

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:

ENGENHARIA DE PROCESSOS

CONSERVAÇÃO DE FATIAS DE MANGA UTILIZANDO TÉCNICAS COMBINADAS: DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E CONGELAMENTO

Dissertação submetida à Comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

MARIA HELENA DE OLIVEIRA NUNES

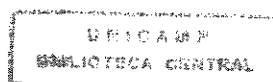
autora

Prof. Dr. THEO GUENTER KIECKBUSCH

Orientador

Campinas - SP - Brasil

Julho/1997



9813381

Esta versão corresponde à redação final da Dissertação de Mestrado defendida pela Eng. Maria Helena de Oliveira Nunes e aprovada pela banca examinadora em 30 de julho de 1997.



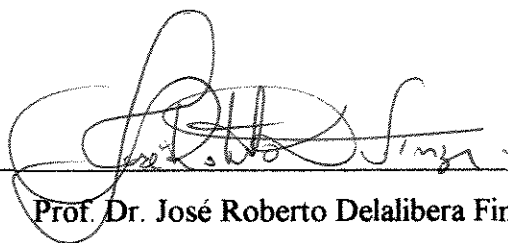
Prof. Dr. Theo Guenter Kieckbusch

Dissertação defendida e aprovada, em 30 de julho de 1997, pela banca examinadora constituída por:

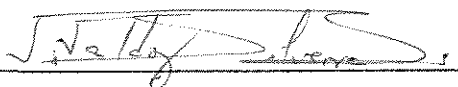


Prof. Dr. Theo Guenter Kieckbusch

Orientador



Prof. Dr. José Roberto Delalibera Finzer



Prof. Dr. Vivaldo Silveira Junior

Dedico este trabalho à Deus e aos meus pais,

Jorge Luiz e Nelma.

AGRADECIMENTOS

À DEUS, que está sempre presente em todas as etapas da minha vida, acredito que sem Ele não teria chegado até aqui.

Aos meus pais Jorge Luiz e Nelma pelo amor, pela presença constante na minha vida, pela confiança e pela paciência.

Às minhas irmãs Silvia Helena e Luiza Helena, à minha avó Helena e à minha tia-madrinha Didi, pelo carinho.

Ao Prof. Dr. Theo G. Kieckbusch pelo modo como orientou essa tese desde os primeiros ensaios experimentais até a última linha escrita. Em todas as etapas desse trabalho a sua participação foi realmente imprescindível, enriquecendo-o com sugestões, experiência, conhecimento e, principalmente, com o amor que tem pela pesquisa. Sem dúvida nenhuma um grande exemplo a ser seguido.

À todos os meus amigos da Faculdade de Engenharia Química e da Faculdade de Engenharia de Alimentos, que, com certeza, vão deixar muitas saudades, especialmente à Edna (Ednéia), Helenice, Marleny, Marcinha, Edméia e Vera.

Aos professores do Departamento de Termofluidodinâmica da Faculdade de Engenharia Química pelos ensinamentos, essenciais à minha formação.

Às Professoras Florência Cecília Menegalli e Míriam Dupas Hubinger, do Departamento de Engenharia de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos, pela concessão do Laboratório de Engenharia de Processos, onde foram realizados os testes experimentais.

À Professora Maria Helena Miguel pelo modo como acompanhou a execução dessa tese.

À Alessandra, Ângela, Aninha, Eliane, Ronaldo, Renata, Rosiane e Sílvia pela amizade e pela pesença, que sem dúvida nenhuma foram muito importantes.

Aos meus amigos do Rio, que mesmo longe sempre me deram a maior força.

Aos funcionários das Faculdades de Engenharia de Alimentos e de Engenharia Química pelo carinho.

À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

NOMENCLATURA

b = coeficiente de *água ligada*, kg *água ligada*/kg alimento seco

C_{p_a} = calor específico da água, kcal/kg °C

C_{p_d} = calor específico do produto descongelado, kcal/kg °C

C_{p_c} = calor específico do produto congelado, kcal/kg °C

H = entalpia, kcal/kg

$H_p(T_p)$ = entalpia do produto à T_p , kcal/kg

$H_{p,d}(T_{i,c})$ = entalpia do produto descongelado na sua temperatura de início de congelamento, kcal/kg

$H_{p,d}(T_e)$ = entalpia do produto descongelado na temperatura de equilíbrio, kcal/kg

ΔH_o = calor latente de solidificação da água, kcal/kg

ΔH_g = entalpia total do gelo de 0°C até a temperatura de equilíbrio (T_e), kcal/kg

$\Delta H_p(T_p \rightarrow T_e)$ = variação total da entalpia do produto desde sua temperatura inicial (T_p) até sua temperatura de equilíbrio (T_e), kcal/kg

$\Delta H_p(T_p \rightarrow T_{i,c})$ = variação total da entalpia entre o produto congelado à T_p e o produto descongelado à $T_{i,c}$, kcal/kg

k_f = constante, 1,86°C /mol do soluto em 1000g de água

m_b = molalidade da solução, mol de soluto/ 1000g de solvente

M_a = massa de água, kg

$M_{\text{amostra}}^{\text{seca}}$ = massa da amostra seca, kg

$M_{\text{amostra}}^{\text{úmida}}$ = massa da amostra úmida, kg

M_{exsudado} = massa de exsudado, kg

M_f = massa da fatia após a desidratação osmótica, kg

$M_{f,d}$ = massa da fatia descongelada logo após ser retirada da placa, kg

$M_{f,e}$ = massa da fatia enxugada, após o descongelamento, kg

$M_{f,s}$ = massa da fatia após a secagem com ar, kg

M_g = massa de gelo, kg

M_i = massa da fatia antes da desidratação osmótica, kg

$M_{i,d}$ = massa da fatia descongelada, kg

$M_{i,s}$ = massa da fatia antes da secagem com ar, kg
 M_m = massa da amostra, kg
 M_p = massa da placa vazia, kg
 $M_{\text{placa} + \text{exsudado}}$ = massa do conjunto placa de Petri-exsudado, kg
 $M_{\text{placa} + \text{fatia}}$ = massa do conjunto placa de Petri-fatia, kg
 M_s = ganho de sólidos, kg
 q_c = calor parasitário que engloba erros associados ao calorímetro, kcal
 $T_{\text{bulbo úmido}}$ = temperatura de bulbo úmido, °C
 $T_{\text{bulbo seco}}$ = temperatura de bulbo seco, °C
 T_e = temperatura de equilíbrio do sistema, °C
 $T_{i,a}$ = temperatura inicial da água, °C
 $T_{i,c}$ = temperatura de início de congelamento do produto, °C
 T_o = temperatura de congelamento da água pura, °C
 T_p = temperatura inicial do produto, °C
 T_R = temperatura de referência, °C
 T_{secador} = temperatura do secador, °C
 ΔT_f = redução da temperatura de início de congelamento, °F ou °C
 U_f = umidade final da amostra, % em base úmida
 U_i = umidade inicial da amostra, % em base úmida
 U_p = umidade do produto, % em base úmida

Índices gregos

ω_a = fração mássica de água, kg água/kg produto
 $\omega_{a,r}$ = fração mássica de água removida, kg água/kg produto
 ω_g = fração mássica de gelo formado, kg gelo/kg produto
 ω_s = fração mássica de sólidos, kg sólidos/kg produto

RESUMO

Fatias de manga *Tommy Atkins*, com 5 mm de espessura foram submetidas a um pré-tratamento osmótico com o objetivo de melhorar as características do processo de congelamento.

Mangas no estágio inicial de maturação ($84,7 \pm 1,9\%$ de umidade e $12,9 \pm 1,9^\circ\text{Brix}$) foram descascadas e seccionadas na direção paralela ao caroço. As fatias, sem tratamento térmico, foram submetidas a uma desidratação osmótica, à temperatura ambiente, usando um excesso de solução aquosa de sacarose (40% e 50% em massa) e de sacarose e glicerol (40%-10% e 50%-10%), com dois níveis de tempo de tratamento: 30 e 60 minutos. O produto obtido foi caracterizado pela umidade final, pela perda de massa e ganho de sólidos durante a desidratação, pela temperatura de início de congelamento e pela entalpia de congelamento. Esses dados permitiram calcular a fração de gelo formada durante o congelamento.

O congelamento das fatias embaladas individualmente foi feito por imersão em banho (etanol à -25°C), com duas velocidades de congelamento: lenta (22 mm/h) e intermediária (228 mm/h). A qualificação do congelamento foi feita através da medida da massa de exsudado após o descongelamento e indicou que o pré-tratamento osmótico é efetivo na redução da perda de massa celular.

A velocidade de congelamento afetou sensivelmente a perda por exsudação das fatias mais úmidas, não se observando, entretanto, diferenças significativas quando o glicerol foi usado. As perdas por exsudação tendem a um valor em torno de 3,5% quando o conteúdo de gelo for inferior a 55% da massa total, não se observando, nesses casos, diferenças significativas entre as duas taxas de congelamento e nem entre as soluções de pré-tratamento.

Uma comparação da perda por exsudação em função da fração de gelo formada indica que a proteção promovida pela desidratação osmótica é menos efetiva do que uma secagem lenta com ar à 30°C .

Palavras chave: manga, congelamento, desidratação osmótica, secagem, exsudação.

ABSTRACT

Slices of Tommy Atkins mangoes, 5 mm thick, were submitted to osmotic pre-treatment in order to improve the freezing process characteristics.

Mangoes at the initial stage of ripening ($84,8 \pm 1,9\%$ water content; $12,9 \pm 1,9^\circ\text{Brix}$) were peeled and sectioned following the seed direction. The slices, without prior thermal treatment, were submitted to osmotic dehydration, at ambient temperature, using an excess of aqueous solutions of sucrose (40% and 50% by weight) and solutions of sucrose and glycerol (40%-10% and 50%-10%), at two time levels: 30 minutes and 60 minutes. The product was characterized by its final water content, by the loss of mass and gain of solids during the osmotic treatment, by the initial freezing temperature and by the freezing enthalpy. These data allowed for the calculation of the ice fraction formed during freezing.

The freezing of the individually wrapped slices proceed by immersion in an ethanol bath (-25°C) with two freezing rates: slow (22 mm/h) and intermediate (228 mm/h). The qualification of the freezing process was ascertained by the mass of exsudated after thawing and confirmed that the osmotic pre-treatment works effectively as a celular mass loss reductor.

The dripping loss as affected by the freezing rates only with slices with higher water content. With raw mangoes at slow freezing rate, losses of about 20% in mass were observed. The dripping loss leveled out to about 3,5% when the ice content was lower than 55% of total mass, and, in these cases, the two freezing rates and the different pre-treatments showed no significant differences.

A comparision of the dripping losses as a function of ice content indicated that the protection to freezing injury promoted by osmotic pre-dehydration is less effective than air drying at 30°C .

Key words: mango, freezing, osmotic dehydration, drying, exsudation.

ÍNDICE GERAL

RESUMO

ABSTRACT

NOMENCLATURA

I - INTRODUÇÃO	1
II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
II.1 - Manga	4
II.2 - A Célula Vegetal	5
II.2.1 - A função da água nos alimentos	6
II.3- O congelamento e seu efeito sobre a qualidade do produto	7
II.3.1 - Índices da Cinética do congelamento	8
II.3.2 - Subresfriamento e re-cristalização	9
II.3.3 - O congelamento e os danos à estrutura celular	11
II.3.4 - Observações em nível microscópico	12
II.3.5 - Congelamento de alimentos	14
II.3.6 - Congelamento de mangas e fatias de manga	16
II.4 - A <i>água ligada</i> e os alimentos	17
II.5 - Algumas propriedades termofísicas envolvidas durante o congelamento	19
II.5.1 - Entalpia	20
II.5.2 - Fração mássica de gelo formado durante o congelamento	22
II.6 - Crioprotetores	22
II.7 - Desidratação de produtos alimentícios	24
II.8 - Desidratação Osmótica	26
II.9 - Desidratação e Congelamento	31
III - MATERIAIS E MÉTODOS	35
III.1 - Matéria-prima	35
III.1.1 - Caracterização da matéria-prima	35
III.2 - Preparo das amostras	36
III.3 - Desidratação Osmótica	36

III.4- Cálculo da remoção de massa durante a desidratação osmótica	37
III.5 - Cálculo da fração mássica de água removida e do ganho de sólidos durante a desidratação osmótica	37
III.6 - Congelamento	38
III.7 - Determinação da taxa de congelamento para os dois tipos de embalagem utilizadas	39
III.8 - Descongelamento	39
III.9 - Medidas experimentais	40
III.9.1 - Umidade	40
III.9.2 - Quantidade de sólidos solúveis	41
III.10 - Secagem	42
III.11 - Determinação da entalpia de congelamento da manga	43
III.12 - Fração mássica de gelo formado	45
III.13 - Determinação da temperatura de início de congelamento	45
III.14 - Tratamento estatístico dos resultados	46
 IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO	 47
IV.1 - Caracterização da matéria-prima	47
IV.2 - Velocidades de congelamento	48
IV.3 - Desidratação Osmótica	52
IV.4 - Pré-secagem com ar	54
IV.5 - Temperatura de Início de Congelamento	55
IV.6 - Determinação da entalpia de congelamento e da fração de água congelada ..	60
IV.7 - Ensaios de Congelamento/Descongelamento	70
 V - CONCLUSÕES	 77
 VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 79
- APÊNDICE A	92
- APÊNDICE B	95
- APÊNDICE C	114
- APÊNDICE D	119
- APÊNDICE E	124

- APÊNDICE F	148
- APÊNDICE G	159

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

A manga (*Mangifera indica* L.) é uma fruta produzida em regiões de clima tropical, possuindo características próprias de cor, sabor e aroma que a torna um produto de grande aceitação tanto no mercado externo quanto nos países produtores. O fortalecimento das exportações só será possível quando a manga deixar de ser considerada um produto das elites e se tornar acessível a consumidores de baixa renda. Segundo um conceito básico da Economia, o preço de um produto é inversamente proporcional à sua oferta; como consequência, para que uma mercadoria se torne mais popular, é necessário que ela atenda por um período longo de tempo às demandas do mercado.

No caso específico da manga, a sazonalidade de sua produção e a falta de instalações adequadas para sua estocagem impedem que os comércios interno e externo sejam realizados durante todo o ano.

Segundo NEVES FILHO (1985) os alimentos dependentes de safra possuem "...um mercado que apresenta uma variação cíclica no custo, fenômeno este que afeta tanto o produtor quanto o consumidor." Isto acontece devido à falta de instalações eficientes para a estocagem, forçando a venda imediata da produção a preços irrisórios. Com a diminuição no nível da produção os preços tendem a subir novamente.

A perspectiva da *Food and Agriculture Organization* (FAO) é que o volume da produção das quatro principais frutas tropicais (abacate, abacaxi, manga e mamão papaia) cresça de 3 a 5% ao ano até o ano 2000. A demanda da importação subirá cerca de 30%, alcançando até 1,6 milhões de toneladas nos próximos quatro anos. Segundo as projeções da FAO, caberá aos Estados Unidos o papel de principal importador, seguido do Mercado Comum Europeu (22%). Os embarques para o Japão deverão se expandir 4,28%, alcançando 12 mil toneladas no ano 2000 (dados fornecidos pelo Suplemento Agrícola do Jornal "O Estado de São Paulo" de 22/1/1997).

HAINES (1991) também acredita no aumento do consumo de mangas entre os japoneses. Como ele mesmo lembra, o Japão é o país de maior renda *per capita* do mundo, com uma população que aprecia uma alimentação saudável, nutritiva e natural. Além disso, os japoneses

têm uma profunda apreciação por frutas, e como a manga não é uma fruta nativa do seu país, a importação torna-se inevitável.

Sendo o Brasil o segundo produtor mundial de manga (MEDINA, 1981 citado por CARDELLO et al., 1993/94), não é nenhum absurdo acreditar que ele seria capaz de suprir, sozinho, a demanda de uma parte significativa do mercado externo emergente. Para que isto seja possível tornam-se imprescindíveis estudos no sentido de prolongar a vida útil da manga, garantido aos mercados mais distantes o fornecimento de um produto de alta qualidade nutricional. CARDELLO et al. (1993/94) acreditam que “estudos desta natureza poderão facilitar e incentivar a utilização de frutas conservadas como matéria-prima por indústrias de alimentos em períodos de entressafra”. Dessa forma, frutas de safra curta, como é o caso da manga, poderiam ser comercializadas o ano todo na forma de produtos processados (iogurtes, sorvetes, compotas, geléias e outros). Mangas embaladas sob atmosfera modificada a 12°C mantém suas características organolépticas por 35 dias, isto é, cerca de 20 dias a mais do que sem a embalagem (YAMASHITA, 1995).

O uso do congelamento para prolongar o tempo de estocagem de um alimento por um período mais extenso é um dos métodos mais eficientes quando se deseja que as características físico-químicas e organolépticas do produto processado sejam mantidas. No entanto, para as frutas de clima tropical, os fatores ambientais, como a temperatura, afetam diretamente o processo de respiração após a colheita. Além da velocidade de reação dos processos biológicos, fisiológicos e bioquímicos, a temperatura pode interferir, também, no tempo de armazenamento e causar alterações fisiológicas (danos pelo frio ou *chilling injury*) nesses produtos ao se atingir uma temperatura crítica. No caso específico de mangas essa degradação já é nítida a temperaturas em torno de 6°C (THOMAS e JOSHI, 1988).

Mesmo quando a manutenção das funções vitais não é importante, o aumento de volume devido à formação de gelo pode causar danos à estrutura celular do produto. A destruição ocorre na etapa de congelamento, mas apenas se torna evidente durante o descongelamento. Como consequência há uma perda de peso em relação ao produto *in natura* em decorrência da exsudação de suco celular (RESENDE, 1994). A ruptura da célula provoca a liberação e a mistura de enzimas e substratos, resultando no escurecimento do tecido, desenvolvimento de *off-flavor* e aceleração do processo de degradação celular (STAFFORD, 1983).

Nos alimentos com alto nível de umidade, como as frutas, os danos às células causados pelo congelamento são mais evidentes e drásticos. Uma etapa inicial de desidratação antes do congelamento final já se mostrou eficiente na redução da perda da qualidade nutricional de produtos congelados (ANDREOTTI et al., 1980; TOMASICCHIO e ANDREOTTI, 1990; BISWAL et al., 1991; BOLIN e HUXSOLL, 1993 e RESENDE, 1994).

Os processos de desidratação mais utilizados na indústria são os que empregam o ar quente como agente de secagem. Para alimentos mais sensíveis, como as frutas, o uso de temperaturas altas pode causar alterações no tecido (enrijecimento) e nas propriedades organolépticas do produto. Por ser realizada em temperaturas da ordem de 30°C, a desidratação osmótica seria uma alternativa mais branda para a remoção da água desses alimentos.

Neste trabalho procurou-se estudar a eficiência da desidratação osmótica (soluções de sacarose pura ou mistas de sacarose e glicerol) na redução da quantidade de exsudado para mangas (variedade *Tommy Atkins*) submetidas a duas velocidades de congelamento. Para uma melhor compreensão do fenômeno envolvido foi feito um estudo sobre o efeito protetor do glicerol durante a etapa de congelamento e a determinação de duas propriedades termofísicas de grande importância para os produtos congelados, a temperatura de início de congelamento das amostras e a variação da sua entalpia com a temperatura.

CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

II.1- Manga

As mangas cultivadas pertencem à espécie única *Mangifera indica* L. O gênero *Mangifera* L., contém 41 espécies válidas, que são largamente distribuídas em áreas tropicais e subtropicais do mundo. As frutas variam muito no tamanho, formato, aroma, tamanho da semente, quantidade de fibras, composição e propriedades organolépticas. O formato pode ser oval ou arredondado. A pele é lisa e normalmente amarela, podendo ter um tom avermelhado; outras são verdes mesmo quando maduras (STAFFORD, 1983). A manga é reconhecidamente uma fonte rica em vários nutrientes, como vitamina A (betacaroteno), ácido ascórbico (vitamina C), açúcares e sais minerais; além de conter teor considerável de fibra (CARDELLO et al., 1993/1994).

A manga é uma das frutas tropicais mais populares e de maior volume de produção do mundo (ficando atrás apenas da banana) por apresentar fragrância atrativa e propriedades especiais de cor e sabor que chamam a atenção do consumidor. Existem centenas de variedades de manga sendo produzidas em diferentes áreas do mundo, pertencendo à Índia o papel de principal produtora (STAFFORD, 1983).

O cultivo da manga teve início na Índia há 4000 anos. Aproximadamente no século XIV, missionários e exploradores começaram a difundir-la por todas as regiões tropicais e subtropicais, devido à sua capacidade de adaptação. Atualmente são encontradas produções significativas da fruta em países da África, Ásia, América Central e América do Sul, sendo que o Brasil ocupa o primeiro lugar (STAFFORD, 1983).

A produção mundial de mangas é de 14 milhões de toneladas, inferior apenas à da banana. Mesmo assim o comércio internacional ainda é considerado de pouca relevância. Em muitos países a manga é vendida a preços exorbitantes. Para que ela se torne mais popular, é necessária uma redução no seu preço, além de uma melhor manutenção da sua qualidade geral (THOMAS e JOSHI, 1988).

O período de colheita de mangas no Estado de São Paulo é de aproximadamente dois meses, dezembro e janeiro. Este comportamento sazonal também é observado em outros países produtores, diminuindo a disponibilidade para a exportação e para o consumo interno.

Segundo YAMASHITA (1995), “ A manga é um exemplo típico de alto nível de produção em comparação com o pequeno volume total exportado. O Brasil produziu em 1992, 637.000 toneladas de mangas e exportou apenas 1,4% deste total (aproximadamente US\$ 7 milhões), sendo 74% destinado aos E.U.A., 18% para a Europa Ocidental, 3% para o Canadá, 3% para o resto da Europa e apenas 2% para o Mercosul”.

Produção nacional anual e exportação (mil toneladas)
(IBRAF, 1995 citado por YAMASHITA, 1995)

1987	1988	1989	1990	1991	1992
637	nd	759	699	697	701
nd	nd	(5,4)	(4,6)	(7,7)	(9,1)

nd- dado não disponível

()- volume exportado

A explicação para o baixo índice de exportação está ligada à rapidez com que a fruta amadurece e se deteriora (menos de três semanas se for mantida à temperatura ambiente). Dessa forma o comércio fica limitado entre países onde o tempo gasto para o transporte da fruta não exceda duas semanas (CHAPLIN et al., 1991).

II.2- A Célula Vegetal

Segundo SOARES (1988), todas as células encontradas na natureza possuem uma membrana aderida ao citoplasma e constituída de lipoproteínas que é denominada membrana plasmática, membrana celular ou plasmalema. Essa membrana permite a passagem de íons e pequenas moléculas, mas dificulta a entrada de macromoléculas de proteínas, polissacarídeos e ácidos nucleicos, que somente conseguem atravessá-la por um processo de difusão facilitada

usando bombas de sais (CUSSLER, 1984). No caso das células vegetais pode existir, além da membrana plasmática, um reforço espesso, rígido, pouco permeável à água e não aderido à membrana plasmática que recebe o nome de parede celular.

O interior da célula é formado por soluções coloidais, soluções químicas e suspensões que diferem, significativamente, da composição química e do estado físico em que se encontram as substâncias do meio externo. São exatamente essas diferenças que permitem o fluxo de sólidos e água através da célula, mantendo-a viva. Portanto, há uma permanente necessidade de que tais diferenças sejam preservadas. A membrana plasmática tem a capacidade de controlar a entrada e a saída de produtos da célula, de forma a manter a diferença de composição entre o meio interno e o meio externo; ou, em outras palavras, o equilíbrio entre a pressão osmótica do líquido intracelular e a do líquido extracelular. Essa propriedade da membrana plasmática recebe o nome de permeabilidade seletiva e induz ao turgor da célula.

Sendo a membrana celular muito permeável à água, é possível que esta seja continuamente transferida do interior para o exterior da célula ou vice-versa. Quando a célula vegetal perde muita água, a membrana plasmática se retrai e pode se descolar da parede celular, surgindo um espaço vazio entre elas. Este fenômeno é conhecido como plasmólise e é característico das células vivas. Como consequência da plasmólise ocorre o amolecimento do tecido vegetal (perda de turgor da célula).

Quando a plasmólise é irreversível, ocorre a desagregação da célula, com modificações no tecido celular (citólise), geralmente acompanhadas do desenvolvimento de *off-flavor* e de uma diminuição da qualidade geral do alimento. Do exposto, fica claro que o fenômeno da plasmólise é indesejável e deve ser evitado pois reduz a aceitação do produto pelo consumidor.

II.2.1- A função da água nos alimentos

A fração inorgânica da célula (constituída por água e sais minerais) é quantitativamente muito maior que a orgânica. Esse predomínio se justifica pelo fato da água ser a substância mais abundante na célula, em torno de 65% do peso bruto da matéria viva. Esse valor varia muito com o tipo de trabalho que a célula desempenha, podendo mesmo ser maior que 80%. As células que possuem uma atividade intensa são mais ricas em água do que as células com um metabolismo menor. Sendo a água um “produto final” de muitas reações químicas e bioquímicas que ocorrem

na célula, como, por exemplo, a fotossíntese e a respiração. é de se esperar que as células mais ativas produzam mais água. Por outro lado, a água atua também como solvente em outras reações (exemplo da hidrólise), e por isso deve estar presente em grandes concentrações nas células que desempenham essa função. Como a fruta é um órgão de considerável importância no processo de reprodução da planta, fica claro, pelo exposto anteriormente, o porquê dela conter um alto nível de umidade (SOARES, 1988).

A água presente nas células é formada por uma parte *livre* e outra *ligada*. A *água livre*, cerca de 95% da água total, é fracamente ligada ao substrato, funcionando como solvente para reações químicas e bioquímicas e permitindo o crescimento de microrganismos; a *água ligada*, ao contrário, é fortemente ligada ao substrato por meio de pontes de hidrogênio e, portanto, não permite o desenvolvimento de microrganismos e retarda as reações químicas (de ROBERTIS et al., 1974).

A água contida nos alimentos pode se apresentar de três formas diferentes (JOSLYN, 1990):

- como solvente para a solubilização de cristais (açúcares, sais e ácidos de baixo peso molecular) ou como um meio dispersante para macromoléculas hidrofílicas (proteínas, gomas e macromoléculas fenólicas) em soluções moleculares ou coloidais;
- adsorvida como uma camada mono ou polimolecular muito fina em pontos ativos das superfícies internas ou externas dos componentes sólidos por meio de forças moleculares; ou em capilares finos, por meio da condensação capilar;
- como água de hidratação. Carboidratos como a dextrose, a maltose e a lactose e sais como o tartarato de potássio, formam monoidratos estáveis. As proteínas e os polissacarídeos adsorvem água, mantendo-a ligada a eles por meio de pontes de hidrogênio.

A maioria dos pesquisadores define *água ligada* como aquela que permanece inalterada quando o alimento é sujeito a um determinado tipo de processamento; como por exemplo, a água que não congela mesmo a baixas temperaturas, a que não está disponível como solvente ou a que não é removida em um processo de desidratação (KAREL, 1975 citado por KARMAS, 1980).

II.3- O Congelamento e seu efeito sobre a qualidade do produto

Congelamento é o processo de transformação da água líquida em água sólida, mais conhecida como gelo. Para que a mudança de fase ocorra, é necessário que o calor latente de cristalização do produto seja removido, e, principalmente, que exista um núcleo servindo como base para a formação e crescimento do cristal de gelo (REID, 1983).

II.3.1- Índices da Cinética do Congelamento

A velocidade de crescimento dos cristais de gelo depende, em parte, da velocidade com que o calor é removido do sistema. A definição oficial de taxa de congelamento, como publicado pelo Instituto Internacional de Refrigeração em 1971 (citado por HELDMAN, 1983), é a seguinte:

“A taxa de congelamento de um alimento é a razão entre a distância mínima da sua superfície ao centro e o tempo gasto para o centro alcançar 5°C abaixo da temperatura de início de congelamento do produto; onde a distância é medida em cm e o tempo em h, sendo a taxa de congelamento expressa como cm/h. Considera-se o tempo zero quando a superfície do produto estiver à 0°C”.

O seguinte critério é adotado na definição de velocidade de congelamento: **congelamento lento** (observado em câmaras frias): taxas menores que 1 cm/h; **congelamento rápido** (observado em congeladores de placa): taxas em torno de 10 cm/h e **congelamento ultra rápido** (observado em sistemas de imersão em gases liquefeitos): taxas de até 100 cm/h.

Alguns autores utilizam a variação da temperatura com o tempo, expressa como graus por minuto (ou segundo), para definir a taxa de congelamento. Esse critério é usado sobretudo no congelamento de produtos de pequenas dimensões (células ou embriões). Como a taxa da variação da temperatura não se mantém constante durante todo o processo de congelamento, não é aconselhável utilizar um valor médio para a taxa, sendo preferível medir a variação da temperatura logo após o “patamar” na curva de congelamento (FENNEMA et al., 1973). Para BOMBEN e KING (1982) o congelamento rápido é caracterizado por taxas maiores que

10°C/min, enquanto o congelamento lento por taxas menores que 1°C/min. Taxas na faixa de 1-10°C/min caracterizam o que os autores chamam de congelamento intermediário.

II.3.2- Subresfriamento e re-cristalização

É sabido que a remoção de calor de um sistema aquoso resulta em uma redução na sua temperatura; contudo, em alguns casos, essa redução não é considerada suficiente para dar início ao processo de congelamento. Um fenômeno conhecido como subresfriamento pode ocorrer antes que os primeiros cristais de gelo se formem. A Figura II.1 representa o gráfico temperatura-tempo para um produto que pode experimentar subresfriamento.

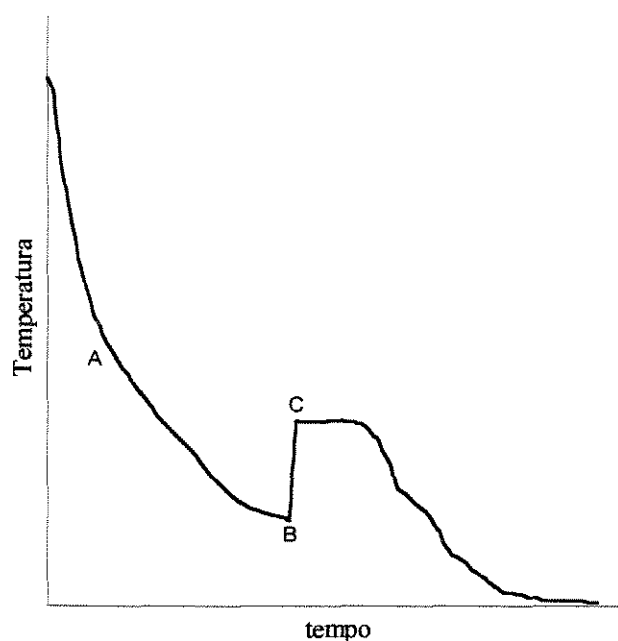


Figura II.1- Figura esquemática do histórico temperatura-tempo para o congelamento de um produto sujeito ao subresfriamento.

Observando-se a Figura II.1 conclui-se que no ponto A (0°C), início do congelamento da água pura, não há formação de gelo; ao invés disso, o que se nota, é a diminuição gradual da temperatura. O subresfriamento persiste até B, quando surgem os primeiros núcleos para a formação de gelo. A liberação de calor latente faz com que a temperatura volte a subir (ponto C da figura). Essa temperatura é chamada de temperatura de início de congelamento e, devido aos sólidos dissolvidos, é sempre menor do que 0°C. Durante a mudança de fase a concentração da solução parcialmente congelada vai aumentando, evidenciando o efeito crioscópico. O *patamar*

da mudança de fase sofre uma ligeira inclinação, que se intensifica quando quase toda a *água congelável* se cristaliza. Ao final do processo, a temperatura do produto é reduzida gradativamente até atingir o equilíbrio com o meio refrigerante (REID, 1990).

Os processos de nucleação e crescimento são afetados pela taxa de remoção de calor, pela taxa com que as moléculas de água se ordenam na superfície do cristal e pela taxa de difusão da água para a superfície do cristal. A rápida remoção de calor permite que um grande subresfriamento se desenvolva, fazendo com que a nucleação ocorra em muitos pontos dentro do alimento, dando início à formação de pequenos cristais de gelo. Durante o congelamento lento o subresfriamento do produto é menos acentuado e poucos núcleos são formados, tornando possível o aparecimento de grandes cristais de gelo (REID, 1990).

Segundo FRANKS (1985b) citado por GOFF (1992), o ponto B da curva é um estado meta-estável, de não equilíbrio, que é análogo a uma energia de ativação necessária para que o processo de nucleação se inicie. No caso de soluções aquosas, a temperatura em que começa a nucleação dos primeiros cristais de gelo é mais alta do que a encontrada para a água pura, o que indica que o soluto adicionado acelera o processo de nucleação. A conclusão a que se chega é que os solutos vão tornando o subresfriamento cada vez menos pronunciado devido à rapidez com que a nucleação se inicia e à diminuição da temperatura de início de congelamento. Em soluções muito concentradas é muitas vezes difícil obter o subresfriamento (FRANKS, 1985a citado por GOFF, 1992).

Cristais de gelo são relativamente instáveis, e durante a estocagem à baixas temperaturas podem sofrer mudanças no seu formato, tamanho e quantidade, fenômeno este conhecido como recristalização. A recristalização ocorre, principalmente, como consequência de variações na temperatura durante o congelamento. Com o aumento da temperatura, a quantidade de *água congelável* diminui e os pequenos cristais de gelo se fundem; por outro lado, com a diminuição da temperatura, a água não forma novos núcleos, e, ao invés disso, é depositada na superfície dos cristais maiores, provocando uma redução na quantidade total de cristais e aumento no seu tamanho médio. Com o aumento no tamanho dos cristais de gelo pode ocorrer ruptura do tecido celular, resultando em uma diminuição na qualidade geral do alimento. A melhor maneira de prevenir a recristalização é evitando que ocorram flutuações na temperatura durante o armazenamento do produto congelado (FRANKS, 1985a citado por GOFF, 1992).

II.3.3- O congelamento e os danos à estrutura celular

A literatura sobre a formação de gelo em material biológico celular pode, geralmente, ser dividida em duas categorias. A primeira consiste de trabalhos sobre a formação de gelo em alimentos onde as condições e conseqüências do dano mecânico às células e paredes celulares estão sendo avaliados. A outra envolve estudos que examinam as condições para a preservação da viabilidade celular durante o congelamento, como é o caso de embriões, sêmen e eritrócitos. Nesses casos é vital que não ocorra a formação de gelo dentro da célula (SILVARES et al., 1975).

Diversas hipóteses foram desenvolvidas para tentar explicar o mecanismo pelo qual o congelamento danifica as estruturas celulares. Uma das mais aceitas é a de que o crescimento dos cristais causa pressão sobre as células, deformando suas membranas. Esta hipótese pode ser comprovada por meio do deslocamento da arquitetura do tecido, que ocorre devido ao crescimento de gelo extracelular (GRIEVE e POVEY, 1981).

Estudos posteriores mostraram que a água congela nos espaços intercelulares e, portanto, as células são apenas empurradas durante o crescimento dos cristais de gelo, o que seria insuficiente para causar a sua destruição. Uma possível explicação para os danos que ocorrem à célula é a de que na temperatura de congelamento uma parte considerável das substâncias presentes no protoplasma da célula precipitam irreversivelmente, liberando a chamada *água ligada*. Esta água não é reabsorvida pelos colóides durante o descongelamento, causando a morte da célula (BRAVERMAN, 1949).

A explicação mais aceita para os mecanismos da injúria está baseada não na formação de gelo, propriamente dita, mas na desidratação da célula e na alteração da solução celular, causadas durante o congelamento. Existem muitas teorias conflitantes sobre o assunto, embora seja comum entre os autores a opinião de que os danos causados pelo congelamento são, em parte, devido a um gradiente de pressão osmótica, não resultando de qualquer ação mecânica sobre a membrana (GRIEVE e POVEY, 1981).

Durante a formação de gelo a solução remanescente vai se tornando mais concentrada, gerando um gradiente de concentração através da membrana. Se as membranas da célula estiverem intactas ou resistirem à passagem de gelo, ocorrerá uma considerável desidratação das células com o objetivo de igualar essas concentrações e podendo levar à plasmólise. Dependendo da taxa de resfriamento e da permeabilidade das paredes da célula à água, pode ocorrer um

subresfriamento do material celular. O resfriamento rápido pode causar o congelamento interno das células, enquanto no lento somente o gelo extracelular é formado, causando a desidratação das células (REID, 1983).

Segundo LYON e CHURCHILL (1990) e SAUREL et al. (1994) os danos à célula estariam relacionados à velocidade de congelamento. Enquanto o congelamento lento favorece a osmose, permitindo o livre movimento da água e resultando na formação de grandes cristais de gelo, no congelamento rápido a água congela sem sofrer nenhum tipo de deslocamento, favorecendo o crescimento de pequenos cristais de gelo distribuídos uniformemente no tecido dentro e fora das células. Em vegetais a formação desses cristais ocorre no espaço intercelular, o que provoca a remoção de água da célula e a concentração do líquido intracelular. É possível, portanto, em um congelamento lento, que o gelo cresça no espaço intercelular, mantendo-se o conteúdo celular não congelado. Os grandes cristais de gelo causariam a destruição da membrana celular ou pelo menos um aumento em sua permeabilidade, e, com isso, a diminuição da pressão de turgor da célula, responsável pela manutenção da firmeza nos tecidos vegetais frescos. Como consequência ocorre uma apreciável exsudação de material celular após o descongelamento. Além disso, a ruptura da membrana permitiria a interação entre enzimas e substratos dentro da célula, favorecendo reações químicas e bioquímicas que causariam a degradação do produto, mesmo se a exsudação não fosse aparente.

II.3.4 - Observações em nível microscópico

A maioria dos trabalhos relacionando estrutura do gelo e condições de congelamento em alimentos foi feita por meio da microscopia do tecido congelado. Um acompanhamento *in vivo* desses mecanismos é impossível pela falta de equipamento adequado, visto que as observações microscópicas sempre envolvem técnicas de fixação da estrutura. Os conhecimentos sobre o assunto vão se acumulando, sobretudo pelas evidências obtidas com ensaios em nível macroscópico (ver Seção II.3.5) e, recentemente, por cuidadosas observações microscópicas.

Uma pesquisa pertinente foi feita por GRIEVE e POVEY (1981). Eles tentaram demonstrar que, em nível macroscópico, pode ocorrer reversão do fluxo osmótico quando é feito um congelamento diferencial através de uma membrana macroscópica artificial. Contudo, quando

a formação de gelo na solução diluída está concluída, ocorre uma reversão no movimento da água. Os resultados comprovam que a concentração da solução concentrada diminui com o prosseguimento do resfriamento possivelmente devido à osmose, e que embora seja possível concentrar o soluto no macro-sistema utilizado, é imprudente tentar relacionar esses resultados com a injúria pelo congelamento em nível celular. Para isso seria necessário trabalhar com membranas artificiais mais semelhantes às encontradas em células vivas.

A observação microscópica do congelamento de um tecido tem levado a um entendimento qualitativo de como o tecido celular se comporta durante o congelamento. Várias micrografias da formação de gelo estão disponíveis, e a conclusão da maioria dos trabalhos confirma que o congelamento rápido produz pequenos cristais de gelo intracelular, enquanto o congelamento lento produz grandes estruturas de gelo extracelular que danificam as paredes celulares, resultando em uma notável mudança na textura e em um aumento na perda de fluido intracelular. Um inconveniente da maioria desses trabalhos é que nenhuma medida quantitativa da taxa de congelamento foi usada para correlacionar as dimensões do gelo nas micrografias. Um destaque é o trabalho de BOMBEN e KING (1982), que utilizaram um microscópio eletrônico de varredura com um estágio a frio ("cold-stage scanning electron microscope") para examinar a morfologia do gelo em tecidos de maçã congelada como uma função da taxa de congelamento. Os resultados obtidos com o microscópio eletrônico mostram que as taxas de congelamento rápido (> 10 °C/min.) levam à formação de gelo intracelular e nenhum encolhimento significativo no volume da célula. Em taxas de congelamento menores (< 1 °C/min.) os resultados mostram que a célula plasmolisa, o que ocasiona a formação de gelo extracelular e um encolhimento apreciável das células. No caso de taxas de congelamento intermediárias (1-10 °C/min.) os resultados mostram evidências que comprovam a existência de gelo extracelular, células parcialmente encolhidas e gelo intracelular. Esta técnica tem documentado o encolhimento da célula em resposta à presença de gelo extracelular, assim como o fenômeno de super resfriamento das células antes do congelamento, evidenciado por um congelamento rápido.

Estudos fundamentais sobre a transferência de massa em alimentos tornaram possível a descoberta de que a alta concentração de carboidratos ou outra substância qualquer na superfície do produto exerce uma barreira altamente seletiva à passagem de água (THIJSSSEN, 1971 citado por KING, 1977).

SAUREL et al. (1994) fizeram uma comparação entre o tecido *in natura* e o congelado, buscando respostas sobre a importância das estruturas celulares, especialmente das membranas celulares, nos processos de transferência de massa. O princípio da desidratação se baseia em um mecanismo de difusão global que, provavelmente, envolve a formação de uma camada de sólidos provenientes da solução osmótica sobre a superfície do produto. Portanto, a conclusão que se chega é que a osmose não é o único mecanismo envolvido durante a desidratação de alimentos. As transferências foram difusivas e a penetração limitada de solutos quando se utilizam solutos de alto peso molecular promovem a desidratação. Em tecidos congelados o mecanismo de desidratação corresponde à formação de uma densa camada de solutos na superfície da fruta. O efeito desta barreira foi máximo em concentrações maiores de soluto ou com solutos de peso molecular maior.

II.3.5 - Congelamento de alimentos

A obtenção de diferentes velocidades de congelamento depende da forma como o calor é removido do sistema. O ar possui capacidade calorífica e condutividade térmica baixa. Para que ele seja um material eficiente para a troca térmica, portanto, deve estar a uma baixa temperatura e a superfície do produto deve estar em contato com um grande volume de ar em um espaço curto de tempo, de modo que o calor seja removido mas a temperatura continue constante. Como os líquidos possuem capacidade calorífica alta e boas características de transferência de calor, eles são considerados excelentes refrigerantes. O método de congelamento por imersão do alimento em líquidos de baixa temperatura promove um excelente contato térmico entre o produto e o meio, resultando em altas taxas de transferência de calor (REID, 1990).

A literatura registra inúmeros trabalhos sobre os efeitos do congelamento sobre a qualidade do produto. Considerar-se-á aqui, apenas duas importantes pesquisas que avaliam a influência da velocidade de congelamento.

O nitrogênio líquido oferece um método de congelamento excepcionalmente rápido, embora deva ser notado que um congelamento muito rápido também pode causar danos ao produto. O congelamento de carnes e derivados utilizando nitrogênio líquido tem ganho considerável aceitação nos Estados Unidos, visto que ele tem sido responsável por uma redução

significativa na quantidade de exsudado (“dripping”) após o descongelamento (BENGTSSON e JAKOBSSON, 1969). Esses autores estudaram a influência da velocidade de congelamento na qualidade final de bifes congelados. O congelamento foi realizado por imersão das amostras em diferentes refrigerantes, resultando em uma ampla faixa de velocidades de congelamento. A aparência das amostras no estado congelado diferiu consideravelmente com a taxa de congelamento, maiores taxas produzindo uma cor superficial mais esbranquiçada. A luminosidade é causada pela rápida formação de pequenos cristais de gelo na superfície do produto, o que provoca o reflexo da luz e impede que a cor vermelha característica da carne seja percebida. Esse problema pode ser contornado com um leve aquecimento da superfície para recrystalizar o gelo formado e obter um produto de aparência comercial mais aceitável. Após o descongelamento, a cor superficial das amostras tornou-se mais intensa para as que sofreram um congelamento rápido, o mesmo não acontecendo para as congeladas lentamente. As diferenças encontradas na qualidade sensorial após o cozimento ou reaquecimento foram surpreendentemente pequenas, sugerindo que a qualidade da matéria-prima e as condições de preparação, empacotamento e estocagem são fatores provavelmente mais importantes do que a taxa de congelamento. O congelamento utilizando R-12 líquido (Freon-12) à -30°C e uma solução de água e álcool à -40°C produziram taxas de congelamento comparáveis às do nitrogênio líquido; portanto, no caso do congelamento por imersão, esses dois refrigerantes seriam os mais recomendados. No caso do congelamento com álcool torna-se necessário um pré-empacotamento das amostras em sacolas impermeáveis para evitar o contato com o líquido. Os resultados finais comprovaram que o congelamento por imersão utilizando amostras embaladas se mostrou mais eficiente do que o congelamento por imersão direta das amostras no refrigerante.

Com o objetivo de estudar a influência da velocidade de congelamento na textura de frutas e vegetais, GUTSCHMIDT (1969) congelou feijões verde e morangos em duas taxas distintas de congelamento. O congelamento lento foi realizado em *freezer* (na faixa de temperatura de -35 a -40°C e velocidade do ar de 3 a 4 m/s) a uma taxa efetiva de 1,5 cm/h, enquanto para o congelamento rápido utilizou-se nitrogênio líquido, com uma taxa de 10 a 15 cm/h. Após o congelamento, as amostras foram armazenadas à -24°C em bolsas de polietileno. Os feijões que sofreram um congelamento rápido apresentaram uma textura melhor e uma diminuição na quantidade de exsudado quando comparados aos que foram congelados de forma lenta. Além da textura, os morangos levemente mais maduros também apresentaram melhorias na cor, no aroma

e na aparência geral quando foram congelados rapidamente; o mesmo não ocorrendo com os morangos colhidos no seu estado ótimo de maturidade. Segundo o autor, a análise sensorial das amostras provou haver diferenças significativas entre as velocidades de congelamento estudadas no que diz respeito à textura, ao aroma, à forma e à cor dos produtos. Os resultados, porém, não foram tão discrepantes com relação ao sabor, gerando a dúvida se a aceitabilidade dos produtos testados seria realmente influenciada pelo processo de congelamento utilizado.

II.3.6 - Congelamento de mangas e fatias de mangas

O congelamento de manga sem nenhum pré-tratamento foi investigado por alguns autores com o objetivo de estudar o seu efeito sobre a qualidade geral da fruta.

MACLEOD e SNYDER (1988) estudaram a presença de aromas voláteis em mangas da variedade *Tommy Atkins* sujeitas à três condições diferentes de congelamento; duas mangas foram congeladas, separadamente, dentro de sacolas plásticas, mantidas a vácuo; outras duas mangas foram embaladas em filmes de PVC (projetado especialmente para a estocagem de alimentos) antes de serem colocadas nas sacolas plásticas; e na terceira condição duas mangas foram fatiadas, sem tirar a casca, embaladas com o mesmo filme de PVC e congeladas como as anteriores. O congelamento foi feito em *freezer* (-15°C) com estocagem por 14 meses. Durante o descongelamento as quatro mangas que tinham sido congeladas inteiras foram consideradas inaceitáveis, sendo, portanto, descartadas. Por outro lado, as fatias de manga apresentaram, após o descongelamento, a textura e o aroma característicos das frutas frescas; o tecido permaneceu firme, podendo ser separado facilmente da casca, enquanto as substâncias responsáveis pelo aroma não apresentaram diferenças significativas em suas concentrações.

RAMAMURTHY e BONGIRWAR (1979) estudaram o congelamento de fatias de manga da variedade *Alphonso* empregando três diferentes velocidades de congelamento: congelamento rápido (imersão em nitrogênio líquido à -196°C por 40 segundos), congelamento intermediário (congelamento em pratos de contato à -40°C por 2 horas) e congelamento lento (congelamento em bandejas à -20°C por 12 horas). O trabalho teve como objetivo estudar o efeito da temperatura de congelamento e, por consequência, da taxa de congelamento, na textura das mangas a serem submetidas a um processo de liofilização. Os resultados mostraram uma

influência significativa da taxa de congelamento nas propriedades texturais e organolépticas das fatias de manga liofilizadas. Segundo os autores, uma diminuição na taxa de congelamento provocou uma maior exsudação de material celular durante o descongelamento, comprometendo a qualidade final do produto.

CANO e ANCOS (1994) estudaram o efeito sobre a composição dos carotenóides de duas das técnicas mais empregadas na preservação de fatias de manga, o congelamento e o enlatamento. O congelamento foi realizado em *freezer* à -40°C, sem qualquer tratamento prévio. Após o congelamento as fatias foram embaladas em sacolas plásticas (Polyskin X12) e armazenadas à -24°C durante 6 meses até que a composição dos carotenóides pudesse ser determinada. As fatias de manga enlatadas foram fornecidas por uma indústria, tendo sido processadas segundo os métodos convencionais de enlatamento. Os resultados obtidos permitiram concluir que, nas condições utilizadas, o congelamento provou ser a técnica mais adequada na preservação de fatias de manga, visto que foram mantidas as mesmas características de cor e aparência das frutas frescas. Foram observadas apenas algumas mudanças com relação à pigmentação das amostras, sem comprometimento de sua qualidade geral. O enlatamento comercial de fatias de manga em xarope (17-19°Brix), por sua vez, produziu mudanças drásticas na cor e na pigmentação das amostras tornando-as inaceitáveis para o consumo.

II.4- A água ligada e os alimentos

Conforme visto na Seção II.2.1, a definição mais usada para quantificar a *água ligada* aos sólidos e solutos contidos nos alimentos é a da fração de *água não-congelável*.

Segundo REID (1983) a quantidade de *água ligada* ou *não-congelável* continua sendo reativa mesmo durante o congelamento, tornando o produto congelado susceptível à reações deteriorativas e enzimáticas. O autor acredita que a quantidade de *água ligada* é a principal responsável pela degradação de produtos congelados. Uma visão mais atual desses mecanismos está baseada na temperatura de transição vítrea (LEVINE e SLADE, 1989).

MOY et al. (1971) determinaram a quantidade de *água ligada* em frutas tropicais (mamão, papaia, goiaba, maracujá e abacaxi) e as interações dos colóides naturais com os solutos adicionados. As quantidades de *água livre* e *água ligada* foram determinadas utilizando-se a taxa

de congelamento e o tempo necessário para a remoção do calor latente. No mamão papaia, como em muitas outras frutas, a sua textura ou firmeza depende da seletividade da membrana celular para determinados solutos, do tipo de ligação da água com as outras moléculas do produto e da integridade celular. A *água livre*, que possui uma relativa mobilidade, se comporta como a água comum, agindo com solvente para os solutos e congelando com a remoção de calor, ao contrário da *água ligada*, que além de possuir forte afinidade com os elementos estruturais, ainda é incapaz de congelar mesmo em temperaturas muito baixas. Para o congelamento das amostras foi utilizado o R-12 líquido (Freon-12). Os resultados comprovaram que a adição de sacarose ou hidrocolóides não afetou a quantidade de *água ligada*, embora os solutos adicionados tenham competido por espaço no volume da *água livre*.

As propriedades da *água ligada* a algumas substâncias normalmente presentes em alimentos (caseína, celulose, amido de milho, pectina e alginato de sódio) foram estudadas por LEUNG e STEINBERG (1979) por meio do congelamento das amostras. A quantidade de água não-congelável foi determinada utilizando-se a Ressonância Magnética Nuclear (NMR).

O estudo mais detalhado sobre o assunto foi feito por DUCKWORTH (1971), que avalia as diversas técnicas que têm sido empregadas para determinar a quantidade de água não-congelável; algumas baseiam-se na medida direta, enquanto outras medem a quantidade de gelo formado e calculam a quantidade de água não-congelada por diferença entre a massa inicial de água e a massa de gelo formado. O autor determinou a quantidade de água *não-congelável* em alimentos utilizando uma técnica conhecida como Análise Térmica Diferencial (DTA). A faixa de temperatura utilizada foi de -78°C até a temperatura ambiente. Se a quantidade de água contida nas amostras fosse capaz de sofrer um processo normal de congelamento à -78°C, o subsequente descongelamento do gelo formado se manifestaria inevitavelmente no Termograma. A ausência de variação nas curvas analisadas foi considerada uma indicação da presença de água não-congelável nas amostras estudadas sobre a faixa de temperatura empregada. Não houve evidência de que o congelamento a temperaturas abaixo de -78°C induz à formação de gelo adicional. Os resultados confirmam que, para cada um dos produtos examinados, existe uma quantidade de água fixa e definida que é incapaz de congelar mesmo a baixas temperaturas.

Em sua análise do congelamento de alimentos, SCHWARTZBERG (1981) define o parâmetro *b* como a massa de água ligada por massa de alimento seco. Os valores normalmente se situam entre 0,15 e 0,40, sendo alguns deles apresentados na Tabela II.1.

Tabela II.1- Valores do parâmetro “b” encontrados na literatura.

ALIMENTOS	b (kg água ligada/kg alimento seco)
Carne e peixe (DUCKWORTH, 1971) ^(a)	0,240-0,270
Vegetais (RIEDEL, 1959) ^(a)	0,180-0,250
Carne magra (RIEDEL, 1957) ^(a)	0,350
Fermento (RIEDEL, 1968) ^(a)	0,280
Ovo e gema de ovo (RIEDEL, 1957) ^(a)	0,400
Peixe (RIEDEL, 1956) ^(a)	0,390
Pão (RIEDEL, 1959) ^(a)	0,300
Gema pura (TELIS, 1996)	0,186
Cação (HENSE, 1990)	0,260
Filé de pescada (KLEEBERG, 1986)	0,300
Exsudado de peixe (KLEEBERG, 1986)	0,135

^(a) citado por SCHWARTZBERG (1981).

