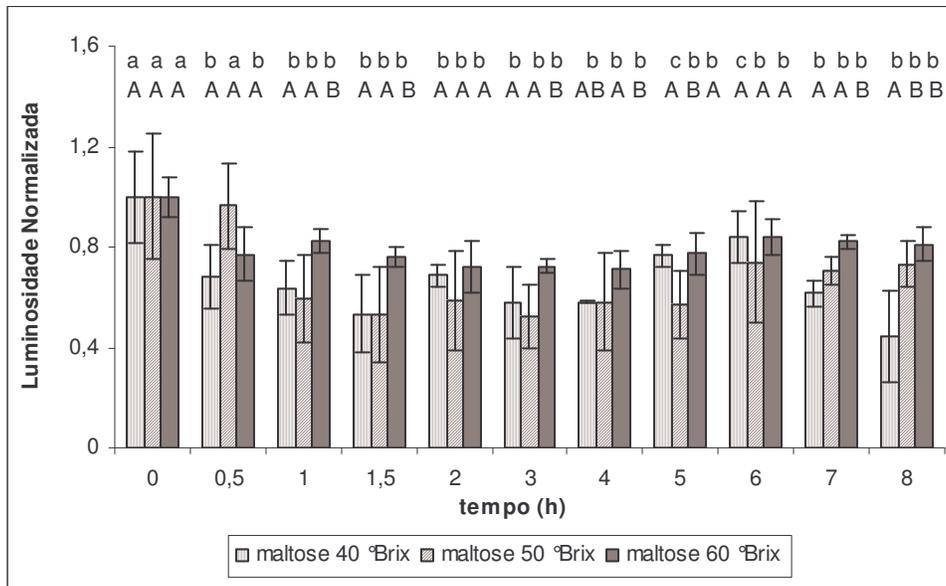


Figura 4.26 – Variação da Luminosidade durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose a 40°C

Letras minúsculas representam a variação de cada tratamento com o tempo de processo e as letras maiúsculas representam a variação entre os tratamentos para cada tempo da cinética. Colunas com a mesma letra minúscula ou maiúscula não diferem entre si para $p < 0,05$.

De acordo com as Figuras 4.23 e 4.25, as frutas processadas com sacarose apresentaram no início do processo valores mais baixos de L^* , em relação à fruta fresca ($p < 0,05$). Após duas horas de tratamento, foi observado um aumento deste parâmetro, principalmente nos ensaios nas concentrações de 50 e 60°Brix a 40°C, atingindo valores significativamente mais altos do que a fruta *in natura* no final do processo, o que pode estar associado à maior impregnação de açúcar ocorrida durante a desidratação nestes ensaios por efeito da temperatura mais elevada. Comportamento semelhante foi verificado por SANJINEZ-ARGANDOÑA *et al.* (2002a), sendo que os autores atribuíram a elevação da luminosidade nas amostras desidratadas osmoticamente ao aumento da temperatura e da concentração da solução hipertônica.

Por outro lado, a luminosidade das frutas processadas com solução de sacarose na temperatura de 30°C apresentou uma tendência à estabilização no final do processo, com valores semelhantes à fruta fresca (Figura 4.23), enquanto que para os ensaios com maltose (Figuras 4.24 e 4.26), verificou-se uma diminuição do parâmetro L^* ao longo do tempo, que, de acordo com KROKIDA *et al.* (2000a), é consequência da menor incorporação de sólidos observada nessas condições.

Em relação aos parâmetros de cromaticidade a^* e b^* , as Figuras 4.27, 4.28, 4.29 e 4.30 mostram que o parâmetro a^* se manteve praticamente constante durante a cinética em todas as condições estudadas. Os valores baixos de a^* revelam a pequena importância deste parâmetro na avaliação da cor do melão devido à ausência de cor vermelha e à cor verde pouco pronunciada no produto, já que foram utilizadas frutas maduras em todos os ensaios.

Por sua vez, o parâmetro b^* , responsável pela cor amarela do melão, apresentou um ligeiro aumento no decorrer do processo ocasionado provavelmente pela acentuação da cor amarela da solução hipertônica ao longo do tempo, e assim, influenciando diretamente a cor do produto processado. Outra possível explicação para os valores mais altos do parâmetro b^* durante a cinética está relacionada à concentração de pigmentos provocada pela perda de

água, além da incorporação de açúcares que ocorre no processo, criando uma barreira protetora que impede a saída de pigmentos e, conseqüentemente, a perda de cor da fruta.

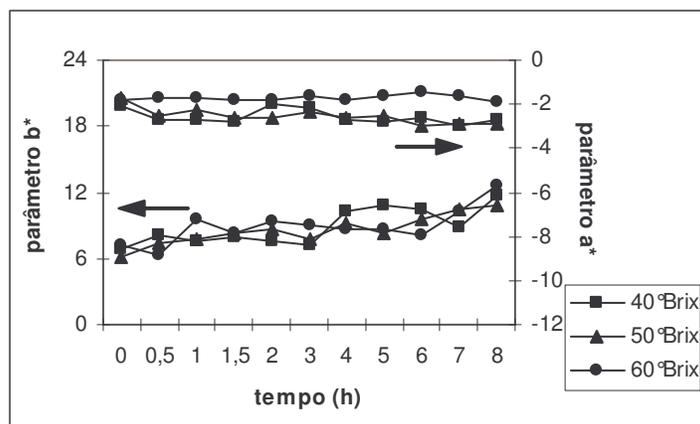


Figura 4.27 – Variação dos parâmetros a* e b* durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose a 30°C

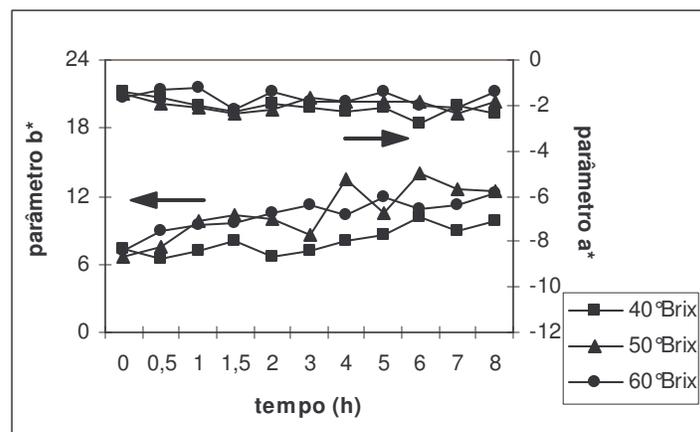


Figura 4.28 – Variação dos parâmetros a* e b* durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose a 30°C

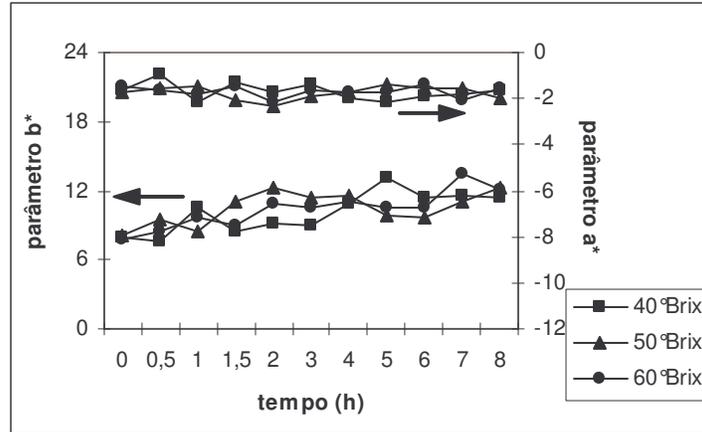


Figura 4.29 – Variação dos parâmetros a* e b* durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com sacarose a 40°C

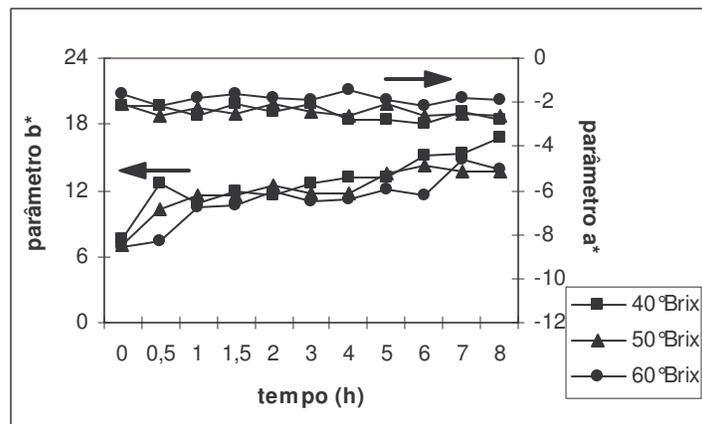


Figura 4.30 – Variação dos parâmetros a* e b* durante 8 horas de processo para os ensaios realizados com maltose a 40°C

Segundo POMERANZ & MELOAN (1994), o croma C* indica a saturação ou a intensidade da cor, descrevendo, por exemplo, como o vermelho tijolo difere do vermelho tomate, e o tom H* é a característica de cor descrita pelas palavras verde, azul, vermelho e amarelo, sendo esses dois parâmetros influenciados pelos valores de a* e b*.

