



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**MÉTODOS COMBINADOS DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E
SECAGEM PARA CONSERVAÇÃO DE MANGA TOMMY ATKINS**

CARMELITA DE FÁTIMA AMARAL RIBEIRO

Biblioteca UFCEG
SMBC_CDSA
CAMPUS DE SUMÉ
Reg. 12541/13

CAMPINA GRANDE
PARAÍBA



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

ÁREA: ARMAZENAMENTO E PROCESSAMENTO DE
PRODUTOS AGRÍCOLAS



**MÉTODOS COMBINADOS DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E
SECAGEM PARA CONSERVAÇÃO DE MANGA TOMMY ATKINS**

CARMELITA DE FÁTIMA AMARAL RIBEIRO

Campina Grande – Paraíba

Março - 2004



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA



ÁREA: ARMAZENAMENTO E PROCESSAMENTO DE
PRODUTOS AGRÍCOLAS

MÉTODOS COMBINADOS DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E SECAGEM PARA CONSERVAÇÃO DE MANGA TOMMY ATKINS

CARMELITA DE FÁTIMA AMARAL RIBEIRO

Campina Grande – Paraíba

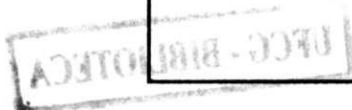
Março - 2004

R484m Ribeiro, Carmelita de Fátima Amaral
2004 Métodos Combinados de desidratação osmótica e secagem para
conservação de manga Tommy Atkins /Carmelita de Fátima Amaral
Ribeiro. – Campina Grande: UFCG, 2004.
85p. il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). UFCG/CCT
Inclui bibliografia

1.Manga. 2.Desidratação osmótica. 3.Secagem convectiva

CDU: 634.441: 66.093.48



MÉTODOS COMBINADOS DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E SECAGEM PARA CONSERVAÇÃO DE MANGA TOMMY ATKINS

*Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado
em Engenharia Agrícola da Universidade
Federal de Campina Grande, em cumprimento às
exigências para obtenção do Grau de Mestre*

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Armazenamento e Processamento de Produtos
Agrícolas**

ORIENTADA: Carmelita de Fátima Amaral Ribeiro

ORIENTADOR: Prof. Dr. Francisco de Assis Cardoso Almeida – DEAG/UFCG

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Satoshi Tobinaga – FEA/ UNICAMP

Campina Grande – Paraíba

Março - 2004



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DA MESTRANDA

CARMELITA DE FÁTIMA AMARAL RIBEIRO

MÉTODOS COMBINADOS DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E SECAGEM PARA
CONSERVAÇÃO DE MANGA TOMMY ATKINS

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Aprovado

Dr. Francisco de Assis Cardoso Almeida-Orientador

Josivanda P. Gomes de Gouveia

Aprovado

Dra. Josivanda Palmeira G. de Gouveia-Examinadora

Aprovada

Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva-Examinador

MARÇO - 2004

*Aos meus pais, João Leônidas César Ribeiro (in memorian) e Maria de Nazaré
Amaral Ribeiro. As minhas irmãs Suzi, Graça, Natália, ao meu filho
Emerson e sobrinha Klícia. Em especial a minha irmã
Suezilde Amaral, pela dedicação e incentivo
na realização desse sonho,
Dedico este trabalho*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e fé na realização dos meus sonhos.

Ao Professor da Universidade Federal de Campina Grande, Dr. Francisco de Assis Cardoso Almeida pela orientação, confiança, amizade, correções e indispensáveis contribuições a este trabalho.

Ao Professor da UNICAMP, Dr. Sathoshi Tobinaga, pela orientação na realização de grande parte do experimento nesta instituição de ensino.

A Professora Dra. Josivanda Palmeira Gomes de Gouveia pelo carinho, amizade, atenção e apoio nos momentos difíceis do curso.

Aos Drs. Suezilde Amaral e Eder Araújo, por ter estado sempre presente, ajudando em grande parte do experimento.

As Professoras Dra. Maria Elita Duarte Braga da UFCG e Dra. Fernanda Murr da UNICAMP pela colaboração e amizade.

Aos Professores Drs. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata e Francisco de Assis Santos e Silva, pela colaboração e amizade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa concedida no curso de mestrado.

Aos Professores da Universidade Federal Rural da Amazônia, Dr. Paulo Roberto, Dr. Edir, Dr. Antônio C. de Santana e ao Diretor desta instituição Dr. Manuel MalheirosTourinho, pela ajuda, incentivo e colaboração para a minha entrada neste curso mestrado.

Ao amigo, Eng. Agrônomo Afonso, Técnico da Universidade Federal Rural da Amazônia, pela sua amizade e apoio nesse grande passo da minha vida profissional.

Ao Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Dr. Alfredo Kingo Oyamma Homma, pela sua ajuda, incentivo no curso mestrado.

Aos funcionários da UFCG Rivanilda, Aparecida, Luciene, Flávio, Antonio e Luizinho, pela dedicação e amizade.

A todos os amigos de Campina Grande, em especial Vilma, Girlene, Gilvanete, Robson, Edson, Rana, Jorge, Diniz, Hofsky, Bartolomeu, Concita, Milene, Nídia, Granjeiro, Silvana, Sheila, Carminha, Acácio, Cleidimário, Manassés, Lucicléia, Pablícia, Marta, Alessandra, Silvana, Edilene, Josivanda, Kelv, Cida, Roberta, Janaina, Júnior, Oliveira e Kátia pelo carinho, apoio e amizade.

Em especial gostaria de agradecer as amigas: Girlene, Ranilda, Wilma, Concita, Alessandra e Denise e peço desculpas pelas noites mal dormidas ao ficarem comigo na

universidade para que eu pudesse terminar este trabalho, obrigada por serem minhas amigas.

Ao meu primeiro e grande amigo da UFCG, Yvson Costa e Silva pela ajuda, carinho e amizade sincera.

A todos os amigos da UFRA, em especial aos Eng. Agrônomos George, Íris Lettiere, Joselio Riker, Tonta, Edmilson Macedo, Vilma, Eleni, Clecio, Silvia, Carlos, Cícero, Fabio, Engel, Michelhe, Iracema, Cléo, Max, Jucinei, Paulo Ricardo, Paulo Roberto, Ted, Aline, Wanderlan e a todos os outros amigos.

A todos os primos e tios, em especial: Fátima, Eliane, Elaine, Fernanda, Adriana, Andréa, Marquinho, Alex, Paula, Socorro, Maíke, Tiago, Patrícia, Tereza, Nonato, Lucinda, Raimundo, Pedita, Miguel, Sonia, BaBá, Sirá e Delina.

Aos meus grandes amigos de Belém que sempre me apoiaram: Vanessa, Cristina, Sheila Tatiana, Pet, Ivan, Wladimir, Leon, Raulan e Socorro.

Aos amigos e meus ex-alunos da Casa Familiar Rural de Gurupá (PA) e ao economista Fabrício Kouri Rebelo, pela amizade e incentivo.

Aos amigos da UNICAMP, Robson, Gilvanete, Denise, Adélia, Graziela, Júnior, Maria, Vitor Hugo, Edinho (tec. FEA), Anoar, Edivair, Michelhe, César, pelo apoio e amizade.

A Técnica do Laboratório de Medidas Físicas (FEA-UNICAMP) pela colaboração nas análises e pela linda amizade.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE TABELAS.....	IX
NOMENCLATURA.....	XI
RESUMO.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivos.....	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1. Manga.....	7
2.1.1. Caracterização físico-química.....	8
2.2. Desidratação osmótica.....	10
2.2.1. Agentes desidratantes.....	12
2.3. Secagem.....	12
2.4. Planejamento experimental.....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1. Matéria-prima.....	20
3.2. Análises físico-químicas.....	20
3.3. Desidratação osmótica.....	22
3.3.1. Agentes desidratantes.....	24
3.4. Tratamento matemático para análise da desidratação osmótica.....	25
3.5. Secagem convectiva.....	26
3.6. Planejamento experimental para a desidratação osmótica.....	27
3.7. Fluxograma do processamento da manga por métodos combinados	28
3.8. Ajuste dos modelos matemáticos.....	29
3.9. Caracterização do produto final.....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1. Caracterização da matéria-prima.....	31
4.2. Desidratação osmótica.....	31
4.2.1. Perda de peso	33
4.2.2. Perda de água.....	42
4.2.3. Ganho de sólidos.....	50

4.2.4.Otimização do processo de desidratação osmótica.....	54
4.3. Secagem convectiva.....	58
4.3.1. Cinética de secagem convectiva.....	58
4.3.2. Modelagem matemática da secagem.....	63
4.4. Caracterização do produto final.....	66
5. CONCLUSÕES.....	68
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
7. ANEXOS.....	80

UFCG - BIBLIOTECA

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1-	Evolução do tempo (t), do teor de água do produto (X), de sua temperatura (T), e da taxa de secagem (dX/dt), para um ar com propriedades constantes.....	13
Figura 3.1-	Fatias de manga Tommy Atkins, cortadas em placa plana.....	20
Figura 3.2-	Visão geral da incubadora	22
Figura 3.3-	Visão interna da incubadora.....	23
Figura 3.4-	Principais fluxos que ocorrem durante o processo de desidratação osmótica.....	24
Figura 3.5-	Visão geral da estufa à vácuo.....	24
Figura 3.6-	Desenho esquemático do secador de leito fixo utilizado.....	26
Figura 3.7-	Fluxograma do processamento da manga por métodos combinados.....	29
Figura 4.1-	Valores dos efeitos sobre as variáveis e interações para a perda de peso na desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em soluções de sacarose e xarope de milho.....	36
Figura 4.2-	Valores preditos e valores observados para a perda de peso da desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em soluções de sacarose (a) e xarope de milho (b)	38
Figura 4.3-	Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de peso da manga Tommy Atkins após o processo de desidratação osmótica em soluções de sacarose: (a) t=165 min, (b)C=50%, (c) T=40°C.....	39
Figura 4.4-	Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de peso da manga Tommy Atkins após o processo de desidratação osmótica em soluções de xarope de milho: (a) t=165 min, (b)C=50%, (c) T=40°C.....	40
Figura 4.5-	Valores dos efeitos sobre as variáveis e interações para a perda de água na desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em soluções de sacarose e xarope de milho.....	44
Figura 4.6-	Valores preditos e valores observados para a perda de água da desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em soluções de sacarose (a) e xarope de milho (b)	46
Figura 4.7-	Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de água da manga Tommy Atkins após o processo de desidratação osmótica em soluções de	

	sacarose: (a) $t=165$ min, (b) $C=50\%$, (c) $T=40^{\circ}\text{C}$	47
Figura 4.8-	Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de água da manga Tommy Atkins após o processo de desidratação osmótica em soluções de xarope de milho: (a) $t=165$ min, (b) $C=50\%$, (c) $T=40^{\circ}\text{C}$	48
Figura 4.9-	Valores dos efeitos sobre as variáveis e interações para ganho de sólidos na desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em soluções de sacarose e xarope de milho.....	51
Figura 4.10-	Valores preditos e valores observados para ganho de sólidos da desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em soluções de sacarose (a) e xarope de milho (b)	53
Figura 4.11-	Curva de nível para a relação GS/WL para a desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em solução de sacarose: (a) $t=165$ min, (b) $C=50\%$, (c) $T=40^{\circ}\text{C}$	56
Figura 4.12-	Curva de nível para a relação GS/WL para a desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em solução de xarope de milho: (a) $t=165$ min, (b) $C=50\%$, (c) $T=40^{\circ}\text{C}$	57
Figura 4.13-	Efeito da temperatura na secagem da manga <i>in natura</i>	60
Figura 4.14-	Efeito da temperatura na secagem da manga desidratada osmoticamente em solução de sacarose.....	61
Figura 4.15-	Efeito da temperatura na secagem da manga desidratada osmoticamente em solução de xarope de milho.	61
Figura 4.16-	Taxa de secagem de manga Tommy Atkins <i>in natura</i> e desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose e xarope de milho ($T=30^{\circ}\text{C}$).....	62
Figura 4.17	Taxa de secagem de manga Tommy Atkins <i>in natura</i> e desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose e xarope de milho ($T=40^{\circ}\text{C}$).....	62
Figura 4.18-	Taxa de secagem de manga Tommy Atkins <i>in natura</i> e desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose e xarope de milho ($T=50^{\circ}\text{C}$).....	63
Figura 4.19-	Dados experimentais (1) e valores preditos (2) pelo modelo de Page para a secagem de manga Tommy Atkins <i>in natura</i>	64
Figura 4.20-	Dados experimentais (1) e valores preditos (2) pelo modelo de Page para secagem de manga Tommy Atkins desidratada osmoticamente em solução de sacarose.....	65
Figura 4.21-	Dados experimentais (1) e valores preditos (2) pelo modelo de Page para	

	a secagem de manga Tommy Atkins desidratada osmoticamente em solução de xarope de milho	65
Figura 1a	Manga Tommy Atkins " <i>in natura</i> " após a secagem convectiva nas temperaturas de 30 e 50°C.....	84
Figura 2a	Manga Tommy Atkins desidratada osmoticamente em solução de sacarose após a secagem convectiva nas temperaturas de 30, 40 e 50°C....	84
Figura 3a	Manga Tommy Atkins desidratada osmoticamente em solução de xarope de milho após a secagem convectiva nas temperaturas de 30, 40 e 50°C.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1-	Composição físico-química da polpa de manga Tommy Atkins.....	9
Tabela 3.1-	Matriz do planejamento codificada.....	28
Tabela 3.2-	Níveis das variáveis independentes estudados no planejamento experimental.....	28
Tabela 4.1-	Resultados das determinações físico-químicas da manga <i>in natura</i> , em comparação às encontradas na literatura.....	31
Tabela 4.2-	Perda de peso, perda de água e ganho de sólidos no processo de desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em soluções de sacarose (1) e xarope de milho (2), conforme o planejamento experimental.	32
Tabela 4.3-	Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para perda de peso em soluções de sacarose (1) e xarope de milho (2)	34
Tabela 4.4-	Resultados da ANOVA para o modelo ajustado para perda de peso na desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em soluções de sacarose e xarope de milho.....	37
Tabela 4.5-	Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para perda de água em soluções de sacarose (1) e xarope de milho (2)	42
Tabela 4.6-	Resultados da ANOVA para o modelo ajustado para perda de água na desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em soluções de sacarose e xarope de milho.....	45
Tabela 4.7-	Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para ganho de sólidos em soluções de sacarose (1) e xarope de milho (2).....	50
Tabela 4.8-	Resultados da ANOVA para o modelo ajustado para ganho de sólidos na desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em solução de sacarose e xarope de milho.....	52
Tabela 4.9-	Valores da razão, ganho de sólidos (GS) e perda de água (WL), para a desidratação osmótica de manga Tommy Atkins.....	55
Tabela 4.10-	Condições ótimas escolhidas para validação dos modelos experimentais	

	da desidratação osmótica de manga Tommy Atkins em soluções de sacarose e xarope de milho.....	58
Tabela 4.11-	Valores de umidade relativa do ar de secagem para a manga Tommy Atkins.....	59
Tabela 4.12-	Valores dos parâmetros K, b, coeficiente de correlação (R^2) e erro médio relativo (E), para o modelo de Page para a fruta in natura, desidratada osmoticamente em solução de sacarose e xarope de milho....	64
Tabela 4.13-	Resultados das determinações químicas da manga Tommy Atkins desidratação osmoticamente em soluções de sacarose e xarope de milho após a secagem	66
Tabela 1a	Valores de adimensional de umidade e tempo para a secagem de manga Tommy Atkins <i>in natura</i> nas temperaturas de 30, 40 e 50°C.....	81
Tabela 2a	Valores de adimensional de umidade e tempo para a secagem de manga Tommy Atkins desidratada osmoticamente em solução de sacarose, nas temperaturas de 30, 40 e 50°C.....	82
Tabela 3a	Valores de adimensional de umidade e tempo para a secagem de manga Tommy Atkins desidratada osmoticamente em solução de xarope de milho, nas temperaturas de 30, 40 e 50°C.....	83