No Laboratório de Engenharia de Processos (FEA/UNICAMP) já se determinou a quantidade de *água ligada* por meio de um simples calorímetro de mistura; utilizado com sucesso no caso de filé de peixe (KLEEBERG, 1986), de cação (HENSE, 1990), de manga (RESENDE, 1994) e de gema de ovo (TELIS, 1996).

II.5- Algumas propriedades termofísicas envolvidas durante o congelamento

A modelagem dos processos de congelamento e descongelamento exige que sejam conhecidas algumas propriedades termofísicas do alimento, como a entalpia, a capacidade calorífica, a condutividade térmica, a difusividade, a densidade e a temperatura de mudança de fase. (CHANG e TAO, 1981 e RENAUD et al., 1992). Visto que para muitos alimentos os dados específicos não estão disponíveis, valores médios ou aproximados são utilizados como uma primeira estimativa para os parâmetros do processo. Contudo para maiores níveis de

produtividade e eficiência é necessária a determinação precisa dos valores de temperatura de início de congelamento e da relação entre entalpia, calor específico e temperatura (RESENDE, 1994).

A distribuição de temperatura no interior do produto durante o processo de congelamento varia consideravelmente e por isso o tempo de congelamento deve ser definido quanto a sua localização. Sendo o centro térmico a região onde o resfriamento ocorre mais lentamente, convencionou-se utilizá-lo como referência. Como os alimentos não possuem um ponto de congelamento definido, devido à presença de sólidos dissolvidos e à interação da água com as substâncias presentes, é preciso considerar uma faixa de temperatura na qual o calor latente é liberado. A região de -1 a -5°C é, normalmente, a zona de máxima formação de gelo ou da “parada térmica”, assim chamada por corresponder, aproximadamente, a um patamar nas curvas temperatura versus tempo durante o congelamento (KLEEBERG, 1986).

Para os cálculos de calor específico de alimentos congelados, a principal hipótese é a de que toda a água é transformada em gelo durante o congelamento e, por isso, o calor específico preponderante é o do gelo. Como exposto acima, o congelamento de produtos alimentícios é um processo gradual, que ocorre em uma ampla faixa de temperatura e, como consequência, as medidas do calor específico são sujeitas a erros (DICKERSON, 1968 citado por ASHRAE Handbook, 1993).

Segundo CLELAND e EARLE (1984) e HENSE (1990), as propriedades termofísicas são fortemente influenciadas pelo estado físico da água e pela quantidade de gelo formada. Com a proximidade da temperatura de início de congelamento ocorre uma variação brusca nas propriedades do produto que pode ser medida por métodos calorimétricos e correlacionadas por equações básicas da termodinâmica (KLEEBERG, 1986).

II.5.1- Entalpia

A entalpia, normalmente representada pelo símbolo H , é uma variável de estado, definida pela expressão $H = U + p \times V$, em que U é a energia interna do sistema, p a sua pressão e V o seu volume. Assim como a energia interna, a entalpia não possui valor absoluto; portanto somente podem ser calculadas variações totais na entalpia, sendo seus valores dependentes apenas do

estado final do material (temperatura, pressão, fase e composição) e não de como ele foi atingido (HIMMELBLAU, 1984).

SCHWARTZBERG (1981) desenvolveu uma equação para calcular a capacidade calorífica de produtos congelados baseando-se em princípios termodinâmicos e usando uma correção da Lei de Raoult. A entalpia foi determinada integrando essa equação entre uma temperatura de referência T_R e a temperatura do produto:

$$H = (T_p - T_R) \times \left[C_{p_c} + \frac{(\omega_a - b \times \omega_s) \times \Delta H_0}{(T_0 - T_R)} \right] \times \left(\frac{T_0 - T_{i,c}}{T_0 - T_p} \right) \quad [\text{II.1}]$$

Em que: H = entalpia, kcal/kg

T_p = temperatura inicial do produto, °C

T_R = temperatura de referência, °C

T_0 = temperatura de congelamento da água pura, °C

$T_{i,c}$ = temperatura de início de congelamento do produto, °C

C_{p_c} = calor específico do produto congelado, kcal/kg °C

ω_a = fração mássica de água, kg água/kg produto

b = coeficiente de *água ligada* (ver Seção II.4)

ω_s = fração mássica de sólidos, kg sólidos/kg produto

ΔH_0 = calor latente de solidificação da água, kcal/kg

Nos processos comuns de congelamento, considera-se a temperatura de referência como sendo -40°C; porém, em regimes transientes, SCHWARTZBERG acha mais conveniente considerar a temperatura de referência como sendo a temperatura de início de congelamento do produto. Nestes casos a Equação [II.1] se transforma em:

$$H = (T_p - T_{i,c}) \times \left[C_{p_c} + \frac{(\omega_a - b \times \omega_s) \times \Delta H_0}{(T_0 - T_p)} \right] \quad [\text{II.2}]$$

Segundo RESENDE (1994) os dados experimentais de entalpia de congelamento para fatias de manga foram muito bem ajustados pelo modelo de SCHWARTZBERG (Equação II.2). Uma boa revisão sobre as diversas equações utilizadas para o cálculo da entalpia pode ser encontrada em HENSE (1990), KLEEGERG (1986) e RESENDE (1994).

II.5.2- Fração mássica de gelo formado durante o congelamento (ω_g)

Segundo SCHWARTZBERG (1981) a fração mássica de gelo formado durante o congelamento de um produto pode ser calculada pela Equação [II.3]:

$$\omega_g = (\omega_a - b \times \omega_s) \times \left(\frac{(T_{i,c} - T_p)}{(T_o - T_p)} \right) \quad [II.3]$$

sendo ω_g representada como kg gelo/kg produto. Em alguns casos é conveniente expressar a quantidade de gelo formada como kg gelo/kg água do produto, que é obtida dividindo-se a Equação II.3 pela umidade do produto, U_p (% b.u.).

II.6- Crioprotetores

A velocidade e a temperatura de congelamento são, reconhecidamente, as principais causas dos danos causados à célula pelo congelamento. Contudo, a maioria dos pesquisadores concorda que a melhor maneira de prevenir tais danos é por meio do uso de aditivos químicos, substâncias capazes de proteger parcialmente os alimentos congelados diminuindo a quantidade de exsudado durante o descongelamento (GARROTE e BERTONE, 1989).

As substâncias adicionadas aos alimentos com o objetivo de protegê-los durante o congelamento são conhecidas como **crioprotetores**. Como consequência da adição de solutos, o congelamento da solução só começa a ocorrer em temperaturas bem abaixo de 0°C. Esta

propriedade é bastante utilizada quando se deseja evitar a formação de grande quantidade de gelo durante o congelamento de um produto.

O abaixamento da temperatura de início de congelamento para soluções diluídas foi estudada por MOORE (1972). A diminuição da temperatura de início de congelamento devido à presença de solutos dissolvidos na solução pode ser expressa como:

$$\Delta T_f = k_f \times m_b \quad [\text{II.4}]$$

onde:

ΔT_f - redução da temperatura de início de congelamento, °F ou °C.

k_f - constante. O valor da constante k_f é 1,86°C por mol do soluto em 1000 gramas de água.

m_b - molalidade da solução, mol de soluto por 1000 gramas de solvente.

Qualquer soluto pode funcionar como um crioprotetor coligativo, basta atender a dois pré-requisitos básicos: primeiro, ele deve ser capaz de atravessar a membrana celular, pois, do contrário, causará uma significativa desidratação da célula, reduzindo a qualidade geral do alimento; segundo, ele deve ser não tóxico na concentração necessária para provocar uma redução significativa na temperatura de congelamento das amostras. Dos vários compostos conhecidos e disponíveis para a crioproteção artificial, como por exemplo, o etanol, metanol, sorbitol e uma grande variedade de glicóis; o glicerol parece ser o mais adequado, devido a sua falta de toxicidade mesmo a altas concentrações; a sua capacidade de se distribuir igualmente dentro e fora da célula, não apresentando nenhum efeito sobre o volume celular e a sua viscosidade, responsável por uma redução na taxa de difusão da água. Além disso, a energia superficial das soluções de glicerol é comparável à da água, evitando variações nas forças interfaciais, essenciais para a manutenção da integridade da membrana celular. Mesmo no caso de células que facilitam o transporte de glicerol através de suas membranas, a taxa de remoção da água ainda é bem maior que a de entrada de glicerol; portanto, a introdução e remoção de altas concentrações de solutos crioprotetores deve ser feita com muito cuidado, de modo a prevenir que o volume máximo ou mínimo da célula seja ultrapassado, o que poderia causar danos às estruturas celulares devido ao gradiente osmótico produzido (MERYMAN e WILLIAMS, 1985).

Um dos maiores inconvenientes na utilização de glicerol é a possibilidade de evaporação durante a secagem em estufa, resultando em valores errôneos para a umidade das amostras (MIGUEL, 1997 e SLOAN e LABUZA, 1975). FAVETTO et al. (1979) fizeram um exaustivo estudo sobre a evaporação do glicerol durante a secagem em estufa, e os resultados obtidos durante a secagem de amostras contendo glicerol em estufa à baixa temperatura (40°C) indicam que esta técnica permite uma separação “seletiva” da água, possibilitando uma estimativa confiável da umidade do produto. Embora não se tivesse alcançado o equilíbrio mesmo após 113 horas (pequenas diminuições no peso ainda foram notadas), os autores resolveram adotar um tempo de 48 horas como padrão para esse tipo de análise.

II.7- Desidratação de produtos alimentícios

A desidratação é talvez o método mais antigo de preservação de alimentos conhecido pelo homem e um dos mais utilizados industrialmente. O seu maior objetivo é a redução da água livre dos alimentos, transformando um produto perecível em produto estável (JAYARAMAN e GUPTA, 1992). Além de aumentar a estabilidade do produto, a desidratação oferece vantagens econômicas, diminuindo os custos de transporte e estocagem devido à redução de volume e/ou peso.

São inúmeros os métodos de secagem conhecidos, cada qual sendo empregado para um determinado tipo de produto e de situação. A grande maioria deles, no entanto, utiliza altas temperaturas para a remoção da água (JAYARAMAN e GUPTA, 1992).

Já foi comprovado em vários trabalhos (HOLDSWORTH, 1971; LABUZA, 1972; LUND, 1973; THIJSSEN e KERKHOF, 1977 e LUYBEN et al., 1982) que o uso do calor na secagem de materiais biológicos pode provocar mudanças de natureza química e bioquímica, que afetam irreversivelmente a qualidade final do produto. Para KING (1977) essas mudanças seriam causadas por forças de tensão superficial envolvendo a água na fase líquida.

Os principais efeitos adversos que podem ocorrer durante o tratamento térmico a que está submetido o alimento durante a secagem são:

- degradação de nutrientes (proteínas, aminoácidos, carboidratos, lipídios, vitaminas e minerais), reduzindo o valor nutritivo dos alimentos. As vitaminas mais termolábeis encontradas nos alimentos são o ácido ascórbico (vitamina C), a vitamina B1, a vitamina D e o ácido pantotênico;
- perda de compostos voláteis, como os aromas;
- danos à estrutura das células, principalmente devido ao estresse desenvolvido durante o encolhimento; e
- degradação da qualidade por reações químicas:
 - reações de escurecimento enzimático e não-enzimático;
 - oxidação de lipídios, componentes aromáticos, etc;
 - desenvolvimento de aroma e sabor indesejáveis;
 - destruição de pigmentos, tais como clorofila, carotenóides e flavonóides.

Segundo THIJSEN e KERKHOF (1977) tanto os efeitos desejáveis (a secagem do produto, por exemplo) quanto os indesejáveis (a perda da sua qualidade geral) possuem energias de ativação. Os valores dessas energias são diferentes para cada um dos efeitos, sendo possível saber, por meio do conhecimento da temperatura do produto, qual deles será favorecido. Quando o valor da energia de ativação dos efeitos desejáveis é maior ou menor que o dos efeitos indesejáveis, a qualidade do produto será totalmente preservada a temperaturas excessivamente altas ou baixas, respectivamente. Neste caso a escolha das condições ideais do processo dependem de “considerações técnicas e econômicas”. Se o valor da energia de ativação dos processos favoráveis é semelhante ao dos processos de degradação, existe uma temperatura ótima em que os efeitos adversos podem ser minimizados. De um modo geral, os processos físicos possuem valores de energia consideravelmente menores que os processos químicos; e, por isso, a preservação da qualidade final do produto será mais efetiva a baixas temperaturas.

Para BENDER (1966), “... não é possível generalizar sobre os efeitos de agentes obviamente destrutivos, como o calor”. Segundo o autor, os efeitos deletérios do uso de altas temperaturas variam muito com as condições do processo; se em alguns casos o calor causa degradação de vitaminas e proteínas, em outros ele pode inativar as enzimas que provocariam mudanças no produto, preservando o seu valor nutritivo.

Além dos problemas do ponto de vista da qualidade do produto, o aumento no custo da energia, principalmente na última década, incentivou pesquisas com o objetivo de substituir o processo antigo de secagem com ar quente por métodos mais econômicos e menos agressivos.

Com relação à desidratação de alimentos sólidos, já são conhecidos processos em que a remoção da água é realizada em temperaturas próximas à ambiente (secagem convencional com ar natural e desidratação osmótica) ou mesmo em temperaturas abaixo de 0°C (liofilização). Os métodos de secagem com ar natural e a liofilização, mesmo não sendo agressivos como a secagem com ar quente, também possuem desvantagens que limitam a sua utilização. No caso da secagem com ar à temperatura ambiente (25-30°C), o uso de temperaturas baixas aumenta o tempo do processo, e esses dois fatores, juntos, podem favorecer o crescimento de microrganismos. Na liofilização, ao contrário, as desvantagens são de natureza econômica; embora a técnica seja utilizada com sucesso na desidratação de alimentos sensíveis, como as frutas, a sua aplicação comercial fica restrita devido aos custos elevados do processo.

Como a desidratação osmótica é a técnica utilizada neste trabalho, ela será estudada com mais detalhe na seção seguinte.

II.8- Desidratação Osmótica

O processo de remoção de água denominado **Desidratação Osmótica** consiste na imersão de alimentos sólidos, inteiros ou em pedaços, em uma solução aquosa concentrada, de alta pressão osmótica. Conforme visto na Seção II.2, quando a solução extracelular apresenta uma pressão osmótica maior que a intracelular, ocorre a remoção de água da célula com o objetivo de igualar essas pressões. Além da remoção da água, que é o objetivo principal do processo, ocorre, também, uma significativa transferência de solutos da solução para o interior da célula (PONTING, 1973; CONWAY et al., 1983; FINZER e LIMAVERDE, 1996; LERICI et al., 1985; RAHMAN e LAMB, 1991; GARROTE et al., 1992; YANG e LE MAGUER, 1992; TORREGIANI, 1993; RAOULT-WACK, 1994).

O processo foi sugerido inicialmente por PONTING em 1966. Com o seu trabalho PONTING provou ser possível a redução de 50% do peso de maçãs por meio da desidratação osmótica, aplicando a nova técnica, com sucesso, em substituição aos processos convencionais de secagem com ar quente (FARKAS e LAZAR, 1969; BOLIN e HUXSOLL, 1993 e SHI e MAUPOEY, 1993).

O novo método despertou o interesse de outros pesquisadores e, desde então, a produção científica nesta área não pára de crescer. Suas principais vantagens são a inibição do escurecimento enzimático; a retenção da cor natural do produto sem que haja a necessidade de adicionar-lhe dióxido de enxofre e o menor consumo de energia, já que a remoção da água é feita na fase líquida (BERISTAIN et al., 1990).

São encontrados trabalhos sobre desidratação osmótica de vegetais (ANDREOTTI et al., 1980; ISLAM e FLINK, 1982; FINZER e LIMAVERDE, 1996; BISWAL et al., 1991; YANG e LE MAGUER, 1992 e BARONI, 1997), de carnes e peixes (RAOULT-WACK, 1994 e SABADINI et al., 1997), de materiais do tipo gel (RAOULT-WACK et al., 1991a,b) e de frutas.

No caso específico de frutas, algumas das já estudadas são mencionadas na Tabela II.3. Alguns dos resultados obtidos com frutas podem ser estendidos a outros produtos de origem animal ou vegetal e, dessa forma, as características principais do processo de desidratação osmótica vão sendo delineadas. Algumas conclusões obtidas durante a desidratação osmótica de frutas podem ser generalizadas e são descritas a seguir:

- a perda de água e o ganho de sólidos de um alimento submetido à desidratação osmótica são influenciados pela estrutura e compactação do seu tecido; pelo tamanho da superfície de contato entre a fruta e a solução osmótica; pelo tipo de soluto usado (peso molecular, estado iônico e solubilidade em água); pela agitação do sistema e pela geometria do material (ISLAM e FLINK, 1982; LERICI et al., 1985; GIANGIACOMO et al., 1987; RAHMAN e LAMB, 1990 e RAOULT-WACK et al., 1991a);
- a desidratação osmótica é um processo dinâmico em que a taxa de remoção de água é alta no início e diminui com o tempo; ao contrário da migração de sólidos, que aumenta no decorrer do processo até atingir o equilíbrio, quando então se mantém constante;
- a perda de água do produto é aumentada quando o sistema é submetido a pressões menores que a atmosférica. O processo de desidratação osmótica à vácuo utiliza temperaturas mais baixas que o processo convencional, ajudando a manter a qualidade geral do produto (SHI e MAUPOEY, 1993);

Tabela II.3- Relação de algumas frutas submetidas à desidratação osmótica e os respectivos autores.

Fruta	Autores
abacaxi	BERISTAIN et al., 1990; RAHMAN e LAMB, 1990 e SHI e MAUPOEY, 1993
banana	KIECKBUSCH et al., 1992b,c e MAURO e MENEGALLI, 1995
coco	RASTOGI e RAGHAVARAO, 1994
damasco	GIANGIACOMO et al., 1987 e SHI e MAUPOEY, 1993
goiaba	KIECKBUSCH et al., 1992c,d,e
maçã	FARKAS e LAZAR, 1969; PONTING, 1973; HAWKES e FLINCK, 1978; CONWAY et al., 1983; LERICI, 1985; VIDEV et al., 1990; GARROTE, 1992; HOUGH et al., 1993; SAUREL et al., 1994 e QUINTERO-RAMOS, 1993
mamão papaia	LEVI et al., 1983; HENG et al., 1990; PALOU et al., 1993; ARGALIZ et al., 1994
manga	MOY et al., 1978; TOMASICCHIO e ANDREOTTI, 1990; BORGES e MENEGALLI, 1992; KIECKBUSCH et al., 1992a; MIGUEL e KIECKBUSCH, 1995 e MIGUEL, 1997
morango	GARROTE, 1989 e 1992
pera	GARROTE et al., 1992 e BOLIN e HUXSOLL, 1993
pêssego e cereja	GIANGIACOMO et al., 1987

• os solutos normalmente empregados são a sacarose e o cloreto de sódio, embora seja possível a utilização de qualquer soluto solúvel (açúcares ou sais neutros) ou solvente miscível em água (xarope de amido, ácidos, bases ou polióis) (BONE, 1973). Os solutos podem ser combinados de inúmeras maneiras de modo que o objetivo principal do processo seja atingido; aumento na taxa de remoção de água e diminuição no ganho de sólidos. Como durante a desidratação ocorre transferência de sólidos da solução para o alimento, torna-se essencial o conhecimento do nível de toxicidade e das propriedades organolépticas dos solutos utilizados (LERICI et al., 1985; ARGALIZ et al., 1994 e RAOULT-WACK, 1994);

- embora o produto desidratado osmoticamente seja diferente do produto *in natura*, já que possui menos água e uma maior concentração de açúcar; a desidratação osmótica causa mudanças mínimas nas características sensoriais e físico-químicas das frutas, com exceção do aroma, que se torna mais doce (PONTING, 1973; LERICI et al., 1985; GIANGIACOMO et al., 1987 e QUINTERO-RAMOS et al., 1993);
- os alimentos desidratados osmoticamente são considerados de umidade “intermediária”; e, portanto, torna-se necessária mais uma etapa no seu processamento para que seja garantida a estabilidade do produto. Os métodos de conservação de alimentos mais utilizados após a desidratação osmótica são a secagem com ar quente (LEVI et al., 1983; RAHMAN e LAMB, 1991; BORGES e MENEGALLI, 1992; KIECKBUSCH et al., 1992c e MIGUEL e KIECKBUSCH, 1992), o congelamento (ANDREOTTI et al., 1980; TOMASICCHIO e ANDREOTTI, 1990 e BISWAL et al., 1991), a pasteurização, o enlatamento e/ou a adição de agentes preservantes. O sólido introduzido protege a estrutura natural do tecido evitando que ela seja danificada durante um tratamento mais agressivo;
- a utilização de soluções osmóticas contendo açúcar melhora a qualidade final do produto desidratado osmoticamente. Isto é possível porque o açúcar, além de inibir a enzima (polifenol oxidase) que catalisa o escurecimento oxidativo das frutas cortadas, ainda previne a perda dos constituintes voláteis responsáveis pelo aroma mesmo sob alto vácuo. Por esse motivo não há necessidade de se usar dióxido de enxofre ou outro método de inativação das enzimas quando são utilizadas soluções osmóticas de açúcar. Para alguns pesquisadores a alta viscosidade das soluções de açúcar retarda as reações de oxidação, tornando o escurecimento do produto menos notável (WIENTJES, 1968 citado por PONTING, 1973 e CHANDRASEKARAN e KING, 1971 citado por PONTING, 1973);
- durante a desidratação osmótica ocorre uma transferência de sólidos (açúcares, ácidos orgânicos, minerais e vitaminas) do produto para a solução. Embora não seja significativa, se comparada à remoção da água e ao ganho de sólidos, ela deve ser considerada quando o objetivo principal é a composição final do produto (RAOULT-WACK, 1994);

- os resultados experimentais de perda de água e ganho de sólidos podem ser ajustados com sucesso por modelos baseados na Lei de Fick em regime transiente (BERISTAIN et al., 1990; PALOU et al., 1993; RASTOGI e RAGHAVARAO, 1994 e MAURO e MENEGALLI, 1995) e por modelos mais simples, obtidos pelo balanço de massa do sistema (CONWAY et al., 1983; AZUARA et al., 1992 e AZUARA e BERISTAIN, 1992);
- a taxa de remoção de água aumenta com a concentração da solução e com a temperatura (BERISTAIN et al., 1990 e HENG et al., 1990);
- o ganho de sólidos pelo produto aumenta com a concentração inicial da solução (PONTING, 1973 e BERISTAIN et al., 1990). No entanto, em soluções altamente concentradas, forma-se uma camada de sólidos na superfície do produto que dificulta a entrada de mais sólidos (HENG et al., 1990 e RAOULT-WACK, 1994);
- os estudiosos da desidratação osmótica discordam em um ponto; enquanto uma parte acredita que não haja encolhimento significativo do produto durante o processo (BISWAL et al., 1991), a outra considera o encolhimento de suma importância na transporte global de massa (FARKAS e LAZAR, 1969; TOUPIN e LE MAGUER, 1989 e HOUGH et al., 1993). Para HOUGH et al. (1993), a hipótese de que a mudança no volume do produto desidratado é igual à diferença entre a perda de água e o ganho de sólidos se mostra satisfatória;
- o branqueamento térmico, método utilizado na inativação das enzimas, se mostrou indesejável e prejudicial aos produtos submetidos à posterior desidratação osmótica. Por ser um processo térmico agressivo, o branqueamento parece causar danos à membrana celular, o que resulta em um aumento no ganho de sólidos e uma diminuição na taxa de remoção de água (THIJSSSEN e KERKHOF, 1977 e ISLAM e FLINK, 1982). A maioria dos pesquisadores concordam que a membrana plasmática é que controla o processo de desidratação osmótica (PONTING, 1973; LERICI et al., 1985; FINZER e LIMAVERDE, 1996; TOUPIN e LE MAGUER, 1989; MARCOTTE e LE MAGUER, 1991 e MAURO e MENEGALLI, 1995); no entanto, pesquisas com materiais do tipo gel, sem membranas, mostram que não há necessidade de uma membrana celular intacta para que o produto apresente uma alta taxa de perda de água e um ganho de

sólidos reduzido. Segundo RAOULT-WACK (1991a,b), as transferências de massa observadas durante a desidratação osmótica são induzidas por uma camada concentrada de sólidos formada na superfície do produto durante a desidratação osmótica.

Embora seja uma técnica conhecida há mais de 30 anos, a desidratação osmótica ainda não foi muito explorada em nível industrial, mesmo já tendo sido provado que a sua utilização mantém a qualidade final do produto dentro dos padrões exigidos pelo consumidor. Segundo RAOULT-WACK (1994) e TORREGIANI (1993) a implantação do processo em escala industrial só será possível quando algumas das suas deficiências tecnológicas forem resolvidas. O problema de contato entre a fase sólida e a líquida, resultado da baixa densidade do alimento e da alta viscosidade da solução; a dúvida sobre o que fazer com a solução osmótica residual; as dificuldades de purificação das soluções usadas; a possibilidade de crescimento de microorganismos quando as soluções são recicladas várias vezes; a mudança na composição da solução durante o processo e o alto custo das soluções concentradas são algumas das mais importantes. SHUKLA (1993) acredita que o xarope produzido possa ser comercializado, tanto na forma líquida, quanto na sólida, devido ao seu forte aroma natural de frutas.

RODRIGUES e BILHALVA (1992) caracterizaram as alterações físico-químicas e quantificaram o rendimento no aproveitamento dos xaropes utilizados em processos de desidratação osmótica contínuos e sob vácuo. Os autores utilizaram temperaturas de 70, 80 e 90°C para o processamento e três níveis de utilização para cada xarope, mantendo o teor inicial de açúcares em 30°Brix com 3% em massa de açúcares redutores. Os tratamentos utilizados foram: (1) xarope de sacarose e glicose de milho, (2) reutilização do xarope resultante do tratamento (1) e (3) reutilização do xarope resultante do tratamento (2). Os resultados obtidos comprovaram que as alterações físico-químicas dos xaropes aumentam significativamente com a temperatura do processo, diminuindo o rendimento nos sucessivos tipos de tratamento.

II.9- Desidratação e Congelamento

A combinação de duas técnicas já conhecidas de preservação, como a desidratação e o congelamento, foi primeiramente sugerida por HOWARD e CAMPBELL em 1946. Segundo os

autores a remoção de aproximadamente 67% do conteúdo de água de um alimento (frutas ou vegetais) antes do congelamento ajuda a preservar a sua qualidade geral, além de trazer vantagens econômicas, como a redução no peso, no volume e na energia necessária para congelar o produto. O desidrocongelamento utilizando a secagem com ar quente já foi empregado, com sucesso, no caso de maçãs (TALBURT et al., 1950 e LAZAR et al., 1961), ervilhas (TALBURT e LEGAULT, 1950) e mangas (ANDREOTTI et al., 1980 e RESENDE, 1994).

RESENDE (1994) estudou o efeito da pré-secagem inicial sobre a perda de massa e a quantidade de exsudado de fatias de manga congeladas sob três condições de velocidade: lenta (*freezer* doméstico à -18°C); mediana (banho de etileno glicol à -25°C) e rápida (imersão em mistura de etanol e gelo seco à -78°C). Foram utilizadas três variedades de manga (Haden, Tommy Atkins e Keitt), sendo a secagem realizada em um secador de bandejas com fluxo de ar ascendente de 2,5 m³/s e temperatura de 80°C. Os resultados confirmaram a diminuição do “dripping” com o nível de desidratação inicial e com o aumento da velocidade de congelamento, indicando comportamento diferenciado conforme a variedade estudada. Para níveis de secagem da ordem de 30% notou-se uma redução significativa da quantidade de exsudado, não sendo observadas alterações na aparência e textura das fatias desidrocongeladas quando comparadas com as fatias *in natura*.

Com o surgimento da técnica de desidratação osmótica e a constatação de que os alimentos desidratados dessa forma são de qualidade superior aos desidratados por métodos convencionais, alguns trabalhos foram realizados com o objetivo de comprovar a eficiência da desidratação osmótica como um processamento prévio ao congelamento.

BOLIN e HUXSOLL (1993) utilizaram uma solução de sacarose (60° Brix) à 60°C para concentrar peras da variedade Bartlett. As amostras foram embaladas em sacos de polietileno laminado e congeladas à -15°C. Segundo os autores as peras desidratadas osmoticamente (20-30% de perda de massa, no mínimo) apresentaram uma maior firmeza após o descongelamento quando comparadas com as peras que não sofreram tratamento. Os resultados comprovam que é possível obter peras descongeladas com a mesma aparência das peras *in natura* quando elas são desidratadas osmoticamente (aproximadamente 50% de redução na sua massa inicial) antes do congelamento, o mesmo não ocorrendo com as amostras desidratadas com ar quente. Os autores acreditam que a remoção da água provoca uma concentração da solução intercelular e uma compactação das células, tornando-as mais resistentes ao congelamento. Além disso, a

desidratação parcial de um produto seria responsável, também, por uma diminuição na tendência da água de migrar para fora da célula e formar cristais de gelo.

A aceitabilidade sensorial de feijões verdes concentrados osmoticamente antes do congelamento foi estudada por BISWAL et al. (1991). Os resultados da análise sensorial das amostras sugerem que os feijões congelados após uma etapa de desidratação osmótica são tão bons quanto os congelados da maneira convencional e, por isso, são considerados aceitáveis para o consumo.

GORGATTI NETTO et al. (1971) congelaram fatias de manga (variedade Haden) em soluções de açúcar (sacarose e/ou glicose) de diferentes concentrações. Em algumas delas foram adicionados ácido ascórbico (0.1% em massa) e CaCl_2 (0.07% em massa). As amostras, após o congelamento, foram colocadas em uma câmara fria, mantida a -20°C . A análise sensorial das amostras mostrou ser possível obter fatias de manga de excelente qualidade congelando-as em xaropes de açúcar. Os resultados obtidos para cada uma das soluções utilizadas não apresentaram diferenças significativas entre si, com exceção das amostras congeladas na solução contendo sacarose e CaCl_2 , que apresentaram, após o descongelamento, maior firmeza que as congeladas na presença de sacarose e ácido ascórbico. Esse processo tem o inconveniente da energia dispendida para congelar a solução.

GARROTE e BERTONE (1989) verificaram o efeito crioprotetor do glicerol, da sacarose e da glicose durante o congelamento de morangos (variedade Tioga) desidratados osmoticamente à 5°C e congelados com R-12 líquido (Freon-12) por 5 minutos. Após o congelamento as amostras foram armazenadas à -20°C por 24 horas. O efeito crioprotetor dos solutos foi avaliado pesando-se a quantidade de material exsudado durante o descongelamento; quanto menor o nível de exsudação, maior a proteção exercida pelos solutos. Os resultados obtidos comprovam que os morangos *in natura* produzem mais exsudado do que os desidratados antes do congelamento, o que indica que houve danos mais sérios à estrutura celular da fruta. Segundo os autores, a concentração da solução intercelular, consequência da remoção de água, aliada à incorporação de sólidos pelo produto, é que seriam responsáveis pela diminuição na quantidade de exsudado das amostras desidrocongeladas.

TOMASICCHIO e ANDREOTTI (1990) investigaram o uso do desidrocongelamento para três variedades diferentes de manga. O objetivo do trabalho era o de estudar a possibilidade de se utilizar dois métodos conhecidos de remoção de água, a desidratação osmótica e a secagem

com ar quente, como etapas iniciais ao processo de congelamento. Além disso foi feita uma análise, qualitativa, da eficiência do desidrocongelamento sobre o congelamento tradicional. A desidratação osmótica foi efetuada empregando-se uma solução de sacarose (60°Brix) e ácido ascórbico (0,3% em massa), mantida à 25°C. Após 24 horas de desidratação osmótica a massa inicial das fatias foi reduzida em aproximadamente 30%, enquanto as fatias secas com ar quente (80°C) tiveram uma redução de 50% na sua massa inicial. Tanto as fatias *in natura* quanto as desidratadas foram congeladas à -40°C por 30 minutos. Segundo os autores, os produtos congelados após a secagem com ar quente foram considerados de qualidade superior aos congelados sem nenhum tipo de pré-tratamento. Os resultados preliminares obtidos com as fatias desidratadas osmoticamente não foram muito satisfatórios. Tanto as fatias parcialmente desidratadas quanto as desidrocongeladas obtiveram uma notável perda de consistência, tornando difícil o seu manuseio. Por essa razão os autores optaram por não utilizar a desidratação osmótica nos testes seguintes.

CAPÍTULO III- MATERIAIS E MÉTODOS

III.1- Matéria-prima

No trabalho experimental foram utilizadas mangas da variedade *Tommy Atkins*, adquiridas no CEASA de Campinas (São Paulo) e cultivadas no Sítio Ipê, Indaiatuba, no Estado de São Paulo. A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Engenharia de Processos, na Faculdade de Engenharia de Alimentos.

A seleção das frutas foi feita considerando as que apresentassem boa qualidade e boa aparência, e que estivessem no período inicial de maturação (nem muito verdes, nem muito maduras). Como a manga é uma fruta que se deteriora rapidamente, mesmo sob refrigeração, não foi possível coletar quantidade suficiente para realizar todo o trabalho experimental, e por isso a compra de novas frutas era feita de 1 a 2 vezes por semana, sendo elas armazenadas em geladeira à 7°C logo que adquiridas. Para minimizar a influência das condições fisiológicas (estado de maturação, composição básica, tamanho e resistência) na retenção de água após o descongelamento, as mangas foram adquiridas sempre no mesmo produtor.

O período de colheita da manga no estado de São Paulo se concentra nos meses de outubro a fevereiro, tempo que durou o trabalho experimental na safra 1996/97.

III.1.1- Caracterização da matéria-prima

A caracterização das mangas utilizadas no trabalho experimental foi feita por meio da determinação da sua umidade (% b.u.) e da quantidade de sólidos solúveis (°Brix), embora se saiba que apenas essas duas medidas são insuficientes para determinar exatamente o estágio de maturação da fruta. Uma caracterização mais completa da matéria-prima exigiria que fossem feitas análises da acidez, da quantidade de sólidos insolúveis e da quantidade de açúcar das amostras, o que foi evitado por se tratar de análises demoradas e que deveriam ser realizadas cada

vez que um novo grupo de mangas fosse utilizado. Muitas vezes, para um mesmo experimento, utilizava-se mais de uma manga até conseguir-se o número de fatias necessárias. A seleção das fatias era feita considerando apenas as que estivessem em um estado inicial de maturação, o que poderia ser percebido pelo tom alaranjado-claro das fatias e pela sua textura firme.

III.2- Preparo das amostras

As frutas eram lavadas, descascadas e fatiadas na direção longitudinal ao sentido do caroço em fatias de 0,5 cm de espessura utilizando-se um fatiador manual (marca Lorenzetti). Cada fatia era cortada em fatias menores, de formato retangular (aproximadamente 3,5 cm x 4,0 cm) e área superficial total (considerando os dois lados da fatia) de 28 cm², mantida fixa para evitar que o tamanho da fatia influenciasse o processo de desidratação. A etapa de branqueamento das amostras, necessária para a inativação das enzimas, não foi realizada. A inativação das enzimas é importante para evitar o escurecimento das amostras, fenômeno conhecido como escurecimento enzimático.

III.3- Desidratação Osmótica

Para a etapa de desidratação osmótica foram utilizadas soluções de sacarose (40 e 50%) e misturas de sacarose e glicerol nas concentrações de 40%-10% e 50%-10%, respectivamente. Todas as concentrações foram expressas como % em massa. As soluções de sacarose foram feitas com açúcar refinado comum, comprado em supermercados de Campinas. O glicerol foi adquirido da Cia Campineira de Glicerina.

Os tempos de desidratação foram fixados em 30 e 60 minutos, enquanto a temperatura manteve-se constante em 30°C.

A proporção massa da amostra:massa da solução foi mantida em 1:10, garantindo-se, dessa forma, não haver alteração significativa na concentração da solução durante a desidratação.

As fatias eram pesadas, colocadas no interior das soluções osmóticas e o conjunto era levado ao *shaker* pelos tempos pré-definidos. O béquer foi mantido fechado para evitar a

evaporação durante a desidratação osmótica. A agitação no *shaker* impede que ocorram gradientes de concentração dentro das soluções e permite que as fatias fiquem submersas.

Após a desidratação as fatias eram drenadas, enxugadas suavemente com papel toalha, pesadas em balança semi-analítica e preparadas para o congelamento.

III.4- Cálculo da remoção de massa durante a desidratação osmótica

A remoção de massa durante a etapa de desidratação osmótica foi determinada por meio da Equação [III.1]:

$$(\text{remoção de massa}) = \left(\frac{M_i - M_f}{M_i} \right) \times 100 \quad [\text{III.1}]$$

em que:

M_i = massa da fatia antes da desidratação osmótica, kg

M_f = massa da fatia após a desidratação osmótica, kg

III.5- Cálculo da fração mássica de água perdida e do ganho de sólidos durante a desidratação osmótica

O cálculo da fração mássica de água removida ($\omega_{a,r}$) e do ganho de sólidos (M_s) foi feito por meio das equações [III.2] e [III.3], respectivamente; obtidas pelo balanço de massa do sistema:

$$\omega_{a,r} = \frac{M_i \times U_i - M_f \times U_f}{100 \times M_i} \quad [\text{III.2}]$$

$$M_s = \frac{M_f \times [100 - U_f] - M_i \times [100 - U_i]}{100} \quad [\text{III.3}]$$

sendo:

U_i = umidade inicial da amostra, % em base úmida

U_f = umidade final da amostra, % em base úmida

Para que a remoção de água e o ganho de sólidos possam ser determinados por métodos gravimétricos, torna-se necessário assumir que, sobre as condições utilizadas, os solutos inicialmente presentes no alimento não difundirão para a solução concentrada (GARROTE e BERTONE, 1989). Como a lixiviação de solutos do alimento é insignificante, as equações obtidas pelo balanço de massa podem ser utilizadas com razoável segurança e precisão.

III.6- Congelamento

As fatias de manga após o tratamento de desidratação osmótica foram embaladas e congeladas fazendo-se uso de dois banhos criostáticos (marca PolyScience Series, 9500 e Haake, modelo F3-K) e utilizando-se álcool comercial como meio refrigerante. A temperatura dos dois banhos foi mantida em -25°C ($\pm 1^{\circ}\text{C}$).

Foram estudadas 2 velocidades de congelamento: lenta e rápida.

Para o congelamento rápido as fatias foram embaladas em um saco laminado (PET metalizado 17 g/m^2 e polietileno 40 g/m^2) mantidas e congeladas por 12 horas.

Para o congelamento lento as fatias foram embaladas no mesmo saco laminado e colocadas no interior de uma caixa de poliestireno (0,5 cm de espessura), sendo essa estrutura, por sua vez, embalada pelo mesmo material. Para aumentar ainda mais a resistência à transferência de calor, tornando o congelamento ainda mais lento, utilizou-se uma embalagem hermética de polietileno, muito usada no congelamento de alimentos em *freezer* (marca New bag, de dimensões $18 \times 23 \text{ cm}^2$). Estas fatias foram mantidas sob congelamento por 24 horas.

Para cada tratamento e cada velocidade de congelamento foram utilizadas 9 fatias de manga.

III.7- Determinação da taxa de congelamento para os dois tipos de embalagem utilizadas

A determinação da taxa de congelamento para as duas embalagens utilizadas foi realizada colocando-se um termopar de cobre-constantan (130 μm) entre duas fatias de manga *in natura* de 0,25 cm de espessura cada uma e um outro termopar, do mesmo tipo, na superfície dessas fatias. As duas fatias foram unidas com fita crepe, para evitar que se soltassem. As amostras foram então embaladas, como descrito na Seção III.5, para cada velocidade de congelamento desejada e imersas em um banho criostático (marca Haake, modelo F3-K) mantido à - 25°C. A partir do momento da imersão, as temperaturas no centro e na superfície da fatia foram registradas em períodos regulares de tempo, utilizando um registrador de temperatura (marca S&E IOPE CSE-24). Devido à dificuldade de se inserir o termopar exatamente no centro da fatia, optou-se por utilizar o procedimento descrito acima, que estaria simulando o comportamento de uma fatia de 0,5 cm com um termopar inserido exatamente no meio.

III.8- Descongelamento

As amostras congeladas foram pesadas, colocadas no interior de placas de Petri e descongeladas por 4 horas (temperatura ambiente) em dessecador fechado (sem carga de dessecante), para evitar a perda de água por evaporação e a condensação de vapor d'água sobre as fatias. Para verificar se houve variação na massa da fatia durante o descongelamento o conjunto placa de Petri-amostra foi pesado ($M_{\text{placa} + \text{fatia}}$) antes e após as 4 horas de descongelamento. Como a massa da placa vazia era conhecida (M_p), pôde-se determinar, por diferença, a massa da fatia descongelada ($M_{i,d}$).

Após o descongelamento cada fatia era então retirada da placa, pesada ($M_{f,d}$), enxugada com papel toalha e novamente pesada ($M_{f,e}$). As placas contendo o exsudado de cada fatia também eram pesadas ($M_{\text{placa+exsudado}}$). Todas as pesagens foram feitas em balança analítica digital. A proteção crioscópica dos solutos e a avaliação da qualidade das fatias congeladas foi estudada calculando-se a perda de massa após o descongelamento das amostras, o que foi feito por meio da Equação [III.4]:

$$(\text{perda de massa, \%}) = \left[\frac{M_{i,d} - M_{f,e}}{M_{i,d}} \right] \times 100\% \quad [\text{III.4}]$$

A massa de exsudado (M_{exsudado}) foi determinada pela expressão abaixo:

$$M_{\text{exsudado}} = M_{\text{placa+exsudado}} - M_p + M_{f,d} - M_{f,e} \quad [\text{III.5}]$$

A variação total da massa foi obtida fazendo-se a diferença entre a massa da fatia *in natura*, antes da desidratação osmótica, e a massa final da fatia, após o descongelamento ($M_{f,d}$). Esta determinação foi feita como uma tentativa de relacionar o nível de remoção de água, durante a desidratação osmótica, com a perda de massa e com a quantidade de exsudado após o descongelamento.

III.9- Medidas experimentais

Com as fatias *in natura* foram determinadas a umidade e a quantidade de sólidos solúveis, enquanto que com as fatias e com a solução osmótica após o tratamento de desidratação foram determinadas a umidade e a quantidade de sólidos solúveis, respectivamente.

III.9.1- Umidade

A umidade das amostras foi determinada deixando-as em estufa de circulação natural a 50°C até massa constante. A temperatura deve ser cuidadosamente controlada para evitar a caramelização das amostras. Os testes preliminares mostraram que para as fatias tratadas apenas com sacarose o tempo necessário para se atingir massa constante foi de 96 horas. Segundo Miguel (1997), para as amostras tratadas com sacarose e glicerol, o tempo ideal é de 120 horas, pois acima desse valor ocorrem perdas de glicerol por volatilização.

Após serem retiradas da estufa, as amostras foram colocadas em dessecador por 15 minutos, sendo então pesadas em balança analítica digital.

A umidade foi determinada, em base úmida, pela expressão:

$$U_p = \left(\frac{M_{\text{amostra úmida}} - M_{\text{amostra seca}}}{M_{\text{amostra úmida}}} \right) \times 100\% \quad [\text{III.6}]$$

sendo:

U_p = umidade do produto, % em base úmida

$M_{\text{amostra úmida}}$ = massa da amostra úmida, kg

$M_{\text{amostra seca}}$ = massa da amostra seca, kg

III.9.2- Quantidade de sólidos solúveis

A quantidade de sólidos solúveis das mangas foi obtida triturando as amostras com o auxílio de um almofariz e colocando uma gota do líquido obtido no prisma do refratômetro (marca Carl Zeiss-ABBE), calibrado com uma escala de °Brix.

Para as soluções osmóticas o procedimento foi colocar uma gota direto no prisma do refratômetro.

III.10- Secagem

O objetivo da secagem com ar à 30°C foi obter um produto com valor de remoção de água semelhante ao obtido nos diversos tratamentos de desidratação osmótica e assim poder verificar, com mais segurança, a influência do soluto na perda de massa após o descongelamento das fatias. As fatias, após a secagem, foram pesadas individualmente em balança semi-analítica e congeladas da mesma forma que as fatias desidratadas osmoticamente, seguindo o procedimento do congelamento lento.

A secagem das fatias de manga foi realizada em um secador de bandejas já existente, desenhado e construído pelo Laboratório de Engenharia de Processos da FEA-UNICAMP. Consiste de um corpo vertical em madeira compensada de 2 cm de espessura e compartimento para encaixe de bandejas com aberturas individuais. As bandejas foram confeccionadas em alumínio, tendo 144 cm² de área, 10 cm de altura, fundo de tela perfurada e fios de aço inox, de forma que as fatias recebessem um fluxo homogêneo de ar por toda sua superfície. As fatias foram dispostas de forma horizontal sobre a bandeja.

A temperatura de secagem foi mantida em 30°C, lida em um termopar de cobre-constantan, adaptado no centro do corpo do secador e conectado a um indicador de temperatura do tipo T (marca S&E IOPE CSE-24).

Quando necessário, o aquecimento do ar foi feito por um variador de tensão (Technipower modelo W5MT3) acoplado a um conjunto de resistências térmicas. Foi utilizada a vazão máxima do ar no secador, 0,05 m³/s, medida por meio de uma placa de orifício previamente calibrada. Em cada teste de secagem foram utilizadas de 7 a 9 fatias de manga.

A remoção de massa durante a etapa de secagem com ar foi determinada por meio da Equação [III.7]:

$$(\text{remoção de massa}) = \left(\frac{M_{i,s} - M_{f,s}}{M_{i,s}} \right) \times 100 \quad [\text{III.7}]$$

em que:

$M_{i,s}$ = massa da fatia antes da secagem com ar, kg

$M_{f,s}$ = massa da fatia após a secagem com ar, kg

III.11- Determinação da entalpia de congelamento da manga

A entalpia de congelamento da manga foi obtida utilizando-se o método do calorímetro de mistura, empregado com sucesso por KLEEBERG (1986), HENSE (1990) e VIEIRA (1991). O calorímetro utilizado consiste de uma garrafa térmica comum (marca Alladin), com capacidade de 500 ml em cuja tampa foi inserido um termopar de cobre-constantan. Para agilizar as medições foram utilizados três desses calorímetros.

As temperaturas utilizadas para a construção da curva de Entalpia x temperatura foram -40, -20, -10, -7, -5, -4.5 e -3°C, lidas no próprio banho criostático (marca Haake, modelo F3-K e PolyScience Series, 9500) com um termômetro padrão. Os valores de entalpia foram obtidos para as fatias de manga *in natura* e para as fatias desidratadas osmoticamente. Todas as análises foram repetidas quatro vezes. As amostras foram embaladas em sacos metálicos (vide Seção III.5) e permaneceram no banho tempo suficiente para alcançarem o equilíbrio (aproximadamente 15 horas).

O procedimento experimental consistiu em se secar as garrafas, pesá-las e enchê-las com água destilada. A garrafa era então pesada novamente e, por diferença de massa, obtia-se a massa de água (M_a). A temperatura inicial da água ($T_{i,a}$) era medida com o termopar inserido na tampa da garrafa e registrada em um indicador de temperatura do tipo T (marca S&E IOPE CSE-24). Quando a temperatura da água entrava em equilíbrio com a do ambiente, a amostra era retirada rapidamente do banho e da embalagem e colocada na garrafa. Para evitar gradientes de temperatura dentro da garrafa ela era agitada continuamente até que um novo estado de equilíbrio fosse alcançado (T_e), o que levava, aproximadamente, dois minutos. Para evitar que fosse cedido calor ao sistema, o que poderia interferir nos resultados, optou-se por agitar as garrafas segurando-as pela alça. Após atingido o equilíbrio, o conjunto calorímetro-água-amostra era pesado e, por diferença, se obtinha a massa da amostra (M_m). A variação total da entalpia do produto, $\Delta H_p(T_p \rightarrow T_e)$, foi calculada por meio do balanço de energia do sistema:

$$M_m \times \Delta H_p(T_p \rightarrow T_e) = M_a \times C_{p_a} \times (T_{i,a} - T_e) + q_c \quad [\text{III.8}]$$

em que q_c corresponde ao calor parasitário do calorímetro no intervalo de temperatura da água e Cp_a corresponde ao calor específico da água. O valor de q_c foi determinado por meio das curvas de calibração dos calorímetros (Apêndice A), obtidas segundo o procedimento descrito em KLEEBERG (1986). O valor de ΔH_p obtido pela Equação [III.8] corresponde à variação de entalpia total da amostra, desde a sua temperatura inicial (T_p) até a temperatura de equilíbrio do sistema (T_e).

Para que se possa estudar o comportamento da entalpia do produto em diferentes temperaturas é necessário expressar a variação da entalpia em relação a um valor de referência ($H=0$). SHWARTZBERG (1981) sugere que para os cálculos da entalpia de congelamento seja considerado como referência a entalpia do produto não-congelado na temperatura de início de congelamento ($T_{i,c}$).

O balanço de energia do produto desde a sua temperatura inicial (T_p) até a temperatura de equilíbrio (T_e) é dado por:

$$\Delta H_p(T_p \rightarrow T_e) = \Delta H_p(T_p \rightarrow T_{i,c}) + H_{p,d}(T_e) - H_{p,d}(T_{i,c}) \quad [III.9]$$

sendo:

$\Delta H_p(T_p \rightarrow T_e)$ = variação total da entalpia do produto desde a sua temperatura inicial (T_p) até a temperatura de equilíbrio (T_e).

$\Delta H_p(T_p \rightarrow T_{i,c})$ = variação total da entalpia entre o produto congelado à T_p e o produto descongelado à $T_{i,c}$.

$H_{p,d}(T_{i,c})$ = entalpia do produto descongelado na sua temperatura de início de congelamento.

$H_{p,d}(T_e)$ = entalpia do produto descongelado na sua temperatura de equilíbrio.

Sabendo que $H_{p,d}(T_e) - H_{p,d}(T_{i,c}) = Cp_d(T_e - T_{i,c})$, a Equação [III.7] se torna:

$$\Delta H_p(T_p \rightarrow T_e) = \Delta H_p(T_p \rightarrow T_{i,c}) + Cp_d(T_e - T_{i,c}) \quad [III.10]$$

Considerando a entalpia do produto descongelado à $T_{i,c}$ como a referência ($H = 0$), a entalpia do produto na sua temperatura inicial, $H_p(T_p)$, pode ser calculada pela equação abaixo:

$$H_p(T_p) = \Delta H_p(T_p \rightarrow T_e) - C_{p_d}(T_e - T_{i,c}) \quad [\text{III.11}]$$

em que:

C_{p_d} = calor específico do produto descongelado na faixa de temperatura entre $T_{i,c}$ e T_e . Este valor pode ser estimado, para alimentos com umidade inicial superior a 26% (em base úmida), por meio da correlação de DICKERSON (1968) citado por RESENDE (1994):

$$C_{p_d} = 0,4 + 0,006 \times \omega_a \quad [\text{III.12}]$$

sendo ω_a a fração mássica inicial da água.

O valor do calor específico do produto completamente congelado pode ser estimado pela equação de SIEBEL:

$$C_{p_c} = 0,2 + 0,003 \times \omega_a \quad [\text{III.13}]$$

III.12- Fração mássica de gelo formado

A fração mássica de gelo formado durante o congelamento foi calculada pela Equação [II.3] (vide seção II.5.2). Para as fatias desidratadas osmoticamente a fração mássica de água (ω_a) considerada nos cálculos é a da fatia após a etapa de desidratação osmótica; portanto a umidade do produto, definida como U_p , é, na verdade, a umidade final da amostra, expressa como U_f (vide Seção III.4).

III.13- Determinação da temperatura de início de congelamento

A temperatura de início de congelamento das amostras foi obtida segundo o procedimento descrito em KLEEBERG (1986) e HENSE (1990). As amostras, contendo um termopar (cobre-constantan) de 130 μm de diâmetro, foram embaladas para evitar o contato com o líquido refrigerante e imersas em um banho criostático (marca Haake, modelo F3-K) mantido inicialmente à 0°C. A partir do momento da imersão a temperatura da amostra era registrada de 30 em 30 segundos, utilizando-se um indicador de temperatura (marca S&E IOPE CSE-24). Para evitar que o termopar se deslocasse do centro térmico da amostra, optou-se por colocá-lo entre duas fatias iguais, prendendo-as com uma fita crepe. No momento em que a temperatura das amostras atingiu 0°C o banho foi resfriado até -15°C, sendo a temperatura da amostra e a do banho registradas de 30 em 30 segundos.

A Temperatura de Início de Congelamento foi determinada tanto para as amostras *in natura* quanto para as desidratadas osmoticamente. O ponto de início de congelamento é caracterizado por um platô na curva Temperatura da amostra x tempo. Todas as medidas foram feitas em triplicata. Para evitar variações decorrentes do tamanho da amostra, as dimensões das fatias foram mantidas as mesmas da etapa de desidratação osmótica. A calibração do termopar foi feita na faixa de temperatura de 25 à -15°C.

III.14- Tratamento estatístico dos resultados

Na análise estatística dos resultados experimentais utilizou-se o método da Análise de Variância. O método, também conhecido como ANOVA, é indicado quando se deseja comparar diferentes grupos de resultados e verificar se existe ou não diferença significativa entre eles.

A análise de variância mede a variação relativa entre as médias dos valores obtidos em cada grupo de resultados contra a variação existente dentro do próprio grupo. O objetivo da análise é determinar se a diferença entre as médias de cada grupo é maior do que o esperado, tomando-se como referência as diferenças normais encontradas dentro dos diferentes grupos de resultados (BOX et al., 1978).