Para o croma C*, as amostras desidratadas osmoticamente apresentaram um comportamento muito semelhante ao parâmetro b*, permitindo concluir que este parâmetro foi mais expressivo na determinação do croma para o melão, devido aos valores consideravelmente maiores de b* em relação ao parâmetro a*, já que a cor amarela é

predominante nesta fruta. Os valores de croma, apresentados nas Tabelas 4.3 e 4.4, foram significativamente maiores para as amostras que sofreram o processo osmótico do que nas frutas frescas, indicando que houve uma intensificação da cor do melão durante a desidratação osmótica, decorrente da concentração de pigmentos provocada pela perda de água ao longo do tempo.

Tabela 4.3 – Variação do Croma C* ao longo do processo para os ensaios realizados com sacarose

Tempo (h)	Temperatura = 30°C			Temperatura = 40°C		
	40°Brix	50°Brix	60°Brix	40°Brix	50°Brix	60°Brix
0	6,96aA	6,41aA	7,32aA	8,04aA	8,36aA	7,98aA
0.5	8,28aA	7,90bB	6,36bB	7,62aA	9,58aA	8,65aA
1	7,72aA	8,06abB	9,64cB	10,76abA	8,51aA	9,76abA
1.5	8,05aA	8,65bcB	8,47abB	8,64aA	11,33bA	9,05abA
2	10,37bA	9,07bcB	10,38cB	9,39abA	12,41bA	11,15bA
3	10,48bA	8,05bA	9,13abA	9,13abA	11,63bA	10,60bA
4	7,77aA	9,63cB	8,84abB	10,33abA	11,74bA	11,22bA
5	10,91bA	8,60bcA	8,75abA	13,31bA	9,91aA	10,68bA
6	7,37aA	10,00bcB	8,30abB	11,57abA	9,82aA	10,64bA
7	11,78bA	10,99cdA	9,48abA	11,71abA	11,14bA	13,60cA
8	8,97aA	11,29dB	12,95cB	11,59abA	12,36bA	12,12bcA

Tabela 4.4 – Variação do Croma C* ao longo do processo para os ensaios realizados com maltose

Tempo (h)	Temperatura = 30°C			Temperatura = 40°C		
	40°Brix	50°Brix	60°Brix	40°Brix	50°Brix	60°Brix
0	7,51aA	6,77aA	7,50aA	7,92aA	7,26aA	7,03aA
0.5	6,64aA	7,82abA	9,20bA	12,95bcA	10,70abA	7,65aA
1	7,47aA	10,10bA	9,68bA	11,20bA	11,96bA	10,78bA
1.5	8,33abA	10,67bA	9,82bA	12,06bA	11,83bA	11,00bA
2	7,01aA	10,46bB	10,75bB	11,86bA	12,62bA	12,30bA
3	7,48aA	8,93abAB	11,48bB	12,81bcA	12,20bA	11,21bA
4	8,40abA	13,93cB	10,76bAB	16,64cA	12,29bA	11,39bA
5	8,88abA	11,23bA	12,32bA	13,77bcA	12,90bA	12,32bA
6	10,53bA	14,92cB	11,34bAB	15,67cA	14,74bA	11,72bA
7	8,19abA	13,44cB	11,62bB	15,75cA	14,20bA	15,24bA
8	10,14bA	12,95bcA	12,79bA	11,93bA	11,97bA	12,30bA

Médias seguidas por letras minúsculas representam a variação de cada tratamento com o tempo de processo e as letras maiúsculas representam a variação entre os tratamentos para cada tempo da cinética. Médias com a mesma letra minúscula ou maiúscula não diferem entre si para $p < 0,05$.

Em relação ao tom H*, os valores negativos deste parâmetro, apresentados nas Tabelas 4.5 e 4.6, são consequência dos valores de a*, também negativos, devido à ausência de coloração vermelha na fruta.

Tabela 4.5 – Variação do Tom H* ao longo do processo para os ensaios realizados com sacarose

Tempo (h)	Temperatura = 30°C			Temperatura = 40°C		
	40°Brix	50°Brix	60°Brix	40°Brix	50°Brix	60°Brix
0	-81,14aA	-71,13aB	-79,75aA	-78,30aA	-78,25aA	-79,52aA
0.5	-80,73aA	-70,68aB	-79,25aA	-80,56aA	-80,55bAB	-78,98aB
1	-79,83aA	-73,40aB	-80,18aA	-78,43aA	-79,92bA	-79,27aA
1.5	-79,86aA	-72,57aB	-79,18aA	-81,22bA	-79,30bA	-80,46aA
2	-83,44aA	-72,67aB	-80,16aA	-79,51aA	-79,29bA	-78,97aA
3	-81,87aA	-72,76aB	-79,39aA	-81,18bA	-80,53bA	-81,04aA
4	-79,76aA	-73,24bA	-78,91aA	-80,01aA	-81,66bA	-81,00aA
5	-81,83aA	-72,84aB	-79,17aA	-80,78aA	-82,13bA	-80,53aA
6	-79,68aA	-72,62aB	-79,59aA	-80,60aA	-80,80bA	-82,46aA
7	-81,80aA	-72,67aB	-80,27aA	-81,11bA	-82,07bA	-81,39aA
8	-81,22aA	-73,04bB	-79,31aA	-81,88bA	-80,86bA	-82,76aA

Tabela 4.6 – Variação do Tom H* ao longo do processo para os ensaios realizados com maltose

Tempo (h)	Temperatura = 30°C			Temperatura = 40°C		
	40°Brix	50°Brix	60°Brix	40°Brix	50°Brix	60°Brix
0	-79,05aA	-77,22aA	-75,31aA	-74,00aA	-73,36aA	-76,32aA
0.5	-75,36bA	-75,70aA	-75,39aA	-75,63aA	-75,79aA	-73,80bA
1	-74,46bA	-77,83aB	-76,45aAB	-76,52aA	-74,37aA	-74,92bA
1.5	-74,28bA	-77,01aA	-77,33aA	-79,96bA	-77,66bA	-76,20aA
2	-73,78bAB	-72,25aA	-77,23aB	-78,19bA	-78,81bA	-76,91aA
3	-73,85bA	-72,57aA	-75,70aA	-80,61bA	-73,46aA	-77,92aA
4	-74,33bA	-74,18aA	-74,56aA	-76,80aAB	-72,96aA	-77,55aB
5	-76,21bA	-74,94aA	-74,11aA	-73,88aAB	-73,19aA	-76,57aB
6	-74,43bA	-73,89aA	-74,60aA	-75,36aA	-75,87bA	-79,23aA
7	-75,65bA	-73,94aA	-74,49aA	-77,46bA	-75,43bA	-75,64aA
8	-76,64bA	-72,91aB	-74,42aAB	-81,31bA	-77,24bA	-76,37aA

Médias seguidas por letras minúsculas representam a variação de cada tratamento com o tempo de processo e as letras maiúsculas representam a variação entre os tratamentos para cada tempo da cinética. Médias com a mesma letra minúscula ou maiúscula não diferem entre si para $p < 0,05$.

Pequenas alterações neste parâmetro foram observadas durante o processo, indicando que a tonalidade da cor amarela do melão foi preservada nas condições de processo avaliadas, resultado da degradação praticamente desprezível de pigmentos e da ausência de escurecimento enzimático ou químico no produto, devido à utilização de temperaturas brandas (30 e 40°C).

Diante destas observações através da análise de cor, não foi possível selecionar somente uma condição que favorecesse de forma mais acentuada a cor do produto, já que os parâmetros a^* , b^* , croma C^* e tom H^* apresentaram comportamento semelhante em todos os ensaios estudados, havendo apenas uma ligeira diferença nos valores da luminosidade das frutas processadas, entretanto sem provocar alterações significativas nas características finais de cor da fruta.

4.3. CÁLCULO DA DIFUSIVIDADE EFETIVA DA ÁGUA E DOS SOLUTOS

As difusividades efetivas médias ($\overline{D_{ef}}$) da água e dos solutos foram determinadas a partir do modelo de AZUARA *et al.* (1992), conforme descrito no item 2.4. As Figuras 4.31 até 4.38 mostram as linearizações obtidas pelas equações 2.5 e 2.6 para a perda de água e para o ganho de sólidos, respectivamente.