NOMENCLATURA

<i>t</i>	Tempo	min
<i>T</i>	Temperatura	°C
<i>K</i>	Constante de secagem	-
<i>b</i>	Parâmetro do modelo de Page	-
<i>C</i>	Concentração da solução osmótica	(%)
<i>PP</i>	Perda de peso	(%)
<i>WL</i>	Perda de água	(%)
<i>GS</i>	Ganho de sólidos	(%)
<i>P</i>	Erro médio relativo	(%)
<i>D_{ef}</i>	Difusividade efetiva	(m ² .s ⁻¹)
<i>X_o</i>	Umidade inicial da amostra	(kg H ₂ O/kg ms)
<i>X_e</i>	Umidade de equilíbrio	(kg H ₂ O/kg ms)
<i>X</i>	Umidade média no tempo t	(kg H ₂ O/kg ms)
<i>R²</i>	Coefficiente de correlação	-
<i>N</i>	número de pontos experimentais	-
<i>V_O</i>	Valores observados experimentalmente	-
<i>V_P</i>	Valores preditos pelo modelo	-
<i>M_i</i>	Peso inicial da amostra	(g)
<i>M_t</i>	Peso da amostra	(g)
<i>MA_o</i>	Peso de água inicial	(g)
<i>MS_o</i>	Peso dos sólidos inicial	(g)
<i>MS_t</i>	Peso dos sólidos	(g)

UFCG - BIBLIOTECA

RESUMO

A manga (*Mangifera indica L*) é uma das frutas tropicais mais populares do mundo, ela se destaca pelo sabor, aroma e valor nutritivo. Apesar da alta tecnologia utilizada na produção de manga, ainda existem grandes perdas pós-colheitas, devido a fatores climáticos, físicos e químicos. Uma das principais causas da deterioração de alimentos frescos e também conservados é a quantidade de água livre presente nos mesmos. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de estudar o processo de desidratação osmótica e cinética de secagem para obtenção de produtos secos de manga Tommy Atkins. As soluções utilizadas no processo de desidratação osmótica foram de sacarose e xarope de milho. A desidratação osmótica foi realizada de acordo com um planejamento fatorial completo 2^3 , com pontos centrais e axiais, totalizando 17 ensaios. A influência dos fatores (temperatura, concentração e tempo) e suas interações sobre as respostas foram analisadas através de análise de variância (ANOVA), teste F e coeficiente de determinação (R^2). Verificou-se que estes fatores mostraram ter efeito significativo sobre a perda de peso, perda de água e ganho de sólidos de manga desidratada, dentro das faixas estudadas, ou seja, com aumento desses fatores maior foi a influencia sobre as respostas estudadas. Neste estudo os fatores concentração e temperatura foram os de maior influência no processo de desidratação osmótica. As condições ótimas encontradas de desidratação osmótica utilizada como pré-tratamento para obtenção de uma maior perda de água e um menor ganho de sólidos foram: temperaturas de 50 e 40°C, concentração de 40 e 50% e tempo de imersão de 90 e 160 minutos, para a manga desidratada em solução de sacarose e xarope de milho, respectivamente. A etapa de secagem convencional das amostras *in natura* e desidratadas foi realizada em secador de leito fixo, nas temperaturas de 30, 40 e 50°C e velocidade do ar de 2,1 m/s⁻¹. Os dados experimentais de secagem convencional foram ajustados pelo modelo de Page. O produto final foi avaliado pelo pH, acidez e açúcares totais e redutores.

Palavras-chave: desidratação osmótica, manga, secagem

ABSTRACT

The mango (*Mangifera indica. L*) it is one of the more popular tropical fruits of the world, she stands out for the flavor, smell and nutritious value. In spite of the high technology used in the production of mango, great losses powder-crops still exist, due to climatic, physical and chemical factors. One of the main causes of the deterioration of fresh and also conserved victuals is the amount of present free water in the same ones. This work was driven with the objective of studying the process of osmotic and kinetic dehydration of drying conventional for obtaining of dry products of mango Tommy Atkins. The solutions used in the process of osmotic dehydration were of sucrose and corn syrup. The osmotic dehydration was accomplished in agreement with a planning complete factorial 2^3 , with central and axial points, totalizando 17 rehearsals. The influence of each variable and its interactions on the answers were analyzed through variance analysis (ANOVA), test F and determination coefficient (R^2). It was verified that the factors (temperature, concentration and time) showed to have significant effect on the weight loss, loss of water and gain of solids of dehydrated sleeve, inside of the studied strips, that is to say, with those factors adult's increase it went to it influences on the studied answers. In this study the factors concentration and temperature were the one of larger influence in the process of osmotic dehydration. The found great conditions of osmotic dehydration used as pré-treatment for obtaining of a larger loss of water and a smaller gain of solids were: temperatures of 50 and 40°C, concentration of 40 and 50% and time of immersion of 90 and 160 minutes, for the mango dehydrated in sucrose solution and corn syrup, respectively. The stage of drying conventional of the samples in natura and dehydrated it was accomplished in dryer of fixed bed, in the temperatures of 30, 40 and 50°C and speed of the air of 2,1 m/s⁻¹. The experimental data of were drying conventional adjusted by Page model. The final product was evaluated by the pH, acidity and total sugars and reducers.

Key words: osmotic dehydration, mango, drying



1. INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

A manga (*Mangifera indica* L) da família *Anacardiaceae* é uma das frutas tropicais mais procuradas no mundo, originária do Sul da Ásia, destaca-se pelo sabor e aroma agradáveis, junto com seu valor nutritivo, tais como a vitamina A, B e C, dentre outros. O interesse por esta fruta não está somente na produção para consumo *in natura*, mas também para fins de industrialização em polpas, sucos, sorvetes, chicletes, compotas, geléias e derivados (SIQUEIRA et al., 1988).

A manga é uma fruta de alto valor comercial em muitas regiões do mundo, principalmente as tropicais. Segundo PELEGRINE (1999) a manga brasileira, apesar da modesta atuação no mercado internacional de frutas *in natura*, tem recebido incentivos empresariais com tecnologias de produção mais adequadas, devido à importância econômica alcançada nos últimos anos, tanto no mercado interno quanto no externo.

Apesar da importância da fruticultura para o país, existe uma grande necessidade de tecnologias pós-colheita capazes de minimizar as perdas. Frutas que apresentam potencial para a exportação como caju, manga, mamão, abacaxi, têm perdas pós-colheita que chegam a mais de 50% do que é produzido (CORTEZ et al., 2002).

A desidratação é um dos métodos mais antigos na preservação de frutas, de modo geral, é realizada por um processo que utiliza energia térmica para retirar grande parte ou quase a totalidade da água livre da fruta, tornando possível limitar ou evitar o crescimento de microrganismos ou outras reações de ordem química, facilitando o transporte e armazenamento a um custo relativamente baixo, porém, pode provocar alguns danos como perdas de vitaminas, sais minerais, perda de textura e modificação da cor e odor.

A desidratação osmótica é uma técnica bastante útil como pré-tratamento para a conservação de frutas e vegetais, submetendo o alimento sólido, inteiro ou em pedaços, a soluções aquosas (sais ou açúcares) de alta pressão osmótica para que se verifique, de fato, a remoção da água não ligada presente no alimento.

Segundo AGUIRRE & GASPARINO FILHO (2001) o pré-tratamento de frutas por desidratação osmótica pode ser uma técnica muito importante quando coadjuvante nos

processos de secagem com ar quente, vácuo ou liofilização, objetivando a obtenção de produtos finais com características específicas, de melhor qualidade e, em certos casos, de menor custo.

Algumas das vantagens de se utilizar a desidratação osmótica comparada ao processo convencional de secagem são: a otimização no uso da energia térmica, capacidade de conferir à fruta maior qualidade à sua textura, permitir a incorporação de solutos, maior retenção de vitaminas, intensificação do flavor e estabilização da cor, além de permitir a criação de um meio desfavorável às reações enzimáticas e ao crescimento microbiológico.

1.1. OBJETIVOS

UFCC - BIBLIOTECA

1.1. OBJETIVO

Em vista da importância e da necessidade de se desenvolver tecnologias simples e de baixo custo, adaptadas às frutas nacionais que possibilitem por um lado uma maior vida de prateleira em relação à fruta não processada, e por outro que garanta uma forte similaridade com a fruta fresca, este trabalho teve como objetivo geral estudar o processo de desidratação osmótica como primeira etapa da secagem por ar quente da manga Tommy Atkins e como específicos:

1. Caracterizar a manga Tommy Atkins mediante análise de composição centesimal.
2. Estudar a influência de dois agentes osmóticos no preparo das soluções desidratantes em concentração, tempo e temperaturas distintas de processamento sobre a desidratação osmótica de manga em placa plana.
3. Estudar o processo de desidratação osmótica e determinar a melhor condição em função das respostas de interesse: perda de água, ganho de sólidos, perda de peso.
4. Otimizar o processo de desidratação osmótica para manga utilizando a Metodologia de Superfície de Resposta.
5. Estudar a cinética de secagem convencional da manga previamente desidratada na melhor condição.
6. Avaliar o processo de desidratação através da composição centesimal depois do processo de secagem.



2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

UFMG - BIBLIOTECA

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Manga

A manga (*Mangifera indica* L.) é considerada uma das mais delicadas frutas do mundo, além de ter o seu valor alimentar reconhecido. As principais vitaminas presentes neste fruto são principalmente a C, pró-vitamina A (β -caroteno) e pequenas quantidades de vitaminas B, sendo que o teor varia de cultivar, grau de maturação e condições climáticas (SIQUEIRA et al., 1988).

Segundo CORTEZ et al. (2002) a exportação de manga aumentou em US\$ 50 milhões de 2000 para 2001. A quantidade exportada foi de 94 mil toneladas em 2001. Isto aconteceu, principalmente, pela supressão das barreiras fitossanitárias impostas pelos EUA, segundo maior comprador de manga brasileira.

A manga é uma importante fruta tropical que compõem a dieta alimentar das classes média e alta brasileira com um consumo médio per capita da ordem de 1,2 kg.ano⁻¹. No entanto, em algumas capitais, como São Paulo, o consumo de manga alcança 2,5 kg.ano⁻¹. No Brasil existem cerca de uma centena de variedades de manga cultivadas, no entanto a variedade Tommy Atkins, representa 79% da área plantada. Segundo BOTREL (1994), variedades Tommy atkins, Haden, Kensington podem ser indicados para satisfazer as exigências do consumidor brasileiro devido a sua baixa acidez.

As cultivares mais indicadas são as que aliam a alta produtividade a qualidades como a coloração atraente do fruto, bom sabor, pouca fibra, etc.

A Tommy Atkins se destaca por possuir frutos médios a grandes de 400 a 700 g, cor amarela a vermelha, superfície lisa, casca grossa e resistente, além de ser uma variedade resistente a antracnose, possui excelente sabor, doce e pouca fibra.

O Semi-árido do Nordeste brasileiro, na região do Vale do São Francisco, vem investindo na produção de frutíferas, dentre as mais cultivadas, a manga da variedade Tommy Atkins se destaca pelo seu grande potencial econômico, devido atender às exigências do mercado interno e externo, na preferência de uma manga saborosa e principalmente com pouca fibra.

Tabela 2.1. Composição físico-química da polpa de manga Tommy Atkins

Análises	Valor médio
pH	4,25
°Brix	15,80
Umidade (%)	82,67
Sólidos totais (%)	17,33
Cinzas (%)	0,37
Açúcar redutor (%)	3,46
Amido (%)	2,84
Celulose (%)	2,80
Pectina (%)	0,87
Acidez titulável (%)	0,18

Fonte: AZEVEDO (1999)

SUGAI (2002) estudou o processamento descontínuo do purê de manga da variedade Haden e concluiu que a estabilidade físico-química e microbiológica do purê pode ser alcançada com o tratamento térmico. O estudo do comportamento reológico do purê tratado e não tratado termicamente indicou o seu caráter não-newtoniano, de natureza pseudoplástica.

Assim como a manga, muitos outros produtos podem ser afetados ou não quanto a sua composição física ou química, pelos métodos de processamento, secagem e armazenamento.

BRUNINI et al. (2002) estudou duas formas de conservação para a polpa de manga Tommy Atkins, na forma de polpa triturada e processada em fatias, em que foram acondicionadas, respectivamente, em sacos plásticos de polietileno fechados hermeticamente e bandejas de poliestireno revestidas com filme plástico de PVC auto-aderente e esticável, com espessura de 12 mm, respectivamente, congeladas e posteriormente armazenadas a -18°C até a perda do valor comercial. Observou-se que a polpa triturada apresentou aspecto razoável até 20 semanas, enquanto, na forma de fatia, até 18 semanas, em decorrência da perda de firmeza. Os teores de sólidos solúveis aumentaram devido, provavelmente, à perda de umidade e os de vitamina C decresceram com o tempo de armazenamento. No geral, verificou-se que a aparência, textura e o sabor foram afetados pelo tempo.

2.2. Desidratação osmótica

A desidratação osmótica é uma técnica bastante útil na concentração de frutas e vegetais, submetendo o alimento sólido, inteiro ou em pedaços, a soluções aquosas (sais ou açúcares) de alta pressão osmótica para que se verifique, de fato, a remoção da água não ligada presente no alimento. No caso de frutas, vêm sendo comumente usadas soluções de sacarose, com concentrações de 50 a 70 °Brix. Também se sugere a utilização do próprio suco concentrado da fruta como solução osmótica com a intenção de se preservar a composição da mesma (TORREGGIANI, 1993).

O processo de desidratação por osmose consiste basicamente na remoção da água de uma solução diluída contida dentro de uma membrana semipermeável envolvendo essa membrana com uma solução mais concentrada. Segundo AGUIRRE & GASPARINO FILHO (2001), durante este processo os gradientes de atividade de água e de solutos resultam em um fluxo de água através da membrana semipermeável. Ademais pela natureza da membrana pode resultar no transporte de solutos, particularmente da solução osmótica para a fruta, de modo que a concentração osmótica resulta numa difusão simultânea de água e do soluto.

Durante o processo de desidratação por osmose observam-se simultaneamente: saída de água do produto para a solução hipertônica; e saída de soluto da solução para o produto. Através desta transferência é possível se introduzir uma quantidade desejada de princípio ativo, agente conservante, qualquer outro soluto de interesse nutricional ou um capaz de conferir ao produto uma melhor qualidade sensorial; saída de alguns solutos do próprio produto (açúcares, ácidos orgânicos, sais minerais, vitaminas). Embora seja em quantidades desprezíveis, quando comparada aos dois itens anteriormente citados, exerce uma importante influência com relação à composição final do produto (RAOULT-WACK et al., 1994).

É importante salientar que a desidratação osmótica é descrita como um processo parcial na desidratação de frutas. Após a desidratação por osmose, um método complementar como secagem convencional, congelamento ou pasteurização deve ser utilizado a fim de se obter um produto com boas características de conservação no que diz respeito a sua umidade (El-AOUAR, 2001).

SANJINEZ ARGANDONA et al. (2002) estudaram o processo de desidratação osmótica do melão, e concluiu que o processo osmótico em soluções de sacarose

associado à adição de ácidos e temperaturas elevadas favorece ao incremento de sólidos solúveis totais e à conservação da cor, e que a textura da fruta é alterada por este processo tornando-se mais viscoelástica.

MAGALHÃES & QUEIROZ (2001) estudaram a desidratação osmótica de abacaxi, e concluíram que é uma técnica simples e que proporcionam a obtenção de um produto de qualidade com características similares aos produtos *in natura*.

SANTOS (2003) estudou a elaboração de um estruturado de manga Tommy Atkins por desidratação osmótica e concluiu que o processo de desidratação osmótica é eficiente na pré-secagem de manga, possibilitando o uso de temperaturas amenas e tempos relativamente curtos, implicando não só em economia de energia, mas principalmente conferindo a fruta desidratada característica mais próxima da fruta *in natura*.

ARGAIZ et al. (1994) estudaram a desidratação osmótica de mamão com xarope de milho em calda e avaliaram a concentração osmótica quanto à perda de água, perda de peso e ganho de sólidos. Constatou-se que houve um aumento em ganho de sólidos e um decréscimo em perda de água e perda de peso, de 7,3 para 21,1%, 76,1 para 49,1% e 72,0 para 28,8%, respectivamente.

Em comparação de métodos de pré-tratamento e cinéticas de difusão de sólidos em água de mangas desidratadas osmoticamente, verificou-se que o pré-tratamento influenciou na cor e textura do produto, porém independentemente do tempo de desidratação osmótica, e com maior ganho de sólidos e maior perda de água (TEDJO et al., 2002).

BARBOSA JÚNIOR (2002) estudou a influência dos fatores temperatura e concentração da solução de cloreto de sódio durante a desidratação osmótica de abóbora e cenoura e concluiu que estes fatores foram de grande influência positiva sobre perda de água principalmente para a abóbora.

FARSAS & LAZAR (1993) citam que a temperatura é um fator de grande influência no processo de desidratação osmótica por aumentar a taxa de desidratação e o ganho de sólidos, além de modificar as propriedades tanto da solução quanto do produto.