CAPÍTULO IV- RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados neste capítulo correspondem a ensaios experimentais realizados com a safra de manga *Tommy Atkins* de 1996/97. O desenvolvimento das técnicas e do desenho experimental, assim como a familiarização com os procedimentos no laboratório foram adquiridos com ensaios na safra 1995/96, (NUNES et al., 1996). Esses resultados preliminares não serão discutidos aqui, apesar da concordância entre os valores obtidos e as tendências observadas nos dois ensaios.

IV. 1- Caracterização da matéria-prima

A precisão dos resultados e conclusões desta pesquisa dependerão dos cuidados na seleção da matéria-prima.

As Figuras IV.1e IV.2 representam, respectivamente, os resultados de umidade (% em base úmida) e de quantidade de sólidos solúveis (°Brix) obtidos para as mangas *in natura* utilizadas durante todo o trabalho experimental final. A umidade foi determinada em triplicata. No caso da quantidade de sólidos solúveis, para cada manga utilizada atribuiu-se uma numeração (amostra 1,2,3,4 e 5).

O valor médio encontrado para a umidade foi $84,8 \pm 1,9\%$, enquanto para a quantidade de sólidos solúveis obteve-se $12,9 \pm 1,9^\circ\text{Brix}$. Essa dispersão em torno dos valores médios é alta, mas comumente encontrada nos trabalhos com manga. RESENDE (1994), por exemplo, obteve valores médios de umidade e de quantidade de sólidos solúveis de $81,6 \pm 2,9\%$ e $14,1 \pm 1,9^\circ\text{Brix}$, respectivamente, trabalhando com 3 variedades de manga.

No Apêndice F são mostradas as tabelas de análise de variância para os valores de quantidade de sólidos solúveis e umidade das diversas amostras de manga estudadas. Embora tendo sido feita uma análise cuidadosa da matéria-prima, foram detectadas diferenças significativas no nível de probabilidade de 0,1% entre as diversas amostras estudadas, problema comumente encontrado nas pesquisas com alimentos e que pode vir a comprometer a avaliação final dos resultados.

IV.2- Velocidades de congelamento

Durante o trabalho experimental foi comparado o efeito de duas velocidades de congelamento, lenta e rápida, obtidas por meio do uso de duas resistências térmicas em torno da amostra, conforme mencionado no Capítulo III. As Figuras IV.3 e IV.4 representam a variação da temperatura com o tempo no centro e na superfície da fatia para o congelamento lento e rápido, respectivamente.

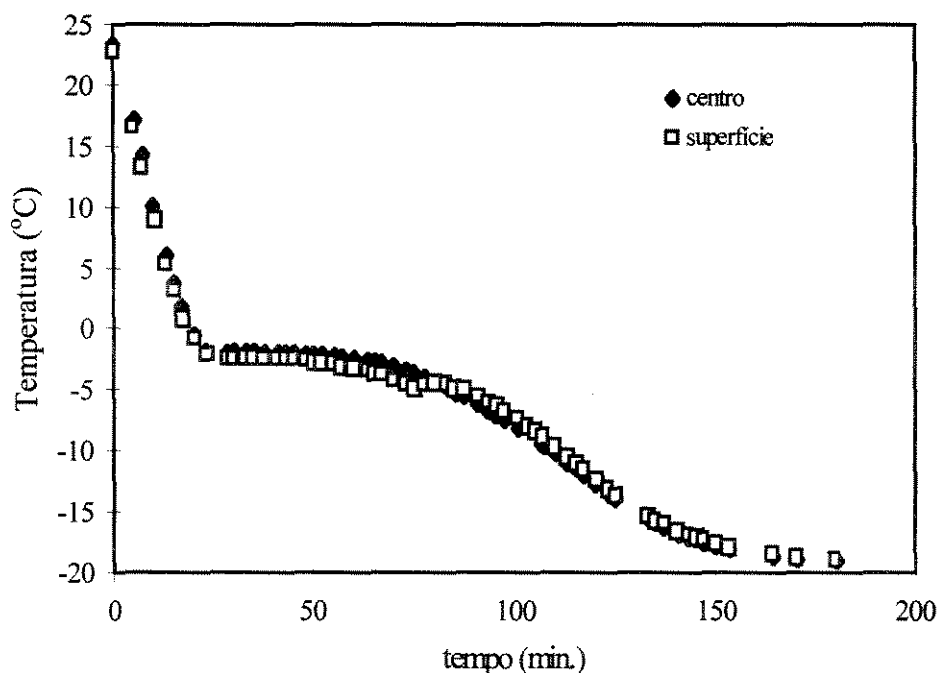


Figura IV.3- Histórico temperatura-tempo para fatia de manga *in natura* submetida ao congelamento lento.

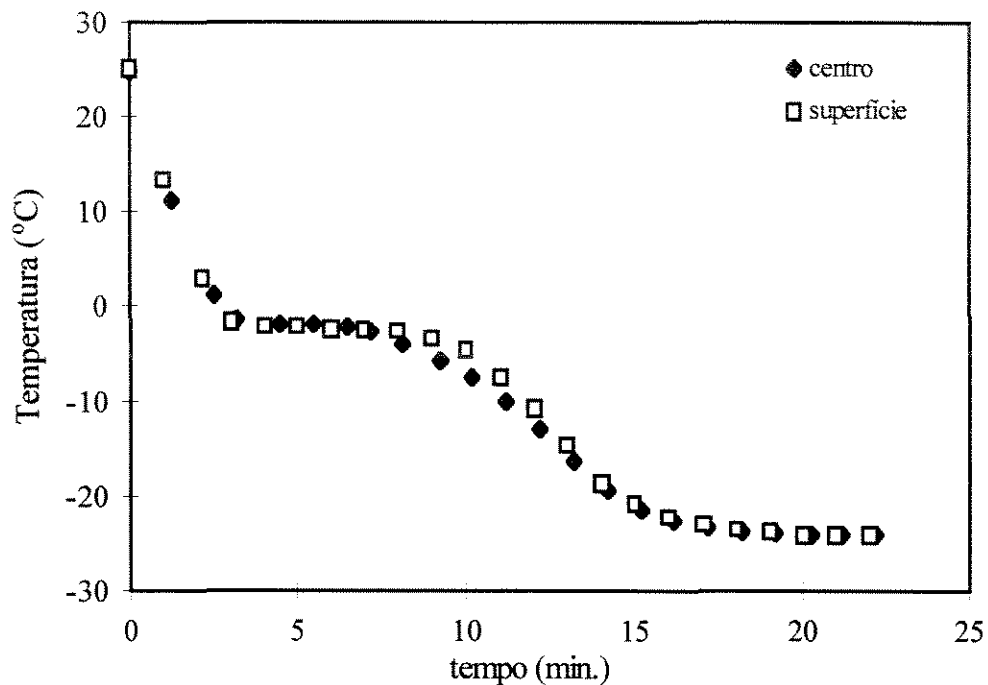


Figura IV.4- Histórico temperatura-tempo para fatia de manga *in natura* submetida ao congelamento rápido.

Os dois gráficos acima mostram claramente a influência da resistência à troca térmica sobre o abaixamento da temperatura das fatias durante o processo de congelamento. Como esperado, a temperatura do produto diminui muito rapidamente no início do processo, tornando-se menos acentuada no decorrer do congelamento. A distribuição de temperatura ao longo do tempo é característica, com um platô de temperatura de significativa extensão durante a remoção do calor latente, não sendo observado o fenômeno de subresfriamento. Também não foram percebidas variações entre a superfície e o centro das fatias, possivelmente devido à sua pequena espessura e ao limite de precisão do instrumental utilizado.

Seguindo o conceito de taxa de congelamento, definido no Capítulo II, as taxas obtidas para o congelamento lento e rápido foram:

- congelamento lento: 0,22 cm/h,
- congelamento rápido: 2,28 cm/h

É importante observar que, de acordo com os limites de velocidade de congelamento definidos no Capítulo II, as duas taxas acima se enquadrariam como congelamento lento.

A inclinação da tangente aos pontos experimentais após o patamar de temperatura forneceu os seguintes valores:

- congelamento lento: 0,24°C/min.
- congelamento rápido: 2,90°C/min.

Sob esse ponto de referência, conforme os limites indicados na Seção II.3.1, os valores obtidos no ensaio correspondem a um congelamento lento ($< 1^\circ\text{C}/\text{min.}$) e a um congelamento intermediário (entre 1 e $10^\circ\text{C}/\text{min.}$) e novamente fica bem caracterizada uma sensível diferença de comportamento nas duas condições.

Para se obter uma velocidade de congelamento mais alta seria necessário abaixar a temperatura do banho, um fator limitante pois um deles (o da PolyScience) operava em sua capacidade de refrigeração máxima.

Uma estimativa da resistência térmica das embalagens usadas pode ser feita por um balanço térmico que considera a energia liberada durante o abaixamento de 2°C , desde o início do congelamento. Conforme os valores apresentados na Seção IV.6 ela corresponde a 40,36 kcal/kg para a fatia *in natura*. Com a relação massa da manga/área de transferência de calor ($2,5 \text{ kg}/\text{m}^2$), o período de congelamento de 25 minutos (lento) e 5,23 minutos (rápido) e uma diferença média de temperatura entre o produto e o meio refrigerante de $21,79^\circ\text{C}$ (rápido) e $22,78^\circ\text{C}$ (lento), obtém-se as seguintes resistências térmicas:

- congelamento lento: $9,41 \times 10^{-2} (\text{kcal}/\text{h m}^2 ^\circ\text{C})^{-1}$
- congelamento rápido: $1,88 \times 10^{-2} (\text{kcal}/\text{h m}^2 ^\circ\text{C})^{-1}$

Os coeficientes efetivos de transferência de calor correspondem ao inverso dos valores acima e são $10 \text{ kcal}/\text{h m}^2 ^\circ\text{C}$ (lento) e $560 \text{ kcal}/\text{h m}^2 ^\circ\text{C}$ (rápido). O valor encontrado para o congelamento lento é típico de câmaras frias (ASHRAE, 1993) e, portanto, se adequa bem a um dos objetivos deste trabalho, pois essa é a técnica de congelamento mais usada industrialmente. O coeficiente encontrado no congelamento rápido é um valor médio observado na transferência de calor por convecção em líquidos não-aquosos e ligeiramente agitados (INCROPERA e de WITT, 1992), e por isso representa um método comercialmente factível de congelamento.

Julgou-se desnecessário trabalhar com condições mais drásticas de congelamento, utilizando gelo seco ou nitrogênio líquido por exemplo, pois os mesmos não têm ainda uso prático (industrial) para produtos de médio valor agregado, como a manga. Além disso, o trabalho de RESENDE (1994) indicou que o congelamento de fatias de manga com 20% de água evaporada, não apresentou diferenças, em relação à quantidade de exsudado, entre as amostras congeladas à -25°C e à -78°C (com pasta alcoólica de CO_2).

Em vista dessas considerações de ordem prática, e como ficou evidenciada uma grande diferença entre os dois tipos de congelamento, para facilitar a descrição dos resultados será mantida, neste capítulo, a classificação de congelamento rápido e lento, diferenciando os dois processos.

IV.3- Desidratação osmótica

Os ensaios preliminares (safra 95/96) indicaram que, em termos de pré-tratamento, a desidratação osmótica deveria se limitar a um tempo de 1 hora, pois em torno de 2 horas de processo já ocorre uma diminuição na perda de massa das amostras e um amolecimento das fatias. Além disso, como a desidratação osmótica é um processo feito sob agitação, um maior tempo de contato do produto com a solução osmótica pode favorecer a fragmentação do material, principalmente no caso de um produto frágil, como a manga. As composições das soluções osmóticas utilizadas e as correspondentes atividades de água são (MIGUEL, 1997):

- 40% sacarose $a_w = 0,959$
- 50% sacarose $a_w = 0,935$
- 40% sacarose-10% glicerol $a_w = 0,912$
- 50% sacarose-10% glicerol $a_w = 0,871$

As fatias de manga após o tratamento osmótico apresentaram um amolecimento maior do que as fatias *in natura*. Observou-se que o grau de amolecimento estava relacionado com o estado de maturação inicial das fatias e com o tempo de contato com a solução osmótica. Algumas fatias apresentaram uma pequena variação no seu formato geral, deixando menos nítido o contorno retangular das mesmas.

Os valores de remoção de massa e ganho de sólidos durante a desidratação osmótica comprovam que a concentração do soluto e o tempo de imersão são fatores essenciais quando se considera este tipo de processo. O aumento de um desses dois fatores reflete-se de forma significativa na remoção de massa e no ganho de sólidos das amostras.

Uma análise preliminar do processo de desidratação osmótica foi apresentada por NUNES et al. (1996) e uma avaliação mais completa, baseada em um maior número de ensaios, incluindo micrografias das alterações celulares está em andamento (MIGUEL, 1997).

Os valores médios encontrados para a remoção de massa (isto é, remoção de água menos ganho de sólidos) e para o ganho de sólidos assim como para a umidade da amostra após o tratamento osmótico são mostrados na Tabela IV.1. Essa média considerou todos os pré-tratamentos feitos nos ensaios de congelamento/descongelamento e que serão discutidos na Seção IV.7. Os valores individuais de cada ensaio estão tabelados no Apêndice E e pode-se observar que, mesmo desconsiderando valores muito discordantes, conforme anotado no Apêndice, essa média está baseada em cerca de 20 medidas.

Os valores de remoção de massa são os mais confiáveis, pois provem de uma medida experimental direta. Conforme as expectativas, a remoção de massa observada (Tabela IV.1) aumenta com o tempo de contato e com o aumento do potencial osmótico para a transferência de massa (água).

O ganho de sólidos é calculado com base nas umidades final e inicial e na massa da fatia antes e após a desidratação osmótica, conforme a Equação III.2. Este valor é sujeito a maiores erros experimentais, sobretudo no caso das amostras contendo glicerol, o que pode influir na determinação da umidade. Nos ensaios sob diferentes condições os valores de ganho de sólidos nos primeiros 30 minutos são semelhantes, pois nesse período inicial a grande taxa de transferência de água para fora das células induz um fluxo convectivo que dificulta a penetração dos solutos, sobretudo a sacarose, que tem menor difusividade. Nos 60 minutos iniciais, a penetração de solutos aumenta consideravelmente, sendo que o valor de 6,82% para o ensaio 40% sacarose-10% glicerol provavelmente não é representativo devido à grande dispersão dos valores de umidade final. Isso fica evidenciado se for comparado com o resultado de outros ensaios nas mesmas condições, conforme a Tabela IV.4.

Essa análise preliminar dos produtos obtidos com diferentes pré-tratamentos deixa antever a possibilidade de se avaliar o efeito do tempo de tratamento osmótico sobre o congelamento das fatias. A grande dispersão nos valores obtidos, entretanto, cria uma expectativa pessimista quanto à capacidade de se definir, com precisão, o pré-tratamento mais indicado e as diferenças significativas entre eles.

Tabela IV.1- Valores médios de remoção de massa e ganho de sólidos de fatias de manga submetidas à desidratação osmótica. O desvio padrão dos resultados é mostrado entre parênteses.

Amostra	Remoção de massa (%)	Umidade final (% b.u.)	Ganho de sólidos (%)
natura	.....	85,18 ($\pm 1,64$)	.....
40% sacarose 30 minutos	15,23 ($\pm 2,76$)	76,77 ($\pm 1,78$)	5,59 ($\pm 1,79$)
40% sacarose 60 minutos	20,93 ($\pm 2,25$)	77,74 ($\pm 2,56$)	6,15 ($\pm 0,87$)
50% sacarose 30 minutos	23,07 ($\pm 3,68$)	74,36 ($\pm 0,62$)	5,67 ($\pm 2,80$)
50% sacarose 60 minutos	27,12 ($\pm 3,90$)	68,69 ($\pm 4,28$)	9,19 ($\pm 1,45$)
40%-10% 30 minutos	28,66 ($\pm 3,89$)	73,47 ($\pm 2,89$)	6,55 ($\pm 1,58$)
40%-10% 60 minutos	32,98 ($\pm 4,96$)	72,81 ($\pm 3,42$)	6,82 ($\pm 1,85$)
50%-10% 30 minutos	31,98 ($\pm 4,96$)	73,85 ($\pm 3,93$)	7,07 ($\pm 1,51$)
50%-10% 60 minutos	42,77 ($\pm 5,55$)	66,33 ($\pm 5,19$)	11,55 ($\pm 2,14$)

No Apêndice F são mostrados os resultados de análise de variância para cada amostra estudada. Embora tenham sido verificadas diferenças significativas entre a umidade e a quantidade de sólidos solúveis das mangas utilizadas, essas variações não foram suficientes para comprometer os resultados de Remoção de massa (%), visto que dos 8 tratamentos estudados apenas os denominados 40% sacarose - 10% glicerol, 30 min. e 50% sacarose - 10% glicerol, 60 min. apresentaram diferenças significativas (no nível de 0,1%) entre os diferentes grupos, como pode ser verificado nas tabelas do Apêndice F.

IV.4- Pré-secagem com ar

A Tabela IV.2 representa os dados de remoção de massa e de umidade final alcançada pelas fatias de manga submetidas à secagem com ar à 30°C. A denominação Sec.15%, por exemplo, significa que as amostras foram submetidas a um processo de secagem com ar até um nível de remoção de massa de 15%. A remoção de massa se refere à remoção de água por

evaporação e é calculada sobre a massa total inicial da fatia. Uma comparação com os ensaios de desidratação osmótica (Tabela IV.1) indica claramente que é necessário uma maior remoção de água pela secagem para atingir a mesma umidade final das fatias desidratadas osmoticamente.

Tabela IV.2- Valores médios de remoção de massa e de umidade final para fatias de manga submetidas à secagem com ar à 30°C. O desvio padrão dos resultados é mostrado entre parênteses.

Amostra	Remoção de massa (%)	Umidade final (% b.u.)
natura	.....	85,18 (±1,64)
Sec.15%	14,70 (± 1,96)	82,75 (± 1,28)
Sec.22%	24,37 (± 2,14)	81,56 (± 2,67)
Sec.27%	28,18 (± 3,28)	81,02 (± 3,54)
Sec.35%	34,79 (± 1,95)	77,61 (± 2,46)
Sec.45%	44,35 (± 2,32)	75,69 (± 0,56)

Seguindo o mesmo comportamento das amostras desidratadas osmoticamente, também não foram verificadas diferenças significativas (no nível de 0,1%) entre as amostras submetidas à secagem com ar, exceto para as amostras denominadas Sec.15%. As tabelas de ANOVA para o tratamento de secagem também podem ser encontradas no Apêndice F.

IV.5- Temperatura de Início de Congelamento

A Figura IV.9 representa uma curva típica obtida na determinação do ponto de início de congelamento, onde o subresfriamento está bem evidenciado. A estabilização da temperatura em um “patamar” caracteriza o início da cristalização da água, temperatura esta que é conhecida como temperatura de início de congelamento. Após a liberação do calor latente a temperatura da amostra volta a decrescer até atingir o equilíbrio com o banho. A temperatura do banho foi

mantida em dois níveis, conforme sugerido por HENSE (1990) para evidenciar melhor o patamar.

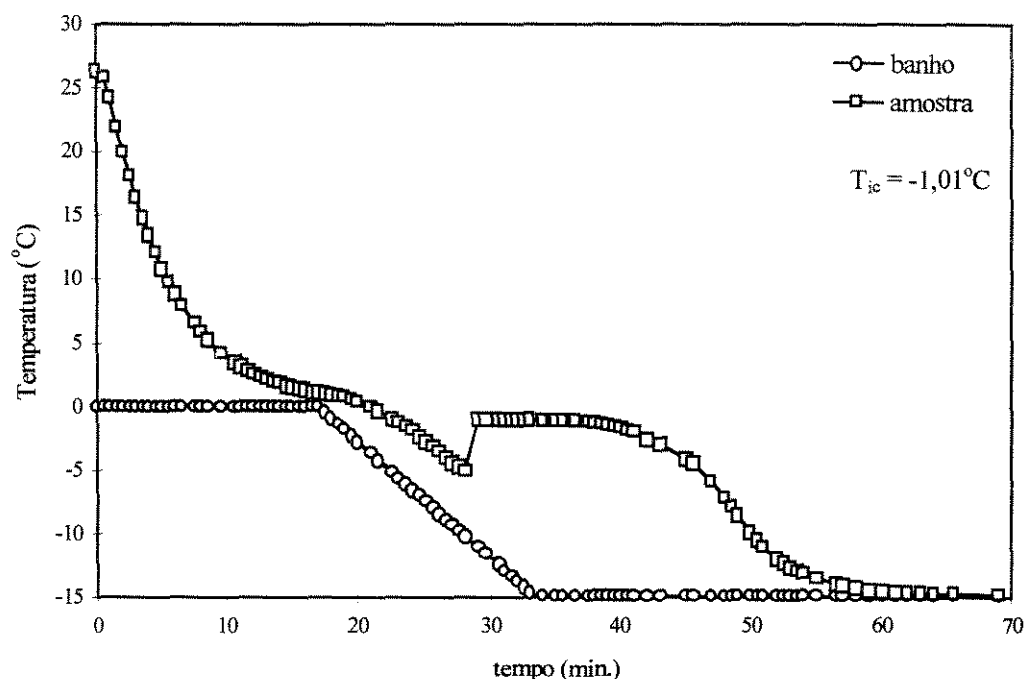


Figura IV.9- Curva temperatura-tempo para a determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga *in natura*.

As Figuras IV.10 e IV.11 apresentam algumas curvas temperatura-tempo para fatias de manga submetidas à desidratação osmótica. Todas as curvas levantadas, inclusive para as mangas secas com ar, estão no Apêndice B.

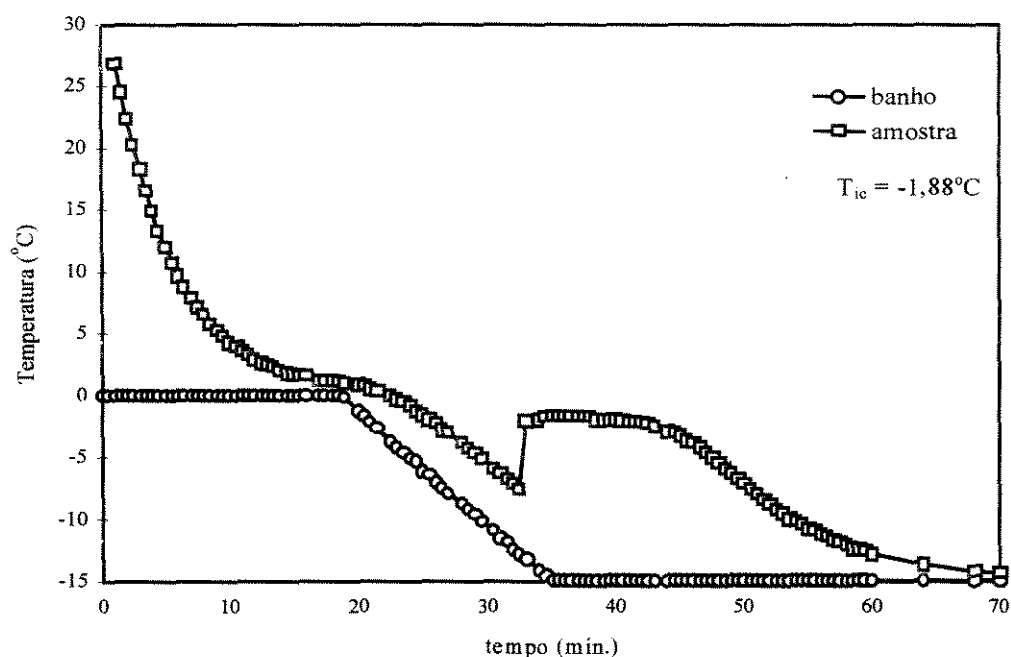


Figura IV.10- Curva temperatura-tempo para a determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga submetidas à desidratação osmótica com uma solução de sacarose (40% em massa) durante 30 minutos.

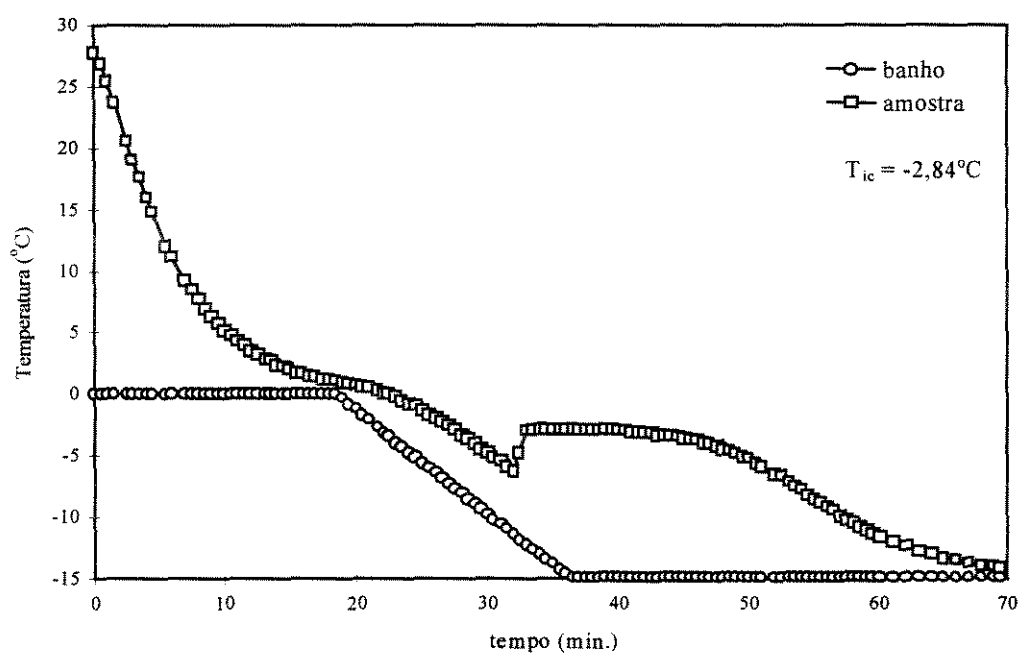


Figura IV.11- Curva temperatura-tempo para a determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga submetidas à desidratação osmótica com uma solução mista de sacarose e glicerol (40%-10% em massa) durante 30 minutos.

Conforme discutido no Capítulo II, a adição de solutos a uma amostra provoca redução na sua temperatura de início de congelamento. Como o glicerol é uma molécula pequena, a sua entrada no interior da célula é facilitada, o que torna o pico de subresfriamento menos acentuado. A presença de solutos no interior da célula facilita o processo de nucleação, diminuindo a sua energia de ativação.

As Tabelas IV.3 e IV.4 resumem os resultados de temperatura de início de congelamento para as desidratadas com ar e para as mangas desidratadas osmoticamente. Os valores percentuais de remoção de massa e, conseqüentemente, os de ganho de sólidos, diferem dos da Tabela IV.1, pois são ensaios complementares, que foram realizados com outras fatias de manga. Cada valor representa a média de pelo menos três medidas. Os valores decrescentes da temperatura de início de congelamento refletem muito bem o efeito da diminuição da umidade do produto obtido no pré-tratamento, assim como o da incorporação de solutos. As amostras tratadas com glicerol têm os valores mais baixos de T_{ic} , não apenas por serem as mais desidratadas, mas também pelo efeito crioscópico do glicerol incorporado. Observa-se, entretanto, que com a adição de glicerol (10% em massa) não se diferencia uma influência da alteração da concentração de sacarose de 40 para 50%, indicativo de que esses dois tratamentos com soluções mistas tenderão a produzir o mesmo efeito protetor no congelamento.

Tabela IV.3- Valores de temperatura de início de congelamento (T_{ic}) de fatias de manga *in natura* e após secagem com ar. O desvio padrão dos resultados é mostrado entre parênteses.

Tratamento	Umidade inicial (%)	Remoção de massa (%)	Umidade final (%)	T_{ic} (°C)
natura	83,79 ($\pm 0,70$)	.....	83,79 ($\pm 0,70$)	-0,91
Secagem-15%	83,79 ($\pm 0,70$)	16,59	78,36 ($\pm 1,06$)	-0,82 ($\pm 0,05$)
Secagem-25%	83,79 ($\pm 0,70$)	25,40	73,32 ($\pm 0,71$)	-0,95 ($\pm 0,06$)
Secagem-35%	83,79 ($\pm 0,70$)	32,36	59,94 ($\pm 2,27$)	-1,25 ($\pm 0,02$)
Secagem-45%	83,79 ($\pm 0,70$)	44,18	57,81 ($\pm 0,91$)	-2,13 ($\pm 0,24$)

Tabela IV.4- Valores de temperatura de início de congelamento (T_{ic}) de fatias de manga *in natura* e após desidratação osmótica. O desvio padrão dos resultados é mostrado entre parênteses.

Tratamento	Umidade inicial (%)	Remoção de massa (%)	Umidade final (%)	Ganho de sólidos (%)	T_{ic} (°C)
natura	82,66 ($\pm 0,69$)	.....	82,66 ($\pm 0,69$)	.....	-1,00 ($\pm 0,04$)
40% sacarose 30 minutos	82,66 ($\pm 0,69$)	12,21 ($\pm 1,08$)	76,07 ($\pm 1,50$)	4,15	-1,78 ($\pm 0,23$)
40% sacarose 60 minutos	83,88 ($\pm 1,13$)	18,31 ($\pm 1,24$)	68,61 ($\pm 0,99$)	11,65	-1,90 ($\pm 0,06$)
50% sacarose 30 minutos	82,66 ($\pm 0,69$)	18,91 ($\pm 1,22$)	73,55 ($\pm 0,65$)	5,04	-2,06 ($\pm 0,10$)
50% sacarose 60 minutos	83,88 ($\pm 1,13$)	25,63 ($\pm 2,59$)	66,78 ($\pm 1,57$)	11,54	-2,41 ($\pm 0,00$)
40%-10% 30 minutos	81,99 ($\pm 0,58$)	18,98 ($\pm 0,16$)	70,22 ($\pm 0,13$)	7,55	-2,58 ($\pm 0,38$)
40%-10% 60 minutos	81,99 ($\pm 0,58$)	31,26 ($\pm 1,61$)	57,43 ($\pm 0,11$)	16,38	-3,70 ($\pm 0,21$)
50%-10% 30 minutos	81,99 ($\pm 0,58$)	23,73 ($\pm 1,55$)	69,80 ($\pm 0,50$)	6,59	-2,56 ($\pm 0,20$)
50%-10% 60 minutos	82,93 ($\pm 1,31$)	34,11 ($\pm 3,70$)	60,39 ($\pm 0,50$)	13,93	-4,29 ($\pm 0,01$)

A influência dos solutos é ainda mais nítida quando se compara com os resultados obtidos para as fatias secas com ar. O valor de $-0,91^{\circ}\text{C}$ obtido para a manga *in natura* contrasta com o valor de $-1,00^{\circ}\text{C}$ da Tabela IV.3 e é mais um indicativo do efeito perturbador da amostragem da fruta. A manga usada na secagem tinha maior conteúdo inicial de umidade e, em princípio, deveria ter uma temperatura de início de congelamento mais alta. Contrariando esse princípio, entretanto, a manga denominada Sec. 15% (Tabela IV.3) tem uma temperatura de início de congelamento mais alta do que a própria manga *in natura*, o que, evidentemente, deve ser um erro experimental possivelmente causado pela imprecisão do termopar. No geral, entretanto, esse ligeiro defasamento se torna insignificante quando se comparam as T_{ic} obtidas para as fatias secas com ar com as T_{ic} obtidas para as fatias, de mesma umidade, submetidas à desidratação osmótica, conforme apresentado na Figura IV.12.

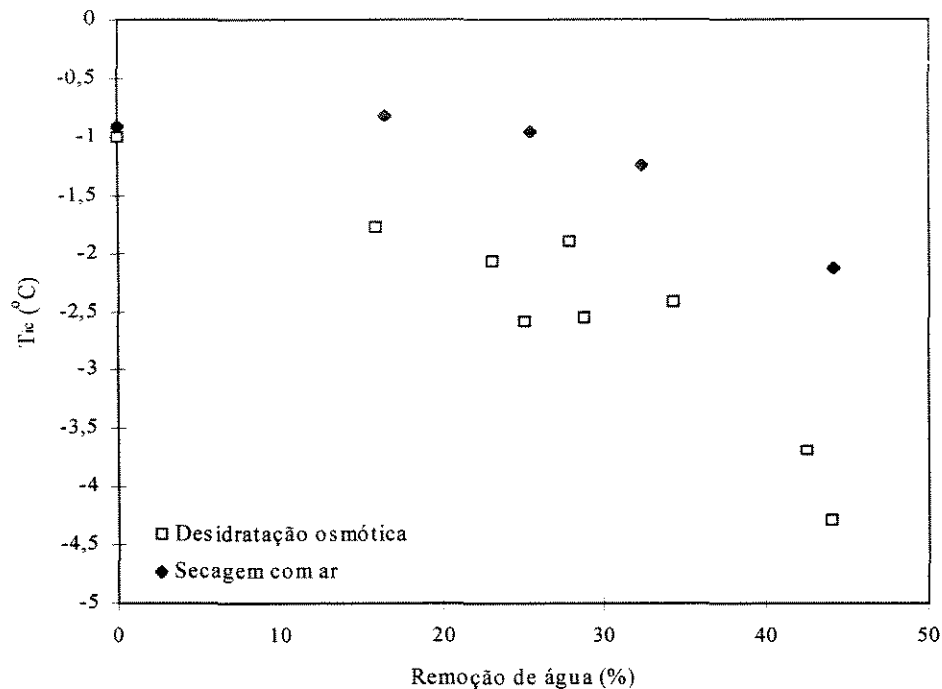


Figura IV.12- Curva temperatura de início de congelamento vs Remoção de água - comparação entre a desidratação osmótica e a secagem com ar.

Observa-se que, embora tenham o mesmo nível de remoção de água, as fatias submetidas ao processo de secagem apresentaram temperaturas de início de congelamento muito maiores do que as desidratadas osmoticamente.

IV.6- Determinação da entalpia e da fração de água congelada

As entalpias de congelamento das fatias *in natura* e das desidratadas osmoticamente foram calculadas considerando-se como referência, $H = 0$ na temperatura de início de congelamento, conforme sugerido por SCHWARTZBERG, equação II.2.

A planilha de cálculo de todas as determinações experimentais está no Apêndice C. Como a massa de água usada no calorímetro era pequena, cerca de 1/3 da utilizada por HENSE (1990), observou-se que a correção devido à capacidade térmica do calorímetro, obtida pelas curvas de calibração do Apêndice A, foi expressiva.

Inicialmente os pontos experimentais foram ajustados pela Equação de SCHWARTZBERG, que tem como variável independente a temperatura da amostra (T_p) e como parâmetro de ajuste o coeficiente b . Para tanto utilizou-se o *software* STATISTICA for Windows (versão 5.0), com uma estimativa não-linear e o método iterativo de HOOKE-JEEVES e QUASI-NEWTON (Copyright StatSoft, Inc., 1984-1995). Para o cálculo da entalpia por meio da equação de SCHWARTZBERG foram utilizados os valores de 79,2 kcal/kg para o calor latente de fusão e 0°C para a temperatura de congelamento da água. Para a temperatura de início de congelamento das amostras foram utilizados os valores determinados experimentalmente.

Apesar do bom ajuste obtido, com coeficientes de correlação variando de 0,993 a 0,998, verificou-se que b era muito influenciado pelos pontos experimentais com $T > -10^\circ\text{C}$, justamente a região de temperatura na qual o levantamento experimental estava susceptível a maiores desvios, conforme pode ser observado pela planilha no Apêndice D. Considerando que a região de interesse prático no presente trabalho está compreendida entre -20°C e -40°C , optou-se por utilizar a Equação de SCHWARTZBERG fixando um valor para o parâmetro b que correspondia, a cada tratamento, à média aritmética entre os valores de b obtidos usando apenas os pontos experimentais à -20°C e à -40°C . As curvas assim obtidas estão traçadas nas Figuras IV.13 a IV.21.

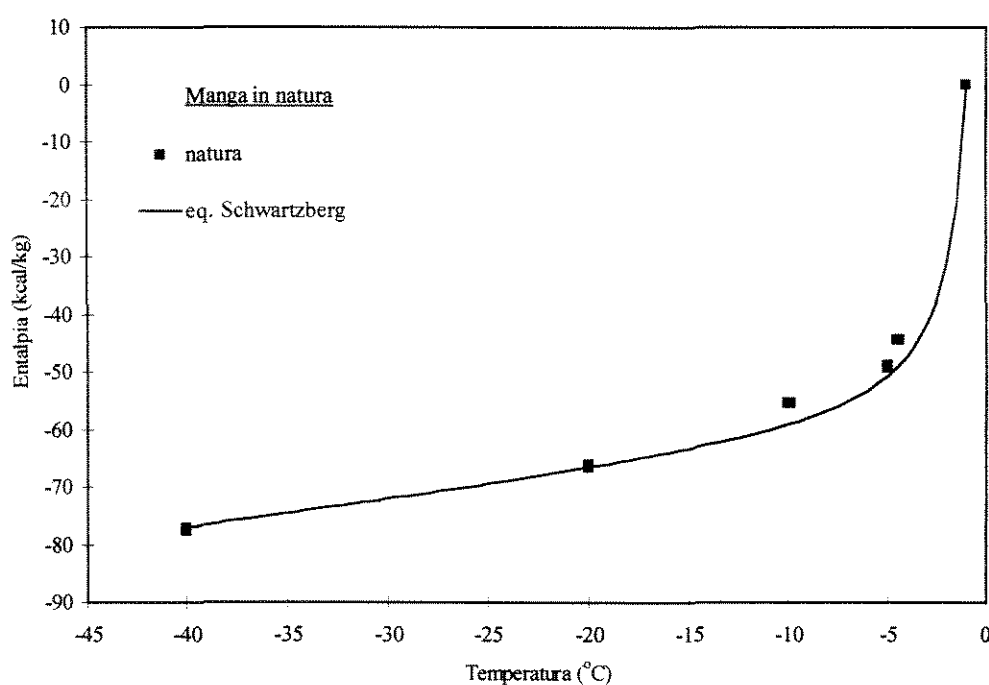


Figura IV.13- Valores de entalpia de fatias de manga *in natura* - experimentais e estimados pela Equação de SCHWARTZBERG com $b_{\text{médio}} = 0,243$ e $T_{ic} = -1,00^\circ\text{C}$ ($r = 0,997$).

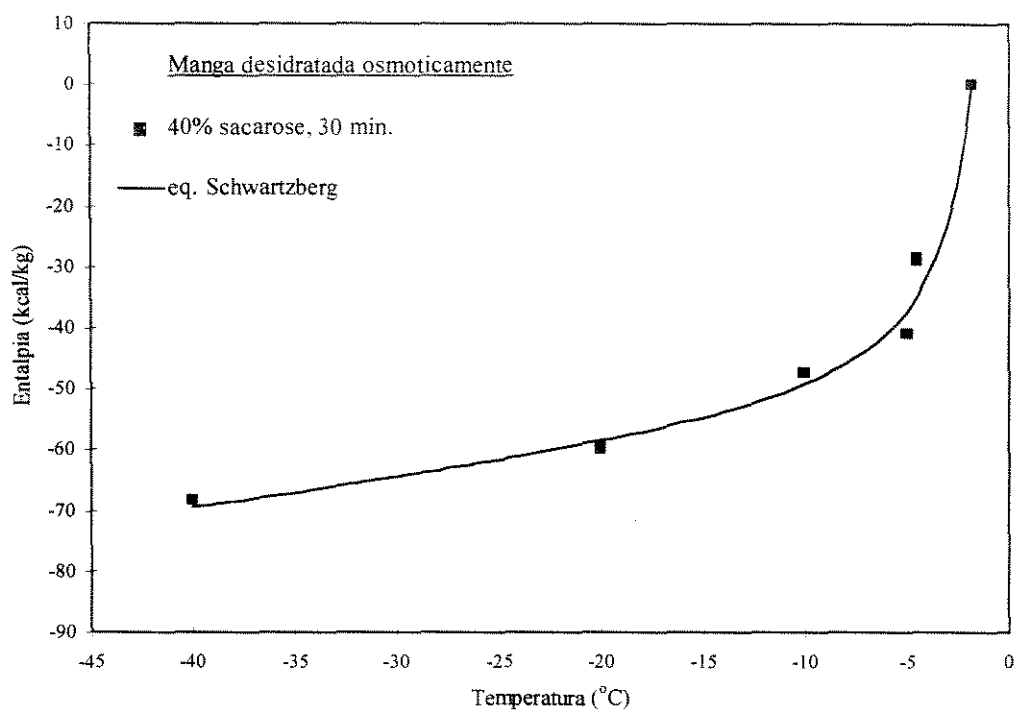


Figura IV. 14- Valores de entalpia de fatias de manga desidratadas osmoticamente (40% sacarose, 30 min.) - experimentais e estimados pela Equação de SCHWARTZBERG com $b_{\text{médio}} = 0,299$ e $T_{ic} = -1,78^{\circ}\text{C}$ ($r = 0,991$).

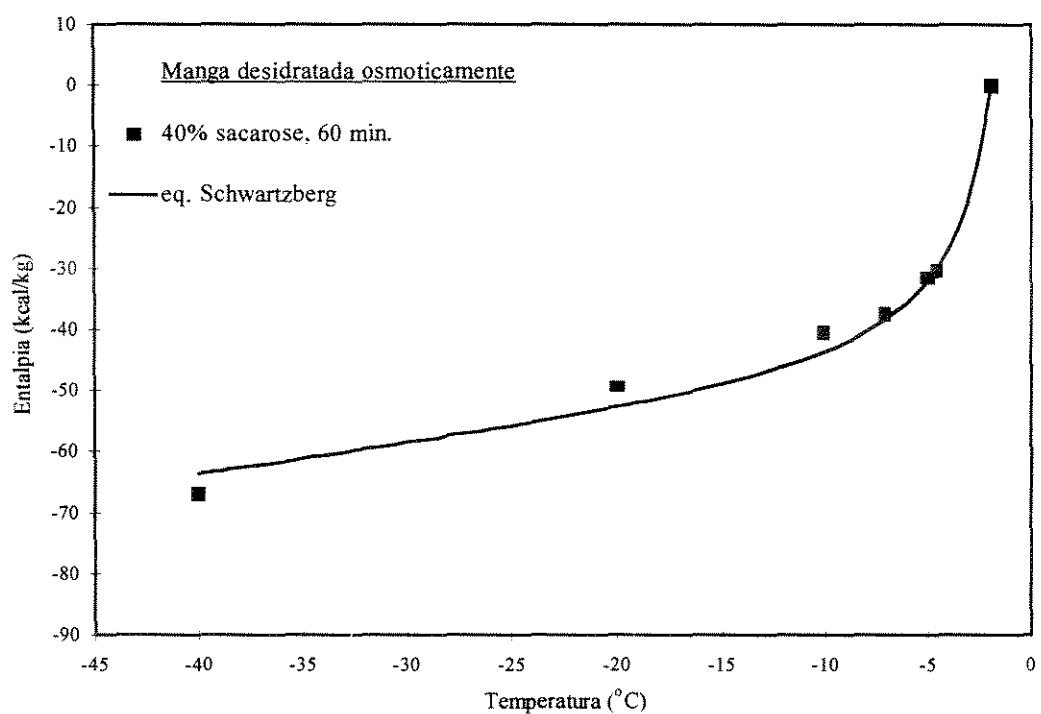


Figura IV. 15- Valores de entalpia de fatias de manga desidratadas osmoticamente (40% sacarose, 60 min.) - experimentais e estimados pela Equação de SCHWARTZBERG com $b_{\text{médio}} = 0,576$ e $T_{ic} = -1,90^{\circ}\text{C}$ ($r = 0,994$).

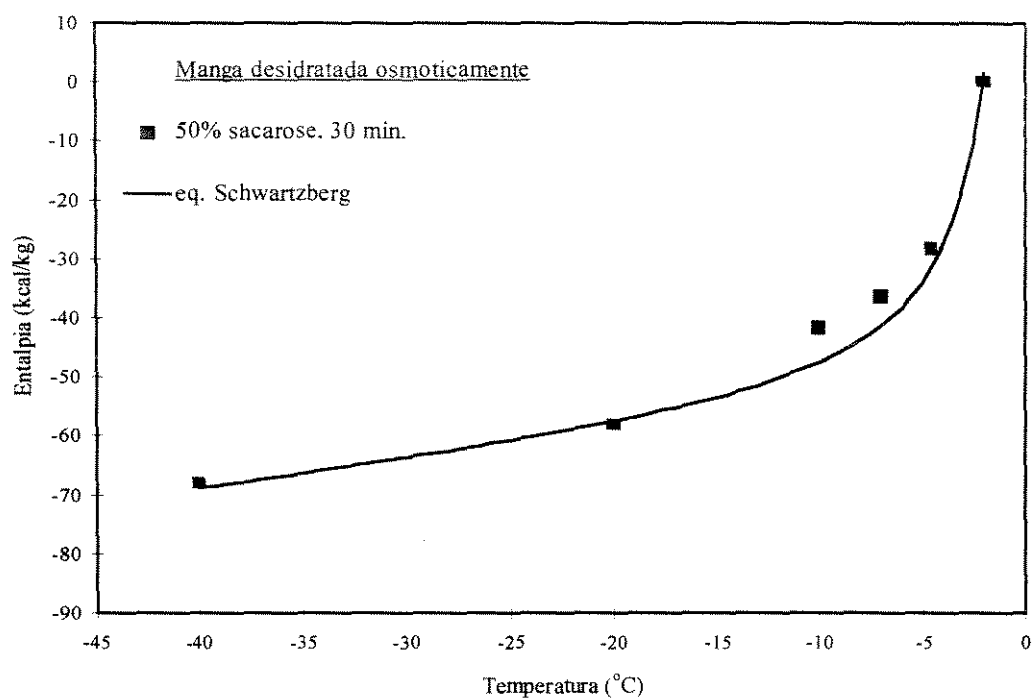


Figura IV. 16- Valores de entalpia de fatias de manga desidratadas osmoticamente (50% sacarose, 30 min.) - experimentais e estimados pela Equação de SCHWARTZBERG com $b_{\text{médio}} = 0,180$ e $T_{ic} = -2,06^{\circ}\text{C}$ ($r = 0,993$).

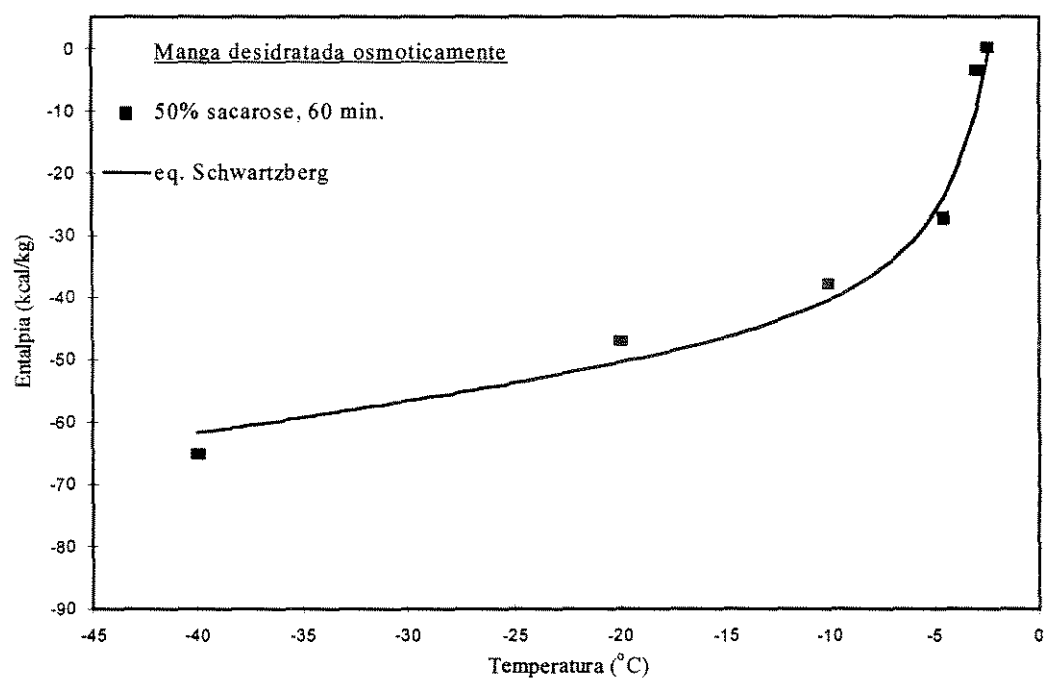


Figura IV. 17- Valores de entalpia de fatias de manga desidratadas osmoticamente (50% sacarose, 60 min.) - experimentais e estimados pela Equação de SCHWARTZBERG com $b_{\text{médio}} = 0,346$ e $T_{ic} = -2,41^{\circ}\text{C}$ ($r = 0,989$).

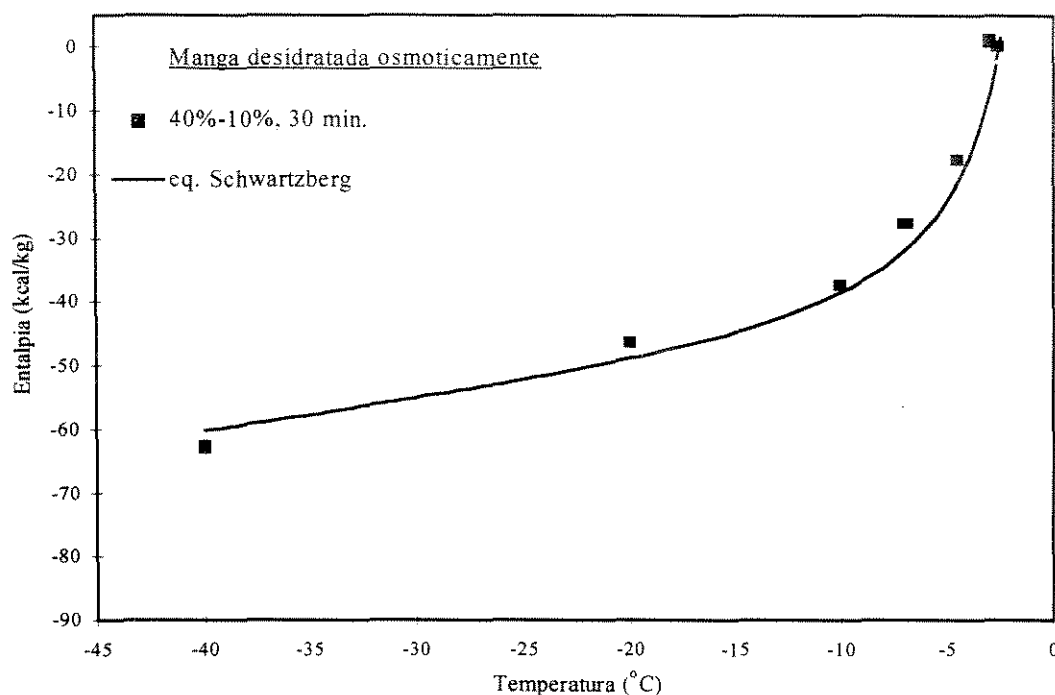


Figura IV. 18- Valores de entalpia de fatias de manga desidratadas osmoticamente (40%-10%, 30 min.) - experimentais e estimados pela Equação de SCHWARTZBERG com $b_{\text{médio}} = 0,475$ e $T_{ic} = -2,58^{\circ}\text{C}$ ($r = 0,993$).

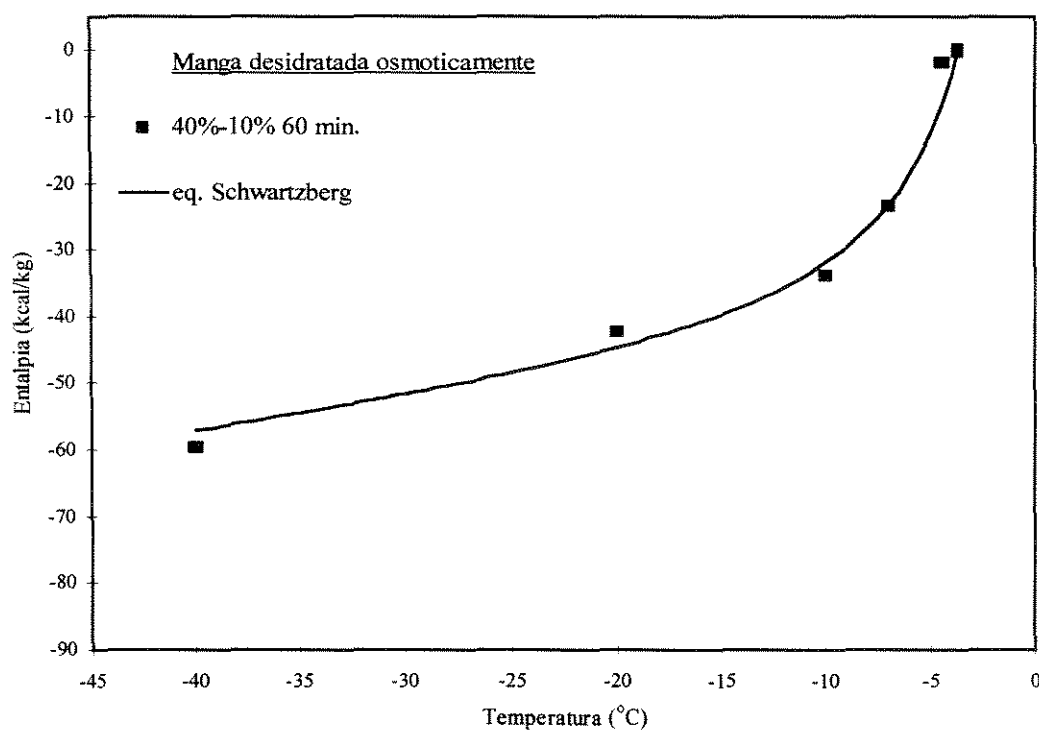


Figura IV. 19- Valores de entalpia de fatias de manga desidratadas osmoticamente (40%-10%, 60 min.) - experimentais e estimados pela Equação de SCHWARTZBERG com $b_{\text{médio}} = 0,298$ e $T_{ic} = -3,70^{\circ}\text{C}$ ($r = 0,992$).