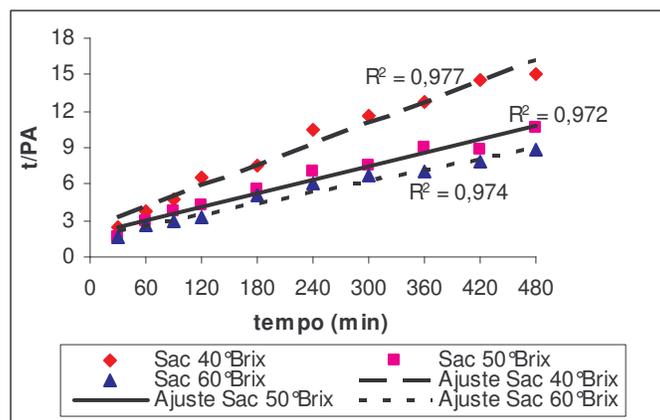


Figura 4.31 – Linearização da Perda de Água para 8 horas de processo utilizando solução de sacarose (40, 50 e 60°Brix) a 30°C

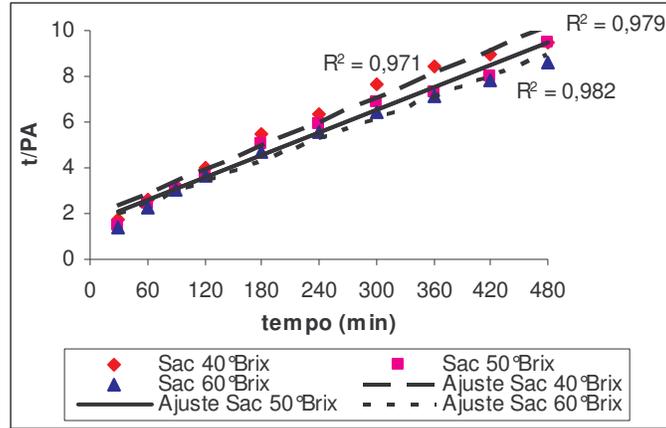


Figura 4.32 – Linearização da Perda de Água para 8 horas de processo utilizando solução de sacarose (40, 50 e 60°Brix) a 40°C

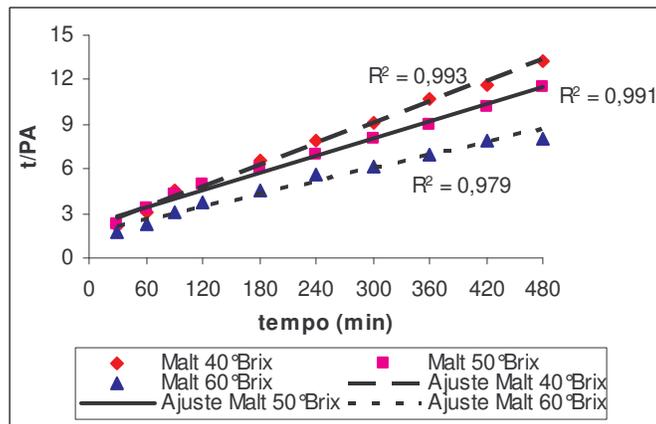


Figura 4.33 – Linearização da Perda de Água para 8 horas de processo utilizando solução de maltose (40, 50 e 60°Brix) a 30°C

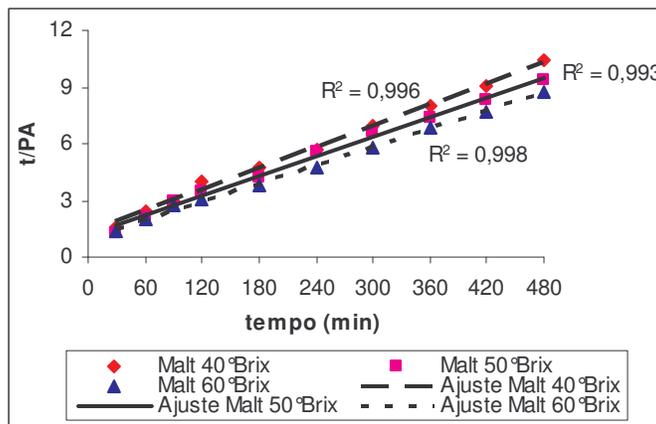


Figura 4.34 – Linearização da Perda de Água para 8 horas de processo utilizando solução de maltose (40, 50 e 60°Brix) a 40°C

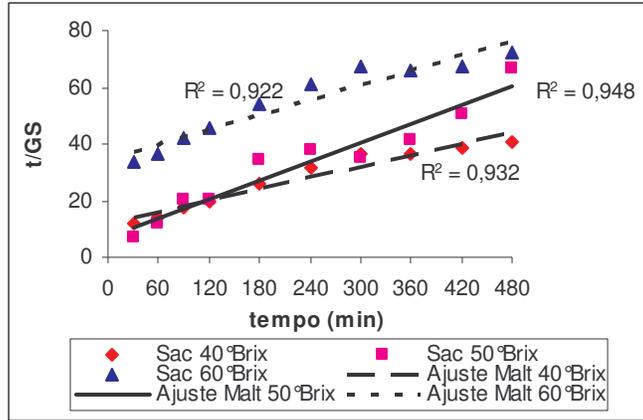


Figura 4.35 – Linearização do Ganho de Sólidos para 8 horas de processo utilizando solução de sacarose (40, 50 e 60°Brix) a 30°C

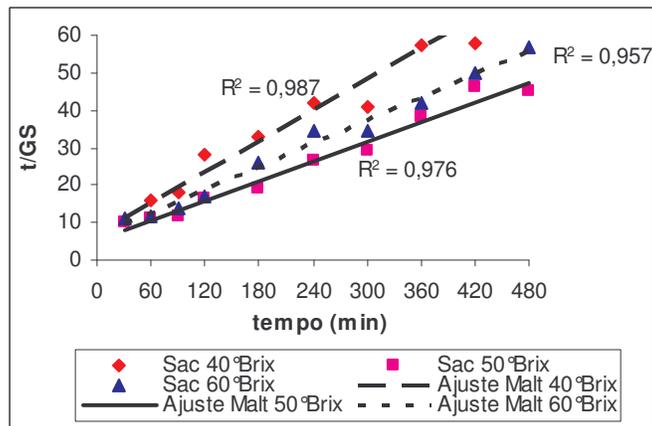


Figura 4.36 – Linearização do Ganho de Sólidos para 8 horas de processo utilizando solução de sacarose (40, 50 e 60°Brix) a 40°C

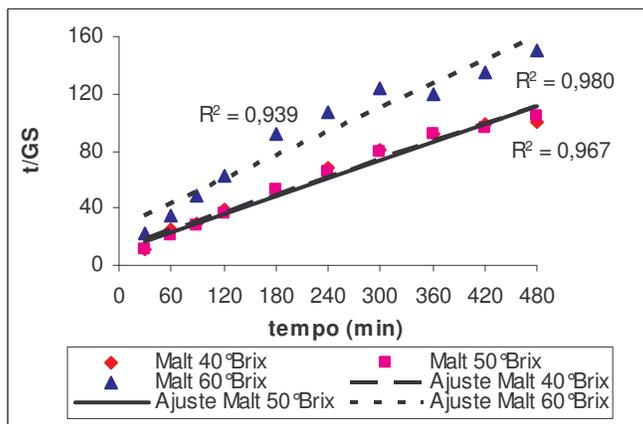


Figura 4.37 – Linearização do Ganho de Sólidos para 8 horas de processo utilizando solução de maltose (40, 50 e 60°Brix) a 30°C

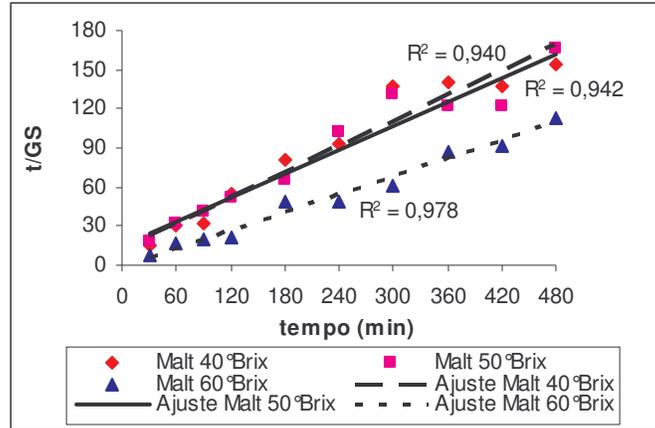


Figura 4.38 – Linearização do Ganho de Sólidos para 8 horas de processo utilizando solução de maltose (40, 50 e 60°Brix) a 40°C

De acordo com as Figuras 4.31 a 4.38, observou-se que o modelo foi capaz de prever a cinética de desidratação osmótica de maneira satisfatória, sendo que os dados experimentais de perda de água foram melhor ajustados pelo modelo, com valores do coeficiente de regressão (R^2) superiores a 0,97, enquanto que para o ganho de sólidos a variação do R^2 foi entre 0,922 e 0,987. Os valores inferiores deste coeficiente para as linearizações do ganho de sólidos em relação aos da perda de água pode ser consequência das fontes de erro da metodologia empregada para a determinação de açúcares, dificultando a repetibilidade dos resultados.