2.2.1. Agentes desidratantes

Para que ocorra o processo de desidratação por osmose o alimento fatiado ou inteiro é imerso em uma solução hipertônica de açúcar, sal, glicose, sorbitol entre outros.

MOY et al. (1978) observaram na desidratação osmótica de manga e mamão que a perda da água foi maior com o aumento da concentração de sacarose e com o tempo de processo.

Na escolha do soluto para a formulação da solução osmótica deve-se levar em consideração as características sensoriais do produto, custo e peso molecular. Segundo ISLAM & FLINK (1982) quanto maior o peso molecular do soluto, maior a perda de água e menor a incorporação de sólidos, favorecendo o processo de desidratação osmótica.

De acordo com AGUIRRE & GASPARINO FILHO (2001) a concentração em açúcares da solução osmótica é da ordem de 65 a 70° Brix, sendo que a redução no teor de água da fruta pode atingir até 70% em base úmida, onde geralmente ocorre uma redução em peso da fruta original da ordem de 50%.

Em um estudo de desidratação osmótica do pimentão, a solução osmótica a uma temperatura mais elevada, promoveu maior perda de água das amostras, ocorrendo também maior perda de massa quando submetidas a soluções com maior concentração de sacarose e menor concentração de sal (ROCHA & QUEIROZ, 2002).

GOULARTE & ANTUNES (1999), caracterizaram físico-quimicamente maçãs da variedade fugi desidratadas em soluções de sacarose, concluíram que os agentes de concentração por osmose melhoraram as características físicas e químicas dos produtos desidratados.

2.3. Secagem

A secagem é provavelmente o mais antigo método de conservação de alimentos. Por muitos séculos, tem sido a única forma de se prolongar a vida de prateleira de frutas e vegetais, juntamente a salga de produtos de carne e peixe. De maneira geral, o processo de secagem é uma operação na qual calor é fornecido a um dado material que contém água, a fim de se vaporizar certo conteúdo de água deste material, obtendo-se

um produto sólido seco. Trata-se de um processo com transporte simultâneo de calor e massa, acompanhado de mudança de fase (BARBANTI et al., 1994).

A evolução das transferências simultâneas de calor e massa no decorrer do processo faz com que a secagem seja subdividida em três períodos (PARK, 1988):

- Período de indução ou período até se entrar em regime operacional. Consiste da adequação do produto às condições de secagem (região 0);
- Período de taxa constante, onde a pressão de vapor de água na superfície do produto é igual a pressão de vapor da água pura à temperatura do produto. Este período permanece enquanto a migração de água do interior do produto seja suficiente para compensar a perda por evaporação na superfície (região 1);
- Período de taxa decrescente, momento em que a quantidade de água na superfície do produto diminui, ocasionando um decréscimo na taxa de secagem (região 2). Este mecanismo é ilustrado na Figura 2.1.

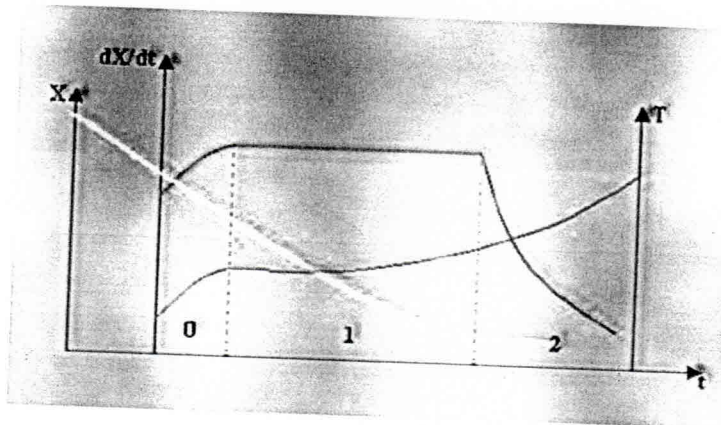


Figura 2.1 – Evolução do tempo (t), do teor de água do produto (X), de sua temperatura (T), e da taxa de secagem (dX/dt), para um ar com propriedades constantes.

O período de taxa decrescente é controlado pelo mecanismo de difusão líquida e descrito pela Segunda Lei de Fick. CRANK (1975), propôs uma solução analítica para a Lei de Fick, considerando a distribuição de umidade inicial uniforme e ausência de qualquer resistência térmica para uma placa plana infinita (Equação 1):

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

em que:

X_t = umidade média no tempo ($\text{kg kg}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ s}$)

X_e = umidade de equilíbrio ($\text{kg kg}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ s}$)

X_0 = umidade inicial ($\text{kg kg}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ s}$)

D_{ef} = difusividade efetiva ($\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$)

t = tempo (s)

L = dimensão característica (meia espessura da placa) (m)

Para as condições em que o tempo de secagem é longo e o adimensional de umidade é inferior a 0,6, os termos da equação (1) correspondentes a $i > 1$ são desprezíveis (UDDIN et al., 1990; AZOUBEL, 2002), então a Equação (1) transforma-se na equação (2), ou seja:

$$\ln\left(\frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e}\right) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \frac{\pi^2 D_{ef} t}{4L^2} \quad (2)$$

Segundo AZOUBEL (2002) a difusividade efetiva pode ser também obtida através da inclinação da reta no gráfico $\ln\left(\frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e}\right)$ versus o tempo.

PARK (1988) relata que para o período de taxa constante, as considerações termodinâmicas de evaporação da água na linha de saturação de bulbo úmido são suficientes para prever a taxa, uma vez que se trata da evaporação de água livre.

Segundo PERRY (1984) o período de taxa decrescente tem início quando termina o período de taxa constante, a umidade crítica. Se a umidade inicial for abaixo da umidade crítica, todo o processo de secagem ocorre no período de taxa decrescente.

Uma importante correlação na secagem de alimentos é a lei exponencial, esta lei estabelece que a taxa de secagem é proporcional ao teor de água livre. A equação 3 descreve esta lei, onde o fator de proporcionalidade K é denominado de constante de secagem.

$$\frac{d\bar{x}}{dT} = -K(\bar{X} - X_e) \quad (3)$$

A Equação (4) é mais utilizada na forma integrada, por apresentarem melhores ajustes experimentais:

$$\left[\frac{(\bar{X} - X_e)}{(\bar{X}_0 - X_e)} \right] = \exp(-K t) \quad (4)$$

SILVA (1999) estudou a secagem de algaroba em laboratório e a nível de fazenda e concluiu que com aumento da temperatura de secagem ocorre uma tendência de diminuição dos percentuais de matéria orgânica e uma tendência de aumento dos percentuais de proteína, matéria seca, gordura bruta, cinzas e sacarose.

RODRIGUES et al. (2002) ao avaliarem a temperatura e velocidade do ar na secagem de goiaba, observaram que para o mesmo tempo de processo, quanto maior for a temperatura do ar, maior é a taxa de secagem, com a perda de umidade da goiaba tendeu-se a estabilizar no período de 90 minutos.

Os secadores de leito fixo são secadores em que o produto permanece estático durante a secagem, enquanto o ar aquecido é forçado a passar pelo produto. Esses secadores têm um baixo custo de implantação, e com a vantagem de serem muito versáteis, já que são utilizados na secagem de diferentes produtos como grãos, sementes, frutas dentre outros.

Segundo MAGALHÃES & CORTEZ (1993) o secador de leito fixo é constituído de uma câmara de secagem, que é dotada de um piso de chapa perfurada, por onde passa o ar de secagem, insuflado por um ventilador.

DALBELLO (1995) utilizando um secador de camada fixa estudou a eficiência do processo de secagem do amendoim e milho-de-pipoca, nas temperaturas de 40, 45 e 60°C e fluxos de ar de 12,5, 18,0 e 25 m³ min⁻¹ m². Os resultados indicaram que os tratamentos com temperaturas de 40°C e fluxos de 18 e 25 m³ min⁻¹ m², obtiveram os

melhores resultados tanto para a eficiência do processo de secagem, como na qualidade do produto utilizado.

Um secador de bomba de calor foi utilizado para secar manga sob circunstâncias de baixa temperatura, afim de uma compreensão melhor do encolhimento e cinéticas de secagem dos materiais. Os resultados mostraram que não houve nenhum período de secagem de taxa constante, e que a taxa de secagem dependeu das variáveis tais como a temperatura de ar, a velocidade do ar e a espessura da amostra. O encolhimento volumétrico e a espessura foram medidos e correlacionados ao índice de umidade (HUI et al., 2001)

SUHARDJO & SANTOSO (2000), determinaram o melhor método de secagem e maturidade da fruta na preparação de microplaquetas de mangas (cultivar arumanis). O primeiro fator a ser observado foi a secagem em secador elétrico a 60, 70, 80 e 90°C, forno modificado, e a luz do sol, e o segundo fator foi a maturidade da fruta (75, 80, 85, 90 e 95 dias da flor cheia). Os resultados mostraram que o melhor método de secagem usado foi o de secador elétrico a 80°C, e melhor maturidade da fruta a 85 dias da flor cheia.

Um grande avanço na tecnologia para conservação de alimentos, é a utilização de métodos combinados, baseada em tecnologias simples que utilizam uma combinação de dois ou mais fatores de conservação, promovendo a estabilidade do alimento à temperatura ambiente.

Quando combinado à secagem convencional, segundo El-AOUAR (2001), o processo de desidratação osmótica permite uma maior retenção da cor natural do produto, sem a adição de sulfitos; uma preservação de componentes voláteis; uma minimização do encolhimento e uma redução no consumo de energia durante a etapa de secagem.

PINA et al. (2003) estudaram o processamento e a conservação de manga por métodos combinados, através de dois experimentos de branqueamento com vapor saturado a 100°C por 2 minutos, na proporção de 1:2 (fruto/xarope) e com concentração de xarope, 25 °Brix; ácido cítrico, pH=2,5; ácido ascórbico, 600 ppm; concentração de benzoato de sódio, 1000 ppm; concentração de cloreto de cálcio, 100 ppm; tratamento térmico, água quente a 100°C por 1 minuto, variando apenas na concentração de SO₂, entre 600 a 900 ppm. Após os experimentos os produtos obtidos foram armazenados por 120 dias. Os resultados comprovaram que a conservação por métodos combinados

promoveu estabilidades microbiológicas e sensoriais da manga em pedaços por no mínimo de 120 dias a temperatura de 282°C.

BARTELS et al. (2001), realizaram um estudo de processo combinado com pré-tratamento de desidratação osmótica e secagem por microondas em cogumelos. Os resultados da combinação foram alcançados, obtendo um aquecimento mais homogêneo do produto, por modificação de propriedades dielétricas, redução no tempo de secagem, encolhimento reduzido e porosidade final elevada.

No estudo da secagem de tomates desidratados e não desidratados osmoticamente, utilizando secador de bandejas e estufa a vácuo, ALVES & SILVEIRA (2002), notaram que a taxa de desidratação osmótica foi influenciada pela concentração da solução osmótica e a temperatura do processo, e que esta temperatura exerceu uma maior influência na cinética da secagem do que a velocidade e pressão a vácuo.

Frutos de manga da variedade Coité foram submetidos a um processo de secagem solar após o pré-tratamento osmótico, utilizando-se quatro pré-tratamentos osmóticos, em soluções de sacarose com 45, 55 e 65 °Brix, e imersão seqüenciadas em xaropes nas mesmas proporções. Após a secagem solar, os tratamentos com 45 e 65 °Brix foram selecionados através de análise sensorial para a avaliação da estabilidade durante 180 dias de armazenamento a temperatura ambiente (28°C). Os resultados permitiram concluir que os tratamentos utilizados foram efetivos na conservação desses produtos (BRANDÃO et al., 2003).

2.4. Planejamento experimental

De acordo com BARROS NETO et al. (2001) um bom planejamento consiste em projetar um experimento de forma que ele seja capaz de fornecer exatamente o tipo de informação que procuramos.

Na realização de um planejamento experimental a primeira coisa a fazer é determinar quais são os fatores e as respostas de interesse para o sistema que se deseja estudar. Em seguida é preciso definir claramente que objetivo se pretende alcançar com os experimentos, porque isso determinará que tipo de planejamento experimental deve ser utilizado.

Muitos pesquisadores têm como objetivo principal otimizar o seu sistema, isto é, maximizar ou minimizar algum tipo de resposta.

AZOUBEL (2002) utilizou um planejamento fatorial completo 2^3 para estudar os efeitos da temperatura, concentração e tempo sobre a perda de peso, perda de água e ganho de sólidos na desidratação osmótica de fatias do pendúculo de caju, com a finalidade de verificar a condição de processo mais favorável à maximização da perda de água e minimização do ganho de sólidos.

BARBOSA JÚNIOR (2002) utilizou um planejamento fatorial completo 2^3 para estudar a influência da temperatura e concentração durante a desidratação osmótica de abóbora e cenoura sobre a perda de água e ganho de sólidos, com o objetivo de encontrar a condição ótima do processo.

Para a otimização do processo de desidratação de manga, SANTOS (2003) utilizou um delineamento composto rotacional central, baseado na Metodologia de Superfície de Resposta em que para decodificar os níveis, foram estabelecidas as faixas de interesse para cada variável independente (temperatura e tempo de processo), onde o limite inferior e superior de cada faixa corresponderam, respectivamente, aos níveis codificados. O planejamento contou de 12 ensaios com 4 pontos fatoriais, 4 pontos axiais e 4 pontos centrais, cuja a resposta otimizada foi a máxima perda para a água e a mínima para os sólidos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Universidade Federal de Campina Grande, PB e no laboratório de Medidas Físicas do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, SP.

3.1. Matéria-prima

Foram utilizadas mangas (*Mangifera indica L.*) no estágio semimaduro da variedade Tommy Atkins, proveniente da região do Vale do São Francisco estado da Bahia, adquiridos na CEASA de Campinas, SP. Com o objetivo de padronizar a matéria-prima, as mangas foram selecionadas, considerando-se a cor da casca, grau de maturação, tamanho e forma. Depois de seleção, em laboratório, eram lavadas em água corrente, descascadas e cortadas em placa plana de 0,5 cm de espessura, utilizando-se uma faca de aço inoxidável e o cortador planejado para esta finalidade (Figura 3.1).

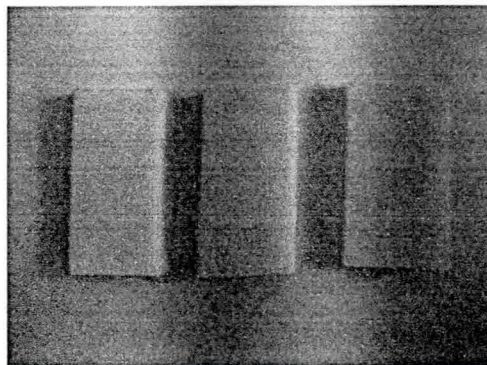


Figura 3.1. Fatias de manga Tommy Atkins, cortadas em placa plana

3.2. Análises físico-químicas

A composição centesimal da matéria-prima e produto final obedeceu aos procedimentos descritos de acordo com o manual técnico do Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL, 1990) em que as análises foram realizadas em triplicata.

▪ **Acidez**

Foi determinada por titulação com NaOH, descrito pela AOAC (1992), onde 10 g da amostra foi levada a um erlenmeyer que continha 90 ml de água destilada, posteriormente foi homogenizada e titulada em uma solução de hidróxido de sódio e 0,1N até a cor rosa empregando-se 2 gotas de fenolftaleína a 1%.

▪ **Açúcares redutores e totais**

Determinados de acordo com a metodologia descrita por Lane & Eynon (RANGANA, 1977) que consiste na redução do cobre presente na solução de Fehling, através de açúcar invertido, sendo o conteúdo de açúcar presente na amostra sido estimado pelo volume de solução de açúcar necessário para reduzir completamente a solução de Fehling de volume conhecido.

▪ **Cinzas**

Para esta determinação onde os resultados foram expressos em porcentagem (P/P), pesou-se 10 g de amostra em cadinhos de porcelana previamente tarados, carbonizadas completamente em bico de Bunsen e colocadas em mufla a 525°C até a completa incineração (AOAC, 1992).

▪ **pH (potencial hidrogeniônico)**

O pH foi determinado pelo método do potenciométrico em um pHmetro, previamente calibrado com soluções tampões de 7,0 e 4,0 a temperatura de 20°C (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

▪ **°Brix – sólidos solúveis**

A porcentagem de sólidos solúveis foi determinada por leitura direta em refratômetro digital automático de bancada.