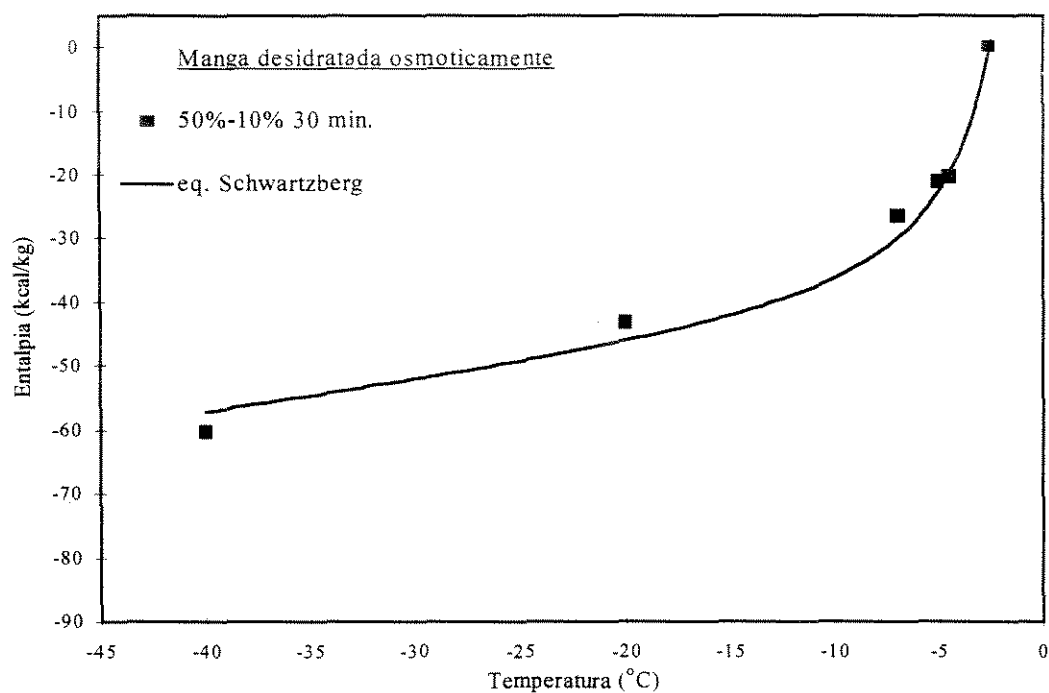


Figura IV. 20- Valores de entalpia de fatias de manga desidratadas osmoticamente (50%-10%, 30 min.) - experimentais e estimados pela Equação de SCHWARTZBERG com $b_{\text{médio}} = 0,511$ e $T_{ic} = -2,56^{\circ}\text{C}$ ($r = 0,993$).

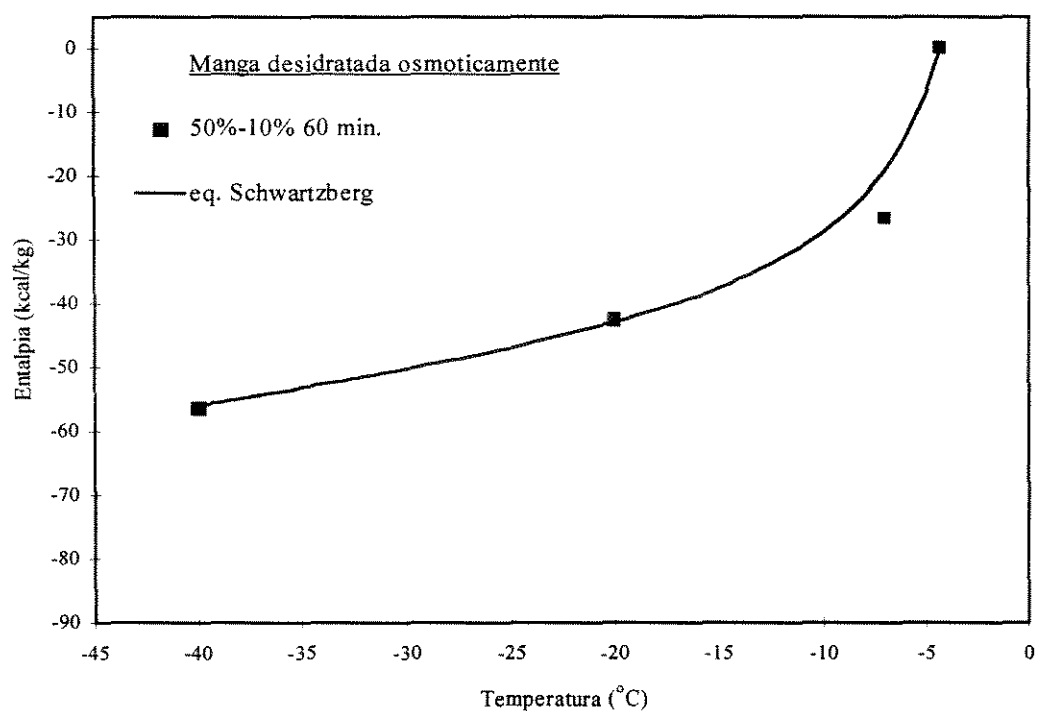


Figura IV. 21- Valores de entalpia de fatias de manga desidratadas osmoticamente (50%-10%, 60 min.) - experimentais e estimados pela Equação de SCHWARTZBERG com $b_{\text{médio}} = 0,280$ e $T_{ic} = -4,29^{\circ}\text{C}$ ($r = 0,989$).

No apêndice G são plotados os gráficos de % exsudado_{teórico} vs % de exsudado_{experimental} com os respectivos limites de confiança de 95%. Nota-se, pelas curvas apresentadas, que os dados experimentais foram bem representados pela Equação de SCHWARTZBERG (1981) utilizando o $b_{\text{médio}}$ entre as temperaturas de -40 e -20°C e o limite de confiança de 95%.

A Tabela IV.5 apresenta os valores de $b_{\text{médio}}$ obtidos nos diversos tratamentos, incluindo-se, para referência, a temperatura de início de congelamento, já apresentada na Tabela IV.4. Os valores de ganho de sólidos e remoção de massa são os mesmos da Tabela IV.4.

Tabela IV.5- Valores de b e da temperatura de início de congelamento de fatias de manga *in natura* e de fatias de manga desidratadas osmoticamente. O desvio padrão dos resultados é mostrado entre parênteses.

amostra	T_{ic} (°C)	$b_{\text{médio}}$
natura	-1,00	0,243 (± 0,031)
40% sacarose, 30 min.	-1,78	0,299 (± 0,098)
40% sacarose, 60 min.	-1,90	0,576 (± 0,267)
50% sacarose, 30 min.	-2,06	0,180 (± 0,054)
50% sacarose, 60 min.	-2,41	0,346 (± 0,238)
40%-10%, 30 min.	-2,58	0,475 (± 0,173)
40%-10%, 60 min.	-3,70	0,298 (± 0,156)
50%-10%, 30 min.	-2,56	0,511 (± 0,211)
50%-10%, 60 min.	-4,29	0,280 (± 0,026)

Para as fatias *in natura*, o valor de b está dentro da faixa encontrada na literatura, visto que DUCKWORTH (1971) obteve valores de b entre 0,18 e 0,25 para vegetais.

Para os diversos pré-tratamentos osmóticos, os valores de b são mais altos e variam dentro de uma faixa muito ampla. Para soluções simples de sacarose, b aumenta com o tempo de tratamento, isto é, com maior impregnação de solutos, enquanto que com soluções mistas de sacarose e glicerol, b diminui com o maior ganho de solutos. O valor de b da sacarose, entretanto, é 0,21 (SCHWARTZBERG), inferior aos valores indicados na Tabela IV.5, e, portanto, não pode ser responsável pela tendência observada. É provável que outros fatores,

como, por exemplo, a viabilidade da célula, tenham influência sobre a fração de água ligada, representada pelo parâmetro b . Contudo, é importante ter em mente que b é um parâmetro muito sensível ao valor definido para a temperatura de início de congelamento, e um pequeno erro experimental nessa medida pode causar uma variação considerável em b . As fatias de manga utilizadas na determinação da entalpia não foram as mesmas usadas na determinação da temperatura de início de congelamento, fato que pode ser outra fonte de erros.

Um outro fator que não é considerado pelos pesquisadores, é que o ajuste da Equação de SCHWARTZBERG é pouco sensível ao valor de b . Como exemplo, apresenta-se na Figura IV.22, os valores experimentais da entalpia de congelamento de fatias de manga tratadas com uma solução de 40% sacarose e 10% glicerol durante 60 minutos, juntamente com a curva do melhor ajuste global ($b = 0,302$), outra com um ajuste usando a entalpia na temperatura de -20°C ($b = 0,408$) e outra com o valor para a entalpia a -40°C ($b = 0,188$).

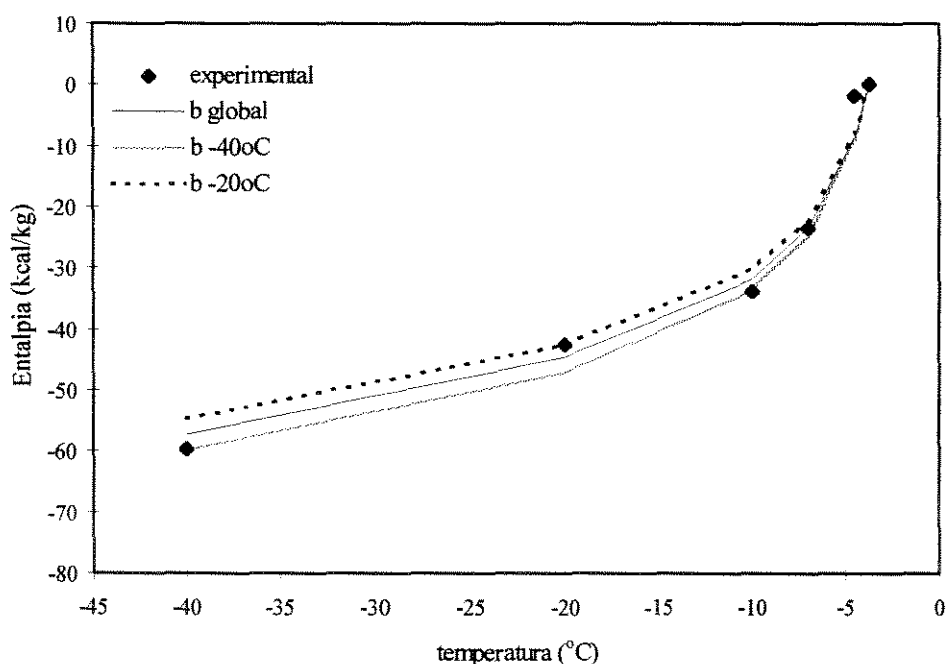


Figura IV.22- Curvas de entalpia de congelamento de fatias de manga desidratadas osmoticamente (40%-10%, 60 min.) - comparação entre os dados experimentais e os obtidos pela equação de SCHWARTZBERG com b_{global} , $b_{-40^{\circ}\text{C}}$ e $b_{-20^{\circ}\text{C}}$.

Observa-se que mesmo com uma variação em relação ao b_{global} de 33%, as curvas representam bem o comportamento geral da variação da entalpia, com os seguintes coeficientes de correlação:

$$b = 0,188 \quad r = 0,9917$$

$$b = 0,302 \quad r = 0,9918$$

$$b = 0,408 \quad r = 0,9918$$

Os coeficientes de correlação obtidos nos três casos são praticamente idênticos. É provável que para um levantamento mais preciso dos valores de b não será necessário o uso de equipamentos mais sofisticados (como o DSC, por exemplo), mas sim uma amostragem mais representativa das fatias de manga.

No Apêndice D são apresentados os dados de entalpia obtidos experimentalmente e os estimados pela Equação II.2, juntamente com a quantidade de água não congelada, calculada pela equação II.3.

A Tabela IV.6 apresenta os valores de fração de água congelada e de entalpia das fatias de manga desidratadas osmoticamente a uma temperatura de -25°C , que foi a temperatura de todos os ensaios de congelamento. O valor usado para a umidade corresponde ao do produto *in natura* e ao dos produtos pré-tratados obtidos nos ensaios de congelamento (ver Seção IV.7). A estimativa da entalpia foi feita por meio do modelo (Equação de SCHWARTZBERG). A fração de água congelada foi obtida utilizando a Equação II.3.

Como se pode observar, há uma tendência bem definida em diminuir a fração de gelo formado com o aumento da concentração de soluto e com o tempo de imersão na solução osmótica. Comparando-se a fração de gelo formado para as fatias *in natura* e para as desidratadas é possível antever as vantagens de se desidratar osmoticamente as fatias de manga antes da etapa de congelamento, pois uma diminuição na massa de gelo formada deverá reduzir os danos à estrutura celular.

Embora os dados da Tabela IV.6 indiquem que as amostras tratadas com sacarose e glicerol apresentaram uma menor fração de gelo formado em relação às tratadas apenas com sacarose, esses dados são insuficientes para confirmar a propriedade crioprotetora do glicerol, visto que com soluções de sacarose e glicerol a umidade final dos produtos obtidos é menor. A proteção exercida pelo glicerol durante o congelamento poderia ser explicada por dois fatores que atuam sinergeticamente, quão sejam, a própria proteção crioscópica, já discutida na Seção II.6, e o maior nível de remoção de água durante a desidratação osmótica. Para os diversos tratamentos com glicerol, entretanto, as frações de gelo formado são muito próximas entre si (em torno de $0,54 \text{ kg}_{\text{gelo}}/\text{kg}_{\text{produto}}$), o que indica, novamente, que não se deve esperar diferenças significativas na proteção crioscópica dos 4 pré-tratamentos com glicerol.

Tabela IV.6- Valores de fração de água congelada de fatias de manga congeladas à -25°C.

Amostra	Remoção de água (%)	H _p (kcal/kg)	Fração de gelo (kg gelo/kg produto)	Fração de água congelada (kg gelo/kg água do produto)
natura	0	-69,4	0,783	0,919
40% sacarose 30 minutos	18,60	-61,6	0,649	0,845
40% sacarose 60 minutos	23,27	-55,7	0,600	0,772
50% sacarose 30 minutos	26,81	-60,7	0,640	0,861
50% sacarose 60 minutos	34,38	-53,7	0,527	0,763
40%-10% - 30 minutos	33,33	-52,2	0,546	0,743
40%-10% - 60 minutos	36,27	-48,5	0,551	0,757
50%-10% - 30 minutos	35,55	-49,2	0,543	0,735
50%-10% - 60 minutos	46,71	-46,9	0,477	0,713

Na tentativa de tentar esclarecer qual dos dois fatores teria maior influência durante o congelamento de fatias de manga impregnadas com glicerol, foram realizados alguns testes de secagem com ar à 30°C (temperatura utilizada na desidratação osmótica), tentando-se atingir níveis semelhantes de remoção de água obtidos na desidratação osmótica. A Tabela IV.7 resume os valores de fração de água congelada de fatias de manga submetidas à secagem com ar à 30°C. As temperaturas de início de congelamento para cada uma das amostras foram determinadas ajustando-se os pontos da Figura IV.12 por meio da relação abaixo:

$$T_{ic} (°C) = -2 \times 10^{-5} \times (\text{perda de água})^3 - 2 \times 10^{-4} \times (\text{perda de água})^2 + 0,0138 \times (\text{perda de água}) - 0,9107$$

Para uma melhor comparação entre os resultados foram acrescentados à Tabela IV.7 os dados obtidos com as fatias de manga desidratadas osmoticamente.

Tabela IV.7- Valores calculados de fração de água congelada para as fatias de manga submetidas à secagem com ar e para as desidratadas osmoticamente.

Amostra	Remoção de água (%)	Fração de gelo (kg gelo/kg produto)	Fração de água congelada (kg gelo/kg água inicial)
natura (secagem)	0	0,817	0,959
natura (D.O.)	0	0,783	0,919
Secagem-15%	14,70	0,787	0,951
40% sacarose 30 minutos	18,60	0,649	0,845
Secagem-22%	24,37	0,772	0,947
40% sacarose 60 minutos	23,27	0,600	0,772
Secagem-27%	28,18	0,766	0,946
50% sacarose 30 minutos	26,81	0,640	0,861
Secagem-35%	34,79	0,725	0,934
50% sacarose 60 minutos	34,38	0,527	0,763
40%-10% 30 minutos	33,33	0,546	0,743
40%-10% 60 minutos	36,27	0,551	0,757
50%-10% 30 minutos	35,55	0,543	0,735
Secagem-45%	44,35	0,704	0,930
50%-10% 60 minutos	46,71	0,477	0,713

Comparando-se as fatias com mesmo valor de remoção de água para os dois tipos de pré-tratamento (secagem e desidratação osmótica), nota-se que as amostras desidratadas com ar possuem maior fração de gelo formado, indicando, portanto, que o glicerol tem grande participação no abaixamento crioscópico da temperatura de início de congelamento do produto.

IV.7- Ensaios de Congelamento/Descongelação

A perda de massa e a quantidade de exsudado após o descongelamento foram utilizadas como critério de avaliação comparativa da qualidade das fatias congeladas *in natura* e após o tratamento de desidratação osmótica.

A Tabela IV.8 resume os resultados de congelamento e descongelamento para as fatias de manga *in natura* e para as desidratadas osmoticamente, nas duas velocidades de congelamento utilizadas. Tabelas com todos os resultados de perda de massa e quantidade de exsudado obtidos durante o trabalho experimental são mostradas no Apêndice E.

A perda de massa e a quantidade de exsudado guardam uma estreita relação entre si, apresentando valores médios e seus respectivos desvios praticamente idênticos. A análise dos resultados, portanto, pode ser feita baseada em apenas uma dessas qualificações.

A característica mais marcante dos resultados é o alto valor do desvio padrão encontrado, que tende a ser quase 50% do valor médio medido. Essa grande dispersão dos dados exige um critério conservativo na sua análise e apenas tendências gerais podem ser inferidas.

A perda de massa do produto *in natura* foi mais que o dobro da observada com qualquer pré-tratamento, tanto no congelamento lento quanto no rápido. A velocidade de congelamento é um fator atuante apenas nos pré-tratamentos que promoveram as mais baixas remoções de água, sendo essencial na manga sem tratamento (*in natura*). De um modo geral, e com a devida consideração aos tempos de tratamento, observou-se uma diminuição na perda de massa das fatias no descongelamento em função do abaixamento da atividade de água da solução osmótica utilizada. O valor de 10,43% obtido para a perda de massa no pré-tratamento com solução de sacarose (50% em massa) durante 60 minutos é uma exceção, provavelmente um erro experimental. No pré-tratamento utilizando soluções contendo glicerol, entretanto, a quantidade de exsudado tende a nivelar-se em um valor em torno de 3 a 4%, que parece ser um limite mínimo, pouco influenciado pela velocidade de congelamento. Esse resultado está de acordo com os valores uniformes de fração de gelo formado, conforme discutido na Seção IV.6.

Também foram feitas análises de variância da % de exsudado das amostras sujeitas ao congelamento lento e rápido. Apesar das diferenças, já discutidas, encontradas nas mangas utilizadas durante o trabalho experimental, somente foram encontradas diferenças significativas (no nível de 0,1%) entre as amostras denominadas 40% sacarose - 10% glicerol, 30 min (no congelamento lento) e 50% sacarose - 10 % glicerol, 30 min. (no congelamento lento).

Tabela IV.8- Valores médios de perda de massa e de % de exsudado (com os respectivos desvios padrões entre parênteses) formado após o descongelamento de fatias de manga *in natura* e de fatias de manga desidratadas osmoticamente.

	DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA			CONGELAMENTO					
Amostra	Remoção de massa (%)	U _p (%b.u.)	Ganho de sólidos (%)	Perda de massa (%)		Quantidade de exsudado (%)		Variação total da massa (%)	
				Lento	Rápido	Lento	Rápido	Lento	Rápido
natura	.....	85,18 (± 1,64)	.....	21,66 (± 4,72)	13,31 (± 4,06)	21,21 (± 4,64)	13,11 (± 3,95)	.....	.....
40% sac. 30 minutos	15,23 (± 2,76)	76,77 (± 1,78)	5,59 (± 1,79)	9,61 (± 4,24)	5,93 (± 0,74)	9,39 (± 4,15)	5,75 (± 0,84)	27,01 (± 4,16)	19,73 (± 2,01)
40% sac. 60 minutos	20,93 (± 2,25)	77,74 (± 2,56)	6,15 (± 0,87)	5,70 (± 0,78)	4,63 (± 1,84)	5,59 (± 0,79)	4,48 (± 1,81)	27,41 (± 3,30)	29,54 (± 4,25)
50% sac. 30 minutos	23,07 (± 3,68)	74,36 (± 0,62)	5,67 (± 2,80)	7,01 (± 2,41)	6,19 (± 2,52)	6,80 (± 2,32)	6,36 (± 1,87)	28,27 (± 4,15)	31,42 (± 2,93)
50% sac. 60 minutos	27,12 (± 3,90)	68,69 (± 4,28)	9,19 (± 1,45)	10,59 (± 2,60)	4,25 (± 1,94)	10,43 (± 2,64)	4,13 (± 1,86)	37,24 (± 5,35)	33,23 (± 3,14)
40%-10% 30 minutos	28,66 (± 3,89)	73,47 (± 2,89)	6,55 (± 1,58)	3,97 (± 2,06)	3,49 (± 1,64)	3,89 (± 2,04)	3,33 (± 1,59)	35,08 (± 2,93)	30,48 (± 2,11)
40%-10% 60 minutos	32,98 (± 4,96)	72,81 (± 3,42)	6,82 (± 1,85)	4,15 (± 2,27)	3,17 (± 1,08)	3,92 (± 2,24)	3,55 (± 1,06)	40,94 (± 3,79)	38,18 (± 4,46)
50%-10% 30 minutos	31,98 (± 4,96)	73,85 (± 3,93)	7,07 (± 1,51)	4,40 (± 1,80)	3,86 (± 1,00)	4,28 (± 1,76)	3,72 (± 0,96)	36,53 (± 3,35)	37,01 (± 5,59)
50%-10% 60 minutos	42,77 (± 5,55)	66,33 (± 5,19)	11,55 (± 2,14)	3,17 (± 0,94)	3,59 (± 1,29)	3,07 (± 0,92)	3,51 (± 1,28)	45,91 (± 4,62)	47,17 (± 3,47)

Para complementar o estudo foram feitos ensaios de congelamento/ descongelamento de fatias secas com ar, cujos resultados estão apresentados na Tabela IV.9.

Tabela IV.9- Valores médios de remoção de massa e de quantidade de exsudado formado após o descongelamento de fatias de manga *in natura* e de fatias de manga desidratadas com ar. O desvio padrão dos resultados é mostrado entre parênteses.

Amostra	SECAGEM COM AR		CONGELAMENTO		Variação total da massa (%)
	Remoção de massa (%)	U _p (% b.u.)	exsudado (%)	Perda de massa (%)	
natura	.....	85,18 ($\pm 1,64$)	21,21 ($\pm 4,64$)	21,66 ($\pm 4,72$)	21,66 ($\pm 4,72$)
Sec.15%	14,70 ($\pm 1,96$)	82,75 ($\pm 1,28$)	9,33 ($\pm 3,44$)	9,54 ($\pm 3,53$)	24,90 ($\pm 3,72$)
Sec.22%	24,37 ($\pm 2,14$)	81,56 ($\pm 2,67$)	8,58 ($\pm 5,53$)	8,71 ($\pm 5,58$)	32,78 ($\pm 3,55$)
Sec.27%	28,18 ($\pm 3,28$)	81,02 ($\pm 3,54$)	5,63 ($\pm 2,64$)	5,84 ($\pm 2,64$)	34,64 ($\pm 2,93$)
Sec.35%	34,79 ($\pm 1,95$)	77,62 ($\pm 2,46$)	2,81 ($\pm 1,23$)	2,91 ($\pm 1,21$)	38,47 ($\pm 1,85$)
Sec.45%	44,35 ($\pm 2,32$)	75,69 ($\pm 0,56$)	3,01 ($\pm 0,80$)	3,15 ($\pm 0,77$)	48,13 ($\pm 2,67$)

Para as fatias desidratadas em um nível de 15% de remoção de água foram observadas alterações na firmeza e perda de consistência após o descongelamento, o que dificultou o próprio manuseio das mesmas e exigiu um maior número de testes, já que muitas fatias após o descongelamento tiveram que ser descartadas. Nos demais níveis de secagem o produto se manteve suficientemente firme para o manuseio. A análise de variância dos resultados de % de exsudado para as amostras submetidas à secagem com ar confirma o que foi observado para as amostras desidratadas osmoticamente; a não homogeneidade da matéria-prima não causou diferenças significativas (no nível de 0,1%) na % de exsudado das amostras, exceto para as denominadas Sec.35%.

Os valores encontrados para a perda de massa das fatias *in natura* e das fatias submetidas à secagem com ar até 15% de remoção de água, são muito próximos aos de RESENDE (1994) nas mesmas condições. Acima de 20% de água evaporada, entretanto, RESENDE (1994) não

constatou exsudação, enquanto que no presente trabalho, o valor tende a se nivelar em torno de 3% de remoção de água. RESENDE (1994) usou fatias de manga de 1 cm de espessura e o ar de secagem a 80°C, o que pode explicar essa diferença. Considerando a dispersão dos dados pode-se concluir que esse limite mínimo das perdas não é diferente do encontrado para as amostras pré-tratadas osmoticamente. A umidade da fatia pré-seca, entretanto, é consideravelmente mais alta do que as tratadas com glicerol nos ensaios com a desidratação osmótica e que têm % de exsudado equivalente. Essa diferença fica mais evidenciada se a referência for a fração de gelo formada, como discutido abaixo.

Conforme as informações da literatura sobre danos à estrutura celular durante o congelamento, uma avaliação do efeito dos pré-tratamentos e das condições de congelamento sobre a manutenção da qualidade do produto congelado deve necessariamente comparar processos com mesmo conteúdo de gelo. A Figura IV.23 correlaciona a quantidade de exsudado com a fração de gelo formada para as duas taxas de congelamento e para os dois tipos de pré-tratamento (secagem com ar e desidratação osmótica).

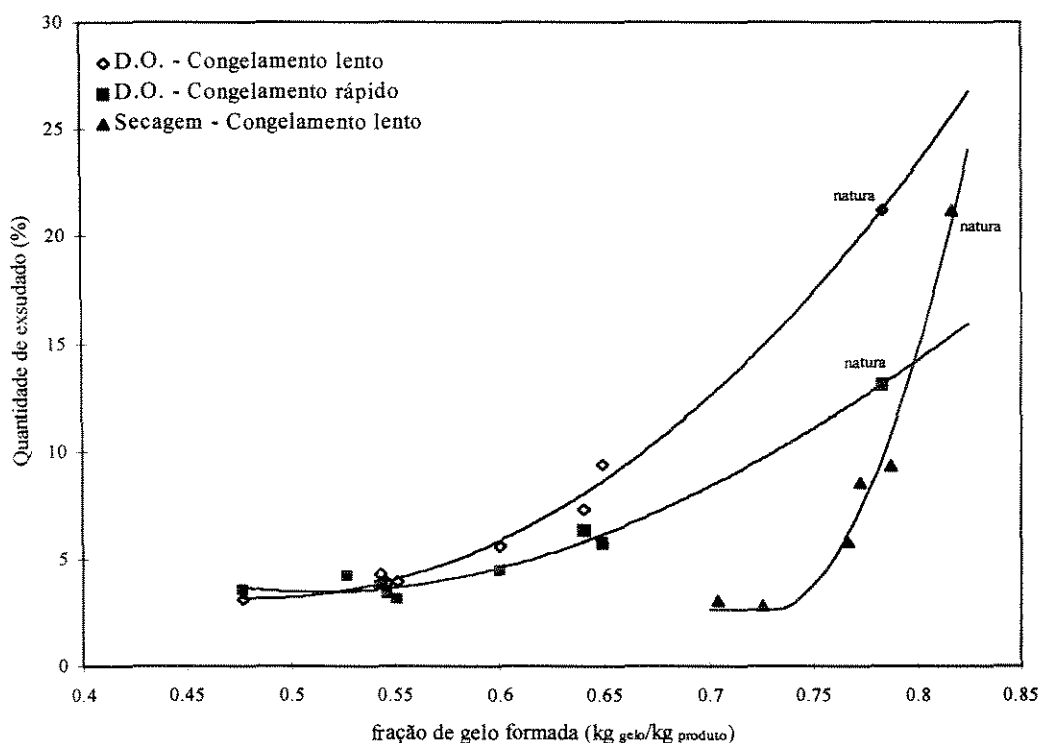


Figura IV.23- Comparação entre a secagem com ar e a desidratação osmótica: quantidade de exsudado vs fração de gelo formado.

Embora exista uma grande dispersão nos valores dos parâmetros básicos que levaram à construção das três curvas traçadas na Figura IV.23, elas são suficientemente distintas para assumir que representam tendências bem diferenciadas. Apesar disso, uma análise estatística comparativa entre a % de exsudado obtida para o congelamento lento e para o rápido mostrou somente existirem diferenças significativas (no nível de probabilidade de 0,1%) para as amostras *in natura* e para as desidratadas osmoticamente denominadas 50% sacarose, 60 min., como pode ser verificado no Apêndice F. As principais conclusões são listadas abaixo:

- taxas de congelamento mais altas diminuem a exsudação, confirmando a afirmação de que uma distribuição mais uniforme dos cristais de gelo favorece a manutenção da estrutura celular;
- há um limite mínimo de exsudação, quando a fração de gelo formado é inferior a 55% no caso da desidratação osmótica e 70% no caso da secagem com ar;
- o efeito de diferentes taxas de congelamento é mais pronunciado na manga *in natura*, e perde importância à medida que diminui a quantidade de gelo formada;
- as mangas desidratadas com ar à 30°C apresentam menor perda por exsudação no congelamento/descongelamento do que as desidratadas osmoticamente. Esse resultado aparentemente inesperado pode ser explicado ou por uma possível impermeabilização da superfície da manga na secagem com ar, ou por uma fragilização da membrana celular durante a osmose. Com relação a esse último mecanismo, sabe-se que os solutos (sacarose e glicerol) impregnam a membrana celular e podem diminuir sua flexibilidade. Além disso o processo de desidratação osmótica é muito rápido, desenvolvendo grandes gradientes de concentração no interior da fatia que podem afetar a integridade da membrana. A combinação desses fatores pode induzir plasmólises irreversíveis, com um rompimento precoce da membrana (MERYMAN e WILLIAMS, 1985).

A secagem, por sua vez, promove contração de toda a estrutura celular, induzindo ao fenômeno da casca endurecida (*case hardening*), isto é, uma película superficial mais plasticizada, mais rígida e, geralmente mais impermeável à umidade (THIJSEN e KERKHOF, 1977). Esse fenômeno é mais acentuado nas secagens com ar a altas temperaturas e pode explicar a menor exsudação observada nos ensaios de RESENDE (1994), que usou ar à 80°C. Na presente pesquisa o ar de secagem foi mantido à 30°C e o efeito da casca endurecida deve ter sido mínimo. A operação foi extremamente lenta (de 1 a 5 horas), entretanto, não induzindo grandes gradientes de concentração no interior da fatia e, provavelmente, promovendo uma

variação de concentração uniforme e suave de todas as células do tecido, com baixo risco de citólise. Uma forma de avaliar qual desses efeitos é predominante seria variar a espessura das fatias ou promover cortes na mesma, após a secagem.

Uma avaliação final da viabilidade tecnológica do tipo de pré-tratamento a ser escolhido deve considerar também a variação total da massa (que na presente pesquisa não indicou diferenças significativas) e incluir uma avaliação sensorial do produto obtido, além de outros fatores técnico-econômicos, não considerados aqui.

CAPÍTULO V- CONCLUSÕES

Os resultados dessa pesquisa demonstraram que o pré-tratamento osmótico com fatias de manga é um método factível de reduzir os danos à estrutura celular durante o congelamento. Outras conclusões mais específicas estão listadas abaixo:

A. Com relação à Desidratação Osmótica:

- O produto obtido na desidratação osmótica tem textura e consistência adequadas para o manejo posterior ao congelamento.
- A remoção de massa e o ganho de sólidos durante a desidratação osmótica de fatias de manga mostraram ser fortemente influenciados pela atividade de água da solução osmótica utilizada e pelo tempo de desidratação.
- Nos primeiros 30 minutos do processo não foram notadas diferenças consideráveis no ganho de sólidos para as soluções osmóticas usadas, visto que no início do processo o grande fluxo de água para fora da célula dificulta a penetração de solutos de alto peso molecular, como é o caso da sacarose.

B. Com relação às propriedades termofísicas de congelamento:

- A temperatura de início de congelamento das fatias pré-tratadas diminui com o decréscimo na umidade residual e com o aumento no ganho de sólidos das amostras, um reflexo do abaixamento da atividade de água da solução osmótica utilizada.
- As amostras tratadas com glicerol tiveram os menores valores de temperatura de início de congelamento, não sendo observadas diferenças entre as duas concentrações de sacarose (40 e 50%) para as amostras tratadas com glicerol e sacarose.
- A temperatura de início de congelamento das fatias tratadas osmoticamente é mais baixa que a das amostras desidratadas com ar com mesma umidade final, confirmando o efeito crioscópico dos solutos impregnados.

- Os dados experimentais de entalpia de congelamento foram bem representados pela Equação de SCHWARTZBERG (1981), utilizando o $b_{\text{médio}}$ entre as temperaturas de -40 e -20°C .
- O valor de b obtido experimentalmente (0,243) para as fatias *in natura* confirma os valores da literatura, enquanto para as fatias desidratadas osmoticamente os valores de b determinados são mais altos e variam dentro de uma faixa muito ampla.
- Para as amostras desidratadas osmoticamente a quantidade de gelo formada diminuiu com o tempo de imersão e com a concentração da solução osmótica.

C. Com relação ao congelamento/descongelamento:

- Como tendência geral observou-se que a exsudação das fatias, após o descongelamento, diminuiu com o aumento na concentração das soluções osmóticas utilizadas.
 - A massa exsudada tende a um valor limite em torno de 3,5% da massa total quando a fração de gelo formada for inferior a 0,55.
- Uma comparação entre a massa exsudada e o conteúdo de gelo das fatias indicou:
 - o congelamento rápido induz menores danos à célula do que o congelamento lento, com mesmo conteúdo final de gelo, embora a análise estatística dos resultados mostre que somente existem diferenças significativas entre a velocidade de congelamento para as amostras *in natura* e para as desidratadas osmoticamente denominadas 50% sacarose, 60 min.
 - mangas desidratadas com ar à 30°C sofrem menor exsudação do que as tratadas osmoticamente.

CAPÍTULO VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREOTTI, R.; TOMASICCHIO, M. e FONTANESI, D. Studi Sulla Deidrocongelazione Della Carota in Cubetti. *Industria Conserve*, 55: 109-113, 1980.
- ASHRAE Handbook Fundamentals. Thermal Properties of Foods. Atlanta, 1993, cap. 30.
- ARGAIZ, A.; LÓPEZ-MALO, A.; PALOU, E. e WELTI, J. Osmotic Dehydration of Papaya with Corn Syrup Solids. *Drying Technology*, 12(7): 1709-1725, 1994.
- AZUARA, E. e BERISTAIN, C.I. Development of a Mathematical Model to Predict Kinetics of Osmotic Dehydration. *Journal of Food Science and Technology*, 29(4): 239-242, 1992.
- AZUARA, E.; CORTES, R.; GARCIA, H.S. e BERISTAIN, C.I. Kinectic Model for Osmotic Dehydration and its Relation With Fick's Second Law. *International Journal of Food Science and Technology*, 27: 409-418, 1992.
- BARONI, ALESSANDRA FERREIRA Semi-desidratação congelamento e semi-desidratação secagem de cebola (*Allium cepa* L.). Campinas, FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS/UNICAMP, 1997. 94p. (Tese de mestrado), FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS/UNICAMP.
- BENDER, A.E. Nutritional Effects of Food Processy. *Journal of Food Technology*, 1: 261-289, 1966.
- BENGTTSSON, N.E. e JAKOBSSON, B. The Influence of High Freezing Rates on the Quality of Frozen Ground Beef and Small Cuts of Beef. In: *Frozen Foods, Annexe 1969-6 au Bulletin de l'Institute International du Froid*, editado pelo International Institute of Refrigeration. Budapest, 1969 p. 165-169.

- BERISTAIN, C.I.; AZUARA, E.; CORTES, R. e GARCIA, H.S. Mass Transfer During Osmotic Dehydration of Pineapple Rings. *International Journal of Food Science and Technology*, 25: 576-582, 1990.
- BISWAL, R.N.; BOZORGMEHR, K.; TOMPKINS, F.D. and LIU, X. Osmotic Concentration of Green Beans Prior to Freezing. *Journal of Food Science*, 56(4): 1008-1012, 1991.
- BOLIN, H.R. e HUXSOLL, C.C. Partial Drying of Cut Pears to Improve Freeze/Thaw Texture. *Journal of Food Science*, 58(2): 357-360, 1993.
- BOMBEN, J.L. e KING, C.J. Heat and Mass Transport in the Freezing of Apple Tissue. *Journal of Food Technology*, 17: 615-632, 1982.
- BONE, D. Water Activity in Intermediate Moisture Foods. *Food Technology*, 27: 71-76, 1973.
- BORGES, S.V. e MENEGALLI, F.C. Influência da Desidratação Osmótica sobre a Cinética de Secagem da Manga. VIII Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Resumos, São Paulo, 1992, p. 128
- BOX, G.E.P.; HUNTER, W.G. e HUNTER, J.S. Statistics for Experimenters. An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building. New York, John Wiley e Sons, 1978, 652p.
- BRAVERMAN, J.B.S. Citrus Products. Chemical Composition and Chemical Technology. New York, Interscience Publishers, Inc., 1949 cap.2, p. 293.
- CANO, M.P. e ANCOS, B. Carotenoid and Carotenoid Ester Composition in Mango Fruit as Influenced by Processing Method. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 42: 2737-2742, 1994.

- CARDELLO, H.M.A.B.; MORAES, M.A.C. e CARDELLO, L. *Ácido Ascórbico e Ascorbato Oxidase* em Manga (*Mangifera indica* L.) var. Haden Processada e Congelada. *Alimentos e Nutrição*, 5: 65-75, 1993/1994.
- CHANG, H.D. e TAO, L.C. Correlations of Enthalpies of Food Systems. *Journal of Food Science*, 46:1493-1497, 1981.
- CHAPLIN, G.R.; COLE, S.P.; LANDRIGAN, M.; NUEVO, P.A.; LAM, P.F. e GRAHAM, D. Chilling Injury and Storage of Mango (*Mangifera indica* L.) Fruit Held Under Low Temperatures. *Acta Horticulturariae*, 291: 461-471, 1991.
- CLELAND, A.C. e EARLE, R.L. Assessment of Freezing Time Prediction Methods. *Journal of Food Science*, 49: 1034-1042, 1984.
- CONWAY, J.; CASTAIGNE, F.; PICARD, G. e VOVAN, X. Mass Transfer Consideration in the Osmotic Dehydration of Apples. *Canadian Institute of Food Science and Technology*, 16(1): 25-29, 1983.
- CUSSLER, E.L. *Diffusion Mass Transfer in Fluid Systems*. New York, Cambridge University Press, 1984, 525p.
- de ROBERTIS; NOWINSKI e SAEZ. *Biologia Celular*. 2ed. Rio de Janeiro, Livraria “El Ateneo” do Brasil S.A., 1974. 476p.
- DUCKWORTH, R.B. Differential Thermal Analysis of Frozen Food Systems I. The Determination of Unfreezable Water. *Journal of Food Technology*, 6: 317-327, 1971.
- FARKAS, D.F. e LAZAR, M.E. Osmotic Dehydration of Apple Pieces: Effect of Temperature and Syrup Concentration on Rates. *Food Technology*, 23: 688-690, 1969.
- FAVETTO, G.; CHIRIFE, J. e BARTHOLOMAI, G. Determination of Moisture Content in Glycerol-Containing Intermediate Moisture Foods. *Journal of Food Science*, 44: 1258-1259, 1979.

- FENNEMA, O.R.; POWRIE, W.D. e MARTH, E.H. Low-Temperature Preservation of Foods and Living Matter. FENNEMA, O.R., ed. New York. Marcel Dekker, Inc., 1973 p.597.
- FINZER, J.R.D. e LIMAVERDE, J.R. Influência da Pressão Osmótica na Desidratação de Milho Verde. In: Anais do XXIV Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados/ENEMP. Uberlândia, Minas Gerais, p. 243-246 1996
- GARROTE, R.L.; SILVA, E.R. e BERTONE, R.A. Osmotic Concentration at 5°C and 25°C of Pear and Apple Cubes and Strawberry Halves. Lebensm. -Wiss. u. -Technology., 25(2): 133-138, 1992.
- GARROTE, R.L. e BERTONE, R.A. Osmotic Concentration at Low Temperature of Frozen Strawberry Halves. Effect of Glycerol, Glucose and Sucrose Solutions on Exsudate Loss During Thawing. Lebensm. -Wiss. u. -Technology., 22(5): 264-267, 1989.
- GIANGIACOMO, R.; TORREGIANI, D. e ABBO, E. Osmotic Dehydration of Fruit: Part 1. Sugars Exchange Between Fruit and Extracting Syrups. Journal of Food Processing and Preservation, 11(3): 183-195, 1987.
- GOFF, H.D. Low-Temperature Stability and the Glassy State in Frozen Foods. Food Research International 25:317-325, 1992.
- GORGATTI NETTO, A.; BLEINROTH, E.W.; LAZZARINI, L.C. et alii. Quality Evaluation of Frozen Sliced Mangoes in Syrup. Anais of the XIII International Congress of Refrigeration, Washigton, 3, 1971.
- GRIEVE, P.W. e POVEY, M.J.W. Evidence for the Osmotic Dehydration Theory of Freeze Damage. Journal of Science of Food and Agriculture, 32: 96-98, 1981.
- GUTSCHMIDT, J. The Influence of Storage on the Texture of Very Quick Frozen Green Beans and Strawberries. In: Frozen Foods, Annexe 1969-6 au Bulletin de l'Institute International du Froid, editado pelo International Institute of Refrigeration. Budapest, 1969 p. 147-150.

- HAINES, W. The World Mango Situation - A Market Perspective. *Acta Horticulturariae*, 291: 1-11, 1991.
- HAWKES, J. e FLINK, J.M. Osmotic Concentration of Fruit Slices Prior to Freeze Dehydration. *Journal of Food Processing and Preservation* 2: 265-284, 1978.
- HELDMAN, D.R. Factors Influencing Food Freezing Rates. *Food Technology*, 37(4): 103-109, 1983.
- HENG, K.; GUILBERT, S. e CUQ, J. L. Osmotic Dehydration of Papaya: Influence of Process Variables on the Product Quality. *Sciences Des Aliments*, 10(4): 831-848, 1990.
- HENSE, HAIKO Avaliação dos Parâmetros Termofísicos e Cinética de Congelamento de Cação. Campinas, FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS/UNICAMP, 1990. 167p. (Tese), FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS/UNICAMP.
- HIMMELBLAU, D.M. Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering. 3ed. New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 1974 542p.
- HOLDSWORTH, S.D. Dehydration of Food Products. A Review. *Journal of Food Technology*, 6: 331-370, 1971.
- HOUGH, G.; CHIRIFE, J. e MARINI, C. A Simple Model for Osmotic Dehydration of Apples. *Lebesm. -Wiss. u. -Technol.*, 26(2): 151-156, 1993.
- HOWARD, L.B. e CAMPBELL, H. Dehydrofreezing- New Way of Preserving Food. *Food Industries*, 18: 674-676, 1946.
- INCROPERA, F.P. e de WITT, D.P. Fundamentos de Transferência de Calor e Massa. 3ed. Rio de Janeiro, Livro Técnico e Científico, 1992 455p.
- ISLAM, M.N. e FLINK, J.N. Dehydration of Potato II. Osmotic Concentration and its Effect on Air Drying Behaviour. *Journal of Food Technology*, 17: 387-403, 1982.

- JAYARAMAN, K.S. e DAS GUPTA, D.K. Dehydration of Fruits and Vegetables - Recent Developments in Principle and Techniques. *Drying Technology*, 10(1): 1-50, 1992.
- JOSLYN, M. A. Moisture Content and Total Solids. In: ARTHEY, D. e DENNIS, C., ed. *Vegetable Processing*. VCH Publishers, New York, 1990. p. 67-89.
- KARMAS, E. Techniques for Measurement of Moisture Content of Foods. *Food Technology*, 34(4): 52-59, 1980.
- KIECKBUSCH, T.G.; MENEGALLI, F.C. e MIGUEL, M.H. Influência do Solute sobre a Transferência de Massa da Água na Desidratação Osmótica. VIII Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Resumos, São Paulo, p. 13 1992a.
- KIECKBUSCH, T.G.; MIGUEL, M.H.; OLIVEIRA, M.G. e BARBUTTI, J. Influência do Branqueamento nas Taxas de Transferência de Massa na Desidratação Osmótica. VIII Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Resumos, São Paulo, p. 12. 1992b.
- KIECKBUSCH, T.G.; MIGUEL, M.H.; OLIVEIRA, M.G. e BARBUTTI, J. Influência da Concentração e Tipo do Solute Osmótico sobre a Cinética da Secagem com Ar Quente. VIII Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Resumos, São Paulo, p. 11. 1992c.
- KIECKBUSCH, T.G.; MIGUEL, M.H e CHIAVEGATTO, C. Isotermas de Sorção de Umidade de Frutas Desidratadas Osmoticamente. In: *Anais do IX Encontro Interno Estudantil de Pesquisa*. UNICAMP 26/27 outubro, p. 46, 1992d.
- KIECKBUSCH, T.G.; MIGUEL, M.H e FERNANDEZ, M.G.V. Mecanismo da Migração da Água durante a Desidratação Osmótica de Goiabas. In: *Anais do IX Encontro Interno Estudantil de Pesquisa*. UNICAMP 26/27 outubro, p. 44, 1992e.
- KING, C.J. Heat and Mass Transfer Fundamentals Applied to Food Engineering. *Journal of Food Process Engineering*, 1:3-14, 1977.

- KLEEGERG FERNANDO Estudo Comparativo dos Parâmetros Termodinâmicos e da Cinética de Congelamento de Filé de Pescada (*Cynoscion petranus*) Cru e Cozido. Campinas, FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS/UNICAMP, 1995. 126p. (Tese de mestrado), FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS/UNICAMP.
- LABUZA, T.P. Nutrient Losses During Drying and Storage of Dehydrated Foods. CRC Critical Reviews in Food Technology, 3: 217-240, 1972.
- LAZAR, M.E.; CHAPIN, E.O. and SMITH, G.S. Dehydrofrozen Apples: Recent Developments in Processing Methods. Food Technology, 15(1): 32-36, 1961.
- LERICI, C.R.; PINNAVAIA, G.; DALLAROSA, M. e BARTOLUCCI, L. Osmotic Dehydration of Fruit: Influence of Osmotic Agents on Drying Behaviour and Product Quality. Journal of Food Science, 50: 1217-1219, 1985.
- LEUNG, H.K. e STEINBERG, M.P. Water Binding of Food Constituents as Determined by NMR, Freezing, Sorption and Dehydration. Journal of Food Science, 44:1212-1216, 1220, 1979.
- LEVI, A.; GAGEL, S. e JUVEN, B. Intermediate Moisture Tropical Fruit Products for Developing Countries. I. Technological Data on Papaya. Journal of Food Technology, 18: 667-685, 1983.
- LEVINE, H. e SLADE, L. A Food Polymer Science Approach to the Practice of Cryostabilization Technology. Comments Agriculture e Food Chemistry, 1(6): 315-396, 1989.
- LUND, D.B. Effects of Heat Processing. Food Technology, 27: 16-18, 1973.
- LUYBEN, K.Ch.A.M.; LIOU, J.K. e BRUIN, S. Enzyme Degradation During Drying. Biotechnology and Bioengineering, 24(3): 533-552, 1982.

- LYON, D. e CHURCHILL, H. Quality. In: ARTHEY, D. e DENNIS, C., ed. Vegetable Processing. VCH Publishers, New York, 1990. p. 230-253.
- MACLEOD, A.J. e SNYDER, C.H. Volatile Components of Mango Preserved by Deep Freezing. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 36:137-139, 1988.
- MARCOTTE, M e LE MAGUER, M. Repartition of Water in Plant Tissues Subjected to Osmotic Processes. Journal of Food Process Engineering, 13: 297-320, 1991.
- MAURO, M.A. e MENEGALLI, F.C. Evaluation of Diffusion Coefficients in Osmotic Concentration of Bananas (*Musa Cavendish* Lambert). International Journal of Food Science and Technology, 30: 199-213, 1995.
- MERYMAN, H.T. e WILLIAMS, R.J. Basic Principles of Freezing Injury to Plant Cells: Natural Tolerance and Approaches to Cryopreservation. In: KARTHA, K.K., ed. Cryopreservation of Plant Cells and Organs. CRC Press, Boca Raton, Florida, 1985 cap.2, p. 13-47.
- MIGUEL, MARIA HELENA Parâmetros Biológicos Envolvidos na Transferência de Massa Durante a Desidratação Osmótica de Mangas Campinas, FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS/UNICAMP, 1997. (Tese de doutorado em andamento), FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS/UNICAMP.
- MIGUEL, M.H. e KIECKBUSCH, T.G. Desidratação Osmótica de Frutas: Influência da Combinação de Solutos. In: Anais do I Congresso Ibero-Americano de Ingeniería de Alimentos. Campinas, São Paulo, Brasil, 1995 p. 255-266.
- MIGUEL, M.H. e KIECKBUSCH, T.G. Influência da Incorporação de Solutos sobre a Cinética de Secagem de Fatias de Frutas. In: Anais do IX Encontro Interno Estudantil de Pesquisa. UNICAMP 26/27 outubro, p. 43, 1992.
- MOORE, W.J. Physical Chemistry. 4ed. New Jersey, Prentice-Hall, 1972. p. 236-249.

- MOY, J.H.; LAU, N.B.H. e DOLLAR, A.M. Effects of Sucrose and Acids on Osmovac - Dehydration of Tropical Fruits. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2: 131-135, 1978.
- MOY, J.H.; CHAN, K.C. e DOLLAR, A.M. Bound Water in Fruit Products by the Freezing Methods. *Journal of Food Science*, 36:498-499, 1971.
- NEVES FILHO, L.C. Perda de Peso na Estocagem Frigorificada de Frutas e Hortaliças. *Alimentos e Tecnologia*, 4: 28-34, 1985.
- NUNES, M.H.O.; MIGUEL, M.H. e KIECKBUSCH, T.G. Influência dos Solutos na Conservação de Fatias de Manga no Processo Combinado de Desidratação Osmótica e Congelamento. In: Anais do VI Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas e VI Congresso Latinoamericano de Transferencia de Calor y Materia. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, v.2 p. 647-650, 1996.
- PALOU, E.; LOPEZ-MALO, A.; ARGÁIZ, A. e WELTI, J. Osmotic Dehydration of Papaya. Effect of Syrup Concentration. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 33(6): 621-630, 1993.
- PONTING, J.D. Osmotic Dehydration of Fruits - Recent Modifications and Applications. *Process Biochemistry*, 8(12): 18-20, 1973.
- QUINTERO-RAMOS, A.; DE LA VEGA, C.; HERNANDEZ, E. e ANZALDUA-MORALES, A. Effect of the Conditions of Osmotic Treatment on the Quality of Dried Apple Dices. *AIChE Symposium Series*, 89(297): 108-113, 1993.
- RAHMAN, MD.S. e LAMB, J. Air Drying Behaviour of Fresh and Osmotically Dehydrated Pineapple. *Journal of Food Process Engineering*, 14: 163-171, 1991.
- RAHMAN, M.S. e LAMB, J. Osmotic Dehydration of Pineapple. *Journal of Food Science and Technology*, 27(3): 150-152, 1990.

- RAMAMURTHY, M.S. e BONGIRWAR, D.R. Effects of Freezing Methods on the Quality of Freeze Dried Alphonso Mangoes. *Journal of Food Science and Technology*, 16:234-236, 1979.
- RAOULT-WACK, A.L. Recent Advances in the Osmotic Dehydration of Foods. *Trends in Food Science e Technology*, 5(8): 255-260, 1994.
- RAOULT-WACK, A.L.; GUILBERT, S.; LE MAGUER, M. e RIOS, G. Simultaneous Water and Solute Transport in Shrinking Media - Part 1. Applications to Dewatering and Impregnation Soaking Process Analysis (Osmotic Dehydration). *Drying Technology*, 9(3): 589-612, 1991a.
- RAOULT-WACK, A.L.; BOTZ, O.; GUILBERT, S. e RIOS, G. Simultaneous Water and Solute Transport in Shrinking Media - Part 3. A Tentative Analysis of Spatial Distribution of Impregnation Solute in Model Gel. *Drying Technology*, 9(3): 631-641, 1991b.
- RASTOGI, N.K. e RAGHAVARAO, K.S.M.S. Effect of Temperature and Concentration on Osmotic Dehydration of Coconut. *Lebensm. -Wiss. u. -Technol.*, 27: 564-567, 1994.
- REID, D.S. Freezing. In: ARTHEY, D. e DENNIS, C., ed. *Vegetable Processing*. VCH Publishers, New York, 1990. p. 102-122.
- REID, D.S. Fundamental Physicochemical Aspects of Freezing. *Food Technology*, 37(4):110-115, 1983.
- RENAUD, T.; BRIERY, P.; ANDRIEV, J. e LAURENT, M. Thermal Properties of Model Foods in the Frozen State. *Journal of Food Engineering*, 15(2): 83-97, 1992.
- RESENDE, EDER Estudo da Conservação de Fatias de Manga Utilizando Técnicas Combinadas: Pré-secagem e Congelamento. Campinas, FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS/UNICAMP, 1994. 85p. (Tese de mestrado), FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS/UNICAMP.