Os valores médios calculados para as difusividades efetivas da água e dos solutos durante as 8 horas de processo, assim como os respectivos coeficientes de regressão (R^2) para todos os ensaios são apresentados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Difusividades Efetivas Médias para a Água ($\overline{D_{ef1}}$) e Solutos ($\overline{D_{ef2}}$)

Soluto	Concentração (°Brix)	Temperatura (°C)	$\overline{D_{ef1}}$ ($10^9 \text{ m}^2/\text{s}$)	R^2	$\overline{D_{ef2}}$ ($10^9 \text{ m}^2/\text{s}$)	R^2
Sacarose	40	30	6,891	0,977	5,214	0,948
Sacarose	50	30	6,412	0,972	7,412	0,932
Sacarose	60	30	6,296	0,974	3,647	0,922
Sacarose	40	40	7,470	0,971	7,955	0,957
Sacarose	50	40	6,657	0,979	8,516	0,976
Sacarose	60	40	7,543	0,982	7,624	0,987
Maltose	40	30	6,961	0,993	11,348	0,967
Maltose	50	30	6,142	0,991	8,168	0,980
Maltose	60	30	6,120	0,979	6,627	0,939
Maltose	40	40	7,382	0,996	8,388	0,940
Maltose	50	40	7,443	0,993	8,018	0,942
Maltose	60	40	7,507	0,998	11,409	0,978

Conforme observado na Tabela 4.7, é possível afirmar que as difusividades calculadas possuem a mesma ordem de grandeza que os valores relatados na literatura por AZOUBEL & MURR (2000), ADE-OMOWAYE *et al.* (2002) e RASTOGI & RAGHAVARAO (2004) em seus trabalhos com desidratação osmótica de tomate cereja, pimentão vermelho e abacaxi, respectivamente.

A temperatura apresentou uma influência mais significativa do que a concentração da solução na difusividade da água. Foi observado um aumento nos valores da difusividade com a elevação da temperatura, exceto para o tratamento com solução de sacarose a 50°Brix que apresentou resultados muito semelhantes para a difusividade da água nas temperaturas de 30 e 40°C ($6,412 \cdot 10^{-9}$ e $6,657 \cdot 10^{-9}$, respectivamente). Esta ocorrência pode ser atribuída às alterações na estrutura celular da fruta ocasionadas pela temperatura, resultando numa maior velocidade de difusão da sacarose para o interior da fruta em comparação com a difusão da água, conforme apresentada na Tabela 4.7.

O aumento da concentração da solução desidratante apresentou efeitos distintos na difusividade da água, dependendo da temperatura de processo. Na temperatura de 30°C, maiores concentrações de sacarose e maltose levaram a uma pequena diminuição dos

coeficientes de difusividade da água, embora as taxas de perda de água tenham sido maiores nos ensaios utilizando maior concentração de solução osmótica (Figuras 4.1 e 4.2). Como a difusividade calculada se refere a uma média das taxas de difusão da água ao longo do processo, a tendência é a diminuição da velocidade de difusão com o tempo devido à aproximação do equilíbrio do sistema, provocando uma redução dos coeficientes de difusão e, assim, menores valores para a difusividade média. Outra possível explicação para este fenômeno está relacionada com mudanças estruturais ocorridas como consequência da exposição longa da fruta à solução osmótica, o que acaba alterando a permeabilidade da membrana celular, facilitando a penetração de açúcar na fruta e dificultando a taxa de perda de água. Comportamento semelhante também foi relatado por TELIS *et al.* (2003) no estudo dos coeficientes de difusividade durante a cinética de desidratação osmótica de tomates. Por outro lado, a 40°C, não se observou influência significativa da concentração de maltose e sacarose nas difusividades da água, com exceção do ensaio conduzido com sacarose na concentração de 50°Brix, que resultou em um valor de difusividade efetiva inferior aos outros (Tabela 4.7), devido ao maior ganho de sólidos ocorrido nesta condição, conforme já explicado anteriormente.

No caso dos solutos, tanto a concentração da solução como a temperatura apresentaram efeito significativo na difusão dos açúcares. A utilização da temperatura mais elevada (40°C) na desidratação osmótica implicou em maiores valores das difusividades efetivas para a sacarose, provocados pela diminuição da viscosidade da solução, o que também foi relatado por LAZARIDES *et al.* (1997), RASTOGI & RAGHAVARAO (2004) e KAYMAK-ERTEKIN & SULTANOGLU (2000). No entanto, para a maltose este comportamento ocorreu apenas na concentração de 60°Brix, enquanto que nas outras duas concentrações estudadas (40 e 50°Brix) foi observado um decréscimo da difusividade efetiva do soluto com o aumento da temperatura devido ao menor ganho de açúcares ao longo do processo nestas condições, conforme o item 4.2.1.

Por outro lado, à 30°C, a difusividade dos açúcares tende a diminuir com o aumento da concentração da solução desidratante devido à formação de uma camada espessa de açúcar ao redor da fruta, dificultando a transferência de massa da solução para o produto,

resultados que estão de acordo com os autores NSONZI & RAMASWAMY (1998) e SANJINEZ-ARGANDOÑA (1999) em trabalhos similares com mirtilos e goiabas, respectivamente.

4.4. ANÁLISE SENSORIAL

Conforme descrito no item 3.2.5., as amostras obtidas dos ensaios de desidratação osmótica realizados nas melhores condições foram submetidas a uma análise sensorial, para a verificação da aceitação do produto pelo consumidor. A Tabela 4.8 exibe as condições selecionadas, bem como a resposta mais beneficiada em cada caso.

Tabela 4.8 – Melhores condições de desidratação osmótica selecionadas

Parâmetro mais Beneficiado	Tipo de açúcar	Concentração (°Brix)	Temperatura (°C)
Atividade de água	Maltose	60	40
Relação GS/PA	Maltose	60	30
Textura	Sacarose	40	30
Textura	Maltose	60	30

O tempo de desidratação para estes ensaios foi definido a partir das cinéticas de perda de água, perda de peso, ganho de sólidos e textura. Como a transferência de massa ocorreu de maneira mais intensa nas duas primeiras horas de processo, escolheu-se duas horas como o tempo de desidratação mais apropriado. Além disso, a textura foi o atributo mais afetado pelo tempo de processo, sendo que após duas horas de tratamento foram observadas alterações significativas nas características de textura dos produtos desidratados osmoticamente por consequência da incorporação de sólidos. Diante disso, a condição de duas horas de processo pareceu ser mais indicada devido à positiva combinação do alto grau de desidratação ocorrido, sem comprometimento da textura da fruta.

Nas Figuras 4.39, 4.40, 4.41 e 4.42 mostram-se as amostras desidratadas osmoticamente por duas horas de processo nas condições descritas na Tabela 4.8, assim

como da amostra *in natura*, utilizadas na análise sensorial. Os resultados da análise sensorial são apresentados na Figura 4.43.

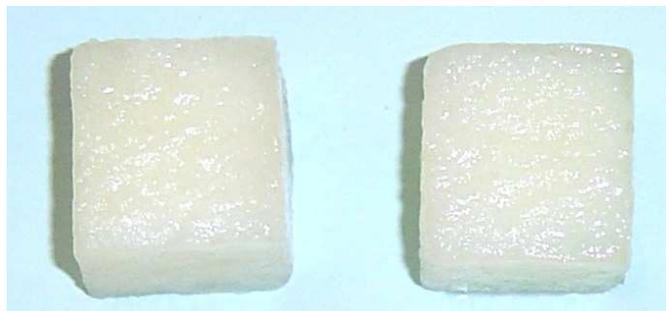


Figura 4.39 – Foto do melão fresco

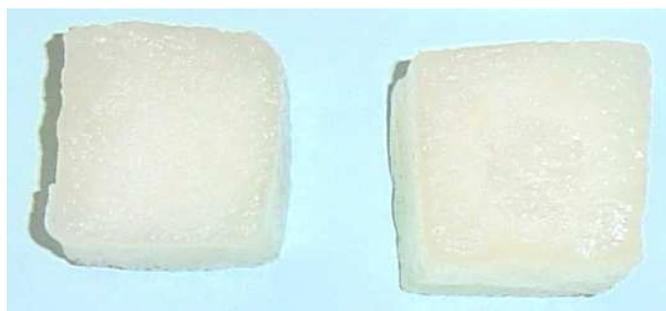


Figura 4.40 – Foto do melão desidratado osmoticamente por duas horas em solução de sacarose a 40°Brix e 30°C