- **Fibras**

A fibra foi determinada pelo método de Scharrer & Kurschner (FAO, 1983) onde se pesou 2 g de amostra desengordurada em béquer de 600 ml, e adicionou-se 2 g de ácido tricloroacético anidro, 70 ml da solução de ácido acético a 70% e 5 ml de ácido nítrico concentrado, em seguida foi coberta com um vidro de relógio, ficando em refluxo por 30 minutos, após este período a solução foi filtrada em cadinho previamente tarado e lavado com água até a ausência de ácido acético para posteriormente ser secado em estufa a 110°C, até peso constante.

- **Umidade**

Na determinação do conteúdo de umidade da manga utilizou-se o método descrito pela AOAC (1992) para frutas, modificado para a manga. Pesou-se aproximadamente 1 g de amostra, cortadas em finas fatias e colocou-se em cadinho de alumínio previamente tarado. O conjunto cadinho e amostras foram levados a estufa de circulação forçada a 70°C, por um período de 5 horas. As medidas de massa foram feitas em balança de precisão de 0,0001 g e o resultado expresso em porcentagem.

3.3. Desidratação osmótica

Os experimentos de desidratação osmótica foram realizados em uma incubadora (shaker) com temperatura e agitação controlada de marca Tecnal, modelo TE 42, (Figura 3.2).

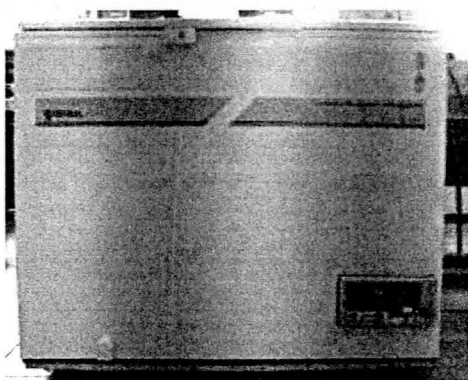


Figura 3.2. Visão geral da incubadora

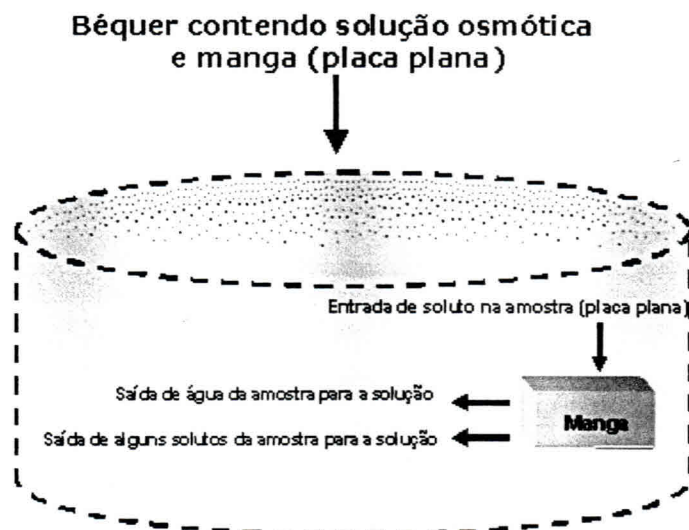


Figura 3.4. Principais fluxos que ocorrem durante o processo de desidratação osmótica

Depois da desidratação osmótica foi determinada a umidade das amostras, retirando-se em torno de 50% de material de cada placa de produto desidratado e colocadas em cadinhos feitos de papel alumínio por um período de 24 horas em estufa à vácuo de marca MARCONI, modelo MA 030/12 (Figura 3.5)

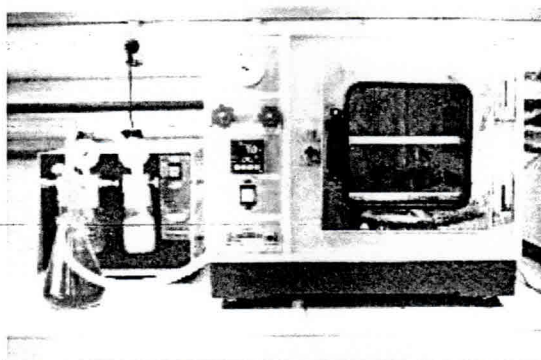


Figura 3.5. Visão geral da estufa à vácuo

UFCG - BIBLIOTECA

3.3.1. Agentes desidratantes

Estudou-se a formulação mais apropriada, testando-se dois agentes osmóticos em diferentes concentrações.

Na primeira solução utilizou-se a sacarose comercial de marca União e na segunda o xarope de milho de marca MORREX 1940 (Corn Products Brasil).

As soluções foram feitas a concentrações estabelecidas, agitadas através de um agitador magnético até a total homogeneização. Posteriormente as soluções eram deixadas em repouso até a sua estabilização (limpas e homogêneas) para serem utilizadas.

3.4. Tratamento matemático para análise da desidratação Osmótica

Os parâmetros perda de peso (PP), perda de água (WL) e ganho de sólidos (GS) foram calculados através das Equações 5, 6 e 7, respectivamente. Os experimentos foram realizados em triplicata.

$$PP(\%) = 100 \frac{(M_0 - M_t)}{M_0} \quad (5)$$

em que:

PP = perda de peso

M_0 = peso inicial da amostra (g)

M_t = peso da amostra no tempo t (g)

$$WL(\%) = 100 \frac{MA_0 - (M_t - MS_t)}{M_t} \quad (6)$$

em que:

WL = perda percentual de água em relação à massa inicial

MA_0 = peso da água inicialmente presente (g)

M_t = peso da amostra no tempo t (g)

MS_t = peso dos sólidos no tempo t (g)

$$GS(\%) = 100 \frac{(MS_t - MS_0)}{M_0} \quad (7)$$

em que :

SG = ganho percentual de ganho de sólidos em relação à massa inicial do produto

MS_0 = peso dos sólidos inicialmente presentes (g)

MS_t = peso dos sólidos no tempo t (g)

M_0 = peso inicial da amostra (g).

3.5. Secagem convencional

A secagem da manga *in natura* desidratada osmoticamente foi realizada em um secador de leito fixo (Figura 3.6) nas temperaturas de 30, 40 e 50°C e velocidade do ar de secagem de 2,1 m.s⁻¹, com o intuito de avaliar a eficiência do processo combinado.

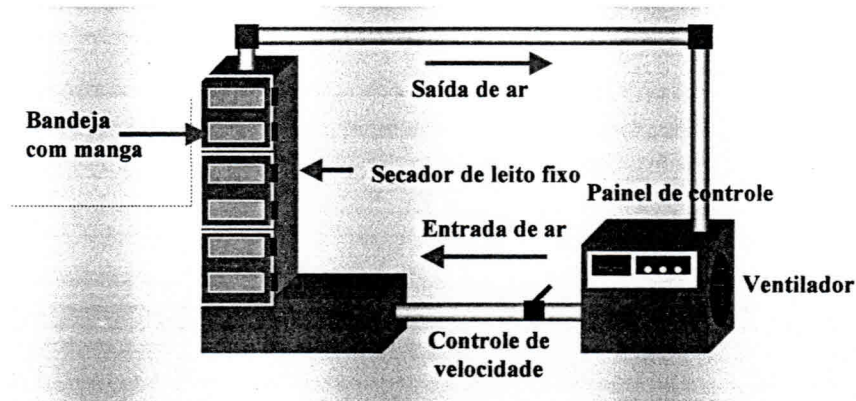


Figura 3.6. Desenho esquemático do secador de leito fixo utilizado

As amostras em placa plana eram identificadas individualmente e distribuídas uniformemente em bandejas, previamente conhecido o seu peso, antes de serem colocados no secador. O conjunto (bandeja + amostra) foi pesado e levado a câmara de secagem, procedendo-se o início da operação. A umidade relativa do produto durante a secagem convencional foi obtida por pesagem descontínuas das amostras, em intervalos de 15 em 15 min durante as duas primeiras horas do processo e depois de 30 e 30 min até o final do processo, identificando quando as variações de peso eram insignificantes.

A análise do processo de secagem e os ajustes das curvas experimentais foram realizados de acordo com a lei exponencial (Equação 4) e equação conhecida como *Modelo Empírico de Page*, freqüentemente utilizados no estudo de secagem de produtos agrícolas.

$$\left[\frac{(X_t - X_e)}{(X_0 - X_e)} \right] = \exp(-K t^b) \quad (8)$$

em que:

b = parâmetro do modelo

K = constante de secagem

t = tempo

O erro relativo médio (P) foi calculado através da *Equação 9* a fim de avaliar se os modelos utilizados foram ou não preditivos ($P < 10\%$).

$$P = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|V_p - V_o|}{V_p} \quad (9)$$

em que:

P = desvio relativo médio (%)

V_p = valores preditos pelo modelo

V_o = valores observados experimentalmente

N = número de pontos experimentais

3.6. Planejamento experimental para a desidratação osmótica

No estudo dos efeitos da temperatura, concentração e tempo, sobre a perda de peso, perda de água e ganho de sólidos do processo de desidratação osmótica com a finalidade de se verificar a condição de processo mais favorável à maximização de perda de água e minimização de ganho de sólidos, utilizou-se um planejamento fatorial completo (2^3) com pontos centrais, perfazendo um total de 17 ensaios (Tabela 3.1). Esta tabela foi confeccionada a partir da Tabela 3.2, em que a escolha das faixas experimentais utilizadas no estudo baseou-se em resultados obtidos a partir de ensaios preliminares (Tabela 3.2).

Cada tratamento consistiu de 17 ensaios, cujas condições (níveis codificados), foram 8 fatoriais, três centrais e seis axiais, gerando um modelo quadrático, onde as variáveis dependentes, perda de peso, perda de água e ganho de sólidos são função das variáveis independentes, temperatura, concentração da solução e tempo de imersão.

Tabela 3.1. Matriz do planejamento codificada

Ensaio	Temperatura (°C)	Concentração (%)	Tempo (min)
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1
9	-1,68	0	0
10	+1,68	0	0
11	0	-1,68	0
12	0	+1,68	0
13	0	0	-1,68
14	0	0	+1,68
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0

Tabela 3.2. Níveis das variáveis independentes estudadas no planejamento experimental

Variáveis	Fatores		Níveis		
	- α	-1	0	+1	+ α
Temperatura (°C)	30	34	40	46	50
Concentração da solução (%)	40	44	50	56	60
Tempo (min)	90	120	165	210	240

3.7. Fluxograma do processamento da manga por métodos combinados

O processamento da manga Tommy Atkins por métodos combinados, utilizados no estudo, foi realizado, seguindo o esquema da Figura 3.7.

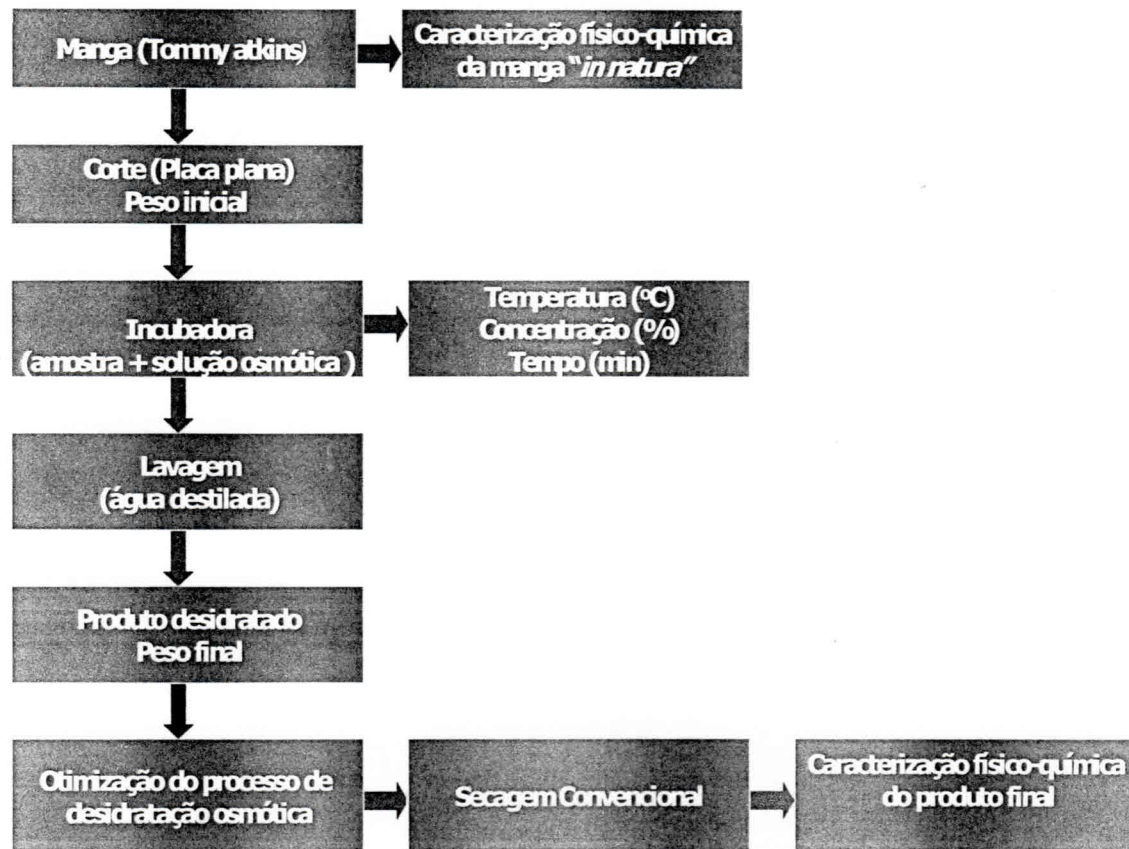


Figura. 3.7. Fluxograma do processamento da manga por métodos combinados

3.8. Ajuste dos modelos matemáticos

Os ajustes dos modelos aos dados experimentais da desidratação osmótica e secagem foram realizados através de regressão linear e não linear do programa STATISTICA, versão 5.0, através da análise de variância (ANOVA), teste de Fischer (F) e coeficiente de correlação. Para a escolha dos melhores ajustes foi utilizado como critérios o coeficiente de correlação (R^2) entre as respostas observadas e os valores preditos pelo modelo ajustado (BARROS NETO et al., 1995) e o módulo do desvio relativo médio (P), que é definido como a média da percentagem da diferença relativa entre os valores experimentais e preditos (LOMAURO et al, 1985).

3.9. Caracterização do produto final

O produto final foi caracterizado através de determinações de pH, acidez titulável, açúcares redutores e totais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

UFCC - BIBLIOTECA

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização da matéria-prima

Os valores médios da caracterização físico-química da manga Tommy Atkins na forma *in natura* para pH, umidade, °Brix, sólidos totais, cinzas, açúcares redutores, açúcares totais e acidez titulável, Tabela 4.1, encontram-se próximos aos descritos por AZEVEDO (1999) e SANTOS (2003), no entanto, os sólidos totais e o °Brix foram menores que os referenciados por estes autores de 4,34 e 6,40 pontos percentuais, respectivamente. Comportamento que se deve a influência ao estágio semimaduro de maturação da manga estudada e o estágio maduro, referenciado na literatura especializada.

Tabela 4.1. Resultados das determinações físico-químicas da manga *in natura*, em comparação às encontradas na literatura

Determinações	Valor médio	AZEVEDO (1999)	SANTOS (2003)
PH	4,37	4,25	4,11
°Brix	9,07	15,80	15,00
Umidade (%)	82,27	82,67	82,54
Sólidos Totais (%)	13,05	17,33	17,46
Cinzas (%)	0,33	0,37	0,20
Açúcares redutores (% de glicose)	3,88	3,46	3,88
Açúcares totais (% de glicose)	17,35	-	11,77
Acidez titulável (%)	0,84	0,18	0,41

4.2. Desidratação osmótica

A desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em soluções de sacarose e xarope de milho de acordo com o planejamento experimental proposto encontra-se na Tabela 4.2 para as variáveis de respostas: perda de peso (PP), perda de água (WL) e ganho

de sólidos (GS). A partir desses dados, foram construídos gráficos de superfícies de resposta e curvas de nível para encontrar o melhor ponto de desidratação osmótica para a manga.

Tabela 4.2. Perda de peso, perda de água e ganho de sólidos no processo de desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em soluções de sacarose (1) e xarope de milho (2), conforme o planejamento experimental.