- RODRIGUES, R.S. e BILHALVA, A.B. Reaproveitamento do Xarope de Desidratação Osmótica. VIII Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Resumos, São Paulo, p. 114. 1992.
- SABADINI, E.; CARVALHO, B.C.Jr.; SOBRAL, P.J. do A. e HUBINGER, M.D. Mass Transfer and Diffusion Coefficients Determination in Salted and Meat Pieces. In: Anais do Inter-american Drying Conference/IADC. Itu, São Paulo, Brasil, 1997 (no prelo).
- SAUREL, R.; RAOULT-WACK, A.L.; RIOS, G. e GUILBERT, S. Mass Transfer Phenomena during Osmotic Dehydration of Apple II. Frozen Plant Tissue. International Journal of Food Science and Technology, 29:543-550, 1994.
- SCHWARTZBERG, H.G. Mathematical Analysis of the Freezing and Thawing of Foods. Trabalho apresentado no AIChE Summer National Meeting, 16-19, August, Detroit, Michigan, 1981.
- SHI, X.Q. e MAUPOEY, P.F. Vacuum Osmotic Dehydration of Fruits. Drying Technology, 11(6): 1429-1442, 1993.
- SHUKLA, T.P. Osmotic Dehydration. Cereal Foods World, 36(8): 647, 1991.
- SILVARES, O.M.; CRAVALHO, E.G.; TOSCANO, W.M. e HUGGINS, C.E. The Thermodynamics of Water Transport from Biological Cells during Freezing. Transactions of the ASME/ Journal of Heat Transfer, 97: 582-588, 1975.
- SLOAN, A.E. e LABUZA, T.P. Investigating Alternative Humectants for Use in Foods. Food Product Development, 9(7): 75-88, 1975.
- SOARES, J.L. Biologia Básica. A Célula, os Tecidos, Embriologia. 2 ed. Rio de Janeiro, Editora Scipione, 1988. 1v. 240p.
- STAFFORD, A.E. Mango. In: CHAN, Jr., H.T., ed. Handbook of Tropical Foods. Marcel Dekker, Inc., New York and Basel, 1983. p. 399-431.

- TALBURT, W.F. e LEGAULT, R.R. Dehydrofrozen Peas. *Food Technology*, 4(7): 286-291, 1950.
- TALBURT, W.F.; WALKER, L.H. and POWERS, M.J. Dehydrofrozen Apples. *Food Technology*, 496-498, 1950.
- TELIS, VÂNIA REGINA NICOLETTI Estudo das Alterações Estruturais na Gema de Ovo Durante o Congelamento. Campinas, FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS/UNICAMP, 1995. 148p. (Tese de doutorado), FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS/UNICAMP.
- THIJSSSEN, H.A.C. e KERKHOF, J.A.M. Effect of Temperature-Moisture Content History during Processing on Food Quality. In: HØYEM, T. e KVÅLE, O., ed. Physical, Chemical and Biological Changes in Food caused by Thermal Processing. London, Applied Science Publishers Limited, 1977 cap. 2, p. 10-30.
- THIJSSSEN, H.A.C. e RULKENS, W.H. Retention of Aromas in Drying Food Liquids. *De Ingenieur* 80(47):45-56, 1968.
- THOMAS, P. e JOSHI, M.R. Reduction of Chilling Injury in Ripe Alphonso Mango Fruit in Cold Storage by Temperature Conditioning. *Internacional Journal of Food Science and Technology*, 23: 447-455, 1988.
- TOMASICCHIO, M. e ANDREOTTI, R. Studio Sul Deidrocongelamento del Mango. *Industria Conserve*, 65: 127-130, 1990.
- TORREGIANI, D. Osmotic Dehydration in Fruit and Vegetable Processing. *Applied Technology*, 26: 59-68, 1993.
- TOUPIN, C.J. e LE MAGUER, M. Osmotically-Induced Mass Transfer in Plant Storage Tissues: A Mathematical Model. Part II. *Journal of Food Engineering*, 10:97-121, 1989.

- VIDEV, K.; TANCHEV, S.; SHARMA, R.C. e JOSHI, V.K. Effect of Sugar Syrup Concentration and Temperature on the Rate of Osmotic Dehydration of Apples. *Journal of Food Science and Technology*, 27 (5): 307-308, 1990.
- VIEIRA, JOSÉ ANTÔNIO GOMES Característica de Secagem e Avaliação das Propriedades Físicas da Batata Doce Lavras, ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS/ESAL, 1991. 77p. (Tese de Mestrado), ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS/ESAL.
- YAMASHITA, FÁBIO Armazenagem Frigorificada de Mangas (Mangifera indica L. cv. Keitt) Embaladas sob Atmosfera Modificada. Campinas, FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS/UNICAMP, 1995. 142p. (Tese de doutorado), FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS/UNICAMP.
- YANG, D.V. e LE MAGUER, M. Mass Transfer Kinetics of Osmotic Dehydration of Mushrooms. *Journal of Food Processing and Preservation*, 16: 215-231, 1992.

APÊNDICE A

Calibração dos calorímetros

A utilização do calorímetro de mistura na determinação da entalpia de congelamento de um produto está sujeita a dois tipos de erros:

- ganho de calor devido a diferença de temperatura entre o ambiente externo e o interior do calorímetro (calorímetro não adiabático);
- capacidade térmica das paredes do calorímetro e do fio termopar, que cedem energia ao sistema quando ocorre uma diminuição de temperatura no interior do mesmo.

Para que tais erros possam ser considerados no balanço de energia, torna-se necessário calibrar o calorímetro. A calibração foi feita seguindo o procedimento descrito por KLEEBERG (1986).

Foram utilizados cubos de gelo à 0°C e cerca de 30 g de água à temperatura ambiente. O gelo era enxugado com papel e rapidamente inserido dentro do calorímetro. O conjunto era agitado até atingir uma temperatura de equilíbrio e então pesado para que a massa de gelo pudesse ser determinada. Conforme a quantidade de gelo adicionada, obtinham-se diferentes temperaturas de equilíbrio.

O balanço de energia do sistema resulta na seguinte equação:

$$M_g \Delta H_g = M_a C_{p_a} \times (T_{i,a} - T_e) + q_c \quad [A.1]$$

sendo:

C_{p_a} = calor específico da água, kcal/kg °C;

M_a = massa de água, kg;

M_g = massa de gelo, kg;

q_c = calor parasitário, que engloba os erros associados ao calorímetro, kcal;

T_e = temperatura de equilíbrio do sistema, °C

$T_{i,a}$ = temperatura inicial da água, °C

ΔH_g = entalpia total do gelo de 0°C até a temperatura de equilíbrio, podendo ser determinada pela Equação [A.2] (kcal/kg):

$$\Delta H_g = 79,8 + C p_a \times (T_e - 0) \quad [A.2]$$

As curvas de calibração foram construídas plotando-se q_c vs $(T_i - T_e)$ e são mostradas nas Figuras A.1 a A.3. Os pontos experimentais puderam ser ajustados por uma linha reta, indicando que na faixa de temperatura usada, a calibração corresponde sobretudo à avaliação da capacidade térmica do calorímetro.

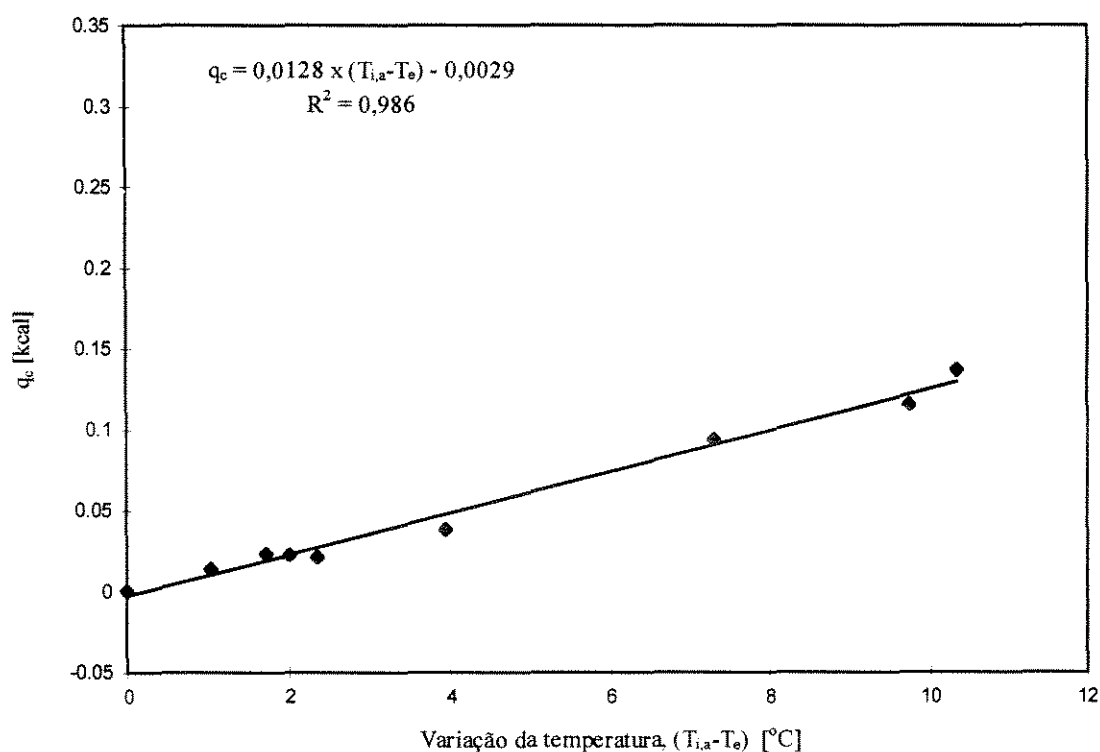


Figura A.1- Curva de calibração do calorímetro 1

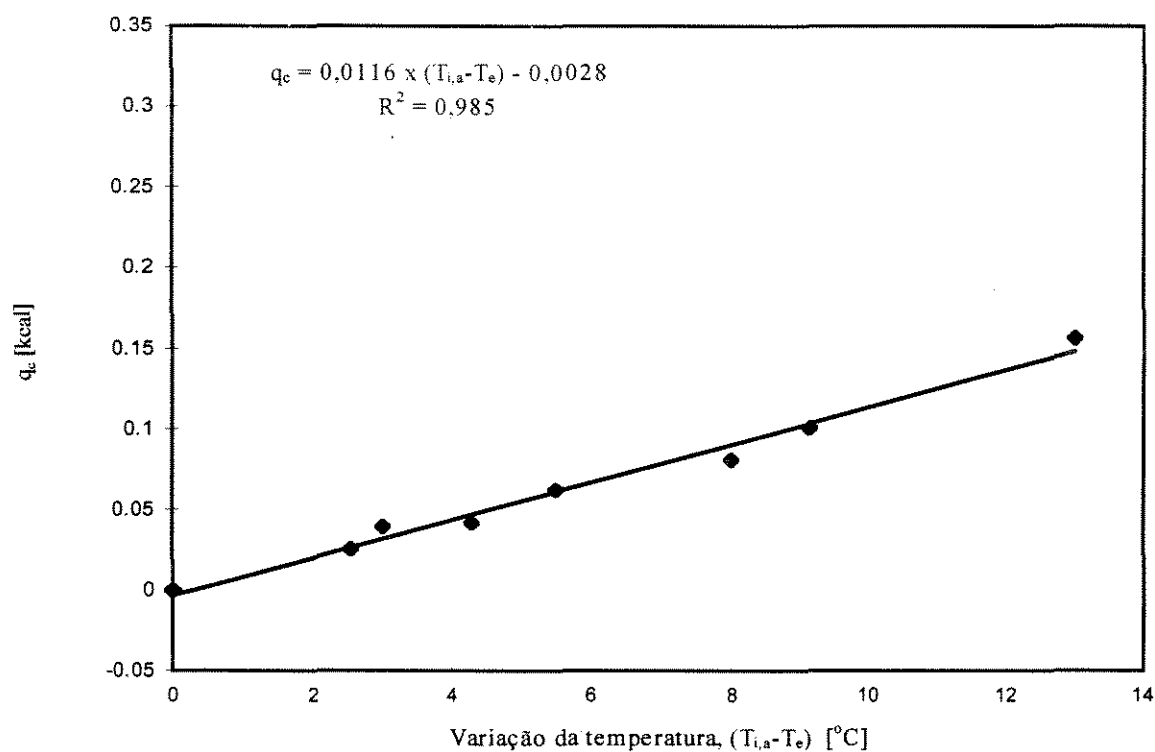


Figura A.2- Curva de calibração do calorímetro 2

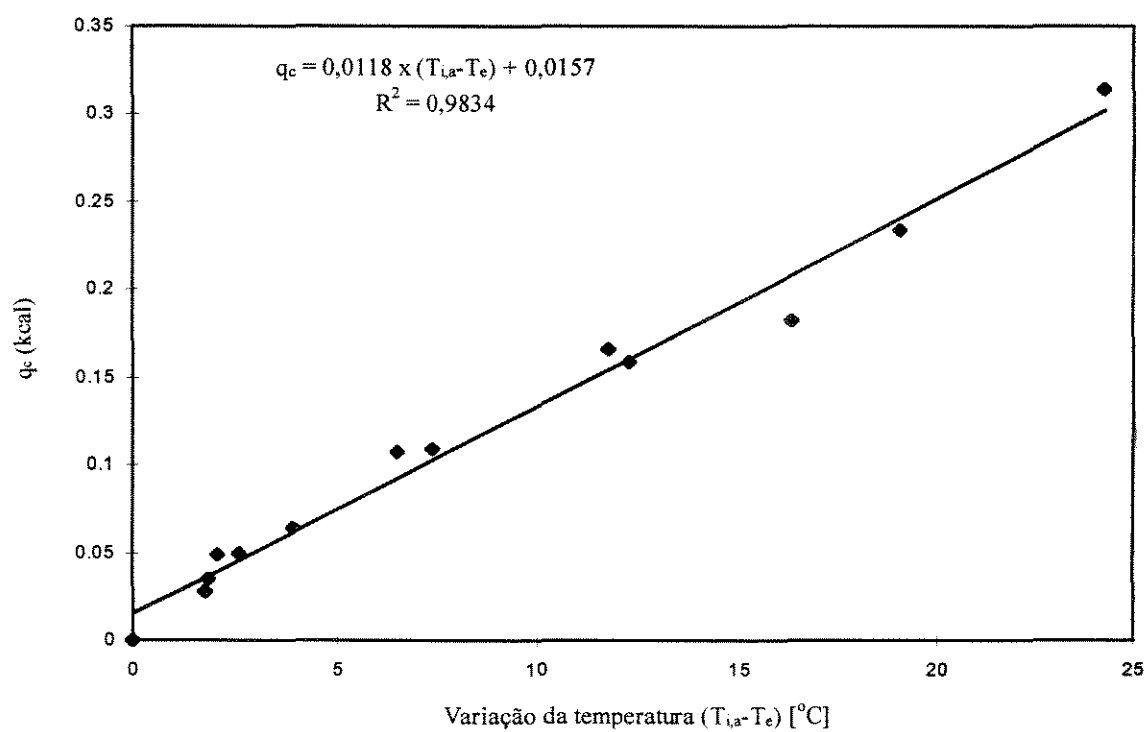


Figura A.3- Curva de calibração do calorímetro 3

APÊNDICE B

A seguir são mostradas as curvas de temperatura de início de congelamento das amostras estudadas.

•Fatias in natura

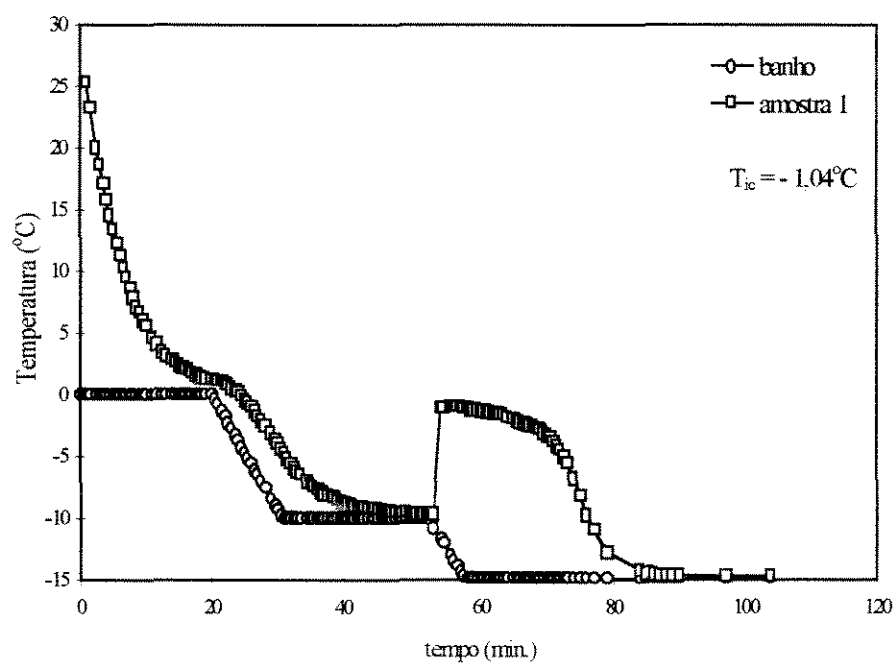


Figura B.1- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga *in natura*.

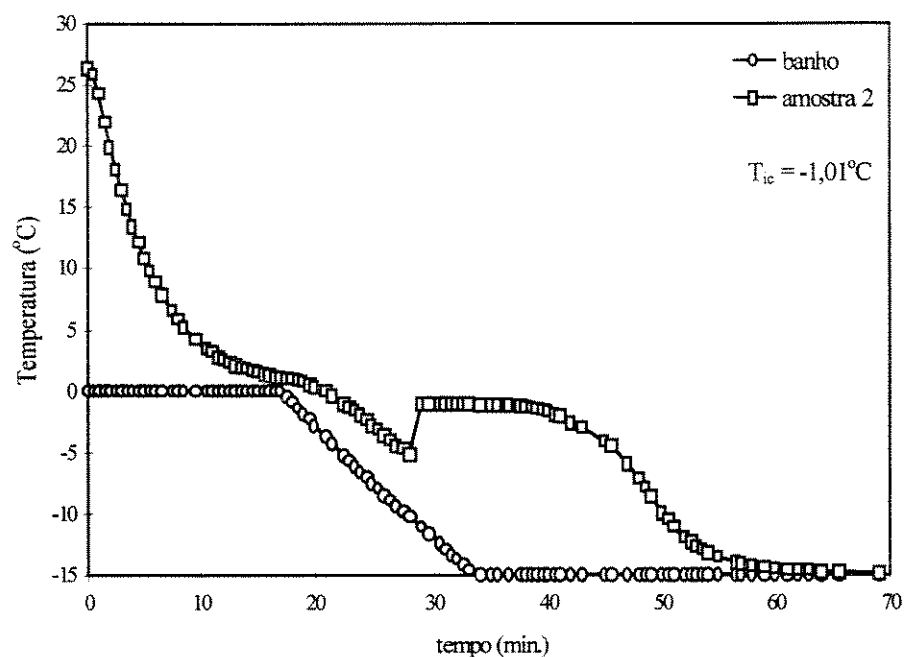


Figura B.2- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga *in natura*.

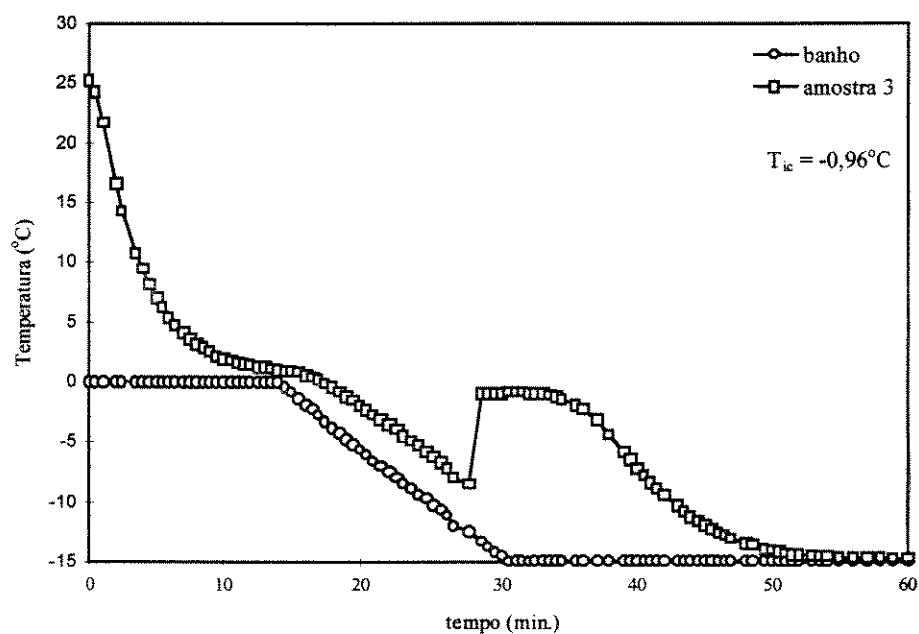


Figura B.3- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga *in natura*.

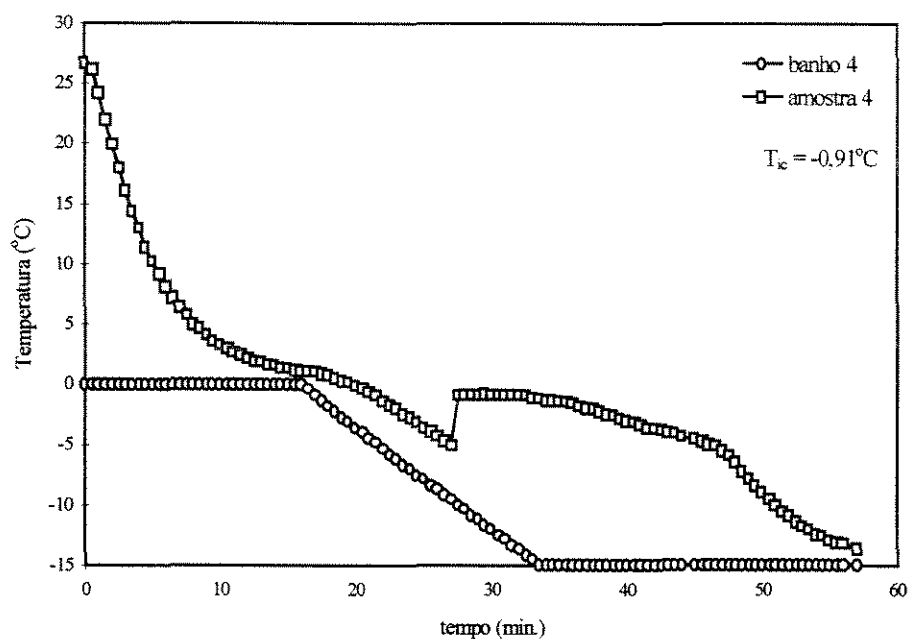


Figura B.4- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga *in natura*.

• Fatias desidratadas osmoticamente

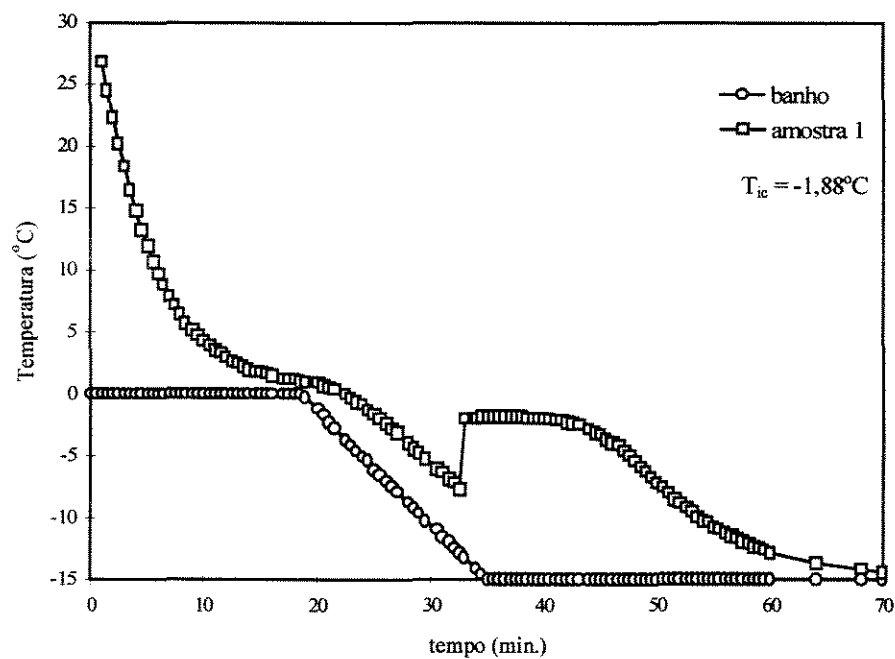


Figura B.5- Curva para a determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas osmoticamente (40% sacarose, 30 min.).

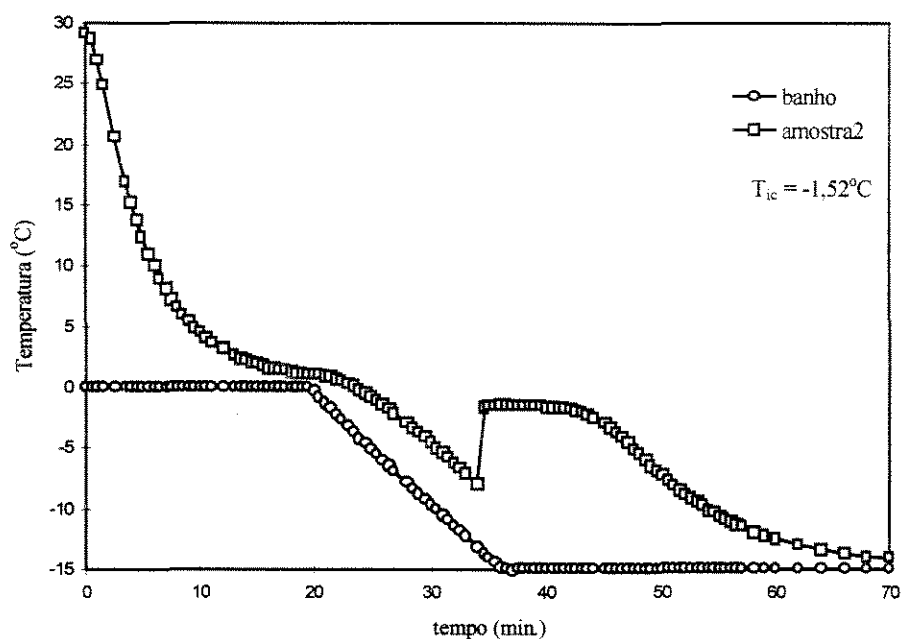


Figura B.6- Curva para a determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas osmoticamente (40% sacarose, 30 min.)

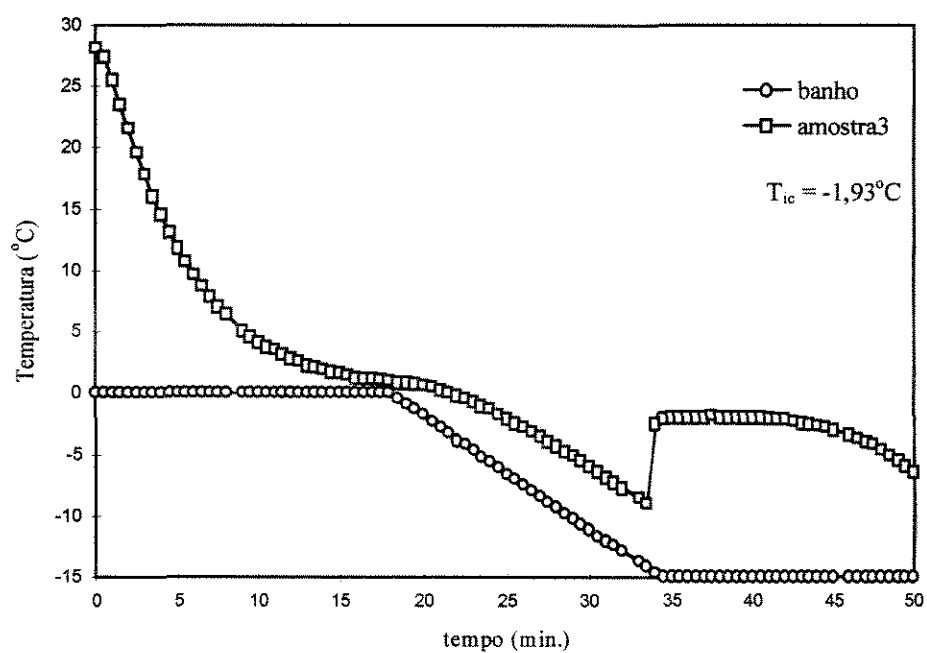


Figura B.7- Curva para a determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas osmoticamente (40% sacarose, 30 min.).

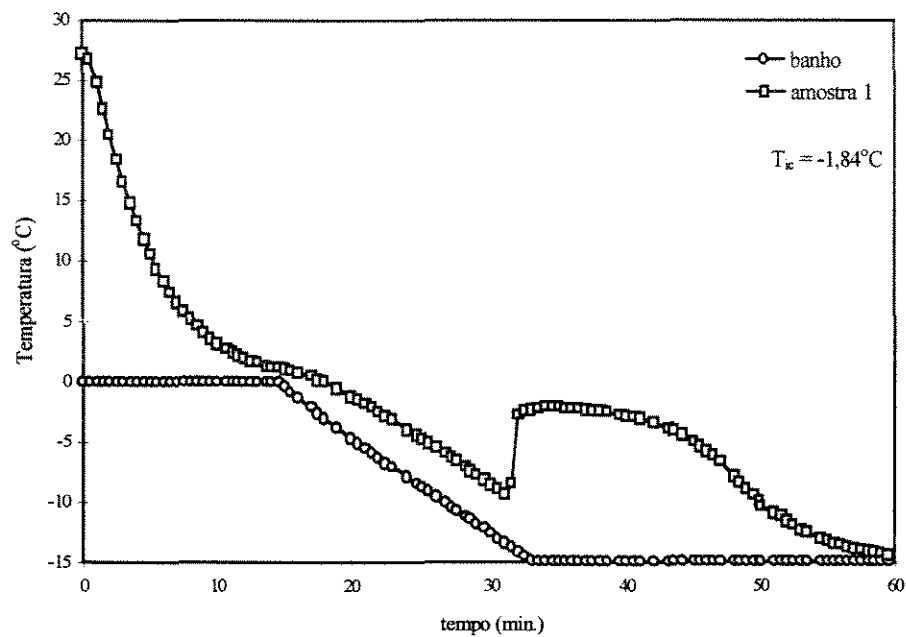


Figura B.8- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas osmoticamente (40% sacarose, 60 min.).

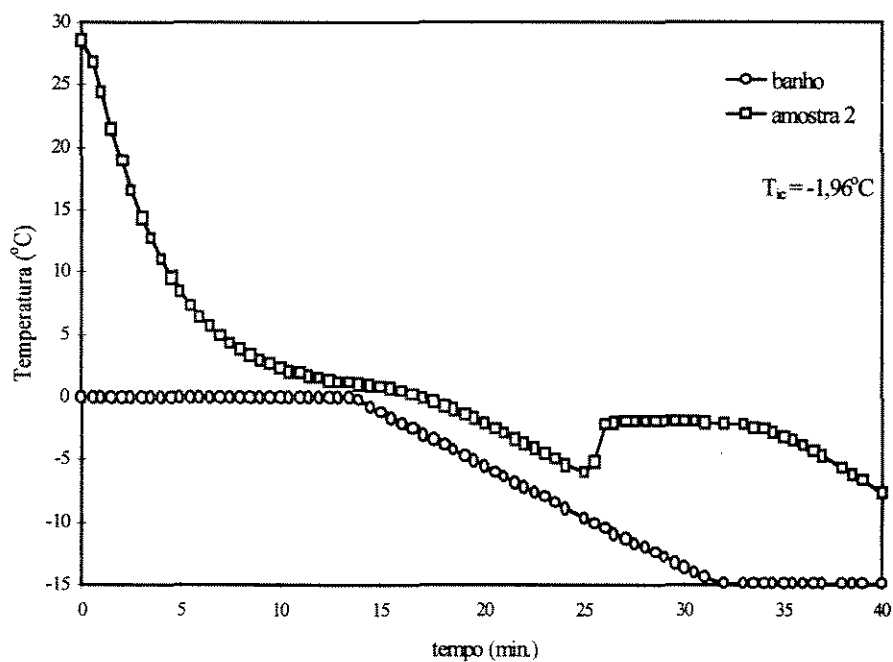


Figura B.9- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas osmoticamente (40% sacarose, 60 min.).

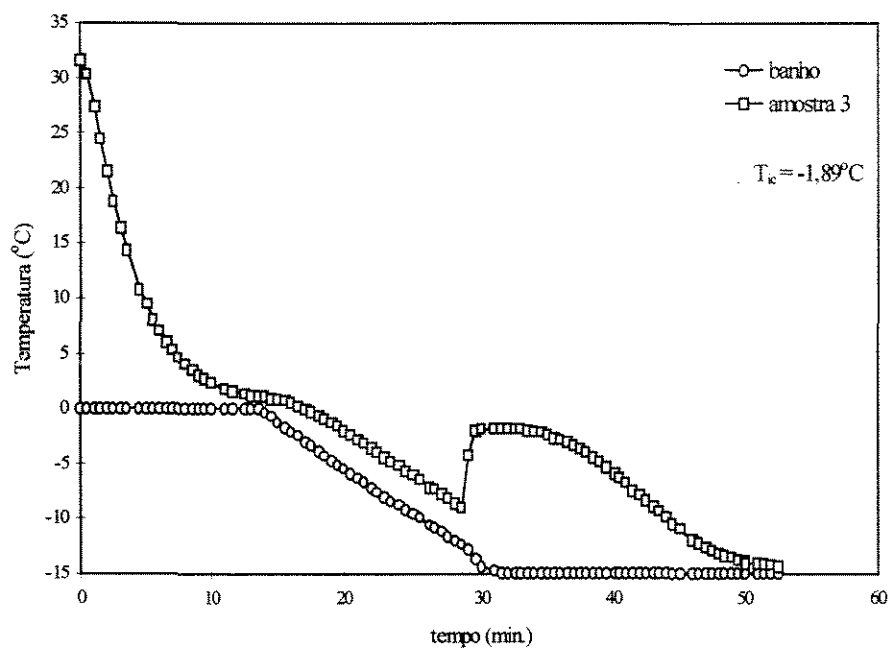


Figura B.10- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas osmoticamente (40% sacarose, 60 min.).

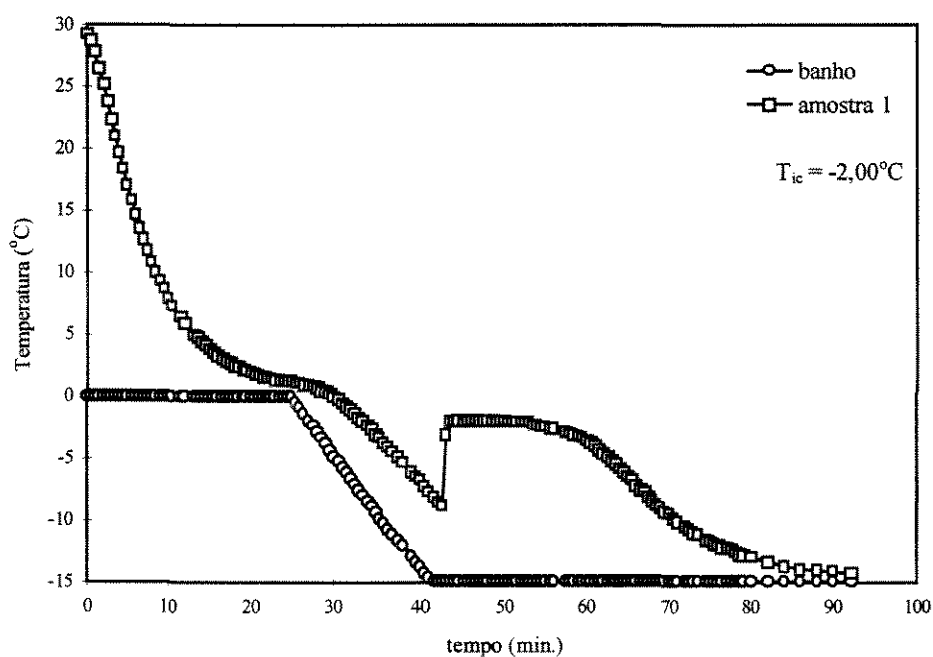


Figura B.11- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas osmoticamente (50% sacarose, 30 min.).

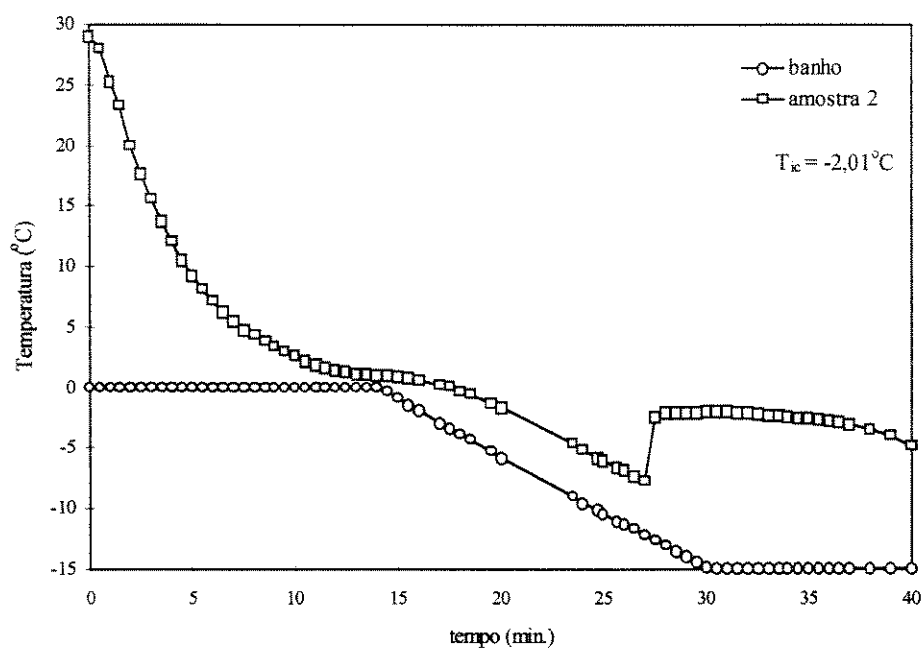


Figura B.12- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas osmoticamente (50% sacarose, 30 min.).

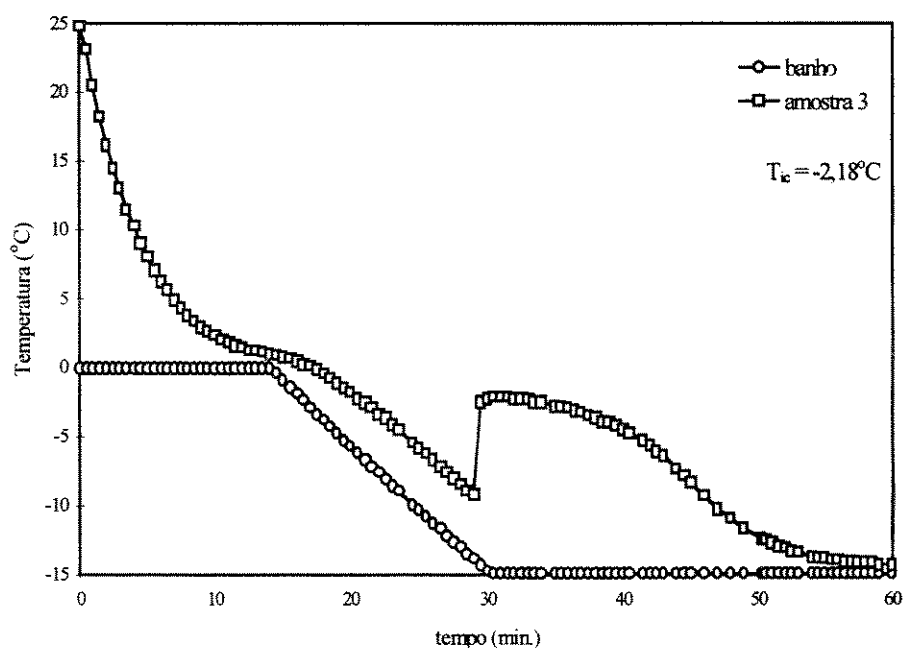


Figura B.13- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas osmoticamente (50% sacarose, 30 min.).

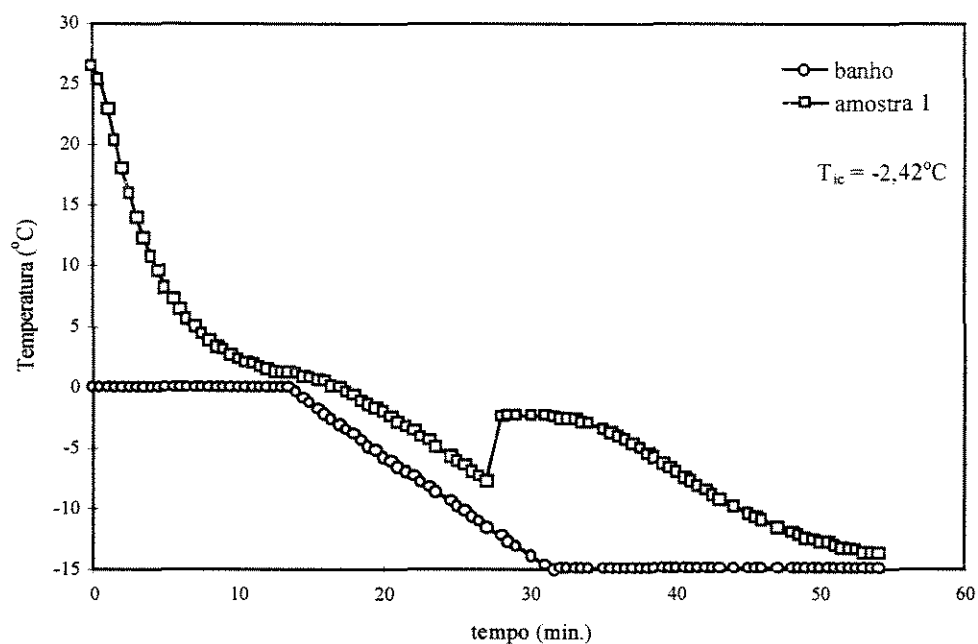


Figura B.14- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas osmoticamente (50% sacarose, 60 min.).

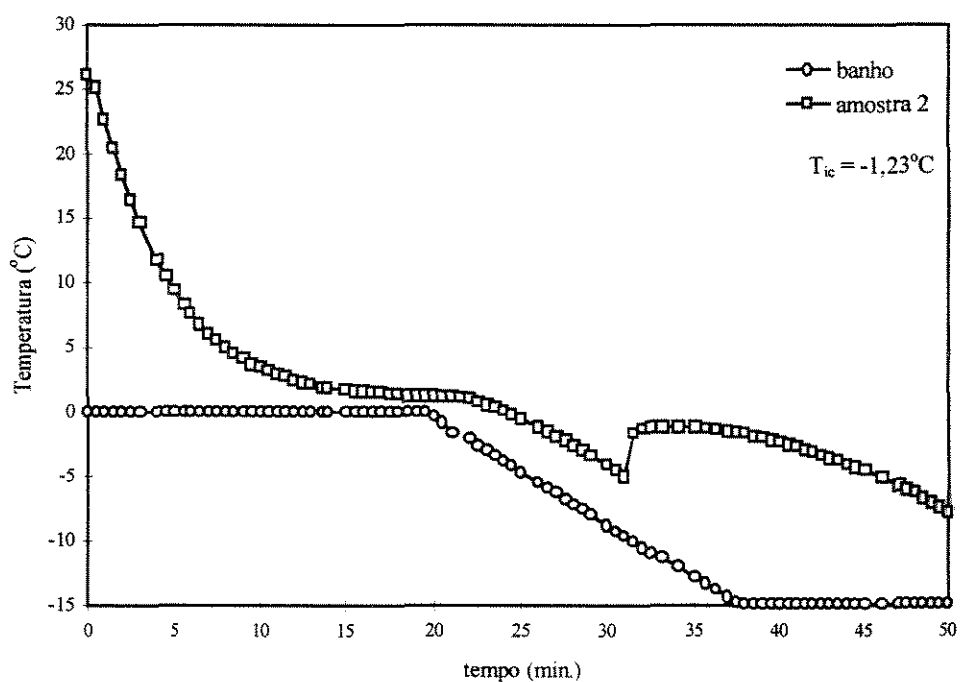


Figura B.15- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas osmoticamente (50% sacarose, 60 min.).

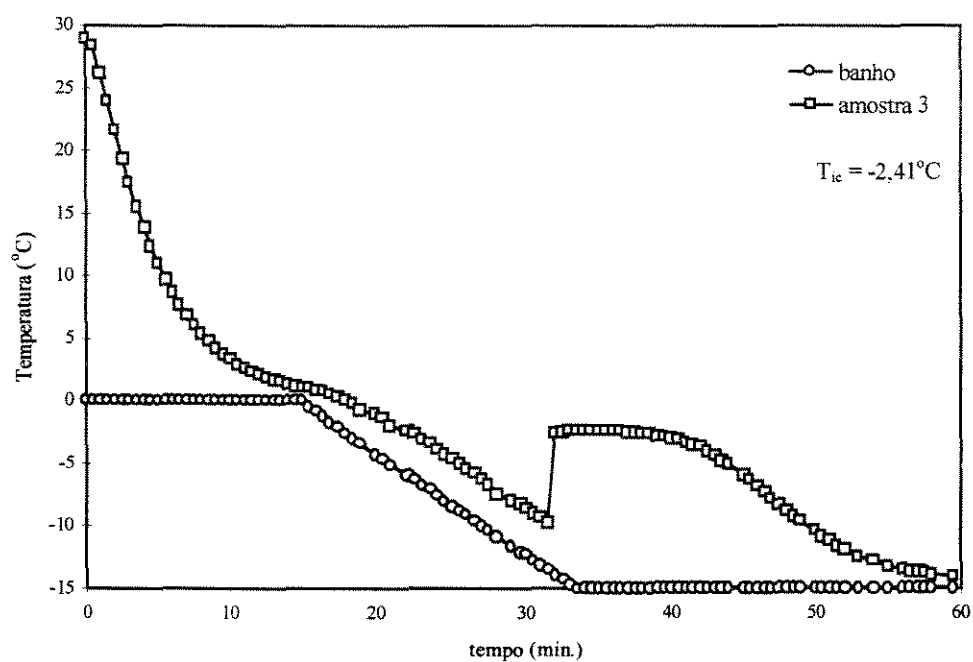


Figura B.16- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas osmoticamente (50% sacarose, 60 min.).

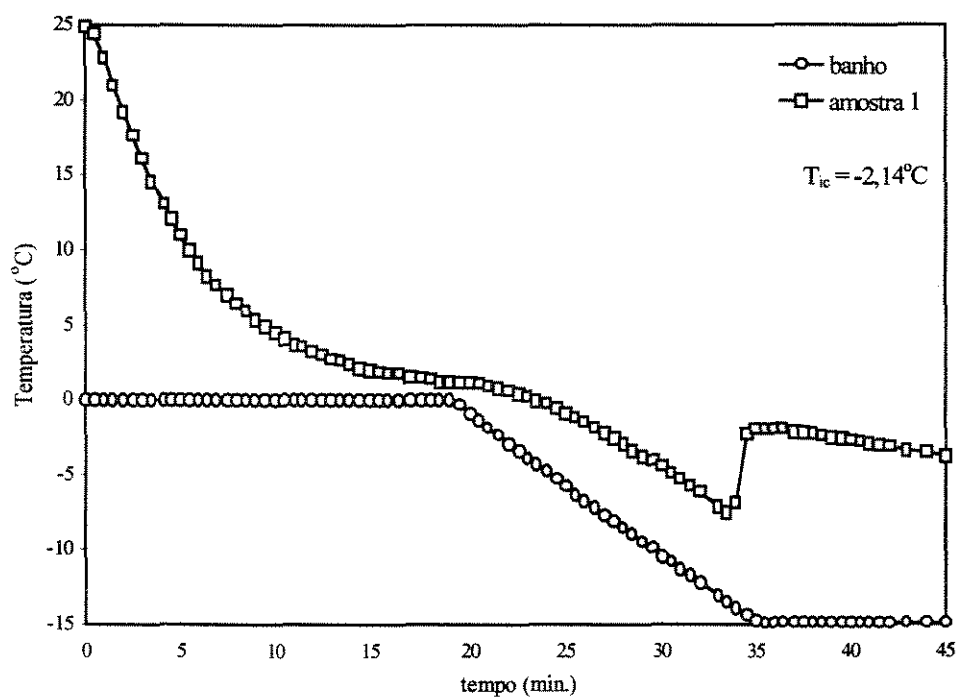


Figura B.17- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas osmoticamente (40% sacarose-10% glicerol, 30 min.).

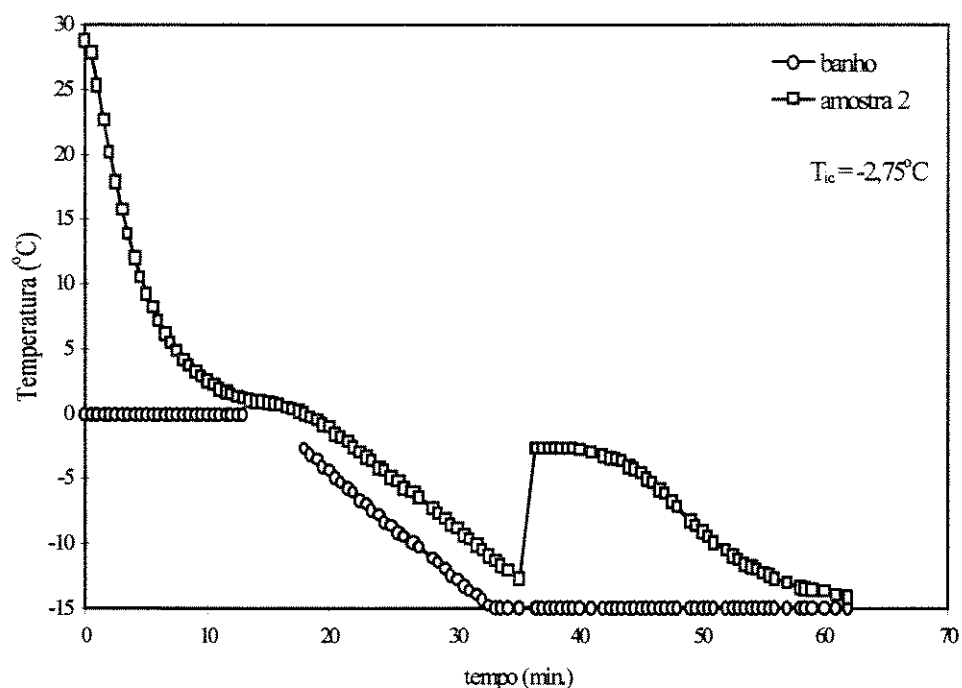


Figura B.18- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas osmoticamente (40% sacarose-10% glicerol, 30 min.).

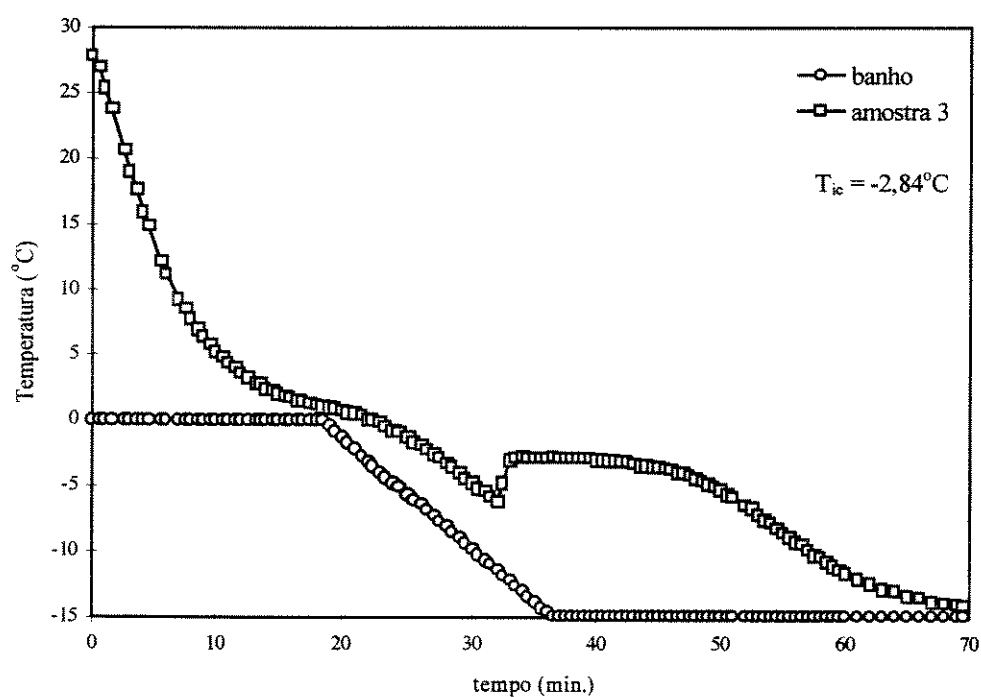


Figura B.19- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas osmoticamente (40% sacarose-10% glicerol, 30 min.).