Figura 4.41 – Foto do melão desidratado osmoticamente por duas horas em solução de maltose a 60°Brix e 30°C

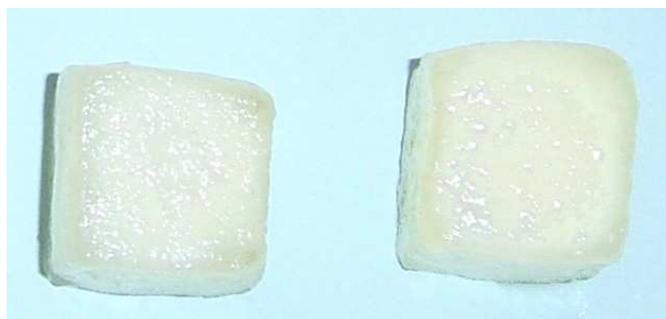


Figura 4.42 – Foto do melão desidratado osmoticamente por duas horas em solução de maltose a 60°Brix e 40°C

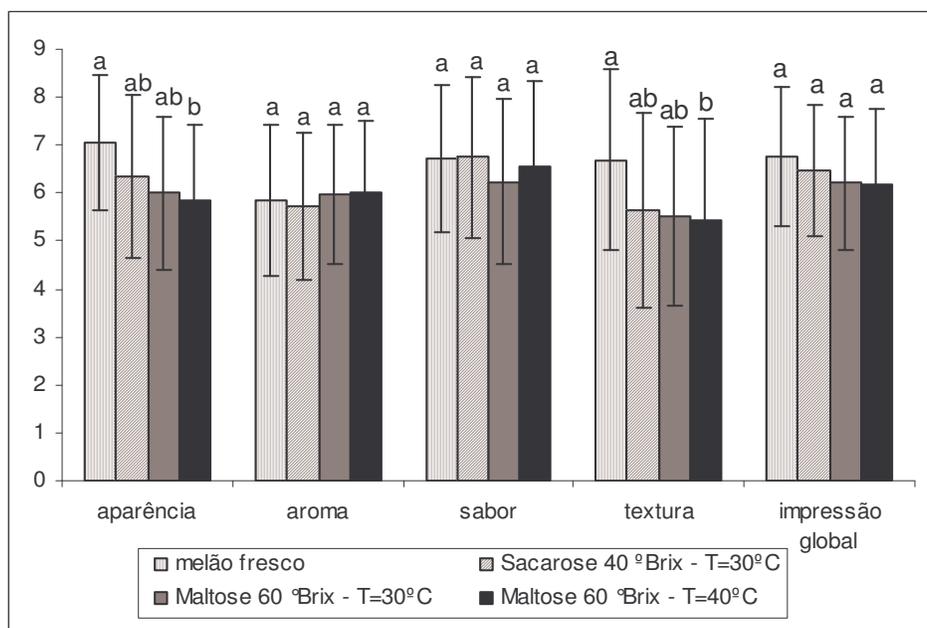


Figura 4.43 – Resultados da Análise Sensorial

Letras minúsculas representam a variação entre os diferentes tratamentos para cada atributo. Colunas com a mesma letra não diferem significativamente entre si para $p < 0,05$.

De acordo com a Figura 4.43, não houve diferença estatisticamente significativa entre as amostras, a um intervalo de confiança de 95%, nos atributos aroma, sabor e impressão global. Entretanto, em relação ao sabor, a principal observação feita pelos provadores para as amostras processadas com maltose foi referente a sua pouca doçura, já que a maltose é um açúcar menos doce que a sacarose. Esta observação foi comprovada por ARGAIZ *et al.* (1994) na desidratação osmótica de mamão com xarope de milho de alta maltose a 50°Brix e temperatura ambiente (25°C). Os autores concluíram que além da

maior perda de água e menor ganho de sólidos ocorrido no processo, o mamão tratado com solução de xarope de milho de alta maltose é menos doce em comparação com os frutos obtidos pelo tratamento realizado com sacarose nas mesmas condições.

Em relação aos atributos aparência e textura, as amostras desidratadas osmoticamente com solução de maltose a 60°Brix e 40°C diferiram estatisticamente ($p < 0,05$) da fruta *in natura*, provavelmente devido à combinação entre elevada concentração de solução desidratante e alta temperatura de processo, o que provocou numa maior taxa de transferência de massa, alterando a aparência, por efeito do maior encolhimento (Figura 4.42) ocorrido nesta condição, e as características de textura do produto final, resultado do maior ganho de sólidos, ocasionando uma plasticidade da estrutura celular. No entanto, apesar das amostras processadas nessa condição terem mostrado aparência e textura avaliadas como um pouco inferiores à fruta fresca, elas foram aceitas pelo consumidor.

Deste modo, pode-se afirmar que a desidratação osmótica, mesmo provocando algumas alterações nas características sensoriais da fruta fresca, se apresentou como uma técnica eficiente, fornecendo um produto com boa aceitação pelo consumidor, sendo que o melão desidratado osmoticamente com solução de sacarose à 40°Brix e 30°C foi melhor aceito (Figura 4.43).

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresenta as seguintes conclusões:

1. O aumento da concentração da solução desidratante e da temperatura de processo proporcionaram maiores taxas de perda de água e de peso, principalmente nos ensaios realizados com maltose, devido à existência de um maior gradiente de pressão osmótica na interface produto/solução.
2. O melão desidratado osmoticamente com solução de maltose apresentou uma menor incorporação de sólidos em relação ao tratado com sacarose ao longo do tempo, como consequência do maior peso molecular do xarope de milho de alta maltose.
3. A textura instrumental foi consideravelmente afetada durante o tratamento osmótico, sofrendo alterações por influência dos fluxos de transferência de massa ao longo da desidratação e das condições de processo: temperatura, concentração e tipo da solução hipertônica, enquanto que as características de cor da fruta *in natura* foram preservadas em todos os ensaios, observando-se apenas uma ligeira intensificação da cor do melão com o tempo de processo, devido ao aumento dos valores do parâmetro b^* e do croma C^* , decorrente da concentração de pigmentos provocada pela perda de água durante a cinética.
4. As condições mais favoráveis selecionadas para cada uma das respostas foram:
 - Menor Relação GS/PA: solução de maltose a 60°Brix e temperatura de processo de 30°C;
 - Maior Abaixamento da Atividade de água: solução de maltose a 60°Brix e temperatura de processo de 40°C;

- Textura mais próxima da fruta *in natura*: solução de maltose a 60°Brix e solução de sacarose a 40°Brix com temperatura de processo de 30°C.
5. Os coeficientes de difusão calculados pelo modelo de Azuara forneceram valores da ordem de grandeza de $10^{-8} - 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, tanto para a água e para os solutos, sendo que o modelo apresentou um ajuste satisfatório aos dados experimentais com valores do coeficiente de regressão (R^2) variando de 0,922 à 0,998.
 6. Na avaliação sensorial, as amostras desidratadas osmoticamente apresentaram boa aceitação pelo consumidor, apesar das alterações nas características sensoriais da fruta fresca, decorrentes do processo.

De maneira geral, pode-se concluir que a desidratação osmótica, mesmo provocando mudanças na estrutura celular que afetam as propriedades sensoriais da fruta *in natura*, se apresentou como uma técnica eficiente para a obtenção de frutas à alta umidade. A maltose, por sua vez, mostrou uma grande eficácia como agente desidratante, gerando um produto não muito doce, resultado da doçura relativamente menor em relação à sacarose, e proporcionou uma menor incorporação de sólidos no produto e uma maior taxa de desidratação, conseqüência do seu maior peso molecular. Além disso, foi mais efetiva na conservação das características de textura da fruta fresca, provavelmente devido à maior manutenção da estrutura celular da fruta, porém não é possível assegurar a sua total preservação, pois ensaios de microscopia não foram realizados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIANUAL 2003. Anuário da Agricultura Brasileira. FNP – Consultoria e Comércio, São Paulo, 2002, 544p.
- ALZAMORA, S.M.; GERSCHENSON, L.N.; VIDALES, S.L.; NIETO, A. Structural Changes in the Minimal Processing of Fruits: Some Effects of Blanching and Sugar Impregnation. In: FITO, P.; ORTEGA-RODRIGUES, E.; BARBOSA-CANOVAS, G. **Food Engineering 2002**, New York; Ed. Chapman and Hall, 1997. p. 117-139.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2004. **Editora Gazeta – Anuários Brasileiros de Agronegócio**. Disponível em: www.anuarios.com.br. Acessado em 05 nov 2004.
- A.O.A.C. **Official Methods of Analysis**, 16th ed., Association of Official Analytical Chemists, Arlington, 1995.
- ARGAIZ, A.; LÓPEZ-MALO, A.; PALOU, E.; WELTI, J. Osmotic Dehydration of Papaya with Corn Syrup Solids. **Drying Technology**, v. 12, n. 7, p. 1709-1725, 1994.
- AZOUBEL, P.M.; MURR, F.E.X. Mathematical Modelling of the Osmotic Dehydration of Cherry Tomato (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n.2, p.228-232, 2000.
- AZOUBEL, P.M. **Estudo da Cinética de Desidratação por Imersão e Secagem de Tomate Cereja (*Lycopersicon esculentun* var. *cerasiforma*)**. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999. 102p.