Ensaio	T°C	C (%)	t(min)	PP (%)		WL (%)		GS (%)	
				1	2	1	2	1	2
1	34	44	120	15,318	16,938	26,760	25,641	11,442	8,704
2	46	44	120	33,318	32,090	41,847	39,986	8,529	7,896
3	34	56	120	33,294	21,386	39,696	31,080	6,403	9,694
4	46	56	120	34,838	41,355	43,156	43,595	7,748	2,240
5	34	44	210	21,179	32,972	34,888	40,685	13,709	7,712
6	46	44	210	34,999	41,247	42,863	46,976	7,864	5,729
7	34	56	210	34,950	46,796	43,943	51,815	8,993	5,019
8	46	56	210	44,059	47,645	52,089	51,394	8,031	3,750
9	30	50	165	22,389	36,954	33,123	39,039	10,734	2,085
10	50	50	165	28,310	42,247	40,313	48,258	12,003	6,011
11	40	40	165	32,048	26,669	39,879	29,782	7,831	3,113
12	40	60	165	47,995	52,992	54,326	54,757	6,331	1,765
13	40	50	90	30,641	25,648	36,760	31,187	6,119	5,538
14	40	50	240	21,961	51,690	36,137	53,651	14,176	1,962
15	40	50	165	14,916	43,544	28,894	46,091	13,977	2,547
16	40	50	165	15,064	44,967	28,991	47,352	13,928	2,384
17	40	50	165	13,516	43,908	27,966	46,620	14,450	2,712

PP: Perda de peso, WL: perda de água, GS: ganho de sólidos

Em análise aos dados contidos na Tabela 4.2, tem-se, em termos médios, maior perda de peso e de água e menor ganho de sólidos para a desidratação realizada com o xarope de milho. As exceções deu-se com as amostras 2, 3, 11 e 13 em que a perda de peso

foi menor em solução de xarope de milho, e com relação ao ganho de sólidos (GS) apenas na amostra 3 este foi maior com a solução de sacarose.

Observa-se, neste trabalho, para a solução de xarope de milho, como agente osmótico utilizado na desidratação da manga, menor incorporação de sólidos e conseqüentemente mais rápida a saída de água, o que está de acordo com CONTRERAS & SMYRL (1981) ao afirmarem que o coeficiente de difusividade da água depende do conteúdo de sólidos dissolvidos, ou seja, a difusividade decresce com o aumento de sólidos.

Observa-se também que com o aumento da temperatura, maior foi o ganho de sólidos e perda de água, porém menor o tempo de processo. Estes resultados concordam com os obtidos por RASTOGI & RAGHAVARAO (1994) ao estudarem o efeito da concentração e temperatura sobre a desidratação osmótica de coco, constataram que a elevação da temperatura de 24 a 45°C e concentração de sacarose de 40 a 70 °Brix, proporcionava aumento no ganho de sólidos e perda de água. Estas observações, em parte, também se apóiam no estudo de ARGALIZ et al. (1994) que estudaram a desidratação osmótica de mamão e concluíram que a concentração da solução osmótica de xarope de milho foi um fator de grande influência neste processo devido ao fato que a fruta perde mais água e ganha menos sólidos em tratamentos com açúcares comuns (glicose).

4.2.1. Perda de Peso

O resumo da análise estatística aplicada aos dados experimentais de perda de peso (PP) na desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em solução de sacarose e xarope de milho, encontram-se contidos na Tabela 4.3, onde se observa os efeitos significativos a 5% de probabilidade dos fatores lineares, quadráticos e suas interações. Ademais, encontram-se em **negrito** os efeitos não significativos desses fatores.

Tabela 4.3. Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para perda de peso em soluções de sacarose (1) e xarope de milho (2)

Fatores	Efeito Estimado		Erro Puro		Significância Estatística	
	1	2	1	2	1	2
Média global	14,50	44,40	0,49	0,42	0,00	0,00
Temperatura (L)	7,68	7,78	0,46	0,40	0,00	0,00
Temperatura (Q)	7,65	-5,00	0,50	0,44	0,00	0,00
Concentração (L)	10,13	11,45	0,46	0,40	0,00	0,00
Concentração (Q)	18,05	-4,84	0,50	0,44	0,00	0,00
Tempo (L)	0,56	14,75	0,46	0,40	0,34	0,00
Tempo (Q)	8,33	-5,66	0,50	0,44	0,00	0,00
Temperatura x Concentração	-5,29	-0,65	0,60	0,52	0,12	0,33
Temperatura x Tempo	0,84	-6,49	0,60	0,52	0,29	0,00
Concentração x Tempo	0,83	1,62	0,60	0,52	0,30	0,89

OBS: Os valores em negrito apresentam-se não significativos.

(L) = termo linear

(Q) = termo quadrático

O valor dos efeitos estimados indica o quanto cada fator (temperatura, concentração e tempo), influi na resposta observada, neste caso, a perda de peso da manga Tommy Atkins durante o processo de desidratação osmótica. Quando positivo indica que ao passar de um valor mínimo a um valor máximo da variável, a resposta aumenta e quando negativo, dar-se o contrário.

Para a desidratação osmótica de manga Tommy Atkins em solução de sacarose não são significativos a 5% de probabilidade para os fatores tempo (L) e as interações temperatura x tempo e concentração x tempo, pelo que foram utilizados no modelo de predição. Tem-se ainda que os efeitos significativos à exceção da interação temperatura x concentração para efeito estimado são todos positivo, indicando que um aumento desses fatores exerce um aumento na perda de peso, e que a concentração foi o fator que exerce maior influência no processo de desidratação osmótica da manga com o emprego de

sacarose seguido da temperatura revelada pelo efeito estimado, comportamento que o erro puro não revelou, uma vez que os valores desses fatores são de mesma amplitude.

Para a desidratação osmótica em soluções de xarope de milho, observa-se que os efeitos estimados das interações temperatura x concentração e concentração x tempo não são significativos a 5% de probabilidade, sendo desprezados do modelo de predição. Para os fatores significativos, temperatura, concentração e tempo em termos lineares, os efeitos são positivos sobre a perda de peso, ou seja, um aumento em qualquer um destes fatores acarreta um aumento na perda de peso, enquanto os efeitos em termos quadráticos para os mesmos fatores e mais a interação temperatura x tempo, são de influência negativa, em que um aumento nestes fatores vai acarretar uma diminuição na perda de peso.

Na representação gráfica deste comportamento (Figura 4.1), tem-se melhor visualização dos efeitos estimados em relação as variáveis, temperatura, concentração e tempo e suas interações, sobre a perda de peso para as soluções de sacarose e xarope de milho. Da análise da figura, verifica-se que com a utilização da sacarose como agente osmótico, obteve-se mais efeitos positivos sobre a perda de peso para a desidratação osmótica de manga que a solução de xarope de milho. Observa-se ainda que o maior efeito sobre a perda de peso foi com o fator concentração (Q) para a sacarose seguida pelo fator tempo (L) para o xarope de milho.

Segundo HENG et al. (1990) à medida que se aumenta a massa molar do soluto, observa-se uma diminuição dos sólidos incorporados e um aumento da perda de água, desta forma favorecendo a perda de peso.

Verifica-se que a água ao longo do tempo de processamento tende a uma estabilização ou uma redução provavelmente devido ao equilíbrio atingido com o soluto do meio.

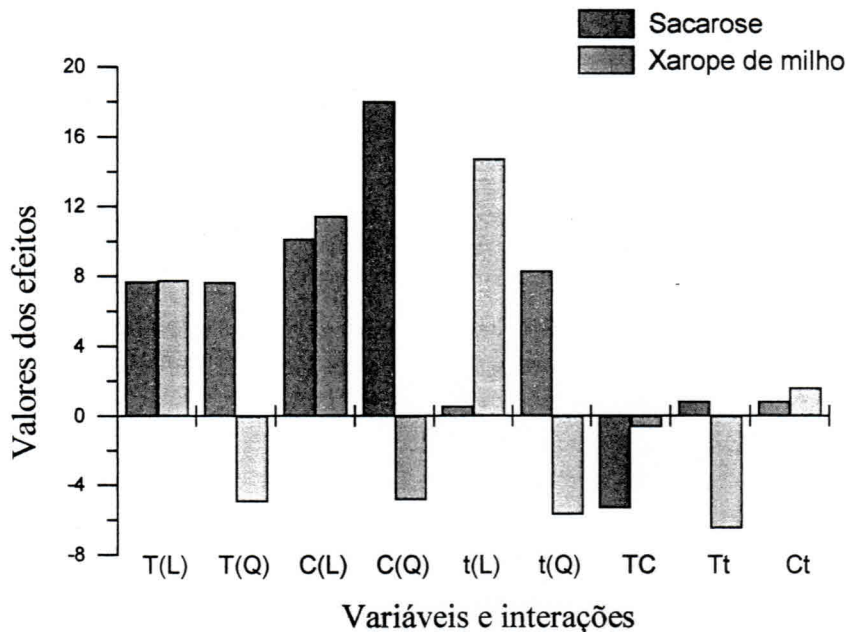


Figura 4.1. Valores dos efeitos sobre as variáveis e interações para a perda de peso na desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em soluções de sacarose e xarope de milho

Depois da eliminação dos fatores não significativos foi realizada a análise de variância (ANOVA) e significância de regressão ao nível de 95% de confiança, utilizando o teste de Fisher (F) conforme a Tabela 4.4.

Verificou-se que os modelos apresentaram regressão e falta de ajuste significativos a 5 % de probabilidade, com F calculado de 5,59 e 1,26 vezes maior que o F tabelado, respectivamente. Segundo BARROS NETO et al. (2001) embora uma regressão seja significativa através do teste F, o modelo pode não ser preditivo, ou seja, ele pode não servir para realizar previsões a partir do modelo gerado, por cobrir uma variação pequena dos fatores estudados. Então, para que um regressão seja considerada preditiva, o valor de F calculado deve ser no mínimo 4 a 5 vezes o valor do F tabelado (BOX & WETZ, 1973).

O coeficiente de correlação (R^2) obtido para os modelos ajustados foram superiores a 0,90, o que significa dizer que a percentagem de variação explicada pelo modelo foi

maior que 90 %. Desta forma os modelos ajustados foram considerados preditivos, conforme já referenciado, e para uma melhor compreensão graficou-se a distribuição dos resíduos nos modelos ajustados na Figura 4.2-a.

De acordo com BARROS NETO et al. (2001) na análise de variância de um modelo, uma parte da variação total das observações em torno da média é descrita pela equação de regressão, enquanto que o restante faz parte dos resíduos, assim, quanto maior for a fração descrita pela regressão, ou melhor, quanto mais próximo de 1 for o valor de R^2 , melhor será o ajuste do modelo aos dados observados.

Tabela 4.4. Resultados da ANOVA para o modelo ajustado para perda de peso na desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em soluções de sacarose e xarope de milho

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Sacarose					
Regressão	6	1560,422	260,07	18,03	3,22
Resíduo	10	144,237	14,423		
Falta de ajuste	8	142,778	17,847	24,48	19,37
Erro puro	2	1,459	0,729		
Total	16	1704,659		$R^2= 0,91$	
Xarope de milho					
Regressão	7	1624,948	232,13	12,07	3,29
Resíduo	9	173,005	19,22		
Falta de ajuste	7	171,912	24,55	44,96	19,35
Erro puro	2	1,093	0,546		
Total	16	1797,953		$R^2= 0,90$	

GL: grau de liberdade SQ: soma quadrática MQ: média quadrática

Para a perda de peso do processo de desidratação osmótica em xarope de milho, os modelos apresentaram regressão e falta de ajuste significativos a 5% de probabilidade, com F calculado maior que o F tabelado. Os valores de F calculado para regressão e falta de ajuste foram de apenas 3,66 e 2,32 vezes maior que o valor do F tabelado, respectivamente,

indicando que o modelo é preditivo. O resíduo considerado baixo, cerca de 9,62% do total (Figura 4.2-b) e coeficiente de correlação (R^2) de 0,90, explicando 90% da variação das respostas.

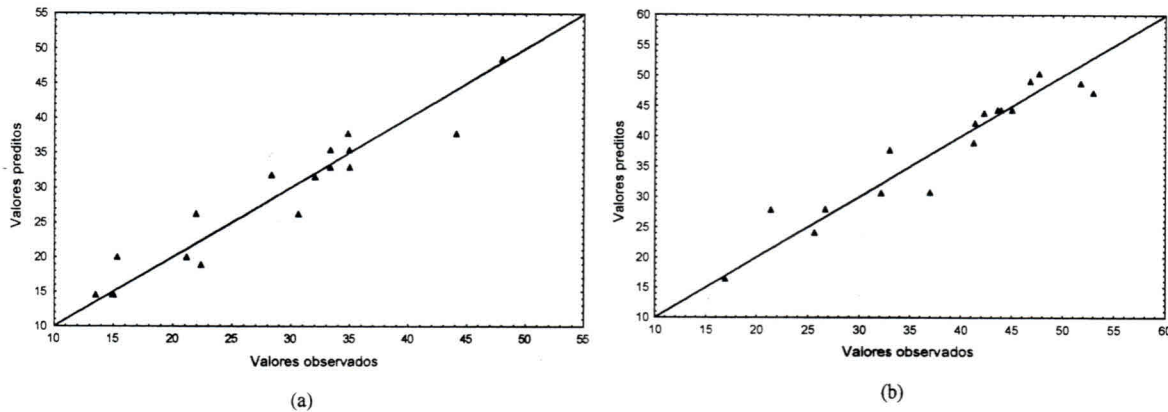


Figura 4.2. Valores preditos e valores observados para a perda de peso da desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em soluções de sacarose (a) e Xarope de milho (b)

As equações representativas do modelo ajustado para descrever a perda de peso (PP) na desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em soluções de sacarose (a) e xarope de milho (b), encontram-se conforme as equações 11 e 12:

$$PP_{(a)}(\%) = 14,503 + 3,841T + 3,828T^2 + 5,065C + 9,026C^2 + 4,165t^2 - 2,645TC \quad (11)$$

$$PP_{(b)}(\%) = 44,407 + 3,894T - 2,503T^2 + 5,727C - 2,422C^2 + 7,375t - 2,833t^2 - 3,249Tt \quad (12)$$

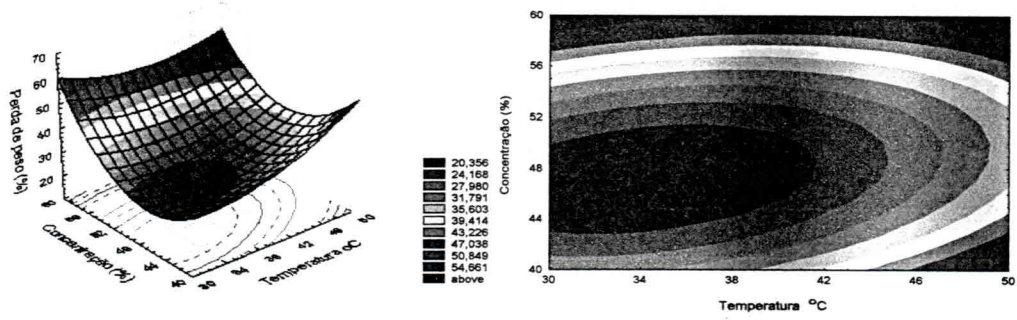
em que:

T = temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

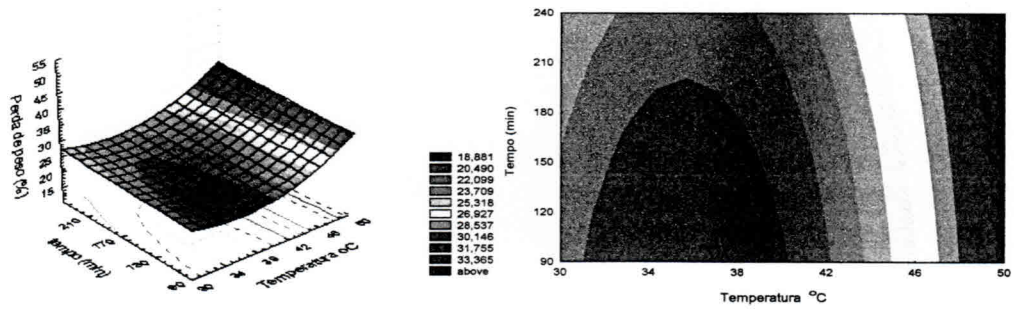
C = concentração (%)

t = tempo (min)

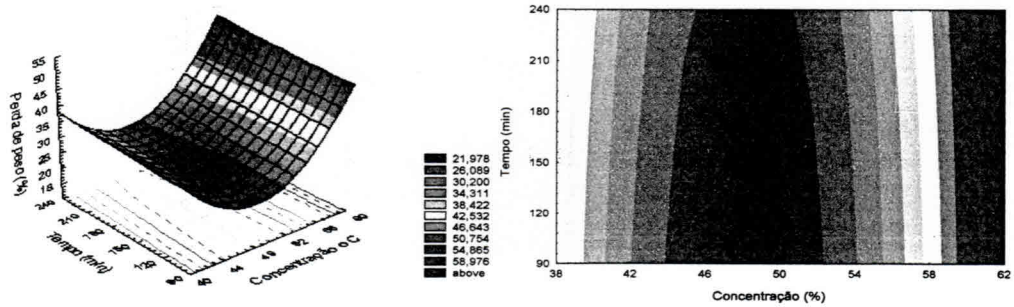
As superfícies de resposta e de curvas de nível obtidas do modelo ajustado para a perda de peso da manga Tommy Atkins desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose e xarope de milho, estão apresentadas nas Figuras 4.3 e 4.4, respectivamente.