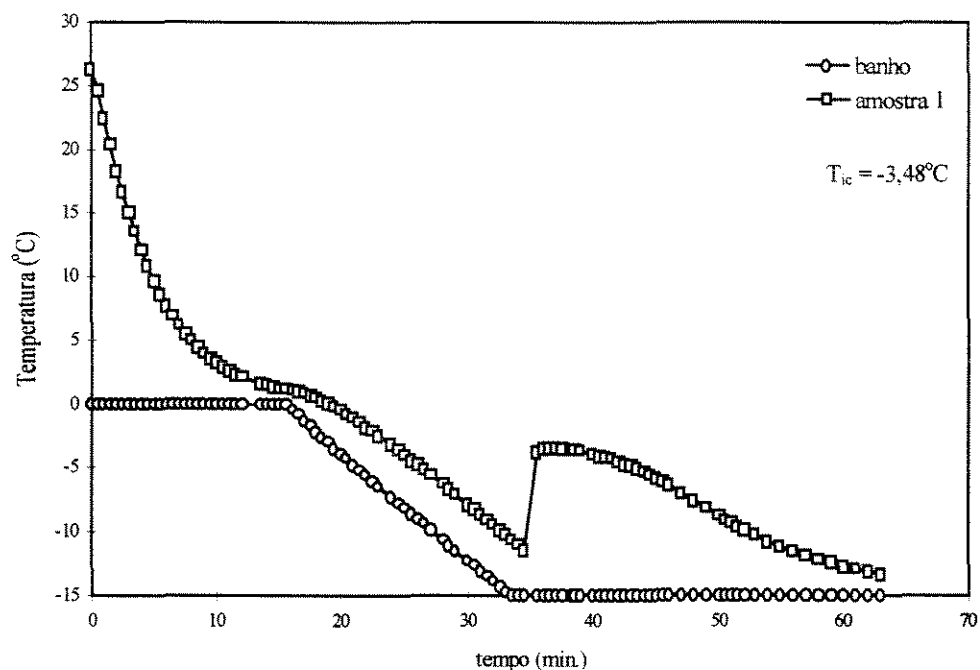


Figura B.20- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas osmoticamente (40% sacarose-10% glicerol, 60 min.).

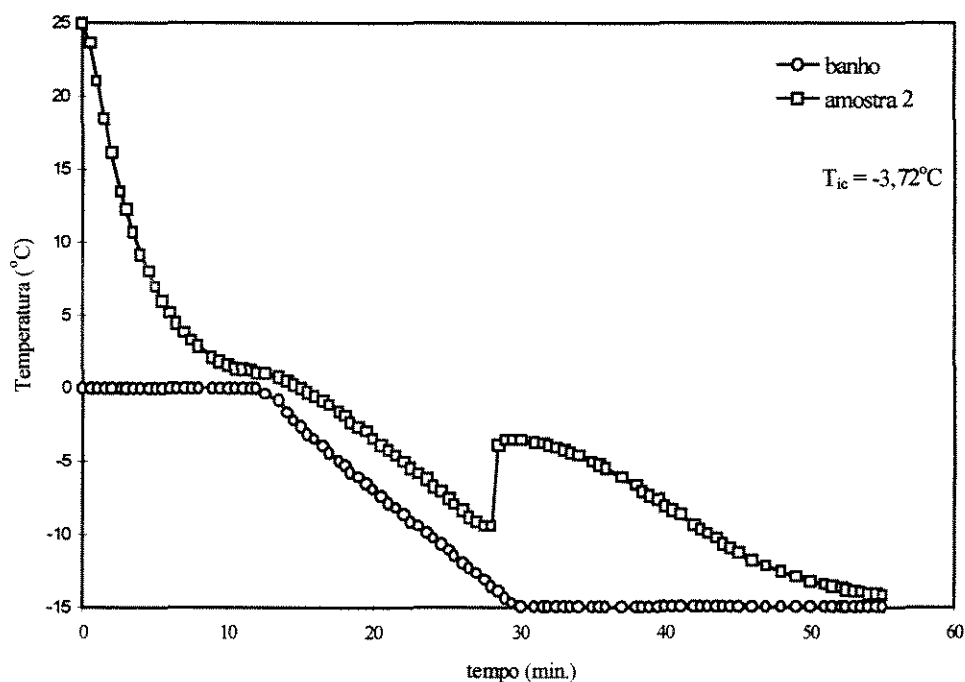


Figura B.21- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas osmoticamente (40% sacarose-10% glicerol, 60 min.).

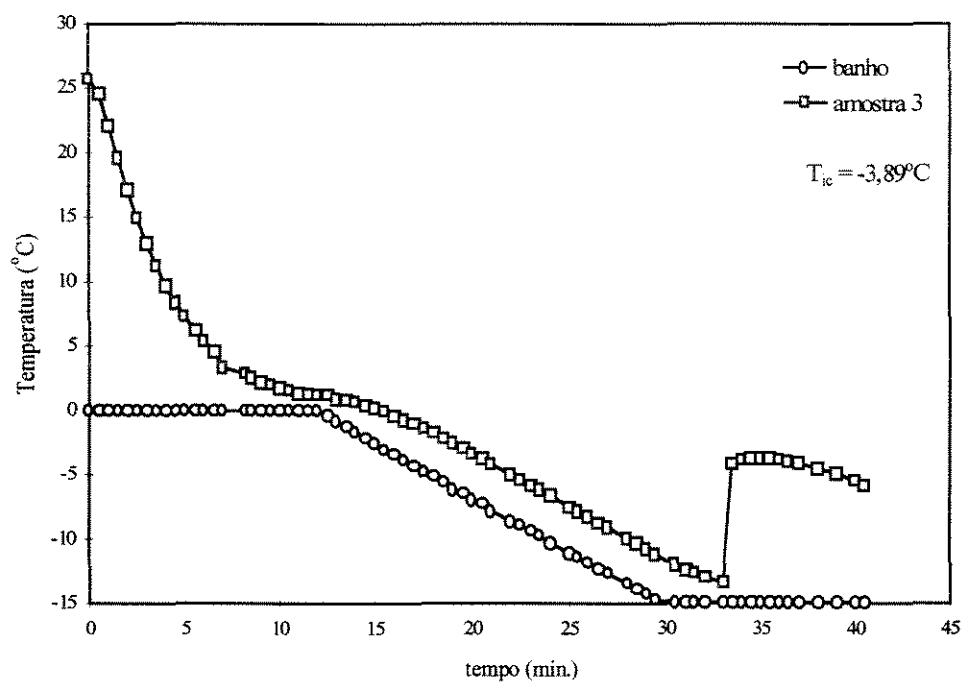


Figura B.22- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas osmoticamente (40% sacarose-10% glicerol, 60 min.).

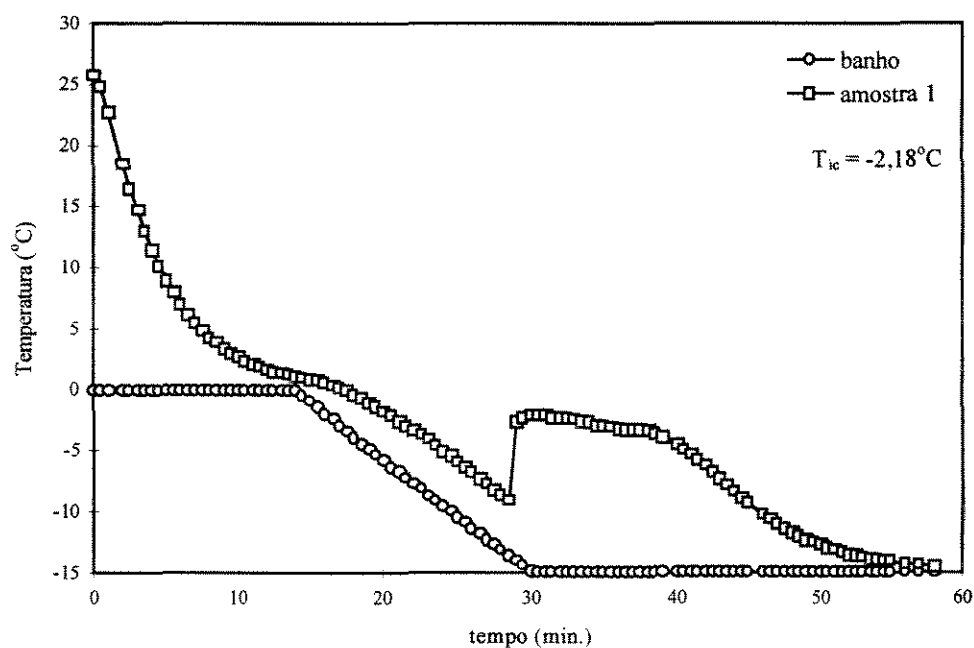


Figura B.23- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas osmoticamente (50% sacarose-10% glicerol, 30 min.).

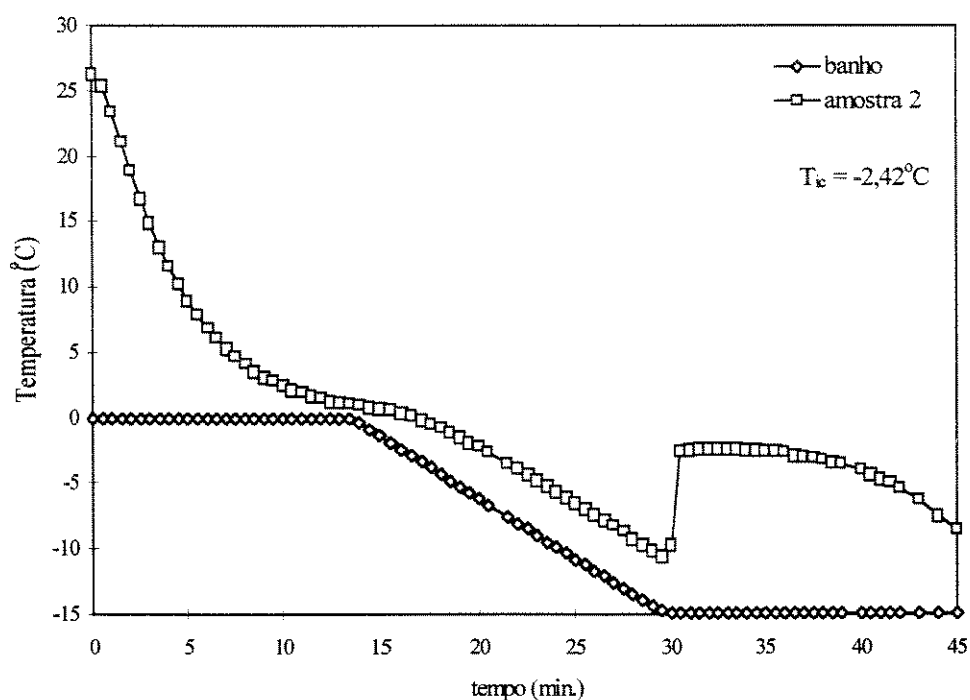


Figura B.24- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas osmoticamente (50% sacarose-10% glicerol, 30 min.).

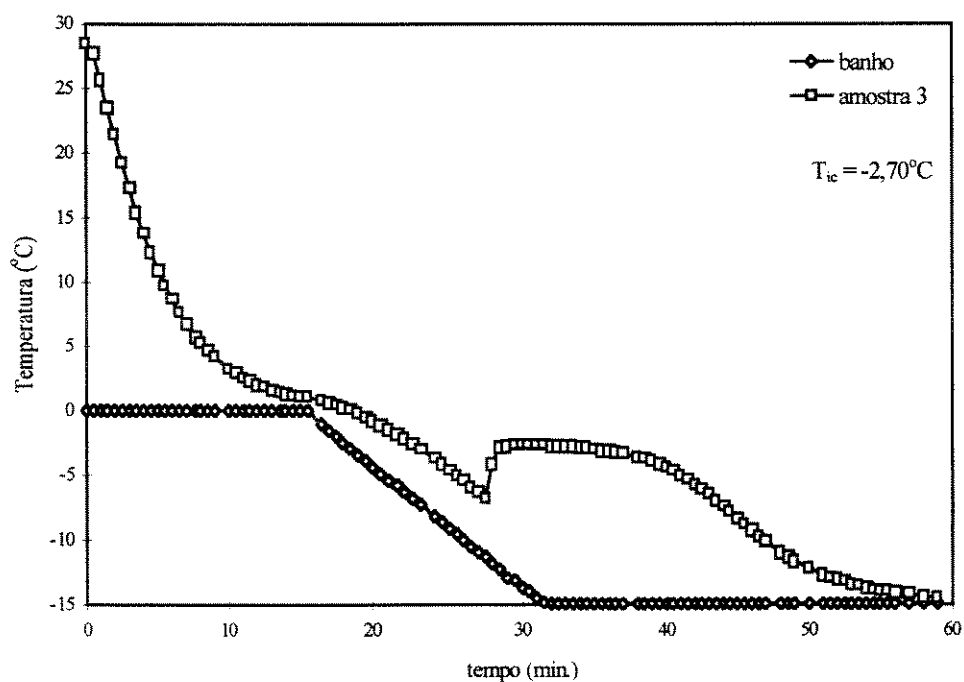


Figura B.25- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas osmoticamente (50% sacarose-10% glicerol, 30 min.).

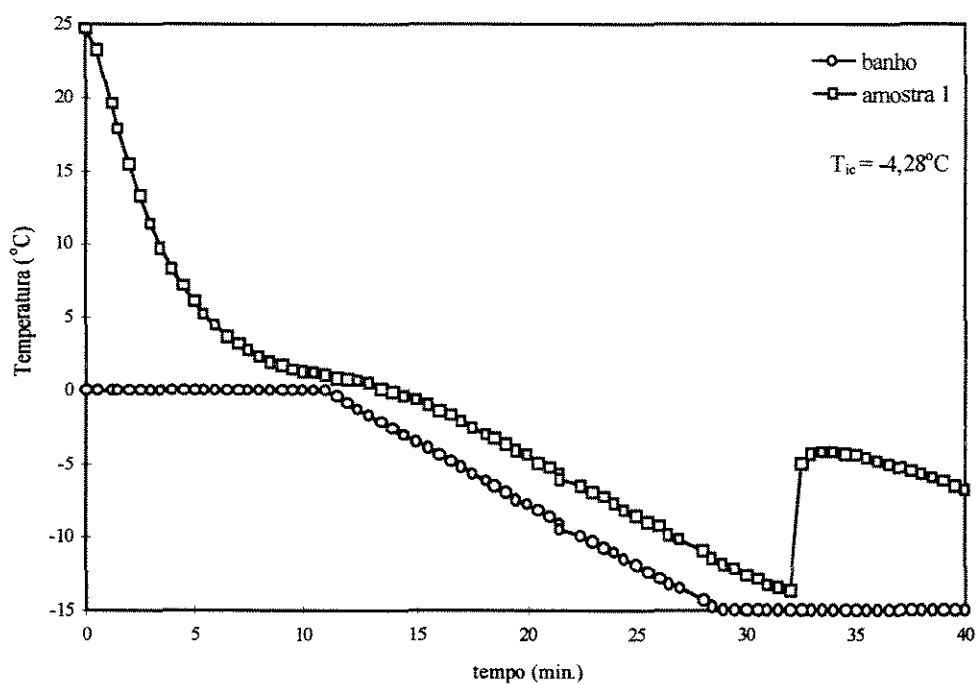


Figura B.26- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas osmoticamente (50% sacarose-10% glicerol, 60 min.).

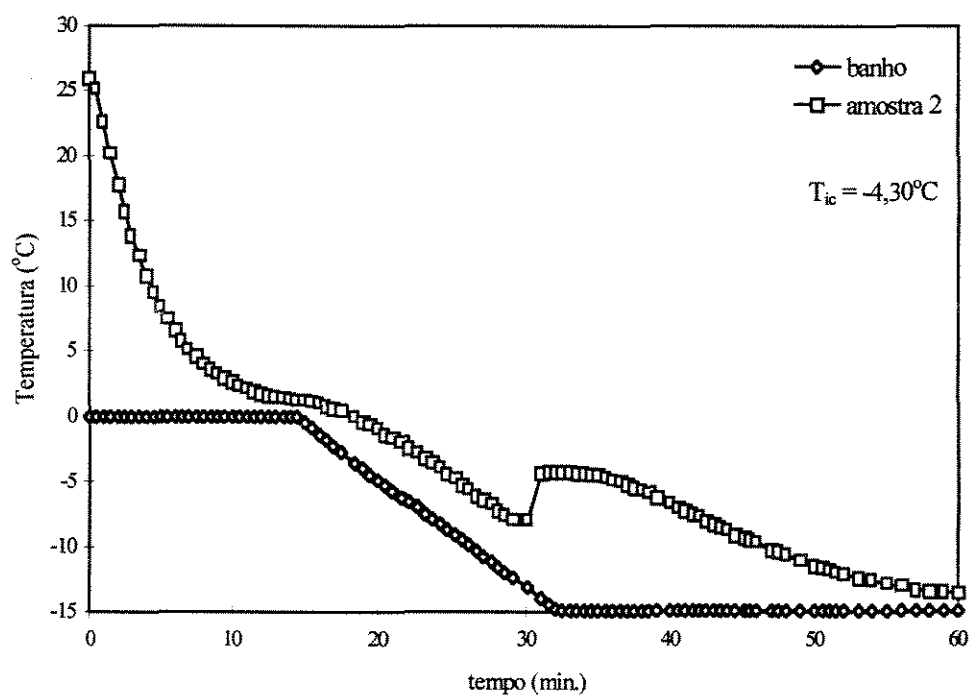


Figura B.27- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas osmoticamente (50% sacarose-10% glicerol, 60 min.).

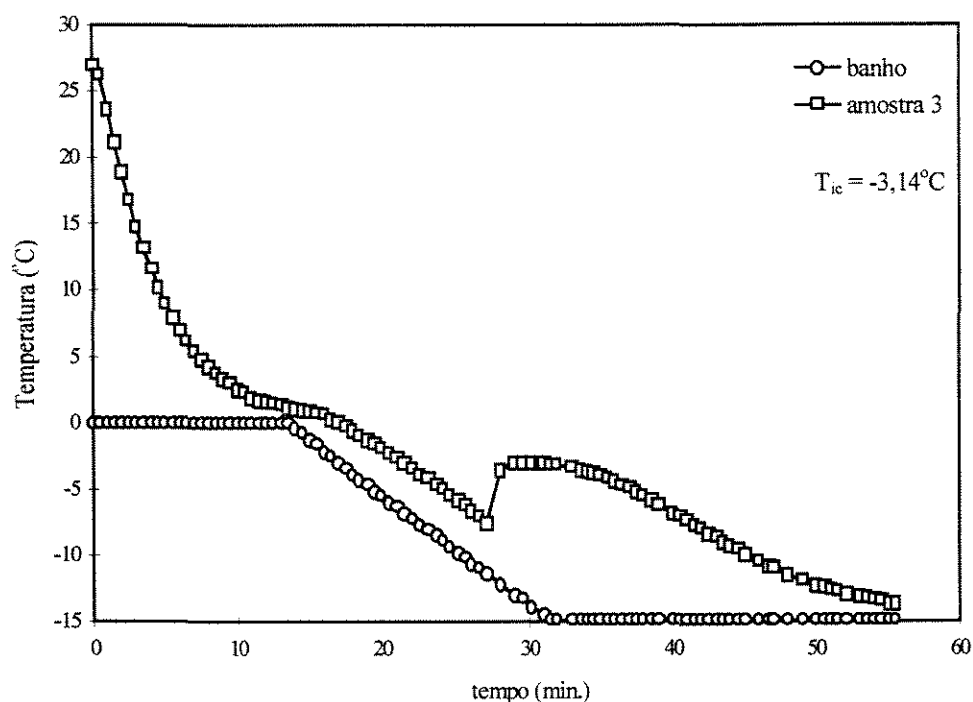


Figura B.28- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas osmoticamente (50% sacarose-10% glicerol, 60 min.).

• Fatias após secagem com ar

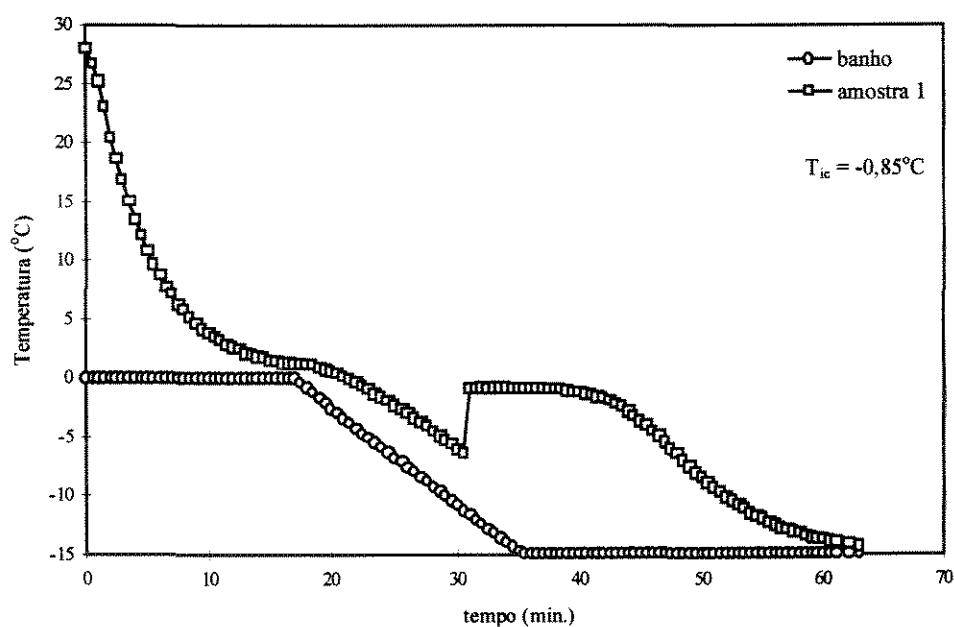


Figura B.29- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas com ar (15% de perda de massa).

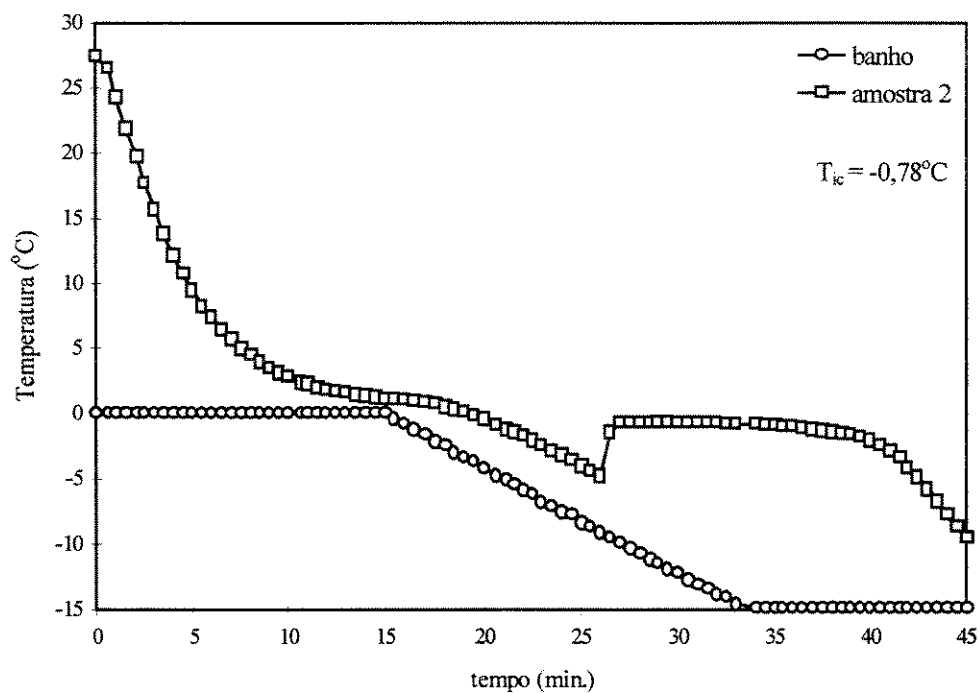


Figura B.30- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas com ar (15% de perda de massa).

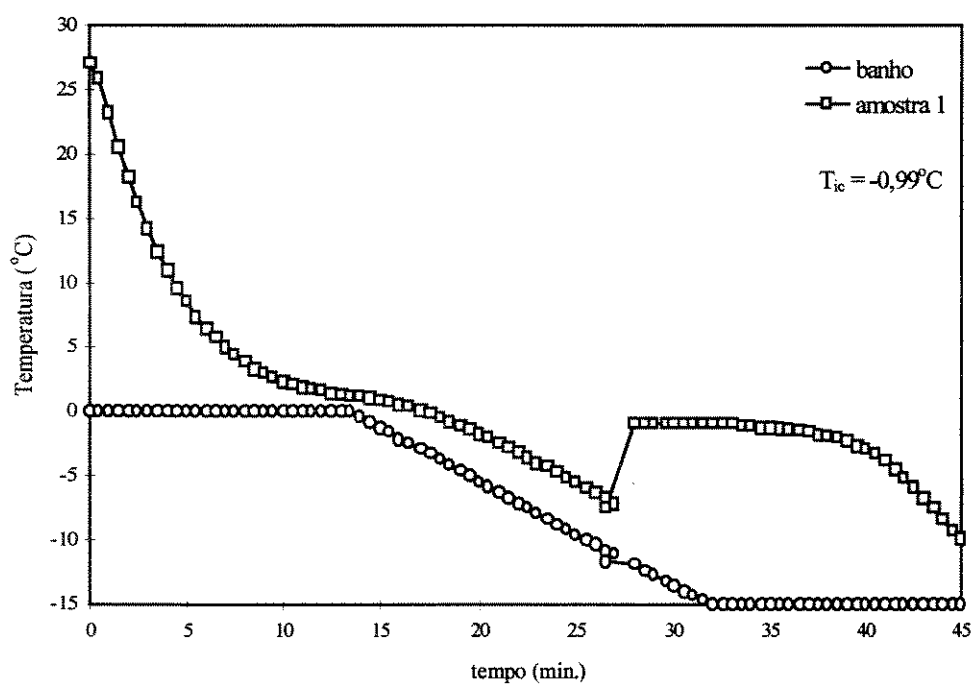


Figura B.31- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas com ar (25% de perda de massa).

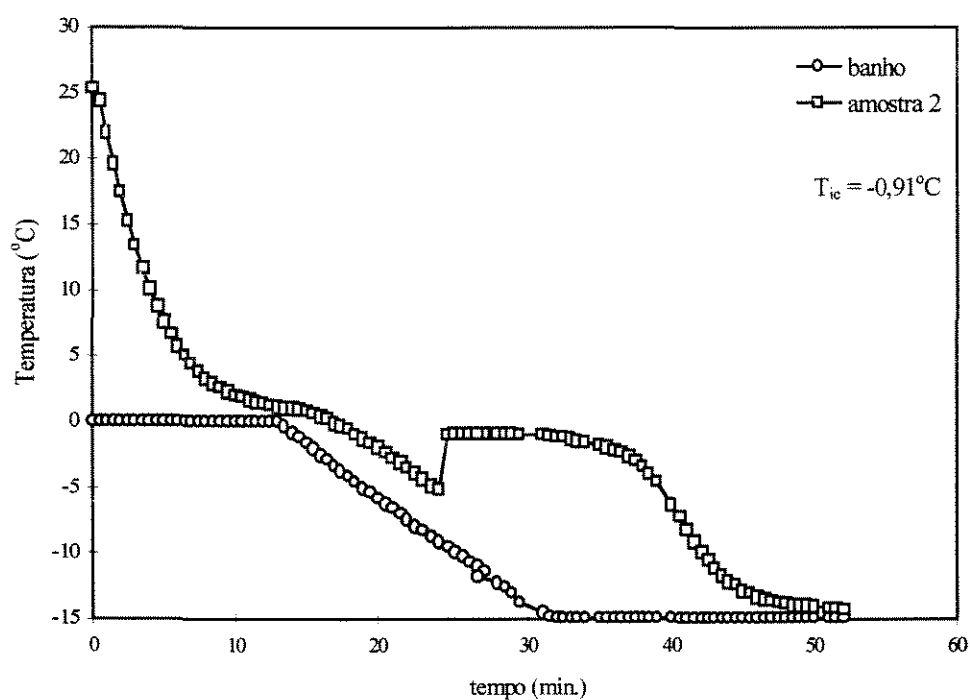


Figura B.32- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas com ar (25% de perda de massa).

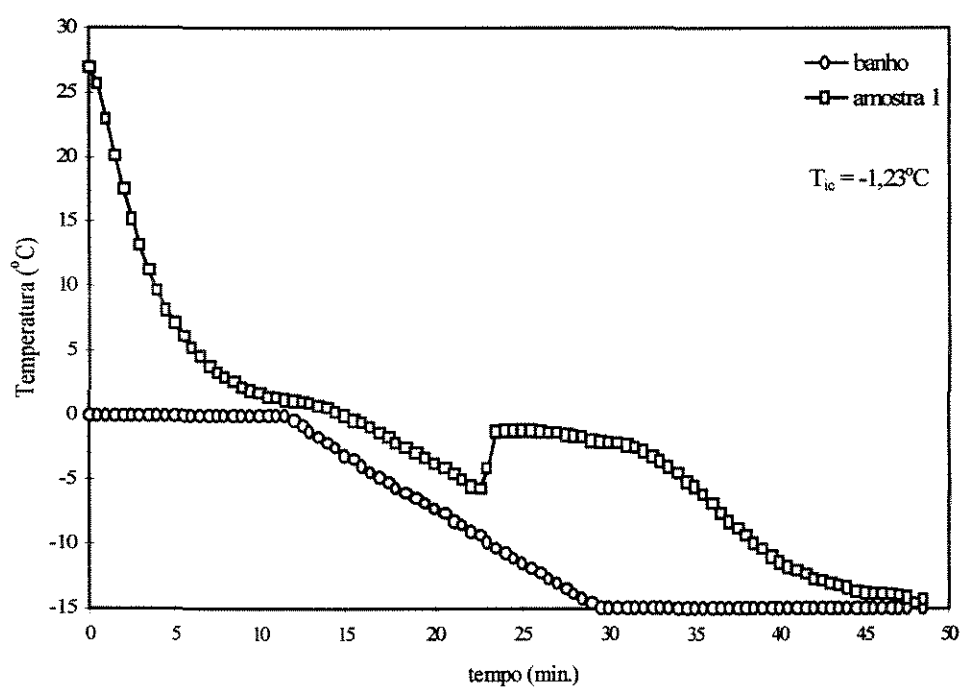


Figura B.33- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas com ar (35% de perda de massa).

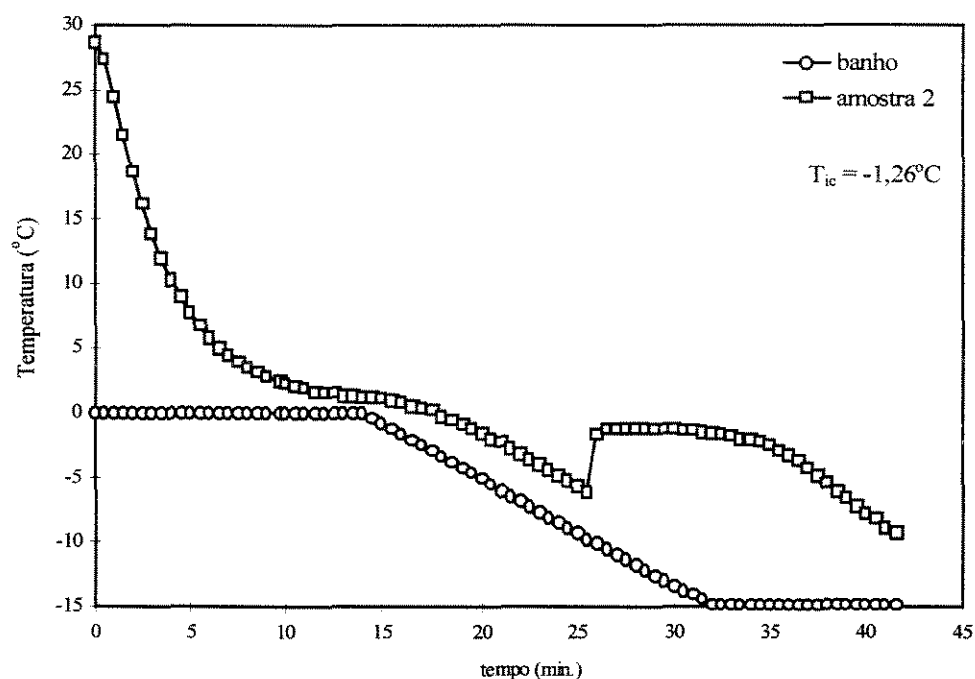


Figura B.34- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas com ar (35% de perda de massa).

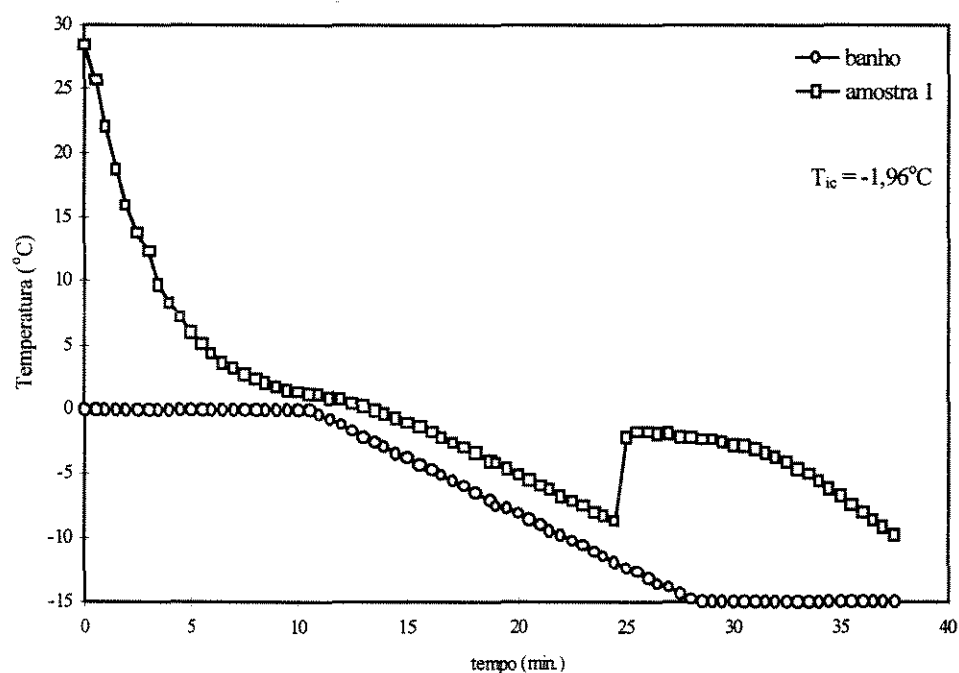


Figura B.35- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas com ar (45% de perda de massa).

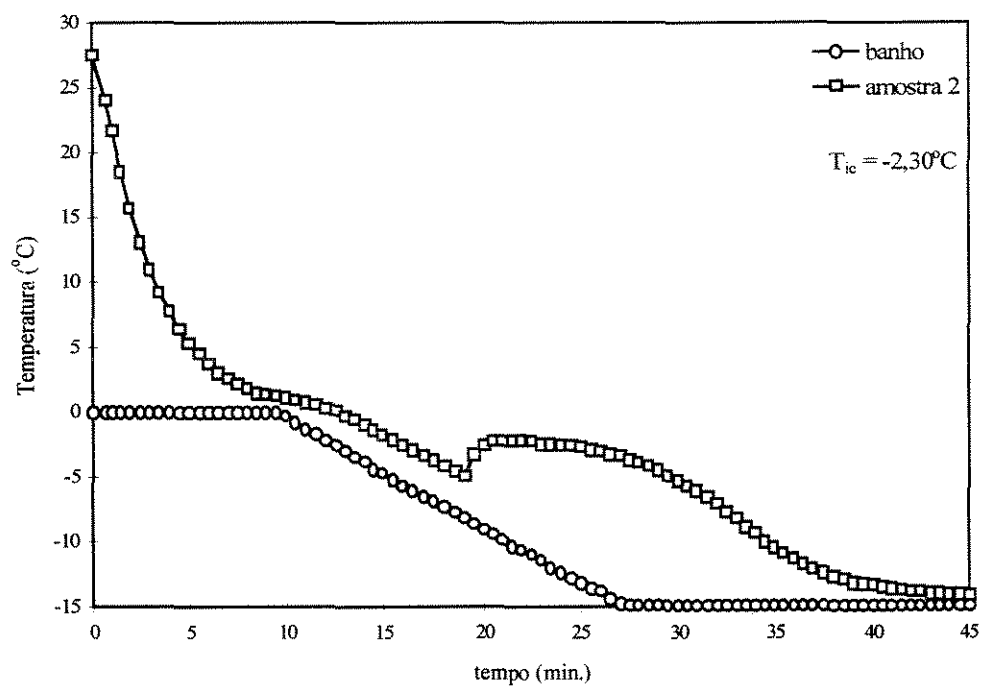


Figura B.36- Curva para determinação da temperatura de início de congelamento de fatias de manga desidratadas com ar (45% de perda de massa).

APÊNDICE C

Tabela C.1- Planilha utilizada no cálculo de entalpia de fatias de manga (*in natura* e desidratadas osmoticamente).

Tratamento	Garrafa	U _p (% b.u.)	M _{água} (g)	M _m (g)	T _p (°C)	T _{l,a} (°C)	T _e (°C)	C _{p,e}	T _{ic} (°C)	q _e (cal)	q _e /M _m	Hp (kg/kcal)
NATURA	1	84,70	31,14	4,16	-39,65	25,94	17,35	0,91	-1,00	106,99	25,72	73,31
	1	84,70	31,04	3,48	-39,65	25,54	18,26	0,91	-1,00	90,27	25,94	73,38
	2	84,70	30,59	3,78	-39,65	25,99	17,23	0,91	-1,00	98,84	26,15	80,50
	1	84,70	31,02	3,33	-39,65	25,84	18,21	0,91	-1,00	94,76	28,46	82,09
40% 30 min.	2	77,65	32,52	2,70	-39,65	24,41	19,51	0,87	-1,78	54,05	20,02	60,62
	2	77,65	31,02	3,09	-39,65	25,55	19,26	0,87	-1,78	70,12	22,69	67,58
	2	77,65	30,43	2,61	-39,65	26,83	21,24	0,87	-1,78	62,08	23,78	69,06
40% 60 min.	1	77,66	30,31	2,16	-39,65	25,44	20,82	0,87	-1,90	56,22	26,03	71,17
	3	77,66	30,67	2,36	-39,65	23,86	19,36	0,87	-1,90	68,74	29,13	69,13
	1	77,66	31,42	2,12	-39,65	26,04	21,92	0,87	-1,90	49,78	23,48	63,86
	3	77,66	30,82	2,48	-39,65	25,48	20,76	0,87	-1,90	71,40	28,79	67,83
50% 30 min.	2	74,90	30,61	3,10	-39,65	25,45	19,21	0,85	-2,06	69,55	22,44	65,95
	1	74,90	48,60	2,75	-39,65	25,94	21,82	0,85	-2,06	49,80	18,11	70,58
	3	74,90	30,00	2,38	-39,65	24,98	19,72	0,85	-2,06	77,75	32,67	80,45
	3	74,90	30,57	2,62	-39,65	25,25	20,26	0,85	-2,06	74,57	28,46	67,72
50% 60 min.	3	72,44	30,06	3,17	-39,65	23,00	17,39	0,83	-2,41	82,00	25,87	62,63
	1	72,44	30,80	3,47	-39,65	26,84	19,91	0,83	-2,41	85,77	24,72	67,57
	1	72,44	31,91	2,93	-39,65	23,63	17,60	0,83	-2,41	74,21	25,33	74,23
	2	72,44	30,46	3,19	-39,65	23,42	17,13	0,83	-2,41	70,13	21,98	65,71
40%10% 30 min.	2	74,03	30,86	2,58	-39,65	27,23	22,38	0,84	-2,58	53,47	20,73	57,68
	1	74,03	31,11	3,05	-39,65	28,15	22,32	0,84	-2,58	71,63	23,49	61,86
	3	74,03	31,35	3,07	-39,65	26,69	20,98	0,84	-2,58	83,07	27,06	65,47
	1	74,03	30,20	2,83	-39,65	28,55	22,72	0,84	-2,58	71,63	25,31	66,09
40%10% 60 min.	2	68,65	30,08	2,14	-39,65	24,85	21,19	0,81	-3,70	39,69	18,55	49,83
	1	68,65	30,91	2,70	-39,65	25,03	19,91	0,81	-3,70	62,64	23,20	62,65
	2	68,65	30,67	2,18	-39,65	27,62	23,47	0,81	-3,70	45,43	20,84	57,28
	3	68,65	30,91	2,07	-39,65	26,60	23,05	0,81	-3,70	57,61	27,83	59,14
50%10% 30 min.	1	74,17	31,82	2,41	-39,65	27,84	23,33	0,85	-2,56	54,93	22,79	60,57
	3	74,17	30,98	2,38	-39,65	26,51	21,83	0,85	-2,56	70,87	29,78	70,02
	2	74,17	30,69	2,43	-39,65	27,23	22,48	0,85	-2,56	52,32	21,53	60,39
	3	74,17	31,12	1,79	-39,65	26,51	23,45	0,85	-2,56	51,77	28,92	60,09
50%10% 60 min.	3	68,00	30,48	1,72	-39,65	25,79	22,91	0,81	-4,29	49,65	28,87	57,87
	2	68,00	30,48	2,10	-39,65	27,33	23,47	0,81	-4,29	41,99	19,99	53,61
	1	68,00	30,71	1,95	-39,65	26,04	22,42	0,81	-4,29	43,36	22,24	57,57
	2	68,00	30,29	1,76	-39,65	27,62	24,75	0,81	-4,29	30,50	17,33	43,28
NATURA	1	84,70	30,58	3,06	-20,00	25,64	19,21	0,91	-1,00	79,34	25,93	71,78
	2	84,70	31,30	3,27	-20,00	27,53	20,99	0,91	-1,00	72,99	22,32	64,89
	3	84,70	29,98	3,57	-20,00	26,60	19,59	0,91	-1,00	98,45	27,58	67,77
	1	84,70	30,06	3,17	-20,00	28,25	21,62	0,91	-1,00	81,93	25,84	68,14
	3	84,70	30,41	3,30	-20,00	24,26	18,24	0,91	-1,00	86,77	26,29	64,32
40% 30 min.	3	76,11	30,64	2,79	-20,00	26,04	20,94	0,86	-1,78	75,93	27,21	63,81
	1	76,11	30,64	3,10	-20,00	26,44	21,12	0,86	-1,78	65,22	21,04	54,03
	1	76,11	30,64	3,00	-20,00	28,45	22,72	0,86	-1,78	70,35	23,45	60,91
	3	76,11	30,92	2,82	-20,00	27,38	21,39	0,86	-1,78	86,41	30,64	76,49
40% 60 min.	1	74,59	30,81	2,67	-20,00	25,54	21,22	0,85	-1,90	52,36	19,61	49,84
	2	74,59	31,85	2,50	-20,00	25,45	21,29	0,85	-1,90	45,43	18,17	51,49
	3	74,59	31,06	2,55	-20,00	26,69	23,00	0,85	-1,90	59,19	23,21	47,00
	2	74,59	30,84	2,48	-20,00	27,33	22,77	0,85	-1,90	50,03	20,17	55,89

Tabela C.1- (continuação)

Tratamento	Garrafa	U _p (% b.u.)	M _{gum} (g)	M _m (g)	T _p (°C)	T _{la} (°C)	T _e (°C)	C _{p,a}	T _e (°C)	q _p (cal)	q _p /M _m	Hp (kg/kcal)
50% 30 min.	2	75.01	30.30	3.04	-20.00	23.57	18.57	0.85	-2.06	55.19	18.15	50.45
	2	75.01	30.15	2.36	-20.00	27.23	22.77	0.85	-2.06	48.88	20.71	56.51
	3	75.01	30.60	2.74	-20.00	25.88	21.12	0.85	-2.06	71.92	26.25	59.75
	1	75.01	31.11	2.46	-20.00	27.54	23.03	0.85	-2.06	54.93	22.33	58.14
50% 60 min.	1	68.15	30.63	2.49	-20.00	27.34	23.33	0.81	-2.41	48.50	19.48	48.06
	2	68.15	31.02	2.93	-20.00	27.53	22.87	0.81	-2.41	51.17	17.47	46.28
40% 10% 30 min.	3	72.52	30.97	2.78	-20.00	24.80	20.26	0.84	-2.58	69.27	24.92	56.42
	1	72.52	30.46	2.39	-20.00	27.04	23.23	0.84	-2.58	45.93	19.22	46.29
	2	72.52	31.14	2.70	-20.00	26.14	22.18	0.84	-2.58	43.14	15.98	40.97
	1	72.52	30.28	3.03	-20.00	25.74	20.62	0.84	-2.58	62.65	20.68	52.48
40% 10% 60 min.	2	70.31	31.34	2.48	-20.00	26.73	23.47	0.82	-3.70	35.10	14.15	33.11
	3	70.31	30.26	3.12	-20.00	26.38	21.75	0.82	-3.70	70.33	22.54	46.53
	1	70.31	30.03	3.04	-20.00	27.84	23.63	0.82	-3.70	51.08	16.80	36.00
	3	70.31	31.13	2.36	-20.00	26.78	23.45	0.82	-3.70	54.95	23.28	44.84
50% 10% 30 min.	3	68.73	31.50	2.68	-20.00	25.52	21.93	0.81	-2.56	58.13	21.69	44.07
	2	68.73	30.54	2.41	-20.00	25.74	22.18	0.81	-2.56	38.54	15.99	41.06
	3	68.73	32.83	2.19	-20.00	23.27	20.49	0.81	-2.56	48.59	22.19	45.24
	1	68.73	30.60	2.74	-20.00	26.94	22.93	0.81	-2.56	48.50	17.70	41.85
50% 10% 60 min.	3	67.89	31.05	2.49	-20.00	25.34	21.75	0.81	-4.29	58.13	23.35	47.17
	2	67.89	30.59	2.25	-20.00	25.74	22.28	0.81	-4.29	37.39	16.62	42.28
	1	67.89	30.80	2.42	-20.00	27.84	24.13	0.81	-4.29	44.65	18.45	42.79
	2	67.89	31.00	2.60	-20.00	27.67	23.96	0.81	-4.29	40.27	15.49	36.95
NATURA	1	81.90	30.42	3.23	-10.00	26.64	21.02	0.89	-1.00	69.06	21.38	54.70
	2	81.90	30.36	3.44	-10.00	27.87	21.68	0.89	-1.00	68.98	20.05	54.44
	1	81.90	29.81	3.40	-10.00	27.84	21.62	0.89	-1.00	76.78	22.58	57.00
	3	81.90	31.22	3.04	-10.00	25.70	20.76	0.89	-1.00	74.05	24.36	55.75
40% 30 min.	1	79.09	31.50	3.26	-10.00	28.85	23.33	0.87	-1.78	67.78	20.79	52.19
	2	79.09	32.81	3.09	-10.00	28.12	23.47	0.87	-1.78	51.17	16.56	43.89
	3	79.09	30.56	3.10	-10.00	27.14	22.42	0.87	-1.78	71.40	23.03	48.40
	2	79.09	30.73	3.12	-10.00	27.13	22.18	0.87	-1.78	54.62	17.51	45.31
40% 60 min.	1	77.48	30.41	2.89	-10.00	28.35	24.73	0.86	-1.90	43.36	15.00	30.00
	1	77.48	31.39	3.10	-10.00	29.85	25.13	0.86	-1.90	57.50	18.55	42.95
	3	77.48	31.62	2.73	-10.00	26.87	23.72	0.86	-1.90	52.82	19.35	33.63
	2	77.48	30.76	2.98	-10.00	26.63	21.98	0.86	-1.90	51.17	17.17	44.55
50% 30 min.	3	78.32	30.98	2.98	-10.00	25.43	21.57	0.87	-2.06	61.32	20.58	40.22
	1	78.32	30.78	2.56	-10.00	27.64	23.93	0.87	-2.06	44.64	17.44	39.48
	3	78.32	31.16	3.51	-10.00	24.89	20.04	0.87	-2.06	72.99	20.79	44.67
	2	78.32	30.20	2.88	-10.00	27.23	23.47	0.87	-2.06	40.84	14.18	31.42
50% 60 min.	3	72.01	30.71	2.98	-10.00	25.79	21.83	0.83	-2.41	62.38	20.93	41.53
	1	72.01	30.40	3.19	-10.00	27.44	22.67	0.83	-2.41	58.15	18.23	42.81
	1	72.01	31.61	2.49	-10.00	27.04	23.83	0.83	-2.41	38.22	15.35	34.31
	1	72.01	30.68	2.66	-10.00	26.44	23.03	0.83	-2.41	40.80	15.34	33.55
40% 10% 30 min.	3	74.77	30.44	2.58	-10.00	24.44	21.48	0.85	-2.58	50.71	19.66	34.25
	2	74.77	31.78	2.14	-10.00	26.34	24.16	0.85	-2.58	22.46	10.50	20.15
	3	74.77	30.35	2.74	-10.00	25.79	22.46	0.85	-2.58	54.96	20.06	35.66
	2	73.84	31.22	3.13	-10.00	25.74	21.09	0.84	-2.58	51.17	16.35	42.81
40% 10% 60 min.	3	67.23	30.51	2.47	-10.00	24.44	21.66	0.80	-3.70	48.59	19.67	33.73
	1	67.23	30.56	2.71	-10.00	24.93	21.42	0.80	-3.70	42.08	15.53	34.97
	1	67.23	30.52	2.44	-10.00	26.64	23.73	0.80	-3.70	34.36	14.08	28.46
	3	67.23	30.38	2.12	-10.00	23.81	21.57	0.80	-3.70	45.18	21.31	33.23

Tabela C.1- (continuação)