AZUARA, E.; BERISTAIN, C.I.; GARCIA, H.S. Development of a Mathematical Model to Predict Kinetics of Osmotic Dehydration. **Journal of Food Science and Technology**, v.29, p.239-242, 1992.

BARONI, A.F. **Semi-Desidratação, Congelamento e Semi-Desidratação Secagem de Cebola (*Allium cepa L.*)**. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997. 94p.

BETORET, N.; ANDRÉS, A.; ALEXANDRE, B.B.; MARTÍNEZ, L.; FITO, P. Kinetics of Osmotic Dehydration of Cassava (*Manihot esculenta Crantz*) Slices: Influence of Temperature and Sodium Chloride Concentration. **Proceedings of the International Congress on Engineering and Food**, Montpellier, France, 7-11 March 2004.

BIANCO, V.V.; PRATT, H.K. Composition changes in muskmelon during development and in response to ethylene treatment. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.102, n.2, p. 127-133, 1977.

BOBBIO, F.O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à química de alimentos**. São Paulo: Varela, 1992. 223p.

CHIRALT, A.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; TALENS, P.; MORAGA, G.; AYALA, A.; FITO, P. Changes in Mechanical Properties throughout Osmotic Process: Cryoprotectant Effect. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 129-135, 2001.

COSTELL, E.; FISMAN, S.M.; DURÁN, L. Propiedades Físicas I – Reología de Sólidos y Textura. In: AGUILERA, J.M. **Temas em Tecnología de Alimentos**, México: Ed. Instituto Politécnico Nacional, 1997. v.I, cap. 6, p. 215-260.

CRANK, J. **Mathematics of Diffusion**. 2ed., Clarendon Press Oxford, 1975, 414p.

DEL VALLE, J.M. CUADROS, T.R.M.; AGUILERA, J.M. Glass Transitions and Shrinkage during Drying and Storage of Osmosed Apple Pieces. **Food Research International**, v.31, n.3, p. 191-204, 1998.

EL-AOUAR, A. A. **Avaliação do processo combinado de desidratação osmótica e secagem na qualidade de cubos de mamão formosa (*Carica papaya L.*)**. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001. 113p.

ERTEKIN, F.K.; CAKALOZ, T. Osmotic Dehydration of Peas: Influence of Process Variables on Mass Transfer. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 20, p. 87-104, 1996.

FERRANDO, M.; SPIESS, W.E.L. Cellular Response of Plant Tissue During the Osmotic Treatment with Sucrose, Maltose and Trehalose Solutions. **Journal of Food Engineering**, v.49, p. 115-127, 2001.

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

FORNI, E.; SORMANI, A.; SCALISE, S.; TORREGGIANI, D. The Influence of Sugar Composition on the Color Stability of Osmodehydrofrozen Moisture Apricots. **Food Research International**, v.30, p. 87- 94, 1997.

FRANCO, G. **Tabela de Composição Química dos Alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1992. 230p.

FRUTISÉRIES 2 - CEARÁ - MELÃO, 2003. **Fruticultura Irrigada**. Disponível em: www.irrigar.org.br. Acessado em 12 nov 2004.

GIRALDO, G.; TALENS, P.; FITO, B.; CHIRALT, A. Influence of Sucrose Solution Concentration on Kinetics and Yield during Osmotic Dehydration of Mango. **Journal of Food Engineering**, v.58, p.33-43, 2003.

JACKMAN, R.L.; STANLEY, D.W. Perspectives in the Textural Evaluation of Plant Foods. **Trends in Food Science & Technology**, v.6, p.187-194, 1995.

KANO, C. **Extrações de nutrientes pelo meloeiro rendilhado cultivado em ambiente protegido com a adição de potássio e CO₂ na água de irrigação**. Dissertação (Mestre em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002. 102p.

KAYMAK-ERTEKIN, F.; SULTANOGLU, M. Modelling of Mass Transfer during Osmotic Dehydration of Apples. **Journal of Food Engineering**, v. 46, p. 243-250, 2000.

KROKIDA, M.K.; KARATHANOS, V.T.; MAROULIS, Z.B. Effect of Osmotic Dehydration on Color and Sorption Characteristics of Apple and Banana. **Drying Technology**, v.18, p.937-950, 2000a.

- KROKIDA, M.K.; KARATHANOS, V.T.; MAROULIS, Z.B. Effect of Osmotic Dehydration on Viscoelastic Properties of Apple and Banana. **Drying Technology**, v.18, p.951-966, 2000b.
- LAZARIDES, H. N.; GEKAS, V.; MAVROUDIS, N. Apparent Mass Diffusivities in Fruit and Vegetable Tissues Undergoing Osmotic Processing. **Journal of Food Engineering**, v.31, n.3, p.315-324, 1997.
- 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.
- 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.
- LENART, A. Osmo-Convective Drying of Fruits and Vegetable: Technology and Application. **Drying Technology**, v.14, n.2, p. 391-413, 1996.
- LEWICKI, P.P.; LUKASZUK, A. Effect of Osmotic Dewatering on Rheological Properties of Apple Subjected to Convective Drying. **Journal of Food Engineering**, v. 45, p. 119-126, 2000.
- LIMA, A.S.; FIGUEIREDO, R. W.; MAIA, G.A.; LIMA, J.R.; SOUZA NETO, M. A.; SOUZA, A.C.R. Estudo das Variáveis de Processo sobre a Cinética de Desidratação Osmótica de Melão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.24, n.2, p. 282-286, 2004.

- MAESTRELLI, A.; SCALZO, R.L. LUPI, D.; BERTOLO, G.; TORREGGIANI, D. Partial Removal of Water Before Freezing: Cultivar and Pre-Treatments as Quality Factors of Frozen Muskmelon. **Journal of Food Engineering**, v.49, p. 255-260, 2001.
- MASTRÁNGELO, M.M.; ROJAS, A.M.; CASTRO, M.A.; GERSCHENSON, L.N.; ALZAMORA, S.M. Texture and Structure of Glucose-Infused Melon. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.80, p.769-776, 2000.
- MAVROUDIS, N.E.; GEKAS, V.; SJOHÖLM, I. Osmotic Dehydration of Apples – Effects of Agitation and Raw Material Characteristics. **Journal of Food Engineering**, v.35, p.191-209, 1998.
- MENDLINGER, S.; PASTERNAK, D. Effect of time of Salination of Flowering, Yield and Fruit Quality Factors in Melon, *Cucumis melo* L. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.67, n.4, p. 529-534, 1992.
- MENEZES, J. B. **Qualidade Pós-Colheita de Melão Tipo Galia Durante a Maturação e o Armazenamento**. Tese (Doutor em Ciência de Alimentos) - Departamento de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1996. 155p.
- MONSALVE-GONZÁLEZ, A.M.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; CAVALIERI, R.P. Mass Transfer and Textural Changes during Processing of Apples by Combined Methods. **Journal of Food Science**, v.58, p. 1118-1124, 1993.
- MOREIRA, R.; SERENO, A.M. Evaluation of Mass Transfer Coefficients and Volumetric Shrinkage during Osmotic Dehydration of Apple using Sucrose Solution in Static and Non-Static Conditions. **Journal of Food Engineering**, v.57, p. 25-31, 2003.

NASSU, R.T.; LIMA, J.R.; SOUZA FILHO, M. S. M. Consumers Acceptance of Fresh and Combined Methods Processed Melon, Mango and Cashew Apple. **Revista Brasileira Fruticultura**, v. 23, n.3, p.551-554, 2001.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Recommended dietary allowances**, Washington, D.C.; National Academy Press, 1989. 284p.

NSONZI, F.; RAMASWAMY, H.S. Osmotic Dehydration Kinetics of Blueberries. **Drying Technology**, v.16, p. 725-741, 1998.

PELEG, M. Linearization of Relaxation and Creep Curves of Solid Biological Materials. **Journal of Rheology**, v. 24, n. 4, p. 451-463, 1980.