(a)



(b)



(c)

Figura 4.3. Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de peso da manga Tommy Atkins após o processo de desidratação osmótica em soluções de sacarose: (a) $t=165$ min, (b) $C=50\%$, (c) $T=40^\circ\text{C}$

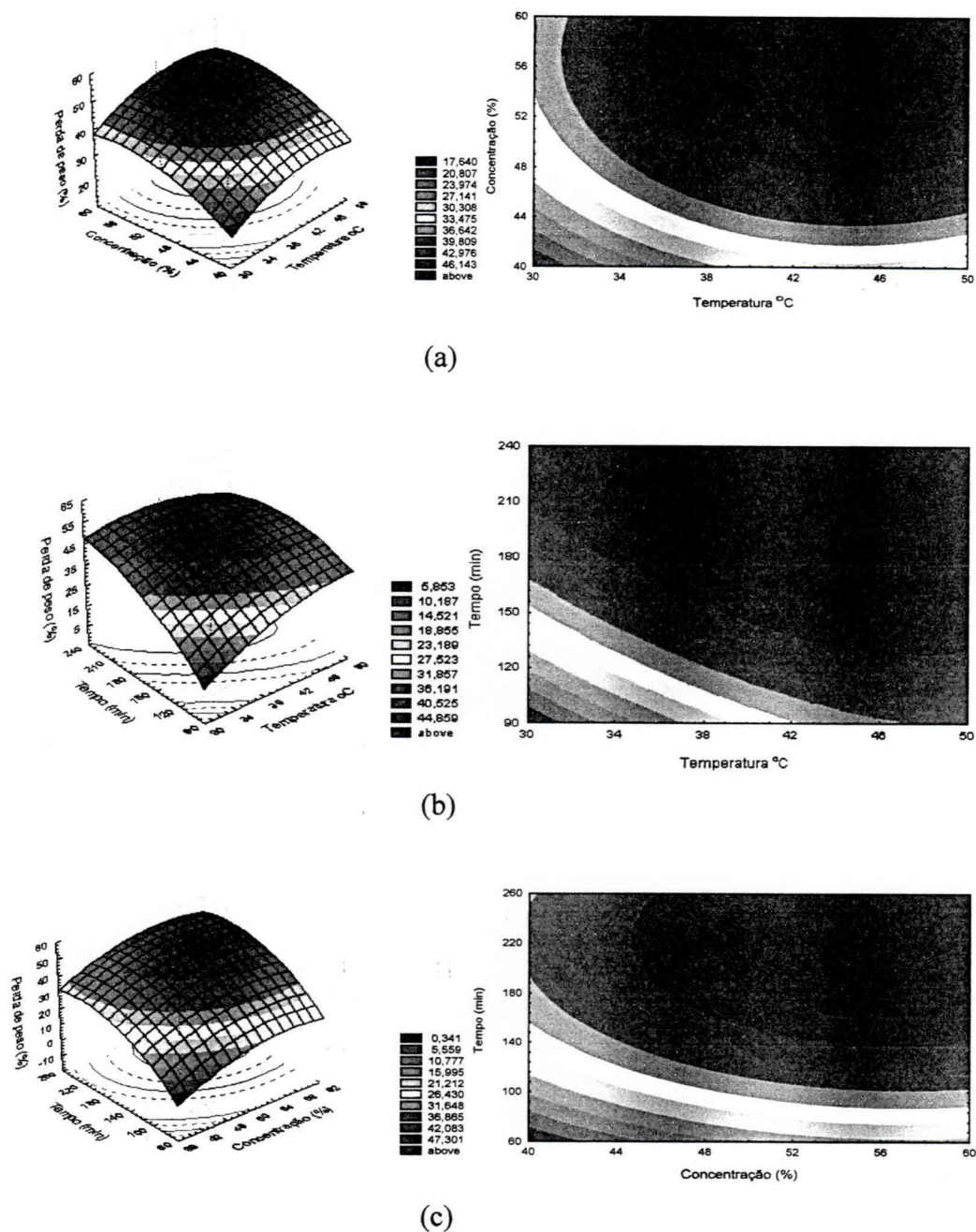


Figura 4.4. Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de peso da manga Tommy Atkins após o processo de desidratação osmótica em soluções de xarope de milho: (a) $t=165$ min, (b) $C=50\%$, (c) $T=40^\circ\text{C}$

Como se observa através da Figura 4.3, a perda de peso no processo de desidratação osmótica em solução de sacarose aumentou com o aumento da concentração. Verifica-se que maiores valores de perda de peso podem ser obtidos utilizando-se concentrações acima

de 58% e temperaturas entre 48 a 50°C, independente do tempo de processo. Observa-se ainda que independente do tempo, o maior valor de perda de peso pode ser obtido utilizando-se temperatura de 50°C e concentração de 60%.

Para a manga desidratada em solução de xarope de milho, verifica-se na Figura 4.4 que o tempo de processo foi o fator de maior influência. Maiores valores de perda de peso podem ser obtidos com tempos superiores a 130 minutos, concentrações acima 45% e temperaturas acima de 38°C.

ARGAIZ et al. (1994) constataram na desidratação osmótica do mamão, aumento no ganho de sólidos e decréscimo na perda de peso o que se harmoniza com os resultados desse trabalho, para este fator (perda de peso). Este fato, no presente trabalho, deve-se ao gradiente de atividade de água da sacarose (solução) e do xarope de milho que resultou em um fluxo de água através da membrana semipermeável da manga, o que explica AGUIRRE & GASPARINO FILHO (2001) ao afirmarem que pela natureza da membrana pode resultar no transporte de solutos, particularmente da solução osmótica para a fruta, de modo que a concentração osmótica resulta numa difusão simultânea de água e soluto.

4.2.2. Perda de água

Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação para a perda de água em soluções de sacarose e xarope de milho estão representados na tabela 4.5.

Os valores dos efeitos estimados indicam o quanto cada fator influi na resposta observada, ou seja, quanto maior os valores dos efeitos maiores serão a influencia sobre a perda de água.

Tabela 4.5. Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para perda de água em soluções de sacarose (1) e xarope de milho (2)

Fatores	Efeito Estimado		Erro Puro		Significância Estatística	
	1	2	1	2	1	2
Média global	28,62	46,76	0,32	0,36	0,00	0,00
Temperatura (L)	6,85	7,06	0,30	0,34	0,00	0,00
Temperatura (Q)	5,67	-2,66	0,33	0,37	0,00	0,01
Concentração (L)	8,32	9,75	0,30	0,34	0,00	0,00
Concentração (Q)	13,02	-3,63	0,33	0,37	0,00	0,01
Tempo (L)	3,11	12,94	0,30	0,34	0,00	0,00
Tempo (Q)	5,47	-3,53	0,33	0,37	0,00	0,01
Temperatura x Concentração	-2,86	-2,13	0,40	0,44	0,01	0,04
Temperatura x Tempo	-0,60	-5,24	0,40	0,44	0,26	0,00
Concentração x Tempo	1,00	1,62	0,40	0,44	0,12	0,68

OBS: Os valores em negrito apresentam-se não significativos.

(L) = termo linear

(Q) = termo quadrático

Para a desidratação osmótica de manga Tommy Atkins em solução de sacarose, observa-se que todos os fatores, temperatura, concentração e tempo lineares e quadráticos, além da interação temperatura x concentração são significativos a 5% de probabilidade. A perda de água durante o processo de desidratação será mais intensa com o aumento destes

fatores lineares e quadráticos, ao contrario da interação temperatura x concentração que tem influência negativa, de forma inversa, em que um aumento acarreta uma diminuição na perda de água. As interações temperatura x tempo e concentração x tempo não foram significativos e por isso não serão utilizados no modelo de predição. Os fatores concentração e temperatura foram os efeitos de maior influência sobre a perda de água.

Para a desidratação osmótica de manga, quando utilizado o xarope de milho, observa-se que quase todos os efeitos dos fatores, com exceção da interação concentração x tempo, são significativos a 5% de probabilidade. Os fatores temperatura, concentração e tempo em termos lineares obtiveram efeito positivo sobre a perda de água, indicando que se aumentarmos a temperatura, concentração e o tempo de imersão, maior será a perda de água. Estes mesmos fatores mais em termos quadráticos, e as interações temperatura x concentração e temperatura x tempo, têm influência negativa sobre a perda de água, isto indica que um aumento nestes fatores acarreta uma diminuição na perda de água. O fator tempo (L) foi o que exerceu maior influência para a perda de água para a desidratação osmótica em xarope de milho.

A partir dos dados expostos na Tabela 4.5, foi construído o gráfico (Figura 4.5) dos efeitos estimados sobre as variáveis e interações em relação às soluções osmóticas estudadas, sacarose e xarope de milho.

Verifica-se através da figura que para a desidratação com xarope de milho, os efeitos dos fatores, temperatura, concentração e tempo em termos lineares foram superiores quando comparados aos de sacarose, porém em termos quadráticos a sacarose foi superior. Observa-se que o xarope de milho não foi tão bem sucedido, quando comparado à sacarose para todos os fatores estudados, já que quase todos tiveram influência negativa, sobre a perda de água.

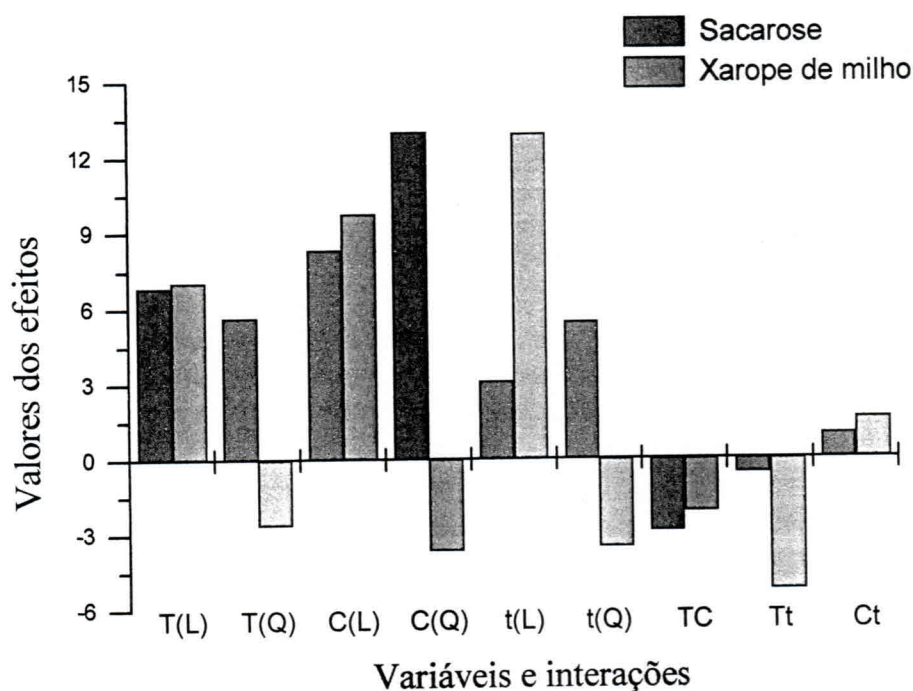


Figura 4.5. Valores dos efeitos sobre as variáveis e interações para a perda de água na desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em soluções de sacarose e xarope de milho

Após a eliminação dos parâmetros não significativos, realizou-se a análise de variância (ANOVA) e teste de Fisher (F), para a perda de água no processo de desidratação osmótica de manga em soluções de sacarose e xarope de milho, conforme a Tabela 4.6.

Verificou-se para a desidratação osmótica de manga em solução de sacarose, que o modelo apresentou regressão e falta de ajuste significativo a 5% de probabilidade, com F calculado maior que o F tabelado. O modelo ajustado apresentou regressão e falta de ajuste com F calculado de 5,53 e 1,51 vezes maior que o F tabelado, respectivamente, sendo o modelo considerado preditivo. O coeficientes de correlação (R^2) obtidos foi de 0,93, explicando 93% da variação das respostas e resíduo cerca de 6,59% do total (Figura 4.5-a).

Observa-se para a manga desidratada em solução de xarope de milho, que a perda de água apresentou regressão e falta de ajuste significativos a 5% de probabilidade, com F

calculado de 4,19 e 1,75 vezes maior que o F tabelado, respectivamente, o que indica que o modelo é preditivo. O coeficiente de correlação (R^2) obtidos foi de 0,93, explicando 93% da variação das respostas e resíduo cerca de 6,48 % do total (Figura 4.5-b).

Tabela 4.6. Resultados da ANOVA para o modelo ajustado para perda de água na desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em solução de sacarose xarope e de milho

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Sacarose					
Regressão	7	938,573	134,08	18,20	3,29
Resíduo	9	66,304	7,367		
Falta de ajuste	7	65,664	9,380	29,31	19,35
Erro puro	2	0,640	0,32		
Total	16	1004,880		$R^2=0,93$	
Xarope de milho					
Regressão	8	1190,019	148,75	14,42	3,44
Resíduo	8	82,497	10,31		
Falta de ajuste	6	81,696	13,61	33,98	19,33
Erro puro	2	0,801	0,4005		
Total	16	1272,516		$R^2=0,93$	

GL: grau de liberdade SQ: soma quadrática MQ: média quadrática

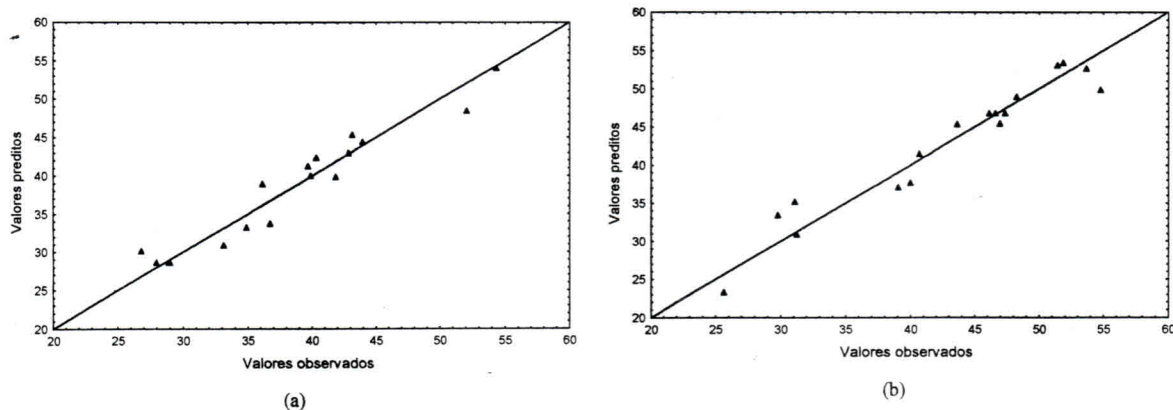


Figura 4.6 Valores preditos e valores observados para a perda de água da desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em soluções de sacarose (a) e Xarope de milho (b)

Os modelos propostos para descrever a perda de água na desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em soluções de sacarose (a) e xarope de milho (b), encontram-se de acordo com as seguintes equações:

$$WL_{(a)}(\%) = 28,627 + 3,425T + 2,835T^2 + 4,162C + 6,514C^2 + 1,559t + 2,739t^2 - 1,43201TC \quad (13)$$

$$WL_{(b)}(\%) = 46,763 + 3,533T - 1,330T^2 + 4,877C - 1,819C^2 + 6,471t - 1,766t^2 - 1,067TC - 2,623Tt \quad (14)$$