Tratamento	Garrafa	U _p (%b.u.)	M _{gaa} (g)	M _h (g)	T _p (°C)	T _{ia} (°C)	T _{ic} (°C)	C _{pe}	T _{ic} (°C)	q _p (cal)	q _p /M _h	H _p (kg/kcal)
50%10% 30 min	2	75.61	31.73	2.32	-10.00	23.47	20.99	0.85	-2.56	25.91	11.17	24.91
	3	75.61	30.52	2.30	-10.00	23.99	21.75	0.85	-2.56	42.23	18.36	27.44
	1	75.61	30.34	2.17	-10.00	24.83	22.42	0.85	-2.56	27.94	12.87	25.23
50%10% 60 min	2	65.59	30.77	2.63	-10.00	23.17	20.30	0.79	-4.29	30.50	11.60	25.68
	1	65.59	30.53	2.53	-10.00	25.23	23.03	0.79	-4.29	25.38	10.03	15.01
	1	65.59	31.57	2.30	-10.00	23.93	21.82	0.79	-4.29	24.10	10.48	18.71
	3	65.59	20.84	2.61	-10.00	23.18	21.30	0.79	-4.29	37.97	14.55	9.32
NATURA	1	77.60	20.92	3.10	-7.00	25.49	19.91	0.87	-1.00	68.42	22.07	41.57
	1	77.60	21.94	2.95	-7.00	24.33	19.01	0.87	-1.00	65.21	22.10	44.36
	3	77.60	21.01	2.57	-7.00	25.52	21.39	0.87	-1.00	64.50	25.10	39.53
40% 30 min	2	73.40	20.17	3.03	-7.00	25.05	20.05	0.84	-1.78	55.19	18.21	33.14
	2	73.40	20.96	2.67	-7.00	24.16	20.10	0.84	-1.78	44.28	16.59	30.06
	1	73.40	20.32	3.26	-7.00	24.23	19.01	0.84	-1.78	63.93	19.61	34.68
	3	73.40	22.80	2.89	-7.00	25.25	20.22	0.84	-1.78	75.10	25.99	47.21
40% 60 min	1	77.05	20.16	2.22	-7.00	24.23	20.42	0.86	-1.90	45.93	20.69	36.09
	2	77.05	20.19	2.92	-7.00	24.75	19.80	0.86	-1.90	54.62	18.71	34.22
	3	77.05	20.31	2.44	-7.00	24.98	20.67	0.86	-1.90	66.62	27.30	43.76
	2	77.05	20.91	2.18	-7.00	23.76	20.00	0.86	-1.90	40.84	18.73	35.93
50% 30 min	1	68.85	22.02	2.38	-7.00	25.74	21.82	0.81	-2.06	47.22	19.84	36.66
	3	68.85	23.50	2.55	-7.00	24.98	21.12	0.81	-2.06	61.31	24.04	40.82
	2	68.85	20.99	3.55	-7.00	25.64	19.80	0.81	-2.06	64.96	18.30	35.06
	3	68.85	22.41	2.81	-7.00	25.52	21.75	0.81	-2.06	60.26	21.44	32.20
50% 60 min	1	70.33	20.97	2.96	-7.00	24.93	21.72	0.82	-2.41	38.23	12.91	15.84
	3	70.33	20.04	2.07	-7.00	24.53	21.84	0.82	-2.41	47.52	22.96	29.14
	3	70.33	20.37	2.44	-7.00	24.53	21.84	0.82	-2.41	47.52	19.48	22.06
	3	70.33	20.87	2.49	-7.00	25.16	22.55	0.82	-2.41	46.46	18.66	19.99
40%10% 30 min	2	69.28	20.88	2.42	-7.00	25.45	22.03	0.82	-2.58	36.81	15.21	24.60
	1	69.28	20.99	2.47	-7.00	25.74	22.22	0.82	-2.58	42.08	17.04	26.67
	3	69.28	20.82	3.16	-7.00	24.89	20.40	0.82	-2.58	68.74	21.75	32.63
	1	69.28	20.88	2.56	-7.00	25.64	21.92	0.82	-2.58	44.64	17.44	27.74
40%10% 60 min	2	66.78	22.79	2.00	-7.00	24.75	22.18	0.80	-3.70	27.06	13.53	22.14
	1	66.78	20.75	2.50	-7.00	24.83	21.32	0.80	-3.70	42.08	16.83	25.97
	3	66.78	23.02	1.84	-7.00	24.71	22.82	0.80	-3.70	37.98	20.64	23.02
	2	66.78	21.21	2.48	-7.00	24.36	20.99	0.80	-3.70	35.12	14.16	23.18
50%10% 30 min	2	64.75	22.47	2.50	-7.00	26.14	22.87	0.79	-2.56	35.10	14.04	23.35
	2	64.75	20.50	2.47	-7.00	25.55	21.88	0.79	-2.56	39.69	16.07	27.20
	1	64.75	20.82	2.05	-7.00	25.94	23.13	0.79	-2.56	33.09	16.14	24.45
	3	64.75	20.84	3.01	-7.00	25.25	21.21	0.79	-2.56	63.43	21.07	30.34
50%10% 60 min	1	63.34	21.43	1.87	-7.00	26.44	23.93	0.78	-4.29	29.23	15.63	22.38
	3	63.34	20.00	2.29	-7.00	25.07	22.20	0.78	-4.29	49.64	21.68	26.13
	2	63.34	21.03	2.01	-7.00	27.82	26.34	0.78	-4.29	14.43	7.19	-1.14
	1	63.34	21.36	1.96	-7.00	24.93	21.87	0.78	-4.29	36.31	18.52	31.50
NATURA	1	81.63	30.07	3.66	-5.00	27.95	22.12	0.89	-1.00	71.65	19.58	46.85
	3	81.63	30.30	3.43	-5.00	25.61	20.49	0.89	-1.00	76.18	22.21	48.36
	2	81.63	30.38	3.62	-5.00	26.73	20.60	0.89	-1.00	68.40	18.90	51.19
40% 30 min	2	78.68	30.83	3.15	-5.00	26.93	23.17	0.87	-1.78	40.84	12.96	28.03
	2	78.68	31.42	3.26	-5.00	29.11	24.26	0.87	-1.78	53.47	16.40	40.45
	1	78.68	30.85	3.04	-5.00	26.84	22.42	0.87	-1.78	53.64	17.64	41.36
	3	78.68	29.96	2.34	-5.00	25.30	23.99	0.87	-1.78	31.08	13.28	7.49

Tabela C.1- (continuação)

Tratamento	Garrafa	U _p (%b.u.)	M _{água} (g)	M _n (g)	T _p (°C)	T _{la} (°C)	T _e (°C)	C _{pc}	T _e (°C)	q _p (cal)	q/M _n	H _p (kg/kcal)
40%60 min.	3	75.97	30.44	2.53	-5.00	24.80	22.02	0.86	-1.90	48.59	19.20	32.27
	2	75.97	30.47	2.90	-5.00	25.94	22.58	0.86	-1.90	36.25	12.50	26.92
	3	75.97	30.67	2.55	-5.00	23.72	20.85	0.86	-1.90	49.65	19.47	34.61
	1	75.97	31.94	2.61	-5.00	28.45	25.13	0.86	-1.90	39.52	15.14	32.56
50%30 min.	1	76.67	31.52	3.00	-5.00	26.44	23.03	0.86	-2.06	40.80	13.60	27.90
	2	76.67	30.29	2.77	-5.00	27.53	24.06	0.86	-2.06	37.39	13.50	28.93
	2	76.67	31.91	2.93	-5.00	26.04	22.77	0.86	-2.06	35.10	11.98	26.20
	3	76.67	29.84	2.70	-5.00	26.79	23.99	0.86	-2.06	48.68	18.03	26.51
50%60 min.	3	73.65	30.68	2.10	-5.00	25.61	23.81	0.84	-2.41	36.92	17.58	21.77
	1	73.65	31.48	2.70	-5.00	27.74	25.13	0.84	-2.41	30.52	11.30	18.56
	2	73.65	31.67	2.82	-5.00	27.62	25.15	0.84	-2.41	25.91	9.19	13.78
40%10%30 min.	1	73.40	30.37	2.37	-5.00	26.64	25.74	0.84	-2.58	8.66	3.66	-8.61
	2	73.40	31.39	3.06	-5.00	27.43	25.45	0.84	-2.58	20.17	6.59	3.31
	3	73.40	32.06	2.30	-5.00	25.88	25.25	0.84	-2.58	23.12	10.05	-4.61
	2	73.40	30.81	2.25	-5.00	27.23	25.64	0.84	-2.58	15.57	6.92	4.86
40%10%60 min.	1	67.07	30.36	2.20	-5.00	27.44	25.94	0.84	-3.70	16.38	7.45	3.28
	3	67.07	30.69	1.85	-5.00	26.33	25.70	0.84	-3.70	23.13	12.49	-1.84
	3	67.07	30.06	2.52	-5.00	25.25	24.26	0.84	-3.70	27.37	10.87	-0.86
	2	67.07	30.26	2.23	-5.00	24.26	23.76	0.84	-3.70	2.94	1.32	-15.10
50%10%30 min.	1	71.36	30.93	2.97	-5.00	27.34	24.48	0.83	-2.56	33.72	11.35	18.75
	1	71.36	31.71	2.62	-5.00	30.76	27.84	0.83	-2.56	34.37	13.12	23.18
	2	71.36	30.01	2.46	-5.00	26.93	25.45	0.83	-2.56	14.43	5.86	0.79
	3	71.36	31.05	2.67	-5.00	26.60	25.16	0.83	-2.56	32.68	12.24	6.01
50%10%60 min.	2	70.61	30.32	1.56	-5.00	26.44	25.55	0.83	-4.29	7.54	4.83	-2.56
	1	70.61	31.17	2.20	-5.00	29.15	27.74	0.83	-4.29	15.08	6.86	0.23
	3	70.61	30.87	2.85	-5.00	25.07	23.72	0.83	-4.29	31.61	11.09	2.49
	1	70.61	31.20	2.40	-5.00	27.84	26.64	0.83	-4.29	12.52	5.22	-4.73
NATURA	3	83.79	21.53	2.39	-4.50	24.89	20.49	0.90	-1.00	67.69	28.32	48.62
	1	83.79	21.86	3.02	-4.50	24.63	19.11	0.90	-1.00	67.78	22.44	44.26
	2	83.79	20.41	2.48	-4.50	24.65	20.00	0.90	-1.00	51.17	20.64	39.97
	2	83.79	21.06	2.97	-4.50	25.15	19.31	0.90	-1.00	64.96	21.87	44.96
40%30 min.	3	77.18	20.19	3.61	-4.50	23.99	18.78	0.86	-1.78	77.24	21.40	32.82
	1	77.18	22.48	3.06	-4.50	24.83	20.52	0.86	-1.78	52.36	17.11	29.58
	2	77.18	21.89	3.27	-4.50	24.75	20.30	0.86	-1.78	48.88	14.95	25.71
	2	77.18	20.31	3.01	-4.50	24.56	20.20	0.86	-1.78	47.73	15.86	26.28
40%60 min.	1	74.25	21.48	3.02	-4.50	24.23	19.71	0.85	-1.90	54.93	18.19	32.05
	3	74.25	21.57	2.12	-4.50	23.90	21.21	0.85	-1.90	47.52	22.42	30.32
	2	74.25	21.61	2.84	-4.50	24.95	20.79	0.85	-1.90	45.43	16.00	28.45
	1	74.25	22.78	2.00	-4.50	24.73	21.82	0.85	-1.90	34.37	17.19	30.30
50%30 min.	3	75.17	21.41	2.44	-4.50	25.16	21.97	0.85	-2.06	53.36	21.87	29.42
	2	75.17	20.57	2.41	-4.50	25.64	21.98	0.85	-2.06	39.69	16.47	27.28
	1	75.17	21.10	1.98	-4.50	25.04	22.22	0.85	-2.06	33.14	16.74	26.08
	1	75.17	22.82	2.62	-4.50	25.74	21.97	0.85	-2.06	45.29	17.29	29.63
50%60 min.	2	74.06	21.02	2.67	-4.50	24.36	20.65	0.84	-2.41	40.26	15.08	24.83
	1	74.06	21.45	2.82	-4.50	24.33	20.52	0.84	-2.41	45.93	16.29	25.95
	3	74.06	21.04	2.73	-4.50	24.08	20.40	0.84	-2.41	59.18	21.68	30.82

Tabela C.1- (continuação)

Tratamento	Garrafa	U_p (% b.u.)	M_{gua} (g)	M_m (g)	T_p (°C)	T_{la} (°C)	T_e (°C)	C_{pe}	T_e (°C)	q_p (cal)	q_p/M_m	H_p (kg/kcal)
40%10% 30 min.	2	71.31	21.55	2.31	-4.50	23.96	21.49	0.83	-2.58	25.91	11.22	14.38
	1	71.31	22.36	2.20	-4.50	24.43	22.12	0.83	-2.58	26.67	12.12	15.15
	3	71.31	21.96	2.73	-4.50	23.99	21.21	0.83	-2.58	48.59	17.80	20.52
	2	71.31	21.32	2.25	-4.50	24.36	21.49	0.83	-2.58	30.50	13.56	20.84
40%10%60 min.	1	68.67	21.17	1.92	-4.50	25.23	23.73	0.81	-3.70	16.38	8.51	2.81
	1	68.67	20.43	1.45	-4.50	24.83	23.73	0.81	-3.70	11.23	7.75	1.03
	2	68.67	21.45	1.70	-4.50	24.36	23.17	0.81	-3.70	10.98	6.46	-0.37
50%10% 30 min.	2	70.00	22.09	1.98	-4.50	24.75	22.58	0.82	-2.56	22.46	11.35	15.03
	3	70.00	20.94	2.32	-4.50	24.35	21.75	0.82	-2.56	46.46	20.03	23.63
	1	70.00	20.77	2.83	-4.50	25.03	21.42	0.82	-2.56	43.36	15.32	22.18
50%10% 60 min.	3	68.46	22.28	2.39	-4.50	24.44	22.02	0.81	-4.29	44.34	18.55	19.85
	1	68.46	20.94	2.41	-4.50	24.53	21.82	0.81	-4.29	31.80	13.20	15.58
	2	68.46	20.40	2.18	-4.50	24.75	22.77	0.81	-4.29	20.17	9.25	5.84
	3	68.46	21.17	2.30	-4.50	24.17	22.15	0.81	-4.29	20.66	8.98	6.15
NATURA	1	77.60	31.31	2.32	-3.00	26.99	25.79	0.87	-1.00	12.52	5.41	-1.49
	2	77.60	30.45	3.40	-3.00	26.14	24.46	0.87	-1.00	16.72	4.92	-2.04
	3	77.60	31.19	2.41	-3.00	24.35	23.09	0.87	-1.00	30.54	12.67	8.10
	1	77.60	29.15	3.84	-3.00	25.74	23.73	0.87	-1.00	22.80	5.93	-0.24
40% 30 min.	1	76.75	21.42	3.05	-3.00	25.44	22.22	0.86	-1.78	38.23	12.53	14.43
	1	76.75	20.93	2.94	-3.00	28.35	26.74	0.86	-1.78	17.66	6.00	-7.12
	1	76.75	20.28	2.24	-3.00	25.64	24.23	0.86	-1.78	15.08	6.74	-2.90
	2	76.75	22.20	3.04	-3.00	26.34	24.46	0.86	-1.78	19.02	6.25	-2.59
40% 60 min.	1	76.90	20.62	2.73	-3.00	27.04	26.14	0.86	-1.90	8.67	3.18	-14.14
	3	76.90	20.08	2.82	-3.00	25.43	24.35	0.86	-1.90	28.43	10.10	-4.82
	3	76.90	20.82	2.85	-3.00	25.25	23.63	0.86	-1.90	34.79	12.21	2.05
50% 30 min.	2	74.10	20.82	2.64	-3.00	22.28	19.51	0.84	-2.06	29.36	11.12	14.77
	3	74.10	20.91	3.13	-3.00	22.91	18.96	0.84	-2.06	62.38	19.93	28.61
	1	74.10	21.02	2.90	-3.00	22.82	19.21	0.84	-2.06	43.36	14.95	23.18
	1	74.10	21.63	2.73	-3.00	23.33	21.92	0.84	-2.06	15.08	5.52	-3.62
50% 60 min.	3	71.52	21.82	2.55	-3.00	23.45	22.02	0.83	-2.41	32.67	12.84	4.82
	2	71.52	20.52	2.51	-3.00	24.70	21.68	0.83	-2.41	32.23	12.84	17.47
	1	71.52	21.16	2.19	-3.00	26.44	24.73	0.83	-2.41	18.95	8.65	2.54
	3	71.52	20.72	3.01	-3.00	23.09	21.39	0.83	-2.41	35.87	11.92	3.86
40%10% 30 min.	2	75.05	22.33	2.45	-3.00	24.36	22.82	0.85	-2.58	14.99	6.12	-1.50
	1	75.05	23.34	2.34	-3.00	23.73	22.32	0.85	-2.58	15.10	6.45	-0.70
	3	75.05	23.22	2.74	-3.00	23.18	22.02	0.85	-2.58	29.48	10.76	-0.25
	2	75.05	23.72	2.16	-3.00	23.57	22.28	0.85	-2.58	12.13	5.62	-1.39
40%10% 60 min.	3	70.04	22.95	2.87	-3.00	23.00	21.84	0.82	-3.70	29.49	10.28	-1.31
	3	70.04	22.06	2.84	-3.00	22.73	21.48	0.82	-3.70	30.56	10.76	-0.11
	1	70.04	21.75	2.43	-3.00	23.03	21.67	0.82	-3.70	14.44	5.94	-2.74
	2	70.04	21.71	2.60	-3.00	22.97	21.59	0.82	-3.70	13.28	5.11	-4.06
50%10% 30 min.	3	72.61	21.57	2.44	-3.00	24.71	23.63	0.84	-2.56	28.43	11.65	-0.70
	2	72.61	22.19	2.19	-3.00	23.66	22.48	0.84	-2.56	10.98	5.01	-3.89
	1	72.61	22.58	2.66	-3.00	23.83	22.52	0.84	-2.56	13.80	5.20	-4.67
	1	72.61	21.75	2.76	-3.00	24.83	23.33	0.84	-2.56	16.38	5.93	-3.84
50%10% 60 min.	3	70.41	21.19	2.50	-3.00	27.68	26.06	0.82	-4.29	34.79	13.92	2.67
	2	70.41	21.98	2.36	-3.00	28.37	27.62	0.82	-4.29	5.82	2.47	-16.84
	2	70.41	20.89	2.16	-3.00	27.33	26.04	0.82	-4.29	12.13	5.62	-6.87

APÊNDICE D

As Tabelas de 1 a 9 representam os valores médios da entalpia de congelamento e da fração de água congelada de fatias de manga *in natura* e de fatias desidratadas osmoticamente. O desvio padrão dos resultados é mostrado entre parênteses.

Tabela D.1- Valores de entalpia e de fração de água congelada de fatias de manga *in natura*: experimentais e estimados pela equação proposta por SCHWARTZBERG (1981), com $b=0,243$.

T_p (°C)	U_p (% b.u.)	H_p (kcal/kg) (Experimental)	H_p (kcal/kg) (Eq. II.2)	ω_g (kg gelo/kg produto) (Eq. II.3)	ω_g/U_p (kg gelo/kg água do produto)
-40	84,702	-77,32 (± 4,64)	-77,01	0,790	0,932
-20	84,702	-66,28 (± 1,95)	-66,58	0,769	0,908
-10	81,903	-55,47 (± 1,16)	-59,07	0,698	0,852
-5	81,626	-48,80 (± 2,20)	-50,73	0,617	0,756
-4,5	83,791	-44,45 (± 3,55)	-49,15	0,621	0,741
-1	.....	0	0	0	0

Tabela D.2 - Valores de entalpia e de fração de água congelada de fatias de manga desidratadas osmoticamente (40% sacarose, 30 minutos): experimentais e estimados pela equação proposta por SCHWARTZBERG (1981), com $b=0,299$.

T_p (°C)	U_p (% b.u.)	H_p (kcal/kg) (Experimental)	H_p (kcal/kg) (Eq. II.2)	ω_g (kg gelo/kg produto) (Eq. II.3)	ω_g/U_p (kg gelo/kg água do produto)
-40	77,651	-68,32 (± 1,05)	-69,52	0,678	0,873
-20	76,114	-59,58 (± 5,02)	-58,43	0,628	0,826
-10	79,093	-47,45 (± 3,68)	-49,18	0,599	0,757
-5	78,683	-40,90 (± 0,64)	-37,14	0,466	0,592
-4,5	77,182	-28,60 (± 3,29)	-34,73	0,425	0,551
-1,78	.....	0	0	0	0

Tabela D.3 - Valores de entalpia e de fração de água congelada de fatias de manga desidratadas osmoticamente (40% sacarose, 60 minutos): experimentais e estimados pela equação proposta por SCHWARTZBERG (1981), com $b=0,576$.

$T_p(^{\circ}\text{C})$	U_p (% b.u.)	H_p (kcal/kg) (Experimental)	H_p (kcal/kg) (Eq. II.2)	ω_g (kg gelo/kg produto) (Eq. II.3)	ω_g/U_p (kg gelo/kg água do produto)
-40	77,662	-66,94 ($\pm$ 2,75)	-63,56	0,617	0,795
-20	74,591	-49,44 ($\pm$ 2,27)	-52,63	0,543	0,727
-10	77,483	-40,38 ($\pm$ 5,90)	-43,63	0,523	0,674
-7	77,048	-37,50 ($\pm$ 4,26)	-38,31	0,465	0,604
-5	75,970	-31,59 ($\pm$ 3,28)	-32,07	0,385	0,507
-4,5	74,254	-30,28 ($\pm$ 1,47)	-29,76	0,343	0,462
-1,90	.....	0	0	0	0

Tabela D.4 - Valores de entalpia e de fração de água congelada de fatias de manga desidratadas osmoticamente (50% sacarose, 30 minutos): experimentais e estimados pela equação proposta por SCHWARTZBERG (1981), com $b=0,180$.

$T_p(^{\circ}\text{C})$	U_p (% b.u.)	H_p (kcal/kg) (Experimental)	H_p (kcal/kg) (Eq. II.2)	ω_g (kg gelo/kg produto) (Eq. II.3)	ω_g/U_p (kg gelo/kg água do produto)
-40	74,898	-68,08 ($\pm$ 2,33)	-68,81	0,668	0,891
-20	75,010	-58,14 ($\pm$ 1,62)	-57,46	0,633	0,843
-10	78,318	-41,46 ($\pm$ 2,81)	-47,49	0,591	0,754
-7	68,850	-36,18 ($\pm$ 3,60)	-41,32	0,446	0,648
-4,5	75,166	-28,10 ($\pm$ 1,71)	-31,17	0,383	0,510
-2,06	.....	0	0	0	0

Tabela D.5 - Valores de entalpia e de fração de água congelada de fatias de manga desidratadas osmoticamente (50% sacarose, 60 minutos): experimentais e estimados pela equação proposta por SCHWARTZBERG (1981), com $b=0,346$.

T_p (°C)	U_p (% b.u.)	H_p (kcal/kg) (Experimental)	H_p (kcal/kg) (Eq. II.2)	ω_g (kg gelo/kg produto) (Eq. II.3)	ω_g/U_p (kg gelo/kg água do produto)
-40	72,440	-65,30 (± 2,49)	-61,74	0,591	0,816
-20	68,150	-47,17 (± 1,26)	-50,47	0,503	0,737
-10	72,008	-38,05 (± 4,80)	-40,40	0,473	0,657
-5	73,649	-18,04 (± 4,02)	-26,50	0,337	0,455
-4,5	74,064	-27,20 (± 3,18)	-23,66	0,286	0,401
-3	71,523	-3,74 (± 1,15)	-9,90	0,121	0,170
-2,41	.....	0	0	0	0

Tabela D.6 - Valores de entalpia e de fração de água congelada de fatias de manga desidratadas osmoticamente (40% sacarose-10% glicérol, 30 minutos): experimentais e estimados pela equação proposta por SCHWARTZBERG (1981), com $b=0,475$.

T_p (°C)	U_p (% b.u.)	H_p (kcal/kg) (Experimental)	H_p (kcal/kg) (Eq. II.2)	ω_g (kg gelo/kg produto) (Eq. II.3)	ω_g/U_p (kg gelo/kg água do produto)
-40	74,030	-62,77 (± 3,87)	-60,30	0,577	0,780
-20	72,521	-46,58 (± 5,76)	-48,84	0,518	0,714
-10	74,765	-37,57 (± 4,59)	-38,50	0,466	0,623
-7	69,277	-27,91 (± 3,40)	-31,97	0,345	0,498
-4,5	71,314	-17,72 (± 3,43)	-21,15	0,246	0,345
-3	75,053	1,20 (± 0,43)	-6,85	0,089	0,118
-2,58	.....	0	0	0	0

Tabela D.7 - Valores de entalpia e de fração de água congelada de fatias de manga desidratadas osmoticamente (40% sacarose-10% glicerol, 60 minutos): experimentais e estimados pela equação proposta por SCHWARTZBERG (1981), com $b=0,298$.

$T_p(^{\circ}\text{C})$	U_p (% b.u.)	H_p (kcal/kg) (Experimental)	H_p (kcal/kg) (Eq. II.2)	ω_g (kg gelo/kg produto) (Eq. II.3)	ω_g/U_p (kg gelo/kg água do produto)
-40	68,651	-59,69 ($\pm$ 2,72)	-57,19	0,538	0,784
-20	70,314	-42,46 ($\pm$ 5,66)	-44,71	0,501	0,713
-10	67,235	-33,98 ($\pm$ 0,90)	-31,99	0,362	0,539
-7	66,776	-23,58 ($\pm$ 1,66)	-23,36	0,268	0,402
-4,5	68,670	-1,92 ($\pm$ 1,26)	-8,63	0,106	0,154
-3,70	.....	0	0	0	0

Tabela D.8 - Valores de entalpia e de fração de água congelada de fatias de manga desidratadas osmoticamente (50% sacarose-10% glicerol, 30 minutos): experimentais e estimados pela equação proposta por SCHWARTZBERG (1981), com $b=0,511$.

$T_p(^{\circ}\text{C})$	U_p (% b.u.)	H_p (kcal/kg) (Experimental)	H_p (kcal/kg) (Eq. II.2)	ω_g (kg gelo/kg produto) (Eq. II.3)	ω_g/U_p (kg gelo/kg água do produto)
-40	74,167	-60,35 ($\pm$ 0,24)	-57,15	0,571	0,769
-20	68,725	-43,05 ($\pm$ 1,94)	-46,04	0,460	0,669
-10	75,61	-25,86 ($\pm$ 1,38)	-36,20	0,470	0,621
-7	64,751	-26,33 ($\pm$ 3,12)	-30,08	0,297	0,458
-5	71,361	-20,97 ($\pm$ 3,13)	-22,74	0,277	0,388
-4,5	70,004	-20,28 ($\pm$ 4,60)	-20,00	0,236	0,337
-2,56	.....	0	0	0	0

Tabela D.9 - Valores de entalpia e de fração de água congelada de fatias de manga desidratadas osmoticamente (50% sacarose-10% glicerol, 60 minutos): experimentais e estimados pela equação proposta por SCHWARTZBERG (1981), com $b=0,280$.

T_p (°C)	U_p (% b.u.)	H_p (kcal/kg) (Experimental)	H_p (kcal/kg) (Eq. II.2)	ω_g (kg gelo/kg produto) (Eq. II.3)	ω_g/U_p (kg gelo/kg água do produto)
-40	68,002	-56,35 ($\pm$ 2,38)	-55,94	0,527	0,775
-20	67,895	-42,53 ($\pm$ 0,36)	-42,84	0,463	0,682
-10	65,590	-19,80 ($\pm$ 5,42)	-28,87	0,320	0,487
-7	63,344	-26,67 ($\pm$ 4,58)	-19,11	0,206	0,324
-5	70,611	-3,65 ($\pm$ 1,54)	-6,89	0,089	0,126
-4,5	68,460	-17,72 ($\pm$ 3,02)	-2,26	0,028	0,041
-4,29	.....	0	0	0	0

APÊNDICE E

As tabelas a seguir referem-se aos dados experimentais obtidos durante os ensaios de congelamento/descongelamento.

Comparando-se as massas da fatia congelada e da mesma fatia após o descongelamento notou-se que elas eram ligeiramente diferentes, possivelmente devido à evaporação durante o descongelamento. Mesmo tomando-se o cuidado de deixar as fatias descongelarem dentro de um dessecador fechado, e sem sílica, não foi possível evitar a evaporação, que ocorreu em todos os testes.

O símbolo (*), encontrado em alguns valores das tabelas a seguir, foi utilizado para discriminar os dados que foram descartados da média global (Tabelas IV.1, IV.2, IV.8 e IV.9).

Tabela E.1- Valores de perda de massa e quantidade de exsudado para fatias de manga *in natura* (congelamento rápido).

Umidade inicial [%]	Brix [°Brix]	Massa inicial [g]	Massa congelada [g]	Massa descongelada [g]	Massa após exsudação [g]	Massa enxugada [g]	Perda de massa no descongelamento [%]	Massa de exsudado [g]	% de exsudado
84.868	14.50	6.4000	6.3413	6.3073	5.8294	5.2112	17.38	1.0510	16.66
81.665	16.35	7.3400	7.3082	7.2785	6.7570	6.0244	17.23	1.2186	16.74
		7.7800	7.7465	7.6982	7.1514	6.0114	21.91	1.6432	21.35
		5.7900	5.791	5.7321	5.6150	5.0991	11.04	0.6129	10.69
86.007	13.42	7.5200	7.4824	7.4584	7.3470	6.8770	7.80	0.5533	7.42
		8.6700	8.5369	8.4966	8.1097	7.5575	11.05	0.9192	10.82
85.508	12.98	7.7300	7.6253	7.5824	6.9852	6.2607	17.43	1.2888	17.00
		8.6900	8.5405	8.4972	7.7430	6.7835	20.17	1.6655	19.60
		7.3500	7.2675	7.2213	6.7280	5.8834	18.53	1.3008	18.01
84.702	13.00	6.1200	5.9959	5.9637	5.7155	5.3884	9.65	.....	.....
85.604	14.00	7.8100	7.6401	7.5925	7.1827	6.6610	12.27	0.9132	12.03
		8.5800	8.4865	8.4464	8.1744	7.7217	8.58	0.6902	8.17
		8.7400	8.6157	8.575	8.1931	7.6990	10.22	0.8352	9.74
		7.1900	7.1164	7.0875	6.5736	6.1430	13.33	0.9006	12.71
86.685	12.25	8.4500	8.3413	8.3179	8.0216	7.3420	11.73	0.9577	11.51
		9.0000	8.9287	8.9088	8.3504	7.6973	13.60	1.1913	13.37
		8.4100	8.3376	8.3098	7.8205	7.1528	13.92	1.1361	13.67
.....	.....	8.4168	8.4426	8.4189	8.0355	7.4750	11.21	0.8457	10.05
		8.0942	7.9716	7.9538	7.6705	7.0954	10.79	0.9059	11.39
		8.6094	8.627	8.5982	8.0593	7.3963	13.98	1.1289	13.13
		8.9945	8.9021	8.8116	8.6316	8.1326	7.71	0.7083	8.04

Tabela E.2- Valores de perda de massa e quantidade de exsudado para fatias de manga desidratadas osmoticamente (40% sacarose-30 min.) congelamento rápido

Umidade inicial [%]	Brix [°Brix]	Massa antes da D.O. [g]	Massa após a D.O. [g]	Remoção de massa na D.O. [%]	Umidade final [%]	Massa congelada [g]	Massa descongelada [g]
81.665	16.35	5.7300	5.0800	11.34	75.763	4.9997	4.9544
		6.5900	5.8300	11.53		5.7579	5.7321
85.036	12.98	8.0500	6.8600	14.78		6.7705	6.7491
		7.9100	7.0800	10.49	78.153	7.0021	6.9768
82.007	13.26	8.5000	7.3200	13.88	74.839	7.2656	7.1222
81.665	16.35	7.2400	6.7300	7.04*	75.763	6.0364	5.9877
83.247	12.70	7.1600	6.1700	13.83	76.310	.....	5.9142

Massa após exsudação [g]	Massa enxugada [g]	Perda de massa no descongelamento [%]	Massa de exsudado [g]	% de exsudado	Remoção de água durante a D.O. [%]	Ganho de sólidos durante a D.O. [%]	Variação total da massa [%]
4.8932	4.6490	6.16	0.2949	5.95	14.50	3.56	18.87
5.6462	5.3403	6.84	0.3873	6.76	14.64	3.52	18.96
6.6637	6.3742	5.55	0.4062	6.02	18.44	4.29	20.82
6.8494	6.6156	5.18	0.3435	4.92	15.08	5.13	16.36
6.9943	6.7544	5.16	0.3247	4.56	17.56	3.68	20.54
5.8842	5.5860	6.71	0.3768	6.29	11.24	4.52	22.85
5.8798	5.7497	2.78*	0.1553	2.63 *	17.49	3.66	19.70

Tabela E.3- Valores de perda de massa e quantidade de exsudado para fatias de manga desidratadas osmoticamente (40% sacarose-60 min.) congelamento rápido.

Unidade inicial [%]	Brix [°Brix]	Massa antes da D.O. [g]	Massa após a D.O. [g]	Remoção de massa na D.O. [%]	Unidade final [%]	Massa congelada [g]	Massa descongelada [g]
81.665	16.35	7.6600	6.2300	18.67	76.343	6.2762	6.2343
84.732	15.22	7.1100	5.2500	26.16	78.882	.....	5.0481
		7.1400	5.5800	21.85		.....	5.4743
		8.0000	6.2300	22.13		.....	6.0978
		7.7100	6.0800	21.14		.....	5.8942
86.685	12.25	8.1800	6.2700	23.35	81.558	6.1765	6.1461
		8.2600	6.4900	21.43		6.3785	6.3531
		8.6700	6.9200	20.19		6.8272	6.8037

Massa após exsudação [g]	Massa enxugada [g]	Perda de massa no descongelamento [%]	Massa de exsudado [g]	% de exsudado	Remoção de água durante a D.O. [%]	Ganho de sólidos durante a D.O. [%]	Variação total da massa [%]
6.1323	5.7987	6.99	0.4190	6.72	19.57	1.11*	24.299
5.0045	4.7691	5.53	0.2791	5.53	26.49	0.33*	32.924
5.4546	5.3489	2.29	0.1161	2.12	23.09	1.24*	25.085
6.0596	5.8917	3.38	0.2026	3.32	23.30	1.18*	26.354
5.7882	5.6002	4.99	0.2775	4.71	22.53	1.39*	35.305
5.8374	5.4043	12.07*	0.7205	11.72*	24.17	0.82 *	33.933
6.1444	5.7233	9.91 *	0.6211	9.78 *	22.60	1.18*	30.711
6.6592	6.2671	7.89*	0.5265	7.74 *	21.59	1.40*	27.715

Tabela E.4- Valores de perda de massa e quantidade de exsudado para fatias de manga desidratadas osmoticamente (50% sacarose-30 min.) congelamento rápido.

Umidade inicial [%]	Brix [°Brix]	Massa antes da D.O.[g]	Massa após a D.O. [g]	Remoção de massa na D.O. [%]	Umidade final [%]	Massa congelada [g]	Massa descongelada [g]
81.665	16.35	6.0400	4.5800	24.17	73.791	4.5842	4.5202
		5.9600	4.6800	21.48		4.6858	4.6335
83.295	11.50	8.6000	6.3900	25.70	74.200	6.6640	6.5850
		8.6000	6.1900	28.02		6.3733	6.3040
		7.5400	5.5800	26.00		5.4207	5.3459
84.368	15.00	8.2700	6.7500	18.38	75.459	6.7119	6.6519
		7.1000	4.8700	31.41		4.8460	4.6288
83.295	11.50	7.5300	5.5000	26.96	74.354	5.4335	5.3638

Massa após exsudação [g]	Massa enxugada [g]	Perda de massa no descongelamento [%]	Massa de exsudado [g]	% de exsudado	Remoção de água durante a D.O.[%]	Ganho de sólidos durante a D.O.[%]	Variação total da massa [%]
4.4868	4.3188	4.46	0.1947	4.31	25.71	2.03	28.50
4.5668	4.3058	7.07	0.3257	7.03	23.72	2.86	27.76
6.1865	5.8370	11.36 *	0.7266	11.03*	28.16	2.47	32.13
6.0787	5.7402	8.94	0.5408	8.58	29.89	1.87	33.25
5.2758	4.9345	7.70	0.3928	7.35	28.38	2.39	34.56
6.4726	5.8860	11.51 *	0.7549	11.35 *	22.78	4.40	28.83
4.6100	4.5733	1.20 *	0.0441	0.95 *	32.61	1.20 *	35.59
5.3549	5.2154	2.77	0.242	4.51	28.99	2.03	30.74

Tabela E.5- Valores de perda de massa e quantidade de exsudado para fatias de manga desidratadas osmoticamente (50% sacarose-60 min.) congelamento rápido

Umidade inicial [%]	Brix [°Brix]	Massa antes da D.O.[g]	Massa após a D.O. [g]	Remoção de massa na D.O. [%]	Umidade final [%]	Massa congelada [g]	Massa descongelada [g]
81.665	16.35	6.2100	4.7400	23.67	66.829	4.7246	4.6969
		7.4300	5.6100	24.50		5.5658	5.5182
82.600	15.50	6.8700	4.9100	28.53	63.969	4.8371	4.7353
		6.9000	4.8500	29.71		4.7500	4.6350
85.021	13.80	7.7000	5.3700	30.26	63.953	5.3281	5.2780
		7.6500	5.2000	32.03		5.2386	5.1034
		8.6100	5.4800	36.35		5.4507	5.4084
84.368	15.00	9.0600	7.1600	20.97	72.156	7.1478	7.1017
		8.6600	6.7200	22.40		6.6710	6.6261

Massa após exsudação [g]	Massa enxugada [g]	Perda de massa no descongelamento [%]	Massa de exsudado [g]	% de exsudado	Remoção de água durante a D.O.[%]	Ganho de sólidos durante a D.O.[%]	Variação total da massa [%]
4.5520	4.2966	8.52	0.3820	8.13	30.66	9.15	30.81
5.4491	5.2924	4.09	0.2243	4.06	31.21	8.89	28.77
4.7164	4.5683	3.53	0.1607	3.39	36.88	8.35	33.50
4.6350	4.4702	3.56	0.1907	4.11	37.64	7.93	35.21
5.2079	5.0984	3.40	0.1550	2.94	40.42	10.16	33.79
5.0691	4.9002	3.98	0.1892	3.71	41.55	9.52	35.95
5.3679	5.2626	2.70	0.1372	2.54	44.32	7.96	38.88
6.9063	6.2829	11.53 *	0.8085	11.39 *	27.34	6.37	30.65
6.3958	5.9312	10.49 *	0.6842	10.33 *	28.38	5.97*	31.51

Tabela E.6- Valores de perda de massa e quantidade de exsudado para fatias de manga desidratadas osmoticamente
40% sacarose-10% glicerol, 30 minutos - congelamento rápido

Umidade inicial [%]	Brix [°Brix]	Massa antes da D.O. [g]	Massa após a D.O. [g]	Remoção de massa na D.O. [%]	Umidade final [%]	Massa congelada [g]	Massa descongelada [g]
86.007	13.42	7.7700	5.7600	25.87	72.560	5.7097	5.6766
		7.4300	5.4700	26.38		5.4559	5.4222
		7.8700	5.9900	23.89		5.9574	5.9182
		5.8700	4.3200	26.41		4.2557	4.2134
		8.1900	5.8300	28.82		5.7880	5.7512
		7.0100	4.9800	28.96		4.9670	4.9237
85.508	12.98	8.0200	5.7800	27.93	73.571	.....	5.6471
		8.8400	6.5200	26.24		.....	6.3987
86.685	12.25	9.0500	6.7100	25.86	73.137	6.6715	6.6421
		7.7300	5.5400	28.33		5.4967	5.4654

Massa após exsudação [g]	Massa enxugada [g]	Perda de massa no descongelamento [%]	Massa de exsudado [g]	% de exsudado	Remoção de água durante a D.O. [%]	Ganho de sólidos durante a D.O. [%]	Variação total da massa [%]
5.6520	5.5377	2.45	0.1302	2.29	32.22	8.56	28.73
5.3921	5.2184	3.76	0.1914	3.53	32.59	8.43	29.77
5.8879	5.7666	2.56	0.1441	2.43	30.78	9.06	26.73
4.2015	4.1226	2.16	0.0865	2.05	32.61	8.43	29.77
5.7277	5.5511	3.48	0.1940	3.37	34.36	7.78	32.22
4.8984	4.8131	2.25	0.1034	2.10	34.46	7.74	31.34
5.5975	5.4107	4.19	0.2250	3.98	32.49	6.32	32.54
6.2625	5.9449	7.09	0.4373	6.83	31.25	6.78	32.75
6.4918	6.0398	9.07 *	0.5867	8.83 *	32.46	6.60	33.26 *
5.3901	5.0322	7.93 *	0.4238	7.75 *	34.27	5.94	34.90 *

Tabela E.7- Valores de perda de massa e quantidade de exsudado para fatias de manga desidratadas osmoticamente 40% sacarose-10% glicerol, 60 minutos - congelamento rápido.

Umidade inicial [%]	Brix [°Brix]	Massa antes da D.O. [g]	Massa após a D.O. [g]	Remoção de massa na D.O. [%]	Umidade final [%]	Massa congelada [g]	Massa descongelada [g]
84.868	14.50	7.35	4.81	34.56	70.445	4.7005	4.6587
		6.20	3.99	35.65		3.8675	3.8153
		6.73	4.02	40.27		3.9275	3.8764
		6.89	4.65	32.51		4.5448	4.5019
86.015	11.95	7.21	5.34	25.94	77.022	5.2426	5.1993
		8.26	6.14	25.67		6.0135	5.9595
		7.78	5.62	27.76		5.5368	5.5028
84.368	15.00	8.16	5.92	27.45	74.290	5.8662	5.8363

Massa após exsudação [g]	Massa enxugada [g]	Perda de massa no descongelamento [%]	Massa de exsudado [g]	% de exsudado	Remoção de água durante a D.O. [%]	Carho de sólidos durante a D.O. [%]	Varição total da massa [%]
4.6404	4.4892	3.64	0.1636	3.51	38.77	6.43	38.92
3.8044	3.7122	2.70	0.0982	2.57	39.53	6.04	40.13
3.8758	3.7811	2.46	0.1028	2.65	42.79	4.22	43.82
4.4816	4.4025	2.21	0.0931	2.07	37.33	7.13	36.10
5.1594	4.9881	4.06*	0.2033	3.91*	28.97	3.03*	30.82*
5.9265	5.7194	4.03*	0.2316	3.89*	28.76	3.10*	30.76*
5.4275	5.2145	5.23*	0.2785	5.06*	30.38	2.61*	32.98*
5.7995	5.5544	4.83	0.2749	4.71	30.47	3.02	31.93

Tabela E.8- Valores de perda de massa e quantidade de exsudado para fatias de manga desidratadas osmoticamente 50% sacarose-10% glicerol, 30 minutos - congelamento rápido.

Umidade inicial [%]	Brix [°Brix]	Massa antes da D.O. [g]	Massa após a D.O. [g]	Remoção de massa na D.O. [%]	Umidade final [%]	Massa congelada [g]	Massa descongelada [g]
84.868	14.50	6.0000	3.3600	44.00	68.471	3.2911	3.2276
		7.2000	4.7300	34.31		4.6800	4.6191
		7.2200	4.5400	37.12		4.5033	4.4514
86.007	13.41	7.5600	5.0500	33.20	71.988	5.0299	4.9904
		8.0900	5.4700	32.39		5.4451	5.4136
		7.6500	5.3100	30.59		5.2818	5.2434
85.036	.....	7.3400	5.3600	26.98	75.293	5.3000	5.2551
		9.4100	7.1300	24.23		7.0188	6.9973

Massa após exsudação [g]	Massa enxugada [g]	Perda de massa no descongelamento [%]	Massa de exsudado [g]	% de exsudado	Remoção de água durante a D.O. [%]	Garho de sólidos durante a D.O. [%]	Variação total da massa [%]
3.2032	3.092	4.22	0.1292	4.00	46.52	4.51	48.48
4.6051	4.508	2.40	0.1104	2.39	39.50	7.91	37.39
4.4104	4.245	4.63	0.1995	4.48	41.45	6.88	41.20
4.9514	4.787	4.07	0.1962	3.93	37.92	7.06	36.68
5.3827	5.259	2.86	0.1457	2.69	37.33	7.32	34.99
5.2154	5.056	3.57	0.1790	3.41	36.04	7.85	33.91
5.1884	4.978	5.28	0.2680	5.10	30.05	3.08 *	32.19
6.7870	6.466	7.59 *	0.5052	7.22 *	27.99	3.76	31.28

Tabela E.9- Valores de perda de massa e quantidade de exsudado para fatias de manga desidratadas osmoticamente 50% sacarose-10% glicerol, 60 minutos - congelamento rápido.

Umidade inicial [%]	Brix [°Brix]	Massa antes da D.O.[g]	Massa após a D.O. [g]	Remoção de massa na D.O. [%]	Umidade final [%]	Massa congelada [g]	Massa descongelada [g]
84.868	14.50	6.6500	3.3400	49.77	61.436	3.2931	3.2574
		7.3000	3.7700	48.36		3.7235	3.6857
86.007	13.42	7.8700	4.9400	37.23	68.843	4.9203	4.8797
85.508	12.98	7.4100	4.0000	46.02	61.495	3.9563	3.9191
		7.4100	3.8300	48.31		4.1744	4.1413
		8.3000	4.7000	43.37		4.6763	4.6254
		8.6300	4.8900	43.34		4.8561	4.8056
		8.0100	4.6300	42.20		4.5837	4.5428
		7.9600	4.5400	42.97		4.4789	4.4293
		7.4400	4.4800	39.79		4.4048	4.3764

Massa após exsudação [g]	Massa enxugada [g]	Perda de massa no descongelamento [%]	Massa de exsudado [g]	% de exsudado	Remoção de água durante a D.O.[%]	Ganho de sólidos durante a D.O.[%]	Variação total da massa [%]
3.2378	3.1707	2.66	0.0780	2.39	54.01	8.44	52.32
3.6699	3.5767	2.96	0.1003	2.72	53.14	9.26	51.00
4.8392	4.6697	4.30	0.2000	4.10	42.79	8.87	40.67
3.9050	3.8427	1.95	0.0678	1.73	52.31	11.66	48.14
3.7400	3.6642	11.52 *	0.1880	4.54	53.72	10.47	50.55
4.5846	4.4574	3.63	0.1647	3.56	50.69	12.91	46.30
4.7758	4.6707	2.81	0.1263	2.63	50.66	12.93	45.88
4.4970	4.2834	5.71	0.2493	5.49	49.96	13.43	46.52
4.4142	4.3025	2.86	0.1212	2.74	50.43	13.10	45.95
4.3379	4.1403	5.39	0.2282	5.21	48.48	14.44	44.35

Tabela E.10- Valores de perda de massa e quantidade de exsudado para fatias de manga in natura (congelamento lento).

Unidade inicial [%]	Brix [°Brix]	Massa inicial [g]	Massa congelada [g]	Massa descongelada [g]	Massa após exsudação [g]	Massa enxugada [g]	Perda de peso no descongelamento [%]	Massa de exsudado [g]	% de exsudado
85,696	12,63	7,7000	.....	7,4457	6,3813	5,8139	21,92	1,6020	21,52
86,471	11,37	8,3300	8,0945	8,0619	7,5073	6,3504	21,23	1,6913	20,98
		8,6100	8,5191	8,4927	7,9139	7,0406	17,10	1,4120	16,63
		8,7800	8,5570	8,4650	8,1217	7,2517	14,33	1,1925	14,09
		8,5600	8,3208	8,2867	7,8165	6,8918	16,83	1,3623	16,44
87,294	12,40	6,4200	6,1780	6,1411	5,4842	4,8275	21,39	1,2535	20,41
		8,4300	8,1447	8,1225	7,6879	6,5350	19,54	1,5710	19,34
		7,6600	7,4293	7,4040	6,7339	5,8128	21,49	1,5670	21,16
		8,0400	7,8990	7,8736	7,4009	6,3420	19,45	1,4846	18,86
86,720	10,46	8,8700	8,7086	8,6834	7,5926	6,4434	25,80	2,2087	25,44
		8,4700	8,3236	8,2881	6,7870	6,0374	27,16	2,2044	26,60
85,246	12,83	7,3800	7,3014	7,2630	6,9669	6,1931	14,73	1,0439	14,37
		8,8800	8,6708	8,6303	8,3059	7,1763	16,85	1,4284	16,55
		7,9900	7,6894	7,6604	6,8035	5,9163	22,77	1,7180	22,43
81,252	.....	7,2600	7,0269	7,0036	6,4804	6,0330	13,86	0,9482	13,54
		8,1600	7,8994	7,8847	7,4052	6,3509	19,45	1,5213	19,29
84,837	13,00	7,6500	7,4265	7,4045	6,9597	5,4363	26,58	1,9169	25,89
		8,5900	8,3573	8,3328	7,5423	6,1700	25,96	2,1157	25,39
85,245	13,38	9,3800	9,1683	9,1301	8,3556	7,0514	22,77	2,0078	21,99
		8,2800	8,1223	8,0826	7,5527	5,9152	26,82	2,1378	26,45
85,104	13,88	8,7200	8,5231	8,4989	7,7022	6,0144	29,23	2,4310	28,60
		8,0700	7,7300	7,6960	6,7607	5,4010	29,82	2,2595	29,36
		10,2200	9,9224	9,8966	9,1526	7,6160	23,04	2,2277	22,51

Tabela E.11- Valores de perda de massa e quantidade de exsudado para fatias de manga desidratadas osmoticamente (40% sacarose-30 min.) congelamento lento

Umidade inicial [%]	Brix [°Brix]	Massa antes da D.O.[g]	Massa após a D.O. [g]	Remoção de massa na D.O. [%]	Umidade final [%]	Massa congelada [g]	Massa descongelada [g]
86.720	10.46	9.0900	7.4600	17.93	76.493	7.2497	7.2186
		9.5500	7.9100	17.17		7.6817	7.6562
		9.4500	7.7600	17.88		7.5059	7.4827
		8.4700	6.9300	18.18		6.7651	6.7394
		9.5000	7.8500	17.37		7.7565	7.7127
		8.7300	7.2300	17.18		6.9769	6.9429
85.394	11.50	8.3900	7.3300	12.63*	80.081	7.1825	7.1522
		8.8700	7.4200	16.35		7.2735	7.2380

Massa após exsudação [g]	Massa enxugada [g]	Perda de massa no descongelamento [%]	Massa de exsudado [g]	%de exsudado	Remoção de água durante a D.O. [%]	Ganho de sólidos durante a D.O. [%]	Varição total da massa [%]
7.1225	6.8397	5.25	0.3744	5.19	23.94	7.33	24.76
7.5649	7.2757	4.97	0.3652	4.77	23.36	7.47	23.82
7.3014	6.5449	12.53	0.9054	12.10	23.91	7.34	30.74
6.6260	6.1037	9.43	0.6297	9.34	24.14	7.28	27.94
7.6273	6.6008	14.42	1.1030	14.30	23.51	7.44	30.52
6.7651	6.2733	9.64	0.6551	9.44	23.37	7.47	28.14
7.0605	6.7819	5.18	0.3592	5.02	15.43	3.20*	19.17
6.9650	6.1198	15.45	1.0817	14.94	18.40	2.46*	31.01

Tabela E.12- Valores de perda de massa e quantidade de exsudado para fatias de manga desidratadas osmoticamente (40% sacarose-60 min.) congelamento lento

Umidade inicial [%]	Brix [oBrix]	Massa antes da D.O. [g]	Massa após a D.O. [g]	Remoção de massa na D.O. [%]	Umidade final [%]	Massa congelada [g]	Massa descongelada [g]
85.246	12.83	8.2000	6.7400	17.81	74.952	6.5232	6.4880
		8.4200	6.6300	21.26		6.4871	6.4424
		7.5900	6.1700	18.71		5.9536	5.9108
		9.1600	7.1400	22.05		6.9130	6.8770
		9.6200	7.8100	18.82		7.6278	7.5911
		7.7300	5.9800	22.64		5.8557	5.8172
85.394	11.50	8.5000	6.7100	21.06	76.942	6.4999	6.4436
		8.7800	7.2300	17.65		7.2036	7.1708

Massa após exsudação [g]	Massa enxugada [g]	Perda de massa no descongelamento [%]	Massa de exsudado [g]	%de exsudado	Remoção de água durante a D.O. [%]	Ganho de sólidos durante a D.O. [%]	Variação total da massa [%]
6.4525	6.1550	5.13	0.3268	5.04	23.64	7.10	24.94
6.3885	6.1039	5.25	0.3312	5.14	26.23	6.31	27.51
5.8633	5.6133	5.03	0.2909	4.92	24.32	6.90	26.04
6.8236	6.4460	6.27	0.4251	6.18	26.82	6.12	29.63
7.5295	7.0775	6.77	0.5090	6.71	24.40	6.88	26.43
5.7268	5.1618	11.27 *	0.6470	11.12 *	27.26	5.98	33.22
6.3691	6.0242	6.51	0.4090	6.35	24.66	4.56	29.13
7.0602	6.8174	4.93	0.3432	4.79	22.04	5.32	22.35

Tabela E.13- Valores de perda de massa e quantidade de exsudado para fatias de manga desidratadas osmoticamente (50% sacarose-30 min.) congelamento lento

Umidade inicial [%]	Brix [°Brix]	Massa antes da D.O.[g]	Massa após a D.O. [g]	Remoção de massa na D.O. [%]	Umidade final [%]	Massa congelada [g]	Massa descongelada [g]
85.696	12.63	7.5200	5.6500	24.87	74.581	.....	5.5220
		9.2700	7.3500	20.71		.....	7.2008
		8.7200	6.5900	24.43		.....	5.6252
85.771	12.53	7.7100	6.1200	20.62	73.801	5.9753	5.9619
		8.0300	6.2500	22.17		6.1459	6.1265
		7.7900	6.3800	18.10		6.2892	6.2751
		7.3900	5.6800	23.14		5.5586	5.5401
		8.7400	6.8800	21.28		6.7254	6.7030
		8.0500	6.4900	19.38		6.4141	6.3978
		8.4300	6.8700	18.51		6.7565	6.7399

Massa após exsudação [g]	Massa enxugada [g]	Perda de massa no descongelamento [%]	Massa de exsudado [g]	% de exsudado	Remoção de água durante a D.O.[%]	Ganho de sólidos durante a D.O.[%]	Variação total da massa [%]
5.3074	4.9480	10.39	0.5469	9.90	29.66	6.39	34.20
6.9200	6.5168	9.50	0.6635	9.21	26.56	7.37	29.70
5.5174	5.1169	9.04	0.4963	8.82	29.33	6.50	41.32*
5.8876	5.6320	5.53	0.3209	5.38	27.19	8.27	26.95
6.0354	5.7808	5.64	0.3360	5.48	28.33	7.92	28.01
6.2037	5.9037	5.92	0.3544	5.65	25.33	8.82	24.21
5.4208	4.8628	12.23 *	0.6704	12.10*	29.05	7.69	34.20
6.5626	6.1174	8.74	0.5784	8.63	27.68	8.13	30.01
6.3422	6.1464	3.93	0.2466	3.85	26.27	8.55	23.65
6.6743	6.4464	4.35	0.2874	4.26	25.63	8.73	23.53

Tabela E.14- Valores de perda de massa e quantidade de exsudado para fatias de manga desidratadas osmoticamente (50% sacarose-60 min.) congelamento lento

Umidade inicial [%]	Brix [°Brix]	Massa antes da D.O.[g]	Massa após a D.O. [g]	Remoção de massa na D.O. [%]	Umidade final [%]	Massa congelada [g]	Massa descongelada [g]
85.696	12.63	8.3200	5.7400	31.01	73.092	4.6756	4.6523
		9.0600	6.7000	26.05		6.6245	6.5771
		9.2300	6.8300	26.00		6.7622	6.7265
87.294	12.40	8.4600	6.5300	22.81	72.166	6.3938	6.3634
		8.6800	6.5500	24.54		6.3845	6.3557
		8.2200	6.1400	25.30		5.9817	5.9356
		8.3800	6.1500	26.61		5.9434	5.9129
		8.6100	6.1800	28.22		6.0786	6.0434
		8.8800	6.2900	29.17		6.1540	6.1264