PEREIRA, L.M. **Acondicionamento de Goiabas Minimamente Processadas por Desidratação Osmótica em Embalagens sob Atmosfera Modificada Passiva**. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002. 159p.

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

PITT, R.E. Viscoelastic Properties of Fruit and Vegetables. In: RAO, M.A.; STEFFE, J.F. **Viscoelastic Properties of Foods**. London, Elsevier Science Publishers, 1992, p.49-76.

POMERANZ, Y.; MELOAN, C.E. **Food Analysis – Theory and Practice**, New York; Ed. Chapman and Hall, 1994. 778p.

- RAOULT-WACK, A.L. Recent Advances in the Osmotic Dehydration of Foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 5, p. 255-260, 1994.
- RASTOGI, N.K.; RAGHAVARAO, K.S.M.S. Mass Transfer during Osmotic Dehydration of Pineapple: considering Fickian Diffusion in Cubical Configuration. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v.37, p. 43-47, 2004.
- RASTOGI, N.K.; RAGHAVARAO, K.S.M.S.; NIRANJAN, K.; KNORR. D. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. **Trends in Food Science & Technology**, v. 13, p. 48-59, 2002.
- RASTOGI, N.K.; RAGHAVARAO, K.S.M.S. Water and Solute Diffusion Coefficients of Carrot as a Function of Temperature and Concentration During Osmotic Dehydration. **Journal of Food Engineering**, v.34, p. 429-440, 1997.
- RASTOGI, N.K.; RAGHAVARAO, K.S.M.S.; NIRANJAN, K. Mass Transfer During Osmotic Dehydration of Banana: Fickian Diffusion in Cylindrical Configuration. **Journal of Food Engineering**, v.31, p. 423-432, 1997.
- RAVINDRA, M.R.; CHATTOPADHYAY, P.K. Optimization of Osmotic Preconcentration and Fluidised Bed Drying to Produce Dehydrated Quick-Cooking Potato Cubes. **Journal of Food Engineering**, v.44, p. 5-11, 2000.
- RODRIGUES, A. C. C.; CUNHA, R.L.; HUBINGER, M.H. Rheological Properties and Colour Evaluation of Papaya During Osmotic Dehydration Processing. **Journal of Food Engineering**, v.59, p. 129-135, 2003.

SANJINEZ-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**, Brasília, v.37, n.17, p. 1803-1810, 2002a.

SANJINEZ-ARGANDOÑA, E.J.; HUBINGER, M.D.; MENEGALLI, F. C. Effect of Osmotic Dehydration on Colour and Mechanical Properties of Dried Guavas. **Drying'2002 – Proceedings of the 13th International Drying Symposium**, China, v. B, p. 968-976, 2002b.

SANJINEZ-ARGANDOÑA, E.J. **Desidratação Osmótica de Goiaba por Imersão e Secagem**. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999. 102p.

SCALZO, R.L.; PAPADIMITRIU, C.; BERTOLO, G.; MAESTRELLI, A.; TORREGGIANI, D. Influence of Cultivar and Osmotic Dehydration Time on Aroma Profiles of Muskmelon (*Cucumis melo*, cv *reticulatus* Naud.) spheres. **Journal of Food Engineering**, v.49, p. 261-264, 2001.

SERENO, A.M.; MOREIRA, R.; MARTINEZ, E. Mass Transfer During Osmotic Dehydration of Apple in Single and Combined Aqueous Solutions of Sugar and Salt. **Journal of Food Engineering**, v.47, p. 43-49, 2001.

SHEWFELT, R.L. What is quality? **Postharvest Biology and Technology**, v. 15, p. 197–200, 1999.

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS / NEPA – UNICAMP, Campinas: NEPA-UNICAMP, 2004. 42p.

- TALENS, P.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; FITO, P.; CHIRALT, A. Changes in Optical and Mechanical Properties during Osmodehydrofreezing of Kiwi Fruit. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 3, p. 191-199, 2002.
- 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, n.2, p. 253-259, 2003.
- TORREGGIANI, D. Osmotic Dehydration in Fruit and Vegetable Processing. **Food Research International**, v.26, p. 59-68, 1993.
- TORREGGIANI, D.; BERTOLO, G. Osmotic Pre-Treatments in Fruit Processing: Chemical, Physical and Structural Effects. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 247-253, 2001.
- VIBERG, FREULER, S.; GEKAS, V.; SJÖHOLM, I. Osmotic Pretreatment of Strawberries and Shrinkage Effects. **Journal of Food Engineering**, v.35, p.135-145, 1998.

APÊNDICE I

As especificações do xarope de milho de alta maltose utilizado neste trabalho são apresentadas abaixo.

Xaropes de Milho de Alta Maltose

A linha **Maltegil®** é obtida através da conversão ácido-enzimática, resultando em um maior teor de maltose. Estes xaropes proporcionam melhor sabor, consistência e textura aos produtos.

	Maltegil® 45/78	Maltegil® 50/82	Maltegil® 63/82
Aplicação	Doces em geral Recheio de balas Panificação industrial Malhos	Caramelos de leite Balas pingadas / depositadas Balas de gelatina Balas de goma	Caramelos de leite Recheios de chocolate Biscôitos Coberturas para sorvetes
Dextrose Equivalente (%)	N.A.	40 - 44	60 - 66
Sólidos Totais (%)	78 - 79	81 - 83	81 - 83
Proteína (%)	máx. 0,09	máx. 0,09	máx. 0,09
Cinzas (%)	máx. 0,25	máx. 0,25	máx. 0,25
pH (1:1)	4,8 - 5,2	4,8 - 5,2	4,8 - 5,2
SO ₂ (ppm)	máx. 80	máx. 80	máx. 80
Perfil de Açúcares (% base seca)			
Dextrose	máx. 13,0	máx. 3,0	máx. 40,0
Maltose	máx. 45,0	máx. 52,0	máx. 39,0
Maltotriose	máx. 22,0	máx. 24,0	N.A.
Polissacarídeos	máx. 27,5	máx. 29,0	N.A.
Embalagem:			
Baldes e tambores	25 e 280 kg	25 e 280 kg	25 e 280 kg
Bag in box	1.000 kg	1.000 kg	1.000 kg
Granel	13 e 27 ton	13 e 27 ton	13 e 27 ton

TRANSPORTE:

Veículos fechados, livre de materiais e odores estranhos.

CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO:

Baldes, tambores e bag in box: manter em ambiente seco e arejado, com baixa umidade relativa (cerca de 55%) e temperatura abaixo de 25°C.

Granel: manter na temperatura mais baixa possível, que permita o bombeamento.

Altas temperaturas devem ser evitadas para prevenir escurecimento do produto.

PRAZO DE VALIDADE:

Granel: 4 meses (desde que estocado sob condições adequadas).

Baldes, tambores e bag in box: 12 meses exceto Maltegil® 45/78, validade: 6 meses (desde que estocado sob condições adequadas).

Outras informações estão disponíveis para atender a requisitos específicos.
Favor nos contatar para outras aplicações.