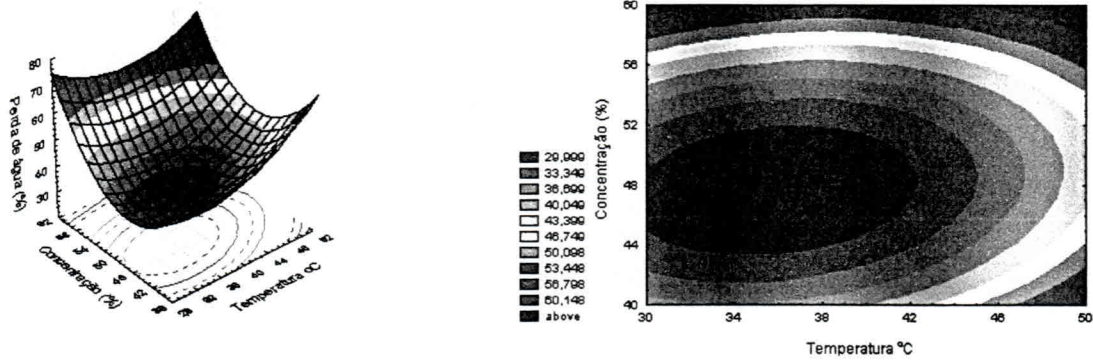
em que :

T = temperatura (°C)

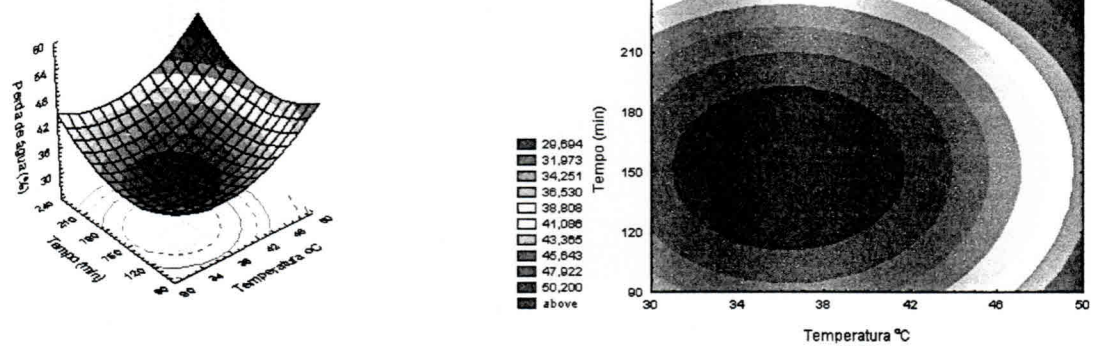
C = concentração (%)

t = tempo (min)

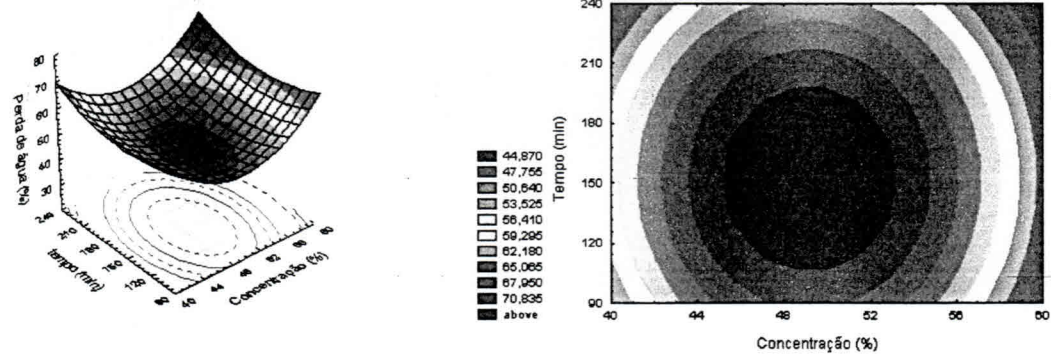
As superfícies de respostas e curvas de nível dos modelos ajustados para as soluções estudadas no presente trabalho são apresentadas nas Figuras 4.7 e 4.8.



(a)



(b)



(c)

Figura 4.7. Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de água da manga Tommy Atkins após o processo de desidratação osmótica em soluções de sacarose: (a) $t=165$ min, (b) $C=50\%$, (c) $T=40^{\circ}\text{C}$

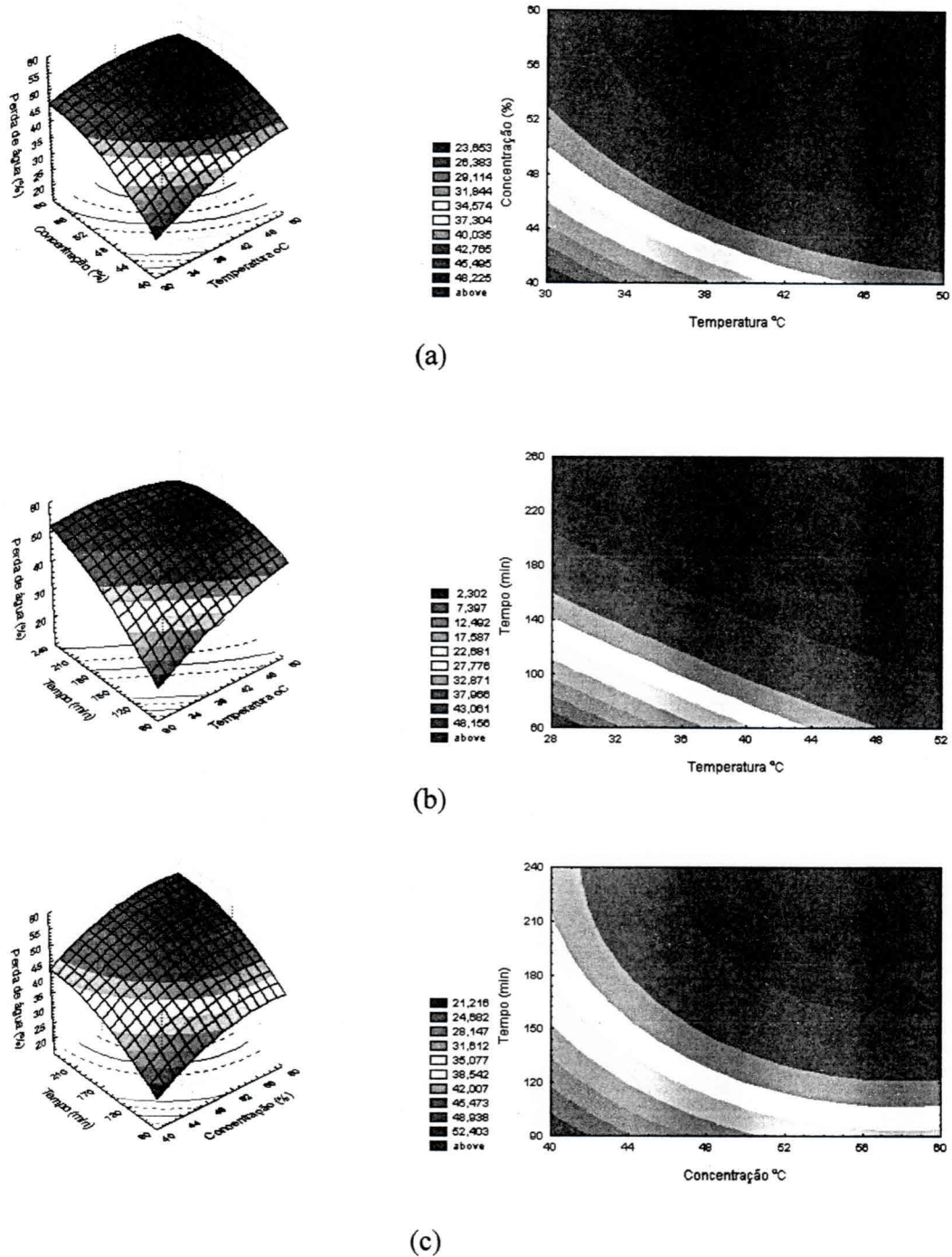


Figura 4.8. Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de água da manga Tommy Atkins após o processo de desidratação osmótica em soluções de xarope de milho: (a) $t=165$ min, (b) $C=50\%$, (c) $T=40^\circ\text{C}$

Verifica-se através da Figura 4.7 que a concentração foi o fator de maior influência sobre a perda de água na desidratação osmótica da manga em solução de sacarose. Observa-se que maiores valores de perda de água podem ser obtidos em regiões acima de 58% de concentração, temperatura superior a 50°C e tempos de processo acima de 200 minutos. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por SILVEIRA et al. (1996) que ao estudar a cinética de desidratação de abacaxi concluíram que a perda de água e ganho de sólidos aumenta com o aumento da concentração da solução de sacarose. Segundo MOY et al. (1978) a perda de água de um produto submetido à desidratação osmótica está diretamente ligada à concentração da solução e o tipo de soluto, ou seja, aumentando a concentração da solução osmótica a perda de água será mais favorecida que o ganho de sólidos.

GIRALDO et al. (2003) estudaram a influência da concentração de solução de sacarose durante a desidratação osmótica de manga e concluíram que as propriedades da manga são muito afetadas devido a elevadas concentrações de sacarose e por haver impregnação da solução no tecido da fruta no começo do processo.

Para a manga desidratada em soluções de xarope de milho, tem-se maiores perdas de água para as concentrações acima de 54%, temperaturas superiores a 48 °C e tempo de imersão maiores de 160 minutos (Figura 4.8). Estes resultados são concordantes com os de AZOUBEL (2002), ao estudar a influência de pré-tratamentos na obtenção de produtos secos de caju, em que maiores valores de perda de água poderiam ser obtidos utilizando-se altas concentrações de solução de xarope de milho em torno de 56% e tempos de 160 minutos de processo.

UFCC - BIBLIOTECA

4.2.3. Ganho de sólidos

Na Tabela 4.7 estão apresentados os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação para ganho de sólidos em soluções de sacarose e xarope de milho.

Os valores dos efeitos estimados indicam o quanto cada fator influi na resposta de interesse, neste caso, o ganho de sólidos.

Tabela 4.7. Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística, para cada fator no modelo codificado para ganho de sólidos em soluções de sacarose (1) e xarope de milho (2).

Fatores	Efeito Estimado		Erro Puro		Significância Estatística	
	1	2	1	2	1	2
Média global	14,12	2,35	0,16	0,09	0,00	0,00
Temperatura (L)	-0,91	-0,72	0,15	0,08	0,02	0,00
Temperatura (Q)	-2,01	2,34	0,17	0,09	0,00	0,00
Concentração (L)	-1,88	-1,70	0,15	0,08	0,00	0,00
Concentração (Q)	-5,05	1,20	0,17	0,09	0,00	0,00
Tempo (L)	2,63	-1,80	0,15	0,08	0,00	0,00
Tempo (Q)	-2,88	2,13	0,17	0,09	0,00	0,00
Temperatura x Concentração	2,28	-1,48	0,20	0,11	0,00	0,00
Temperatura x Tempo	-1,30	1,25	0,20	0,11	0,02	0,00
Concentração x Tempo	0,31	-0,00	0,20	0,11	0,25	0,98

OBS: Os valores em negrito apresentam-se não significativos.

(L) = termo linear

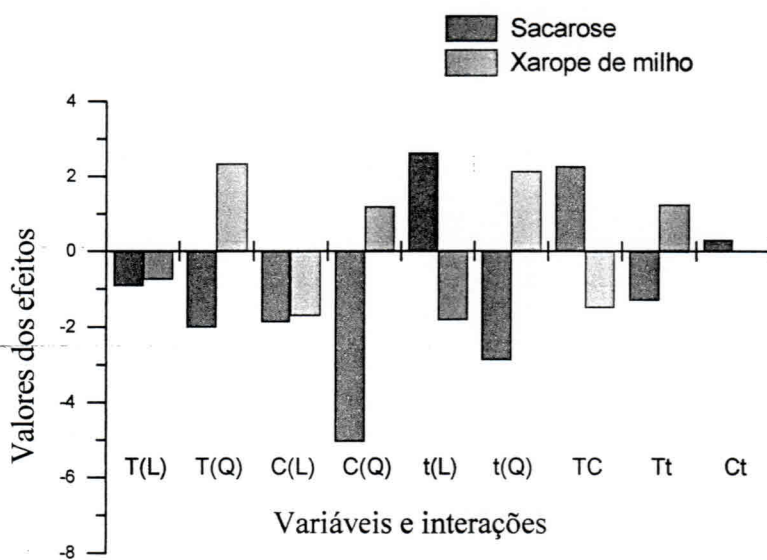
(Q) = termo quadrático

Para a sacarose, observa-se que quase todos os efeitos, com exceção da interação concentração x tempo são significativos a 5% de probabilidade, sendo assim, a interação citada será desprezada do modelo de predição. Entretanto dos efeitos significativos apenas o fator tempo (L) e a interação temperatura x concentração tem efeito de influência positiva

sobre o ganho de sólidos, em que um aumento destes fatores acarreta no aumento de ganho de sólidos.

Para a desidratação em xarope de milho, verifica-se que assim como para a sacarose, a interação concentração x tempo, foi à única que não foi significativa a 5% de probabilidade, por isto desprezada do modelo de predição. Analisando os valores dos efeitos significativos, os fatores temperatura, concentração e tempo em termos quadráticos e a interação temperatura x tempo obtiveram efeito positivo sobre a resposta de interesse, ou seja, um aumento em qualquer um destes fatores haverá maior ganho de sólidos, os demais efeitos significativos foram de influência negativa.

Na Figura 4.9 pode-se visualizar os efeitos estimados para as soluções osmóticas, sacarose e xarope de milho, em relação as variáveis estudadas e suas interações, sobre o ganho de sólidos no processo de desidratação osmótica de manga Tommy Atkins. Pode-se observar que em ambas as soluções osmóticas obtiveram mais efeitos de influência negativa do que positiva sobre o ganho de sólidos no processo. Sendo a concentração de sacarose o efeito de maior influência negativa para a resposta de interesse.



UFCC - BIBLIOTECA

Figura 4.9. Valores dos efeitos sobre as variáveis e interações para ganho de sólidos na desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em soluções de sacarose e xarope de milho

Após a eliminação dos parâmetros não significativos foi realizada a análise de variância (ANOVA) e teste de Fisher (F) para ganho de sólidos no processo de desidratação osmótica de manga Tommy Atkins em solução de sacarose. Observa-se na Tabela 4.8 que o F calculado para regressão foi de 1,82 vezes maior que o F tabelado, sendo significativo a 5% de probabilidade, mas admitindo-se que o F calculado deve ser 4 a 5 vezes maior que o tabelado, neste caso o modelo não é considerado preditivo. O resíduo obteve valor baixo, cerca de 13,72% do total e coeficiente explicando apenas 86% da variação das respostas observadas. A distribuição dos resíduos pode ser observada na Figura 4.10-a.

Para a desidratação de manga em solução de xarope de milho, o modelo para regressão não foi preditivo com F calculado menor que F tabelado, o que confere também o valor do resíduo bastante alto, cerca de 19,14% do total (Figura 4.10-b) e coeficiente de regressão explicando apenas 47% das respostas observadas.