Massa após exsudação [g]	Massa enxugada [g]	Perda de massa no descongelamento [%]	Massa de exsudado [g]	%de exsudado	Remoção de água durante a D.O.[%]	Ganho de sólidos durante a D.O.[%]	Variação total da massa [%]
4.5375	4.2039	9.64	0.4352	9.35	35.27	6.18*	49.47
6.4643	6.1499	6.50	0.4077	6.20	31.64	7.57	32.12
6.5334	6.1278	8.90	0.5861	8.71	31.61	7.58	33.61
6.1600	5.6782	10.77	0.6752	10.61	31.59	11.37	32.88
6.1642	5.4970	13.51	0.8513	13.39	32.84	11.00	36.67
5.8562	5.3275	10.24	0.6037	10.17	33.39	10.62	35.19
5.8479	5.4010	8.66	0.5071	8.58	34.33	10.52	35.55
5.9232	5.1455	14.86	0.8908	14.74	35.50	10.13	40.24
6.0301	5.3767	12.24	0.7402	12.08	36.18	9.90	39.45

Tabela E.15- Valores de perda de massa e quantidade de exsudado para fatias de manga desidratadas osmoticamente
40% sacarose-10% glicerol, 30 minutos - congelamento lento

Umidade inicial [%]	Brix [°Brix]	Massa antes da D.O. [g]	Massa após a D.O. [g]	Remoção de massa na D.O. [%]	Umidade final [%]	Massa congelada [g]	Massa descongelada [g]
82.797	14.50	8.8800	6.1100	31.19	70.044	5.9929	5.9573
		8.0000	5.7000	28.75		5.5812	5.5546
		7.1200	4.7400	33.43		4.6521	4.6317
		7.6300	5.0500	33.81		4.9705	4.9391
		9.1200	6.2600	31.36		6.1810	6.1616
		7.0100	4.5200	35.52		4.4854	4.4584
		8.3700	5.4000	35.48		5.3222	5.2888
87.716	12.50	8.2400	6.2900	23.67	78.027	.....	6.0197
		8.7900	6.8000	22.64		.....	6.6229

Massa após exsudação [g]	Massa enxugada [g]	Perda de massa no descongelamento [%]	Massa de exsudado [g]	% de exsudado	Remoção de água durante a D.O. [%]	Ganho de sólidos durante a D.O. [%]	Variação total da massa [%]
5.9276	5.6848	4.57	0.2681	4.50	34.60	4.95	35.98
5.5356	5.3890	2.98	0.1620	2.92	32.89	5.81	32.64
4.6184	4.5264	2.27	0.1030	2.22	36.17	4.12	36.43
4.9216	4.8021	2.77	0.1313	2.66	36.44	3.97	37.06
6.1365	5.8996	4.25	0.2571	4.17	34.72	4.89	35.31
4.4471	4.3434	2.58	0.1120	2.51	37.63	3.28*	38.04
5.2782	5.1831	2.00	0.1024	1.94	37.61	3.29*	38.08
5.9508	5.5278	8.17	0.4865	8.08	28.15	5.88	32.92
6.5843	6.2174	6.12	0.3958	5.98	27.35	6.09	29.27

Tabela E.16- Valores de perda de massa e quantidade de exsudado para fatias de manga desidratadas osmoticamente 40% sacarose-10% glicerol, 60 minutos - congelamento lento

Umidade inicial [%]	Brix [oBrix]	Massa antes da D.O. [g]	Massa após a D.O. [g]	Remoção de massa na D.O. [%]	Umidade final [%]	Massa congelada [g]	Massa descongelada [g]
84.837	13.00	7.9300	4.7700	39.85	68.337	4.6780	4.6425
		8.5600	5.2600	38.55		5.0943	5.0663
		9.0400	6.0100	33.52		5.5785	5.5540
		8.5700	5.8400	31.86		5.6550	5.6185
		9.0500	6.0300	33.37		5.7422	5.7217
		8.3300	5.4300	34.81		5.2232	5.1984
		8.9400	5.5000	38.48		5.4544	5.4285
85.245	13.38	9.3000	6.7500	27.42	73.941	6.5782	6.5311

Massa após exsudação [g]	Massa enxugada [g]	Perda de massa no descongelamento [%]	Massa de exsudado [g]	% de exsudado	Remoção de água durante a D.O. [%]	Carho de sólidos durante a D.O. [%]	Variação total da massa [%]
4.5928	4.2583	8.28	0.3782	8.15	43.73	6.45	46.30
5.0534	4.9260	2.77	0.1354	2.67	42.85	6.99	42.45
5.5355	5.3866	3.01	0.1634	2.94	39.41	8.86	40.41
5.6059	5.5123	1.89	0.0988	1.76	38.27	9.41	35.68
5.7028	5.4454	4.83	0.2271	3.97	39.30	8.91	39.83
5.1791	4.9826	4.15	0.2108	4.06	40.29	8.40	40.19
5.3262	4.8506	10.65*	0.5680	10.46*	42.80	7.02	45.74
6.4322	5.8698	10.13*	0.6502	9.96*	31.58	5.73	36.88

Tabela E.17- Valores de perda de massa e quantidade de exsudado para fatias de manga desidratadas osmoticamente
50% sacarose-10% glicerol, 30 minutos - congelamento lento

Umidade inicial [%]	Brix [°Brix]	Massa antes da D.O.[g]	Massa após a D.O. [g]	Remoção de massa na D.O. [%]	Umidade final [%]	Massa congelada [g]	Massa descongelada [g]
86.015	11.95	8.8800	6.3600	28.38	71.253	6.2169	6.1859
		8.8300	5.9100	33.07		5.7581	5.7234
		7.3900	4.9900	32.48		4.7273	4.6888
		8.5000	5.6300	33.77		5.4350	5.3459
		8.7600	5.9700	31.85		5.7784	5.7437
		8.1800	5.5400	32.27		5.4264	5.3870
		7.9600	4.9900	37.31		4.8439	4.8052
85.394	11.50	8.5200	6.4700	24.06	78.696	6.4032	6.3721
87.404	12.50	7.8600	5.6900	27.61	77.395	.....	5.5503

Massa após exsudação [g]	Massa enxugada [g]	Perda de massa no descongelamento [%]	Massa de exsudado [g]	%de exsudado	Remoção de água durante a D.O.[%]	Ganho de sólidos durante a D.O.[%]	Variação total da massa [%]
6.1552	5.9816	3.30	0.1990	3.22	34.98	9.22	32.64
5.6963	5.4496	4.78	0.2702	4.72	38.33	7.85	38.28
4.6678	4.5398	3.18	0.1448	3.09	37.90	8.04	38.57
5.3262	5.2019	2.69	0.1384	2.59	38.82	7.63	38.80
5.6979	5.5028	4.19	0.2330	4.06	37.46	8.23	37.18
5.3626	5.2078	3.33	0.1728	3.21	37.76	8.10	36.34
4.7775	4.6316	3.61	0.1675	3.49	41.35	6.44	41.81
6.2641	5.8461	8.25	0.5119	8.03	25.63	2,07*	31.38
5.4998	5.2033	6.25	0.3382	6.09	31.38	5.21	33.80

Tabela E.18- Valores de perda de massa e quantidade de exsudado para fatias de manga desidratadas osmoticamente
50% sacarose-10% glicerol, 60 minutos - congelamento lento

Umidade inicial [%]	Brix [°Brix]	Massa antes da D.O.[g]	Massa após a D.O. [g]	Remoção de massa na D.O. [%]	Umidade final [%]	Massa congelada [g]	Massa descongelada [g]
81.721	12.50	8.4000	5.0600	39.76	66.189	4.9660	4.9518
		7.5400	4.0000	46.95		3.8715	3.8506
		8.2300	4.6900	43.01		4.5729	4.5444
		8.0000	4.2400	47.00		4.1386	4.1094
		7.6000	3.8200	49.74		3.7188	3.6914
		9.1300	5.0700	44.47		4.9456	4.9113
		7.1000	4.3800	38.31		4.3103	4.2825
85.245	13.38	9.1000	6.2100	31.76	73.686	6.1414	6.0913
		8.8700	6.1800	30.33		6.0169	5.9869

Massa após exsudação [g]	Massa enxugada [g]	Perda de massa no descongelamento [%]	Massa de exsudado [g]	% de exsudado	Remoção de água durante a D.O.[%]	Ganho de sólidos durante a D.O.[%]*	Variação total da massa [%]
4.9176	4.7576	3.92	0.1891	3.82	41.81	3.40	43.36
3.8377	3.7479	2.67	0.0998	2.59	46.51	-0.28	50.29
4.5245	4.3957	3.27	0.1413	3.11	43.94	1.62	46.59
4.0937	4.0093	2.44	0.0978	2.38	46.55	-0.86	49.88
3.6763	3.6035	2.38	0.0844	2.29	48.34	-2.78	52.59
4.8853	4.7841	2.59	0.1234	2.51	44.89	0.76	47.60
4.2587	4.0730	4.89	0.2047	4.78	40.86	4.13	42.63
5.8963	5.3144	12,754 *	0.7595	12,469 *	34.96	4.69	41.60
5.8735	5.4398	9,138 *	0.5368	8,966 *	33.91	5.14	38.67

Tabela E.19- Valores de perda de massa e quantidade de exsudado para fatias de manga submetidas à secagem com ar à 30°C. congelamento lento

Umidade inicial [%]	Brix [°Brix]	T _{secador} [°C]	tempo de secagem [min.]	T _{bulbo seco} [°C]	T _{bulbo úmido} [°C]	Umidade relativa [in%]	Massa inicial [g]	Massa final [g]
87.011	9.25	33.15	59	28.0	23.0	60	8.1500	7.0100
							8.3900	7.2700
							7.9900	6.8800
							8.0000	6.8500
							8.1400	7.0600
85.104	13.88	32.4	87	27.5	22.0	65	8.6200	7.0100
							8.3800	6.8800
85.783	11.50	30	.....	26.4	20.9	58	7.4000	6.2800
							7.3300	6.2000
84.191	13.00	34.3	.....	29.0	23.7	58	8.2800	7.2300
							7.6500	6.6500

Remoção de água [%]	Umidade final [%]	Massa congelada [g]	Massa descongelada [g]	Massa após exsudação [g]	Massa enxugada [g]	Perda de massa [%]	Massa de exsudado [g]	% de exsudado	Varição total da massa [%]
13.99	83.729	6.7392	6.7175	6.5842	5.9728	11.09	0.73	10.84	26.71
13.35		7.0865	7.0712	7.0227	6.7245	4.90	0.34	4.83	19.85
13.88		6.6824	6.6530	6.5800	6.2348	6.29	0.41	6.18	21.97
14.38		6.6368	6.6107	6.5516	6.1032	7.68	0.50	7.56	23.71
13.27		6.9309	6.9087	6.8303	6.5331	5.44	0.36	5.24	19.74
18.67	81.104	6.8866	6.8324	6.7917	6.3943	6.41	0.43	6.27	25.82
17.90		6.6683	6.6368	6.5253	5.7354	13.58	0.89	13.41	31.56
15.14	83.788	6.1168	6.0891	5.9102	5.3000	12.96	0.78	12.78	28.38
15.42		6.0946	6.0647	5.9815	5.3443	11.88	0.71	11.72	27.09
12.68	82.363	7.1633	7.1423	6.9274	6.4392	10.11	0.70	9.76	22.23
13.07		6.5582	6.5327	6.1393	5.5986	14.63	0.92	14.03	26.82

Tabela E.20- Valores de perda de massa e quantidade de exsudado para fatias de manga submetidas à secagem com ar congelamento lento

Umidade inicial [%]	Brix [°Brix]	T _{secador} [°C]	tempo de secagem [min.]	T _{bulbo seco} [°C]	T _{bulbo úmido} [°C]	Umidade relativa [in%]	Massa inicial [g]	Massa final [g]
87.206	10.50	32.77	103	28.0	24	70	7.5500	5.6100
							7.7100	5.8100
							8.6000	6.7000
							8.2400	6.3400
							8.5200	6.6800
85.928	12.50	29.59	.....	26.5	22	65	8.0500	5.9500
							7.8400	5.7200
							8.4300	6.1400
							8.1300	6.1300
84.191	.....	31.00	144	27.1	21	55	8.4700	6.6300

Remoção de água [%]	Umidade final [%]	Massa congelada [g]	Massa descongelada [g]	Massa após exsudação [g]	Massa enxugada [g]	Perda de massa [%]	Massa de exsudado [g]	% de exsudado	Varição total da massa [%]
25.70	84.624	5.5704	5.5389	5.4551	4.5106	18.57	1.01	18.30	40.26
24.64		5.7336	5.7024	5.3142	4.4567	21.85*	1.23	21.65*	42.20*
22.09		6.6239	6.5912	6.5415	6.1072	7.34	0.47	7.19	28.99
23.06		6.1853	6.1529	5.9891	5.4016	12.21	0.74	12.04	34.45
21.60		6.5927	6.5638	6.3694	5.5179	15.93	1.04	15.80	35.24
26.09	80.247	5.7683	5.7381	5.7118	5.4988	4.17	0.23	4.06	31.69
27.04		5.5394	5.5107	5.4827	5.2660	4.44	0.24	4.32	32.83
27.17		5.9918	5.9587	5.9306	5.7136	4.11	0.24	4.02	32.22
24.60		5.9253	5.8969	5.8774	5.6773	3.72	0.22	3.66	30.17
21.72	79.801	6.5380	6.5174	6.4314	6.0021	7.91	0.51	7.80	29.14

Tabela E.21- Valores de perda de massa e quantidade de exsudado para fatias de manga submetidas à secagem com ar congelamento lento

Umidade inicial [%]	Brix [°Brix]	T _{secador} [°C]	tempo de secagem [min.]	T _{bulbo seco} [°C]	T _{bulbo úmido} [°C]	Umidade relativa [in%]	Massa inicial [g]	Massa final [g]
85.265	9.88	33.4	123	28	25.50	75	9.1900	7.0600
							8.4300	6.3300
							6.6100	4.6000
							8.1300	6.0000
							8.3500	6.2200
85.104	13.88	29.4	.....	26	22.00	70	9.8300	6.9500
							9.4700	6.6000
							9.6200	6.5000
							9.4300	6.4700

Remoção de água [%]	Umidade final [%]	Massa congelada [g]	Massa descongelada [g]	Massa após exsudação [g]	Massa enxugada [g]	Perda de massa [%]	Massa de exsudado [g]	% de exsudado	Variação total da massa [%]
23.18	83.519	6.8578	6.8294	6.7608	6.4284	5.87	0.38	5.60	30.05
24.91		6.1321	6.0991	6.0590	5.8476	4.12	0.24	3.98	30.63
30.41		4.4582	4.4188	4.3255	4.1331	6.47	0.27	6.06	37.47
26.20		5.8296	5.7987	5.7374	5.1367	11.42	0.65	11.24	36.82
25.51		6.0404	6.0082	5.8603	4.7685	20.63*	1.23	20.43*	42.89*
29.30	78.516	6.8194	6.7941	6.7430	6.4537	5.01	0.33	4.83	34.35
30.31		6.4559	6.4011	6.3653	6.1970	3.19	0.19	3.00	34.56
32.43		6.4841	6.4416	6.4094	6.2129	3.55	0.22	3.38	35.42
31.39		6.3561	6.3156	6.2658	5.8695	7.06	0.44	6.92	37.76

Tabela E.22- Valores de perda de massa e quantidade de exsudado para fatias de manga submetidas à secagem com ar congelamento lento

Umidade inicial [%]	Brix [°Brix]	T _{secador} [°C]	tempo de secagem [min.]	T _{bulbo seco} [°C]	T _{bulbo úmido} [°C]	Umidade relativa [in%]	Massa inicial [g]	Massa final [g]
85.265	12.50	33.07	.....	28.5	26.4	80	9.7400 8.9500 8.8300 8.0500 8.2300	6.5400 5.7700 5.7100 4.9500 5.2400
85.783	11.50	30.20	.....	26.4	22.0	70	8.2800 8.9700	5.3700 6.0500
84.191	.....	.....	240	.....	.....	.....	8.1100 9.0600	5.3500 6.0900

Remoção de água [%]	Umidade final [%]	Massa congelada [g]	Massa descongelada [g]	Massa após exsudação [g]	Massa enxugada [g]	Perda de massa [%]	Massa de exsudado [g]	% de exsudado	Varição total da massa [%]
32.85	75.654	6.3769	6.3521	6.3291	6.2430	1.72	0.10	1.60	35.90
35.53		5.6444	5.6189	5.5990	5.5285	1.61	0.08	1.51	38.23
35.33		5.5200	5.4982	5.4738	5.3933	1.91	0.10	1.77	38.92
38.51		4.7843	4.7537	4.7402	4.6662	1.84	0.08	1.71	42.04
36.33		5.1338	5.1090	5.0813	4.9808	2.51	0.12	2.38	39.48
35.15	80.373	5.2348	5.2011	5.1841	4.9792	4.27	0.22	4.21	39.87
32.55	76.817	5.9199	5.8878	5.8551	5.6560	3.94	0.23	3.89	36.95
34.03		5.2764	5.2575	5.2299	5.0343	4.25	0.22	4.20	37.93
32.78		5.9772	5.9586	5.9195	5.7113	4.15	0.24	4.02	36.96

Tabela E.23- Valores de perda de massa e quantidade de exsudado para fatias de manga submetidas à secagem com ar congelamento lento

Unidade inicial [%]	Brix [°Brix]	T _{secador} [°C]	tempo de secagem [min.]	T _{tubo seco} [°C]	T _{tubo úmido} [°C]	Unidade relativa [in %]	Massa inicial [g]	Massa final [g]
85.394	11.50	33.373	277	28	23	80	8.7000 9.2300 8.5600 8.5000 8.6200	4.9100 4.9500 4.5500 4.5500 4.8400
85.783	11.50	.....	87	.....	.....	.....	7.0700 9.2100	4.0500 5.4700

Remoção de água [%]	Unidade final [%]	Massa congelada [g]	Massa descongelada [g]	Massa após exsudação [g]	Massa enxugada [g]	Perda de massa [%]	Massa de exsudado [g]	%de exsudado	Varição total da massa [%]
43.56	75.296	4.7141	4.6775	4.6518	4.5665	2.37	0.10	2.13	47.51
46.37		4.8538	4.8090	4.7841	4.5988	4.37	0.21	4.28	50.18
46.85		4.3931	4.3491	4.3120	4.2223	2.92	0.12	2.73	50.67
46.47		4.3989	4.3667	4.3454	4.1940	3.95	0.17	3.79	50.66
43.85		4.6417	4.6044	4.5806	4.4960	2.35	0.10	2.22	47.84
42.72	76.086	3.9246	3.8928	3.8815	3.7644	3.30	0.13	3.25	46.76
40.61		5.3972	5.3728	5.3572	5.2234	2.78	0.14	2.68	43.29

APÊNDICE F

As tabelas a seguir referem-se à análise estatística (ANOVA) dos resultados de caracterização da matéria-prima, Remoção de massa e % de exsudado obtidos durante o trabalho experimental. Utilizou-se como referência o nível de probabilidade de 0,1%. Nos casos em que as amostras apresentavam igualdade entre si utilizando como referência outros níveis de probabilidade, esses foram considerados nas tabelas de ANOVA para comparação.

- Caracterização da matéria-prima

• Quantidade de sólidos solúveis da matéria-prima

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	198,84	27	7,36	4,81	$F_{37,27} (0,1\%) = 3,02$
Dentro dos grupos	56,65	37	1,53		

• Umidade

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	337,58	35	9,65	35,74	$F_{70,35} (0,1\%) = 1,93$
Dentro dos grupos	19,14	70	0,27		

- Desidratação osmótica - Remoção de massa

• Amostra 40% sacarose, 30 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	92,81	5	18,56	12,80	$F_{7,5} (0,1\%) = 16,21$
Dentro dos grupos	10,16	7	1,45		

• Amostra 40% sacarose, 60 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	31,12	4	7,78	1,83	$F_{11,4} (10\%) = 2,54$ $F_{11,4} (5\%) = 3,36$
Dentro dos grupos	46,66	11	4,24		$F_{11,4} (1\%) = 5,67$ $F_{11,4} (0,1\%) = 10,35$

• Amostra 50% sacarose, 30 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	128,56	5	25,71	2,50	$F_{12,5} (5\%) = 3,11$
Dentro dos grupos	123,47	12	10,29		$F_{12,5} (1\%) = 5,06$ $F_{12,5} (0,1\%) = 8,89$

• Amostra 50% sacarose, 60 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	192,76	5	38,55	6,97	$F_{12,5} (0,1\%) = 8,89$
Dentro dos grupos	66,33	12	5,53		

• Amostra 40% sacarose - 10% glicerol, 30 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	244,34	4	61,09	15,16	$F_{15,4} (0,1\%) = 4,89$
Dentro dos grupos	60,46	15	4,03		

• Amostra 40% sacarose - 10% glicerol, 60 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	367,49	4	91,87	10,78	$F_{11,4} (0,1\%) = 10,35$
Dentro dos grupos	93,73	11	8,52		

- Amostra 50% sacarose - 10% glicerol, 30 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	305,61	4	76,40	8,68	$F_{12,4} (0,1\%) = 9,63$
Dentro dos grupos	105,55	12	8,80		

- Amostra 50% sacarose - 10% glicerol, 60 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	461,70	4	115,43	10,85	$F_{14,4} (0,1\%) = 8,62$
Dentro dos grupos	148,98	14	10,64		

- Secagem - Remoção de massa

- Amostra 15%

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	38,65	3	12,88	71,56	$F_{7,3} (0,1\%) = 8,45$
Dentro dos grupos	1,27	7	0,18		

- Amostra 22%

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	28,69	2	14,35	6,24	$F_{7,2} (1\%) = 9,55$
Dentro dos grupos	16,10	7	2,30		$F_{7,2} (0,1\%) = 21,69$

- Amostra 27%

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	52,17	1	52,17	10,63	$F_{7,1} (1\%) = 12,25$
Dentro dos grupos	34,36	7	4,91		$F_{7,1} (0,1\%) = 29,25$

• Amostra 35%

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	11,77	2	5,89	1,71	$F_{6,2} (25\%) = 1,76$
Dentro dos grupos	20,69	6	3,45		$F_{6,2} (10\%) = 3,46$
					$F_{6,2} (5\%) = 5,14$
					$F_{6,2} (1\%) = 10,92$
					$F_{6,2} (0,1\%) = 27,00$

• Amostra 45%

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	24,72	1	24,72	10,17	$F_{5,1} (1\%) = 16,26$
Dentro dos grupos	12,17	5	2,43		$F_{5,1} (0,1\%) = 47,18$

- Quantidade de exsudado - Congelamento rápido

• Amostra *in natura*

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	203,38	6	33,90	4,59	$F_{13,6} (1\%) = 4,62$
Dentro dos grupos	96,03	13	7,39		$F_{13,6} (0,1\%) = 7,86$

• Amostra 40% sacarose, 30 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	2,64	3	0,88	1,87	$F_{2,3} (25\%) = 3,15$
Dentro dos grupos	0,93	2	0,47		$F_{2,3} (10\%) = 9,16$
					$F_{2,3} (5\%) = 19,16$
					$F_{2,3} (1\%) = 99,17$
					$F_{2,3} (0,1\%) = 999,2$

• Amostra 40% sacarose, 60 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	9,81	1	9,81	4,32	$F_{3,1} (10\%) = 5,54$
Dentro dos grupos	6,80	3	2,27		$F_{3,1} (5\%) = 10,13$
					$F_{3,1} (1\%) = 34,12$
					$F_{3,1} (0,1\%) = 167$

• Amostra 50% sacarose, 30 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	9,99	2	5,00	2,24	$F_{2,2} (25\%) = 3,00$
Dentro dos grupos					$F_{2,2} (10\%) = 9,00$
	4,46	2	2,23		$F_{2,2} (5\%) = 19,00$
					$F_{2,2} (1\%) = 99,00$
					$F_{2,2} (0,1\%) = 999,00$

• Amostra 50% sacarose, 60 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	11,69	2	5,85	2,53	$F_{4,2} (10\%) = 4,32$
Dentro dos grupos	9,24	4	2,31		$F_{4,2} (5\%) = 6,94$
					$F_{4,2} (1\%) = 18,00$
					$F_{4,2} (0,1\%) = 61,25$

• Amostra 40% sacarose - 10% glicerol, 30 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	15,44	1	15,44	24,51	$F_{6,1} (0,1\%) = 35,51$
Dentro dos grupos	3,77	6	0,63		

• Amostra 40% sacarose - 10% glicerol, 60 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	6,84	2	3,42	8,55	$F_{5,2} (1\%) = 13,27$
Dentro dos grupos	1,98	5	0,40		$F_{5,2} (0,1\%) = 37,12$

• Amostra 50% sacarose - 10% glicerol, 30 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	3,01	2	1,51	1,89	$F_{4,2} (25\%) = 2,00$
Dentro dos grupos	3,18	4	0,80		$F_{4,2} (10\%) = 4,32$
					$F_{4,2} (5\%) = 6,94$
					$F_{4,2} (1\%) = 18,00$
					$F_{4,2} (0,1\%) = 61,25$

• Amostra 50% sacarose - 10% glicerol, 60 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	2,45	2	1,23	0,70	$F_{7,2} (25\%) = 1,70$
Dentro dos grupos	12,23	7	1,75		$F_{7,2} (10\%) = 3,26$
					$F_{7,2} (5\%) = 4,74$
					$F_{7,2} (1\%) = 9,55$
					$F_{7,2} (0,1\%) = 21,69$

- Quantidade de exsudado - Congelamento lento

• Amostra *in natura*

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	361,33	8	45,17	5,35	$F_{14,8} (0,1\%) = 6,80$
Dentro dos grupos	118,24	14	8,45		

• Amostra 40% sacarose, 30 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	1,26	1	1,26	0,06	$F_{6,1} (25\%) = 1,62$
Dentro dos grupos	119,47	6	19,91		$F_{6,1} (10\%) = 3,78$
					$F_{6,1} (5\%) = 5,99$
					$F_{6,1} (1\%) = 13,75$
					$F_{6,1} (0,1\%) = 35,51$

• Amostra 40% sacarose, 60 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	0,0016	1	0,0016	0,002	$F_{5,1} (25\%) = 1,69$
Dentro dos grupos	3,77	5	0,75		$F_{5,1} (10\%) = 4,06$ $F_{5,1} (5\%) = 6,61$ $F_{5,1} (1\%) = 16,26$ $F_{5,1} (0,1\%) = 47,18$

• Amostra 50% sacarose, 30 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	31,98	1	31,98	15,30	$F_{7,1} (0,1\%) = 29,25$
Dentro dos grupos	14,65	7	2,09		

• Amostra 50% sacarose, 60 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	27,67	1	27,67	6,25	$F_{7,1} (1\%) = 12,25$
Dentro dos grupos	31,04	7	4,43		$F_{7,1} (0,1\%) = 29,25$

• Amostra 40% sacarose - 10% glicerol, 30 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	17,85	1	17,85	18,79	$F_{6,1} (0,1\%) = 35,51$
Dentro dos grupos	5,72	6	0,95		

• Amostra 40% sacarose - 10% glicerol, 60 minutos

Todas as réplicas foram obtidas com o mesmo conjunto de mangas.

• Amostra 50% sacarose - 10% glicerol, 30 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	28,87	1	28,87	41,84	$F_{7,1} (0,1\%) = 29,25$
Dentro dos grupos	4,85	7	0,69		

- Amostra 50% sacarose - 10% glicerol, 60 minutos

Todas as réplicas foram obtidas com o mesmo conjunto de mangas.

- Amostra 15%

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	68,53	3	22,84	2,72	$F_{7,3} (10\%) = 3,07$
Dentro dos grupos	58,75	7	8,39		$F_{7,3} (5\%) = 4,35$ $F_{7,3} (1\%) = 8,45$ $F_{7,3} (0,1\%) = 18,77$

- Amostra 22%

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	174,55	2	87,28	7,44	$F_{2,6} (1\%) = 10,93$
Dentro dos grupos	70,39	6	11,73		$F_{2,6} (0,1\%) = 27,00$

- Amostra 27%

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	174,55	2	87,28	7,44	$F_{6,2} (1\%) = 10,92$
Dentro dos grupos	70,39	6	11,73		$F_{6,2} (0,1\%) = 27,00$

- Amostra 35%

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	13,94	2	6,97	77,44	$F_{2,6} (1\%) = 27,00$
Dentro dos grupos	0,54	6	0,09		

• Amostra 45%

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	0,006	1	0,006	0,088	$F_{1,5} (25\%) = 1,69$
Dentro dos grupos	3,86	57	0,068		$F_{1,5} (10\%) = 4,06$
					$F_{1,5} (5\%) = 6,61$
					$F_{1,5} (1\%) = 16,26$
					$F_{1,5} (0,1\%) = 47,18$

- Comparação entre o congelamento lento e rápido para as amostras desidratadas osmoticamente

• Amostra in natura

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	706,17	1	706,17	37,58	$F_{41,1} (0,1\%) = 12,56$
Dentro dos grupos	770,33	41	18,79		

• Amostra 40% sacarose, 30 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	46,29	1	46,29	4,48	$F_{12,1} (5\%) = 4,75$
Dentro dos grupos	123,94	12	10,33		$F_{12,1} (1\%) = 9,33$
					$F_{12,1} (0,1\%) = 18,64$

• Amostra 40% sacarose, 60 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	3,68	1	3,68	2,18	$F_{10,1} (10\%) = 3,29$
Dentro dos grupos	16,85	10	1,69		$F_{10,1} (5\%) = 4,96$
					$F_{10,1} (1\%) = 10,04$
					$F_{10,1} (0,1\%) = 21,04$

• Amostra 50% sacarose, 30 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	0,69	1	0,69	0,15	$F_{12,1} (25\%) = 1,46$
Dentro dos grupos	57,05	12	4,75		$F_{12,1} (10\%) = 3,18$
					$F_{12,1} (5\%) = 4,75$
					$F_{12,1} (1\%) = 9,33$
					$F_{12,1} (0,1\%) = 18,64$

• Amostra 50% sacarose, 60 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	158,76	1	158,76	29,13	$F_{14,1} (1\%) = 17,14$
Dentro dos grupos	76,34	14	5,45		

• Amostra 40% sacarose - 10% glicerol, 30 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	0,005	1	0,005	0,002	$F_{14,1} (25\%) = 1,44$
Dentro dos grupos	31,30	14	2,24		$F_{14,1} (10\%) = 3,10$
					$F_{14,1} (5\%) = 4,60$
					$F_{14,1} (1\%) = 8,86$
					$F_{14,1} (0,1\%) = 17,14$

• Amostra 40% sacarose - 10% glicerol, 60 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	0,50	1	0,50	0,18	$F_{12,1} (25\%) = 1,46$
Dentro dos grupos	32,89	12	2,74		$F_{12,1} (10\%) = 3,18$
					$F_{12,1} (5\%) = 4,75$
					$F_{12,1} (1\%) = 9,33$
					$F_{12,1} (0,1\%) = 18,64$

• Amostra 50% sacarose - 10% glicerol, 30 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	1,26	1	1,26	0,58	$F_{14,1} (25\%) = 1,44$
Dentro dos grupos	30,34	14	2,17		$F_{14,1} (10\%) = 3,10$
					$F_{14,1} (5\%) = 4,60$
					$F_{14,1} (1\%) = 8,86$
					$F_{14,1} (0,1\%) = 17,14$

• Amostra 50% sacarose - 10% glicerol, 60 minutos

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado da média	Razão	Valor de Fisher (nível de probab.)
Entre os grupos	0,83	1	0,83	0,63	$F_{15,1} (25\%) = 1,43$
Dentro dos grupos	19,75	15	1,32		$F_{15,1} (10\%) = 3,07$
					$F_{15,1} (5\%) = 4,54$
					$F_{15,1} (1\%) = 8,68$
					$F_{15,1} (0,1\%) = 16,59$

APÊNDICE G

Nas Figuras a seguir são plotados os valores de % exsudado_{teórico} vs % exsudado_{experimental} com as bandas de confiança de 95%. As figuras foram plotadas utilizando o *software* STATISTICA for Windows (versão 5.0).

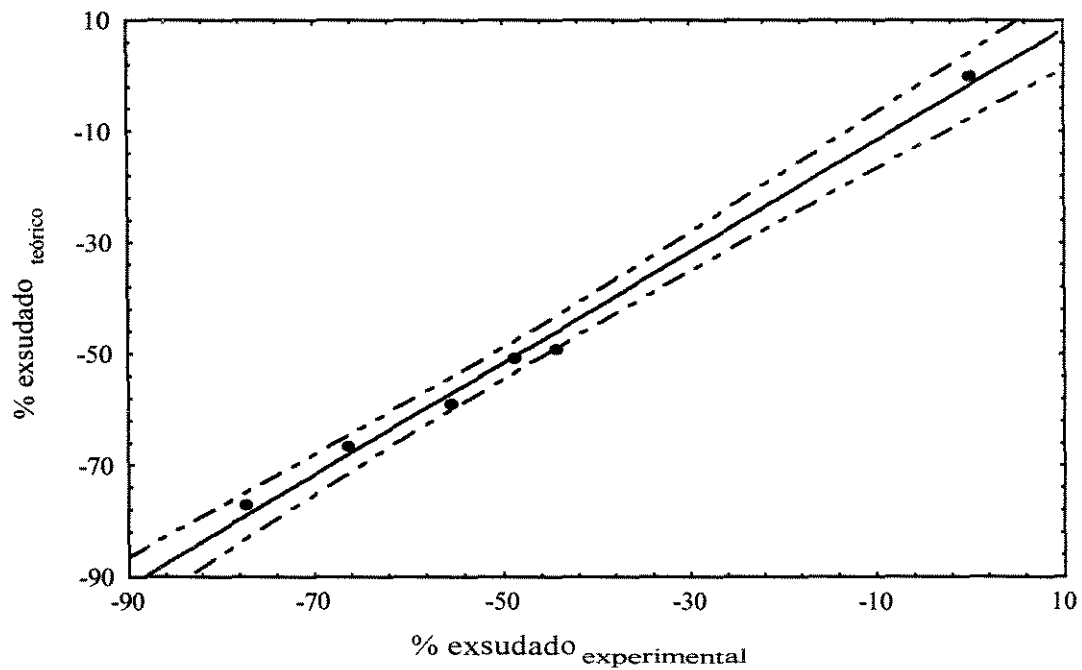


Figura G.1 - % exsudado_{teórico} vs % exsudado_{experimental} - in natura

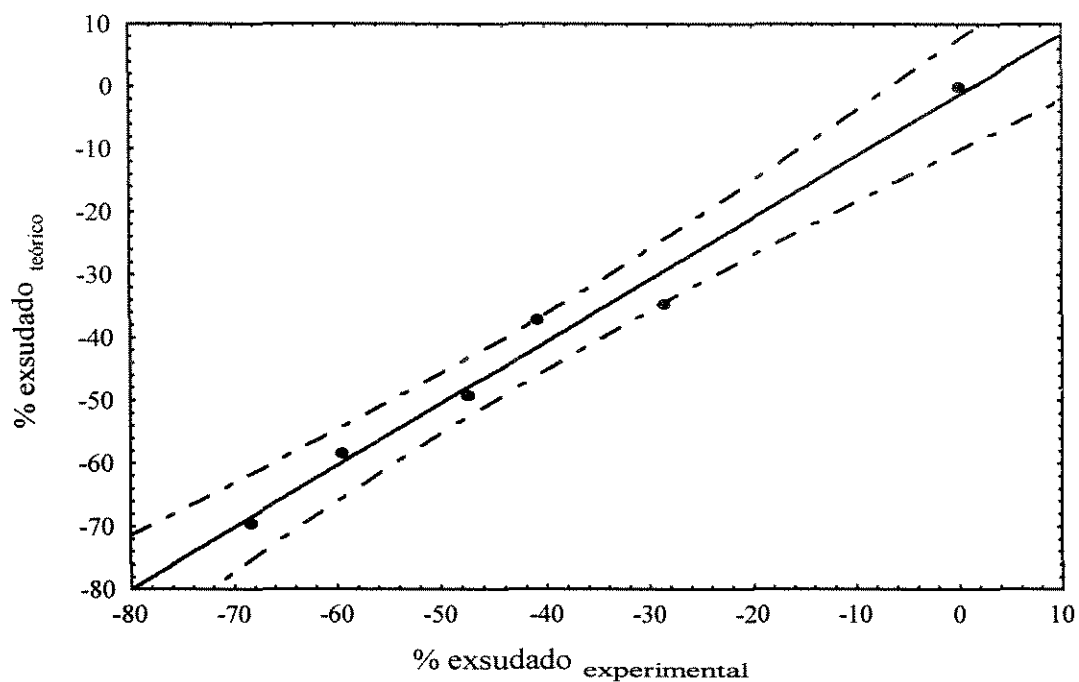


Figura G.2 - % exsudado teórico vs % exsudado experimental - 40% sacarose, 30 min.

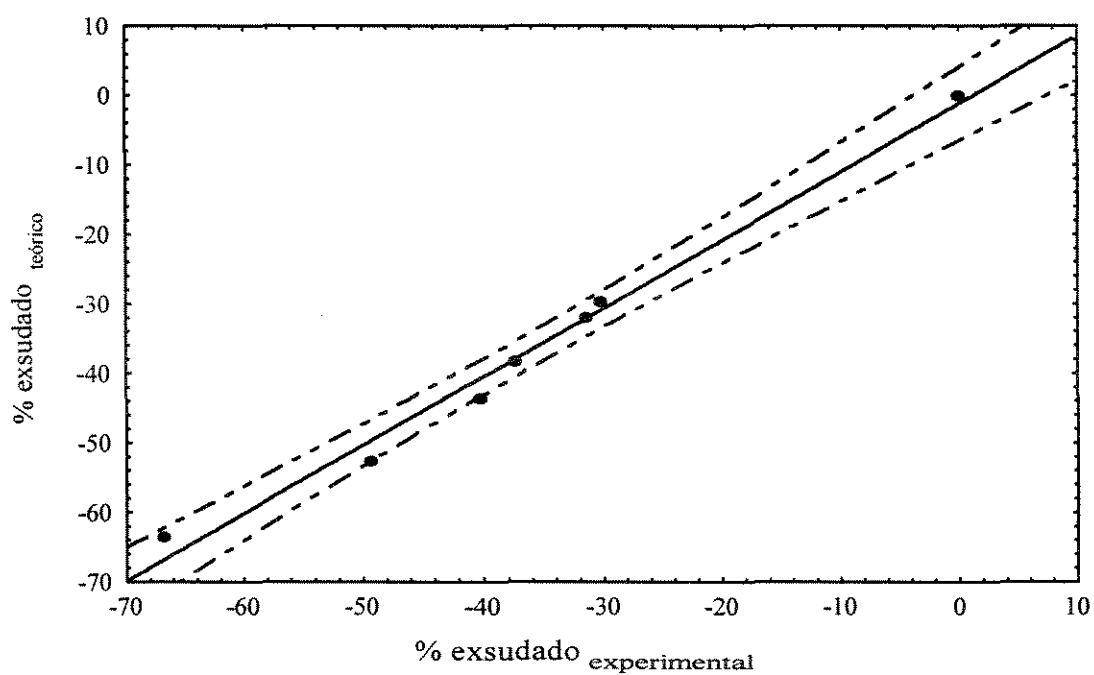


Figura G.3 - % exsudado teórico vs % exsudado experimental - 40% sacarose, 60 min.

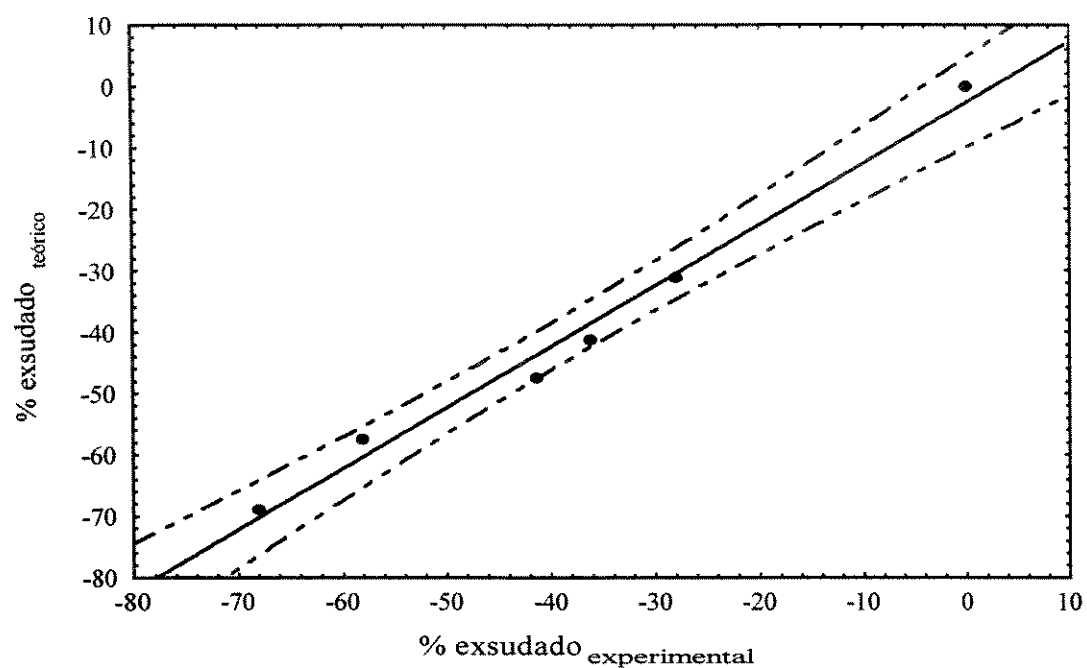


Figura G.4 - % exsudado teórico vs % exsudado experimental - 50% sacarose, 30 min.

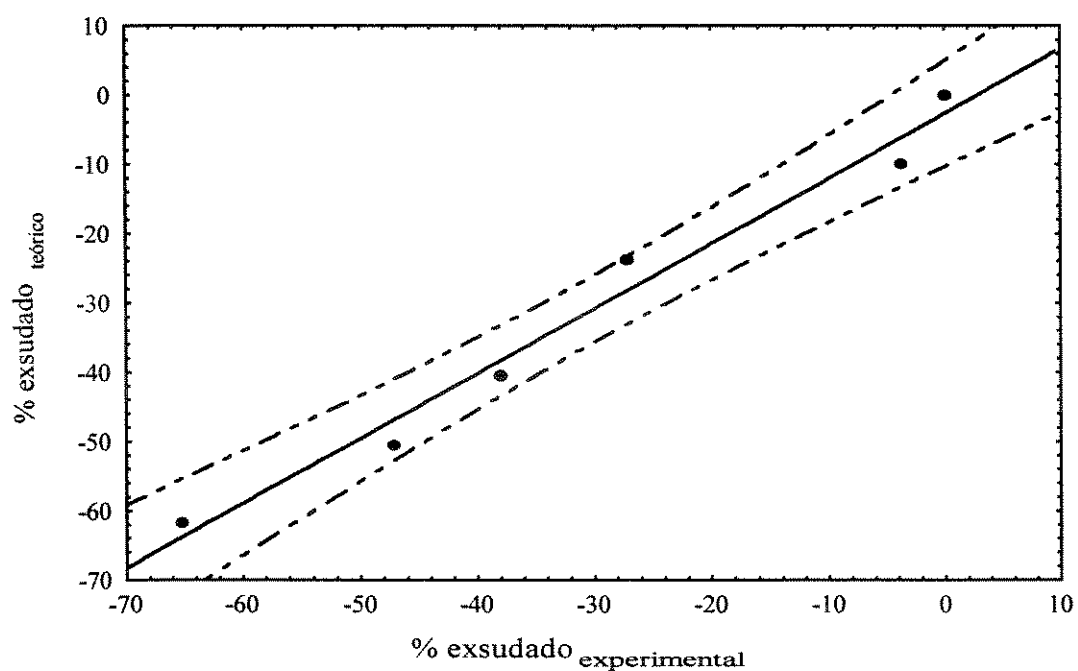


Figura G.5 - % exsudado teórico vs % exsudado experimental - 50% sacarose, 60 min.

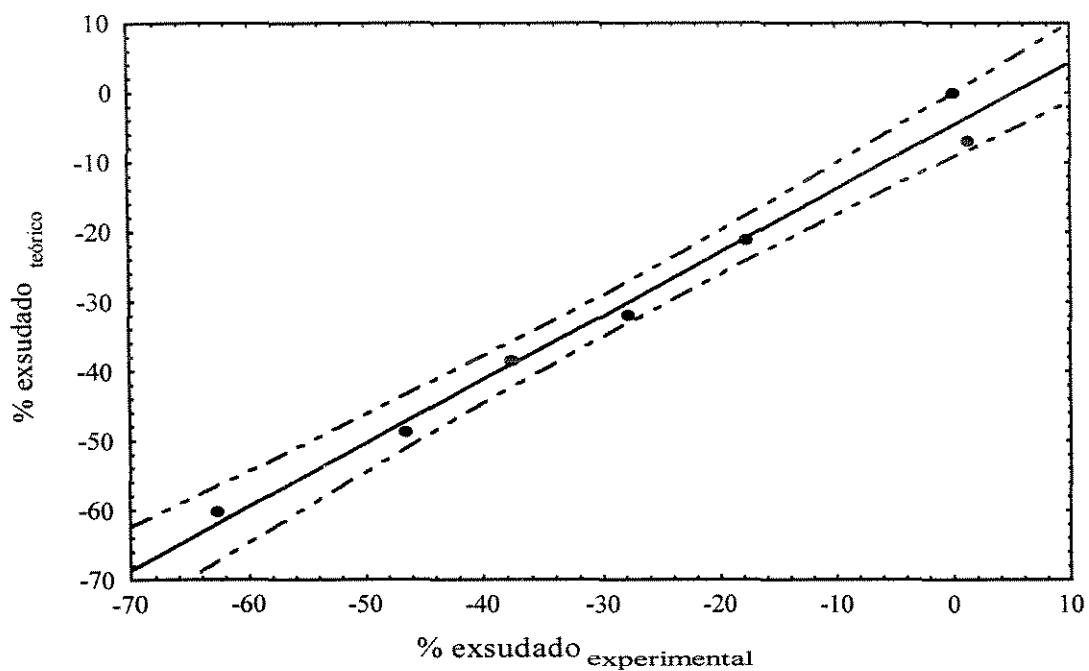


Figura G.6 - % exsudado teórico vs % exsudado experimental - 40% sacarose -10% glicerol, 30 min.

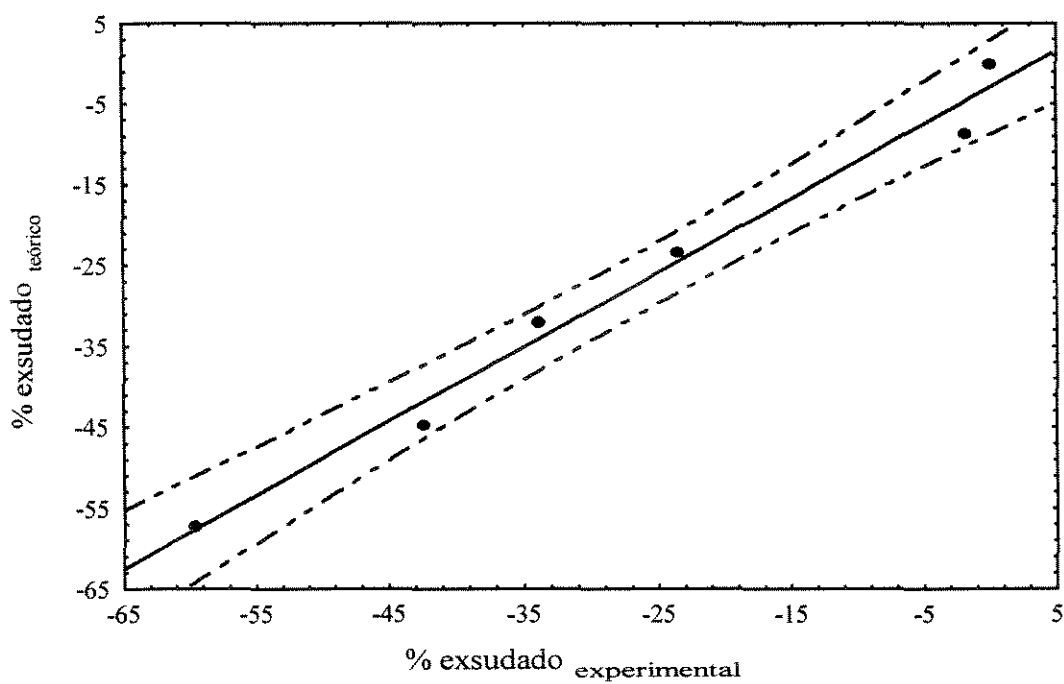


Figura G.7 - % exsudado teórico vs % exsudado experimental - 40% sacarose -10% glicerol, 60 min.

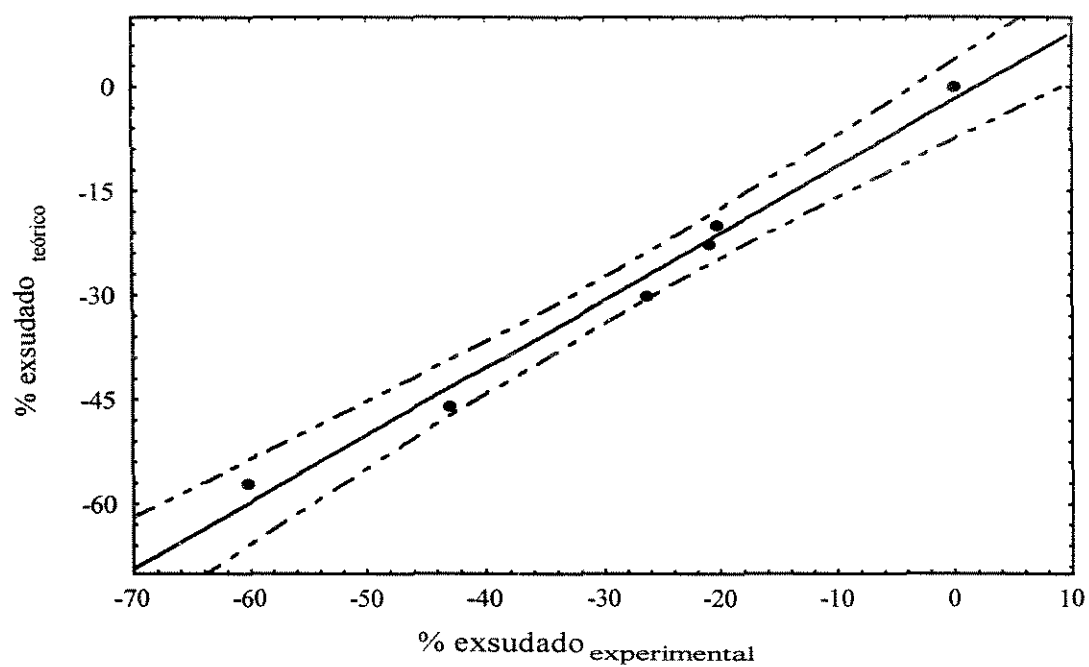


Figura G.8 - % exsudado teórico vs % exsudado experimental - 50% sacarose -10% glicerol, 30 min.

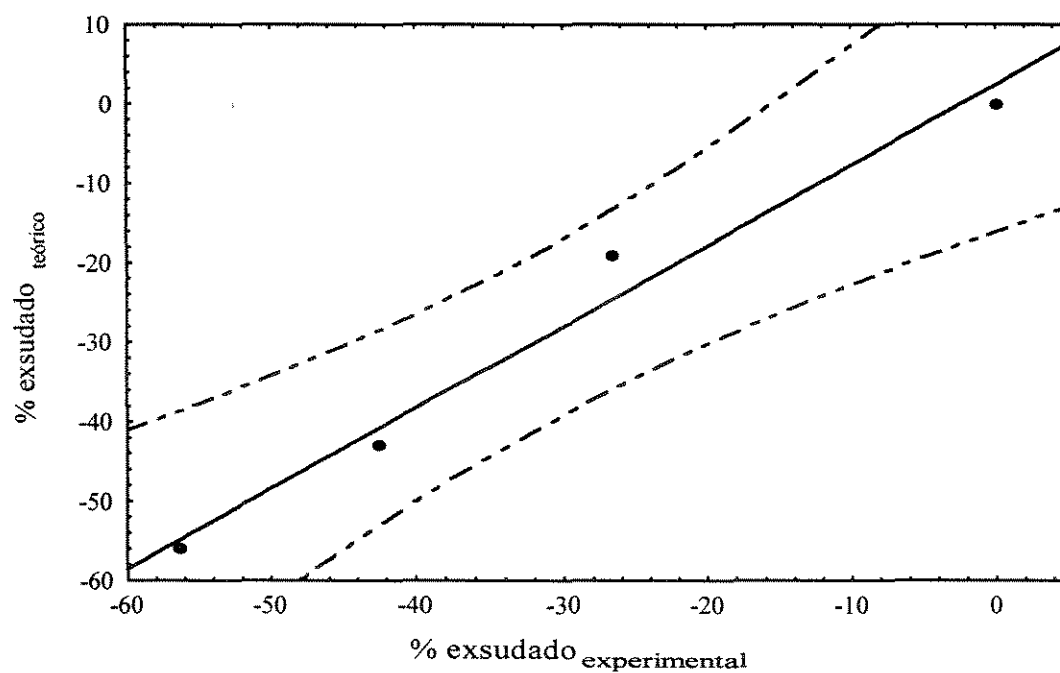


Figura G.9 - % exsudado teórico vs % exsudado experimental - 50% sacarose -10% glicerol, 60 min.