APÊNDICE II

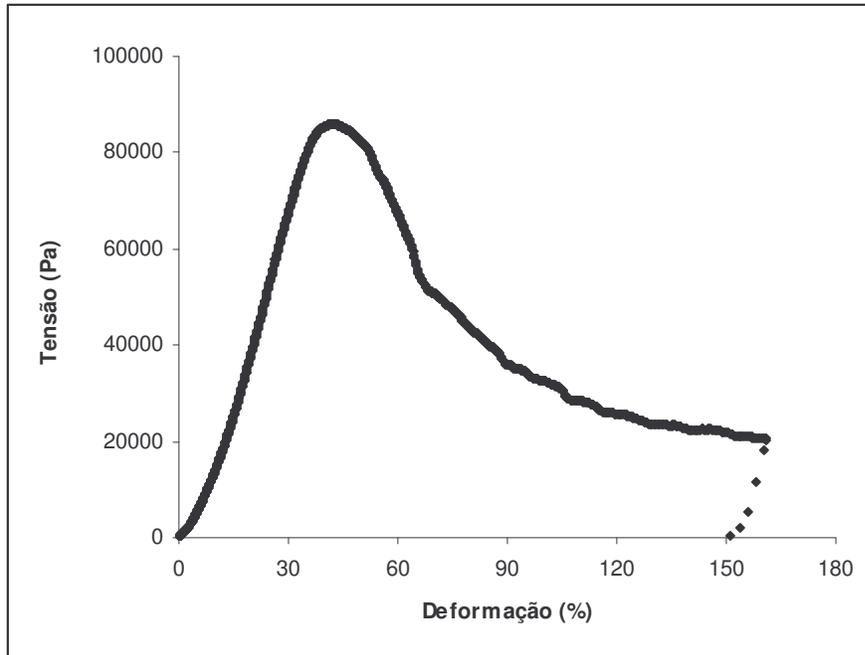
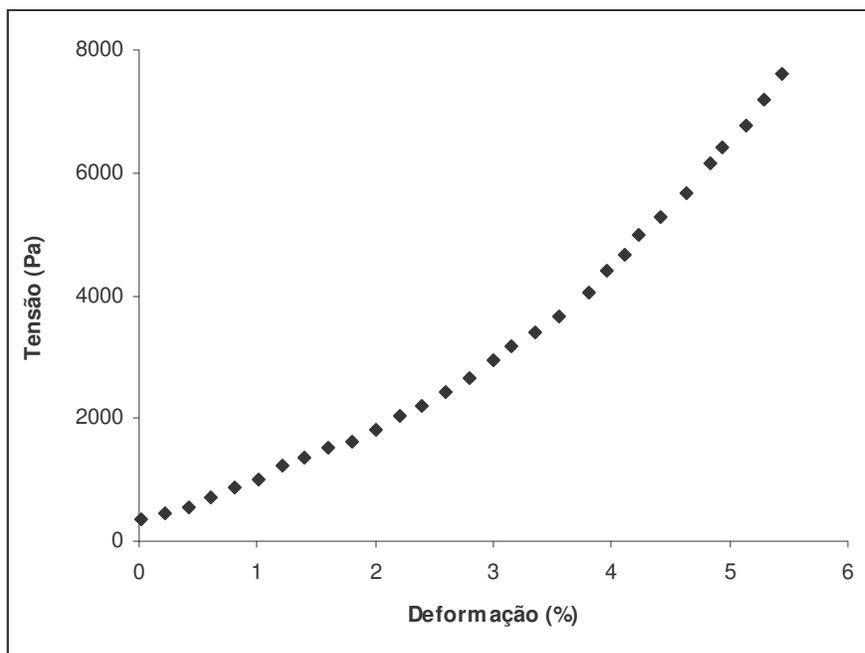


Gráfico Tensão x Deformação obtido a partir do teste de ruptura realizado com a amostra desidratada para verificar o comportamento viscoelástico da fruta



Comportamento viscoelástico não linear apresentado pelo melão na deformação de 5% usada no ensaio de relaxação

APÊNDICE III

FICHA DE APLICAÇÃO - ANÁLISE SENSORIAL

Nome: _____ Data: ___/___/___

Amostra no: _____

Por favor, avalie a amostra de melão recebida e indique na escala o quanto você gostou ou desgostou da amostra em relação:

- à aparência.

Desgostei muitíssimo

Gostei muitíssimo



- ao aroma.

Desgostei muitíssimo

Gostei muitíssimo



- ao sabor.

Desgostei muitíssimo

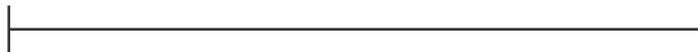
Gostei muitíssimo



- à textura.

Desgostei muitíssimo

Gostei muitíssimo



- à impressão global.

Desgostei muitíssimo

Gostei muitíssimo



Comentários: _____

APÊNDICE IV

Tabela A1 – Valores da Perda de Água (PA), Ganho de Sólidos (GS) e do Adimensional GS/PA durante a cinética de desidratação osmótica com solução de sacarose (40, 50 e 60°Brix) a 30°C

Tempo (h)	Sacarose 40°Brix			Sacarose 50°Brix			Sacarose 60°Brix		
	PA(%)	GS(%)	GS/PA	PA(%)	GS(%)	GS/PA	PA(%)	GS(%)	GS/PA
0,5	12,36	2,51	0,203	17,74	4,11	0,232	18,14	0,90	0,049
1	15,97	4,18	0,261	20,58	4,93	0,240	23,02	1,65	0,072
1,5	18,70	5,09	0,272	23,82	4,46	0,187	30,39	2,14	0,071
2	18,26	6,18	0,338	27,71	5,83	0,210	27,02	2,63	0,097
3	23,66	7,00	0,296	32,08	5,27	0,164	35,80	3,31	0,092
4	22,99	7,66	0,333	33,90	6,36	0,188	40,12	3,92	0,098
5	25,87	8,30	0,321	39,57	8,56	0,216	44,77	4,47	0,100
6	28,23	9,87	0,350	39,99	8,74	0,219	50,82	5,46	0,107
7	28,78	10,87	0,378	47,21	8,33	0,176	53,92	6,21	0,115
8	31,81	11,89	0,374	45,13	7,22	0,160	54,65	6,61	0,121

Tabela A2 – Valores da Perda de Água (PA), Ganho de Sólidos (GS) e do Adimensional GS/PA durante a cinética de desidratação osmótica com solução de sacarose (40, 50 e 60°Brix) a 40°C

Tempo (h)	Sacarose 40°Brix			Sacarose 50°Brix			Sacarose 60°Brix		
	PA(%)	GS(%)	GS/PA	PA(%)	GS(%)	GS/PA	PA(%)	GS(%)	GS/PA
0,5	17,56	2,88	0,164	20,75	2,96	0,143	21,51	2,66	0,123
1	23,10	3,81	0,165	24,24	5,50	0,227	26,48	5,06	0,191
1,5	27,77	4,98	0,179	29,48	7,54	0,256	29,48	6,55	0,222
2	29,79	4,29	0,144	32,80	7,18	0,219	32,83	6,95	0,212
3	32,60	5,50	0,169	35,71	9,42	0,264	38,18	6,85	0,179
4	37,76	5,71	0,151	40,56	9,03	0,223	42,80	7,01	0,164
5	39,24	7,33	0,187	43,41	10,27	0,237	46,61	8,64	0,185
6	42,83	6,28	0,147	49,56	9,47	0,191	50,48	8,57	0,170
7	47,09	7,27	0,154	52,70	9,09	0,172	53,38	8,41	0,157
8	50,85	5,96	0,117	50,67	10,68	0,211	55,52	8,49	0,153

Tabela A3 – Valores da Perda de Água (PA), Ganho de Sólidos (GS) e do Adimensional GS/PA durante a cinética de desidratação osmótica com solução de maltose (40, 50 e 60°Brix) a 30°C

Tempo (h)	Maltose 40°Brix			Maltose 50°Brix			Maltose 60°Brix*		
	PA(%)	GS(%)	GS/PA	PA(%)	GS(%)	GS/PA	PA(%)	GS(%)	GS/PA
0,5	14,31	2,75	0,192	13,33	2,64	0,198	17,31	1,37	0,079
1	19,08	2,46	0,129	17,64	2,97	0,168	25,82	1,72	0,067
1,5	19,82	3,13	0,158	21,23	3,23	0,152	29,65	1,86	0,063
2	24,25	3,09	0,128	24,13	3,37	0,140	32,58	1,92	0,059
3	27,22	3,47	0,128	29,78	3,44	0,116	38,98	1,96	0,050
4	30,25	3,52	0,116	34,20	3,68	0,108	42,46	2,23	0,053
5	33,18	3,69	0,111	37,60	3,77	0,100	49,01	2,41	0,049
6	33,68	3,93	0,117	39,92	3,94	0,099	51,75	3,02	0,058
7	35,89	4,26	0,119	41,38	4,39	0,106	52,74	3,10	0,059
8	36,20	4,80	0,133	41,52	4,62	0,111	59,43	3,19	0,054

* condição mais favorável para a resposta: menor relação GS/PA

Tabela A4 – Valores da Perda de Água (PA), Ganho de Sólidos (GS) e do Adimensional GS/PA durante a cinética de desidratação osmótica com solução de maltose (40, 50 e 60°Brix) a 40°C

Tempo (h)	Maltose 40°Brix			Maltose 50°Brix			Maltose 60°Brix		
	PA(%)	GS(%)	GS/PA	PA(%)	GS(%)	GS/PA	PA(%)	GS(%)	GS/PA
0,5	18,75	2,05	0,110	23,52	1,59	0,067	22,28	4,03	0,181
1	24,99	1,99	0,080	28,54	1,91	0,067	29,65	3,72	0,125
1,5	30,89	2,75	0,089	30,99	2,15	0,069	33,35	4,39	0,132
2	30,13	2,19	0,073	34,43	2,31	0,067	39,78	5,72	0,144
3	38,13	2,24	0,059	43,10	2,77	0,064	47,04	3,71	0,079
4	42,28	2,56	0,061	43,02	2,35	0,055	50,38	4,93	0,098
5	43,03	2,17	0,051	45,51	2,30	0,051	52,24	4,95	0,095
6	45,18	2,56	0,057	48,62	2,97	0,061	52,92	4,11	0,078
7	46,21	3,06	0,066	50,79	3,44	0,068	54,40	4,57	0,084
8	46,22	3,12	0,067	51,20	2,90	0,057	54,83	4,24	0,077