Tabela 4.8. Resultados da ANOVA para o modelo ajustado para ganho de sólidos na desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em solução de sacarose e xarope de milho

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Sacarose					
Regressão	8	130,633	16,329	6,28	3,44
Resíduo	8	20,7842	2,5980		
Falta de ajuste	6	20,6182	3,436	41,39	19,33
Erro puro	2	0,1660	0,083		
Total	16	151,4181		R ² =0,86	
Xarope de milho					
Regressão	8	52,3326	6,54	1,01	3,44
Resíduo	8	57,8152	6,47		
Falta de ajuste	6	57,7616	9,62	370,00	19,33
Erro puro	2	0,0536	0,026		
Total	16	110,1478		R ² =0,47	

GL: grau de liberdade SQ: soma quadrática MQ: média quadrática

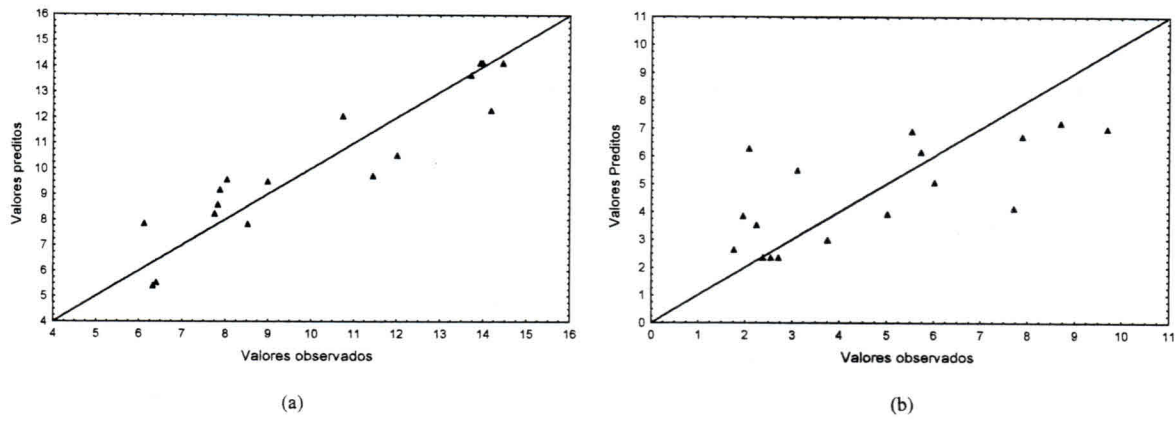


Figura 4.10. Valores preditos e valores observados para ganho de sólidos da desidratção osmótica da manga Tommy Atkins em soluções de sacarose (a) e Xarope de milho (b)

4.2.4. Otimização do processo de desidratação osmótica

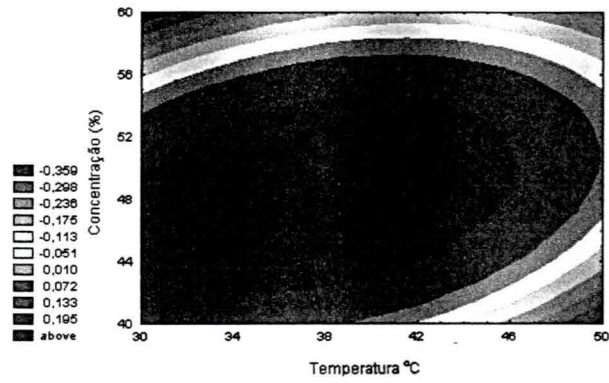
A otimização do processo de desidratação osmótica de manga Tommy Atkins foi realizada com a finalidade de encontrar o ponto ótimo de desidratação. Neste processo foram analisados os resultados obtidos para a perda de água e ganho de sólidos através do programa STATISTICA 5.0 com a finalidade de maximizar a perda de água e minimizar o ganho de sólidos. Entretanto a maximização da perda de água provoca um aumento na incorporação de sólidos, em contrapartida, a minimização da incorporação de sólidos conduz baixos valores de perda de água. A solução concentrada utilizada no processo de desidratação osmótica pode afetar fortemente as características físicas, químicas e biológicas, além de alterar o sabor da fruta, isto acontece devido à incorporação de sólidos no decorrer do processo. Segundo RAOULT-WACK (1994) a incorporação de sólidos e perda de água são influenciadas pelas características da matéria prima, como membrana celular, o grau de compactação e estrutura do tecido, a quantidade de sólidos insolúveis e os espaços intracelulares.

Sendo de grande importância para o processo de desidratação osmótica, a Tabela 4.9 e as Figuras 4.11 e 4.12 traduzem as razões de ganho de sólidos sobre a perda de água (GS/WL) para a manga desidratada osmoticamente em soluções de sacarose e xarope de milho de acordo com o planejamento experimental.

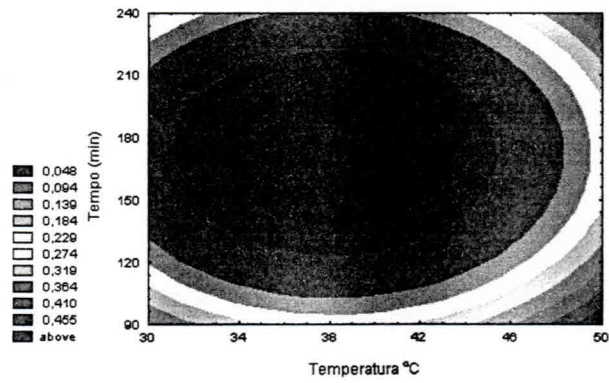
Tabela 4.9. Valores da razão, ganho de sólidos (GS) e perda de água (WL), para a desidratação osmótica de manga Tommy Atkins

Ensaio	Sacarose	Xarope de milho
	GS/WL	GS/WL
1	0,43	0,34
2	0,20	0,20
3	0,16	0,31
4	0,18	0,05
5	0,39	0,19
6	0,18	0,12
7	0,20	0,10
8	0,15	0,07
9	0,32	0,05
10	0,30	0,12
11	0,20	0,10
12	0,12	0,03
13	0,17	0,18
14	0,39	0,04
15	0,48	0,06
16	0,48	0,05
17	0,52	0,06

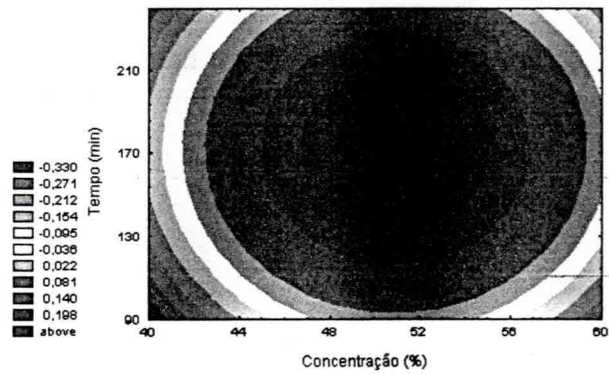
UFG - BIBLIOTECA



(a)

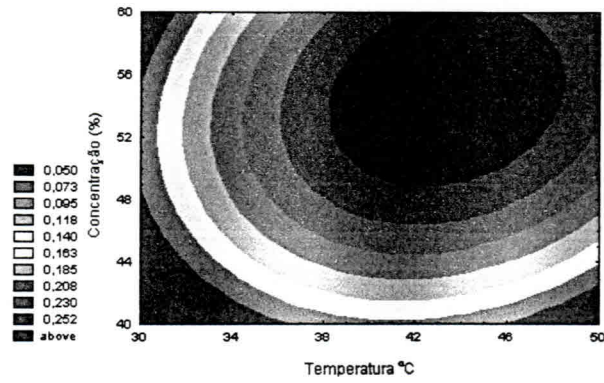


(b)

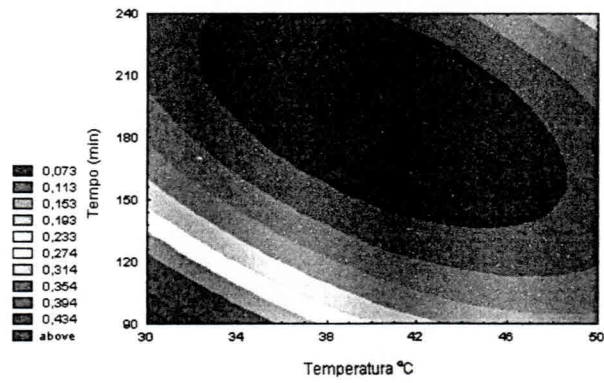


(c)

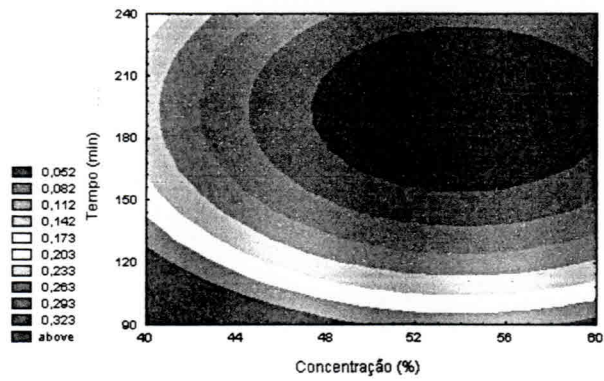
Figura 4.11. Curvas de nível para a relação GS/WL para a desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em solução de sacarose: (a) $t=165\text{min}$, (b) $C=50\%$, (c) $T=40^\circ\text{C}$



(a)



(b)



(c)

UFCC - BIBLIOTECA

Figura 4.12. Curvas de nível para a relação GS/WL para a desidratação osmótica da manga Tommy Atkins em solução de xarope de milho: (a) $t=165\text{min}$, (b) $C=50\%$, (c) $T=40^\circ\text{C}$

Observa-se através das figuras que dentro da faixa experimental estudada de temperatura de 34 a 50°C, concentração de 40 a 60% e tempo de imersão de 90 a 240 minutos para o processo de desidratação osmótica em solução de sacarose, as condições otimizadas no processo, isto é as condições em que o produto perde mais água e adquire menos sólido, requer uso de temperaturas em torno de 48 a 50°C, concentrações de 40% com duração de 90 a 120 min.

Em relação à otimização do processo de desidratação osmótica em solução de xarope de milho, o produto perde mais água e ganha menos sólidos em temperaturas de 38 a 48°C, concentrações de 50 a 60 % e tempos intermediários de 160 a 220 minutos.

Com base na análise das figuras e com a finalidade de se obter maior perda de água e menor ganho de sólidos e encontrar a melhor condição para validação do método combinado mantendo-se o máximo possível às características iniciais do produto, encontrou-se duas condições ótimas de processo, conforme a Tabela 4.10.

Tabela 4.10. Condições ótimas do processo de desidratação osmótica de manga Tommy Atkins em soluções de sacarose (1) e xarope de milho (2)

Condição	T (°C)	C (%)	T (min)
1	50	40	90
2	40	50	160

4.3. Secagem convectiva

4.3.1. Cinética de secagem convectiva

Os resultados do estudo da cinética da secagem e otimização da manga *Tommy Atkins*, realizada na forma *in natura* e desidratada osmoticamente em solução de sacarose e xarope de milho, encontra-se na Tabela 4.10 e Tabela 4.11. Onde na primeira tabela está contidos os dados relativos a desidratação realizada sobre a melhor condição, e na segunda tabela, os dados das umidades relativas obtidas durante o processo de secagem, realizado em um secador de leito fixo.

Tabela 4.11. Valores de umidade relativa do ar de secagem para a manga Tommy Atkins

Amostra	Umidade Relativa (%)		
	T (30°C)	T (40°C)	T (50°C)
<i>In natura</i>	55	40	50
Sacarose	40	43	42
Xarope de milho	41	39	36

A partir dos dados experimentais da secagem de manga Tommy Atkins *in natura* e desidratadas em soluções de sacarose e xarope de milho, calculou-se o termo adimensional.

A temperatura na cinética de secagem foi o fator de maior influência, uma vez que o aumento deste fator acarretou no decréscimo do tempo de secagem das amostras. Segundo AZOUBEL (2002) a secagem não afeta apenas o conteúdo de água nos alimentos, mas também suas propriedades físicas químicas e biológicas. Dessa forma, a combinação de métodos como a desidratação osmótica e secagem a altas temperaturas são alternativas encontradas para reduzir os danos ocorridos durante a secagem, além de diminuir o tempo de processo, resultando em economia de energia.

As Figuras de 4.13 a 4.15 apresentam as curvas de secagem com os dados experimentais e as Figuras 4.16 a 4.18 a taxa de secagem em função do conteúdo de umidade. A visualização da manga em placa plana depois de passada pelo processo de secagem se encontra nas Figuras 1a a 3a do Anexo.

Pode-se observar pelas figuras que ocorre uma diminuição no tempo gasto para secar a manga em função da elevação da temperatura, ou seja, as curvas de secagem indicam que para um mesmo tempo do processo, quanto maior for a temperatura, maior é a taxa de secagem, e mais rapidamente essa se processa. Observa-se também, que para uma mesma temperatura e tempo de secagem, as amostras pré-desidratadas osmoticamente, apresentam menor conteúdo de umidade, isto é, que se atinge um valor de $(X-X_0/X_0-X_e)$ menor, conseqüentemente uma atividade de água final mais baixa as temperaturas menores (30 e 40°C).

RAHMAN & LAMB (1991) ao estudarem a influência da desidratação osmótica em solução de sacarose na secagem convencional de abacaxi, verificaram que a fruta pré-tratada apresentou menores taxas de processo. Segundo os autores, um material

higroscópico como a sacarose contém sítios polares que atraem a água resultando em maior resistência de massa durante o processo.

Em uma análise de todo o processo de secagem em função do tempo nas condições de temperatura estudada (30, 40 e 50°C), observa-se mediante as curvas, todo um período, praticamente de taxa decrescente, demonstrando que o principal mecanismo de migração de umidade é a difusão. De acordo com KEEY (1975) a ausência do período de secagem à taxa constante pode ter ocorrido por causa da natureza da umidade, pois, mesmo havendo umidade superficial livre, a água pode estar na forma de suspensão de células e de solução (açúcares e outras moléculas), apresentando uma pressão de vapor abaixo da pressão de vapor da água pura. A ausência do período de taxa constante foi observada, também, por outros pesquisadores para a secagem da uva (GABAS, 1998) e caju (MOURA, 2001).

Ademais, tem-se que a velocidade de secagem para a manga *in natura* é maior do que para a manga pré-tratada osmoticamente. No entanto, as amostras pré-desidratadas atingem umidade mais baixa em menor tempo do que as amostras *in natura*, comportamento que se traduz em uma secagem mais rápida e também mais homogênea.

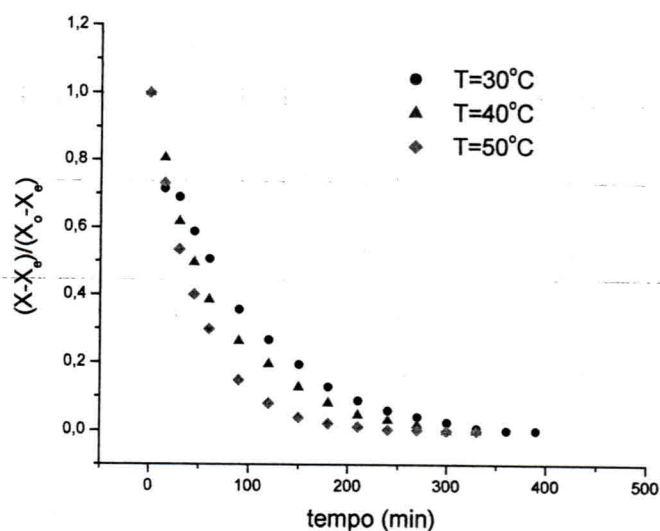


Figura 4.13. Efeito da temperatura na secagem da manga *in natura*

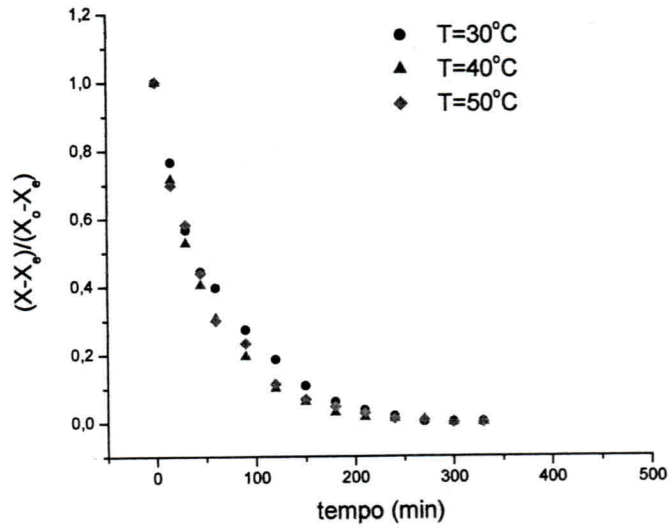


Figura 4.14. Efeito da temperatura na secagem da manga desidratada osmoticamente em solução de sacarose

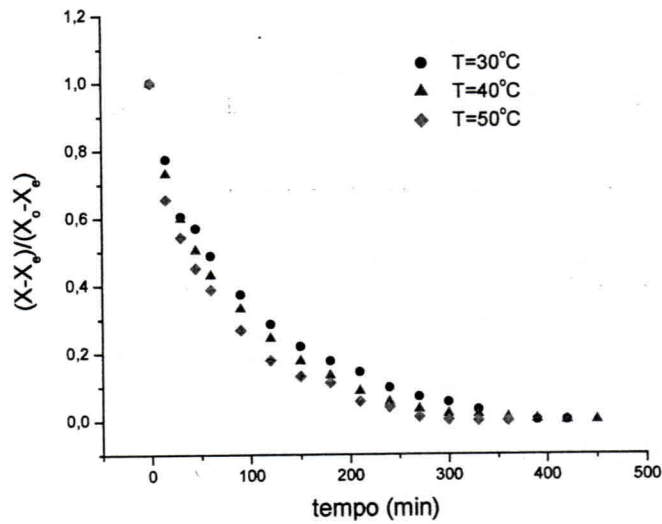


Figura 4.15. Efeito da temperatura na secagem da manga desidratada osmoticamente em solução de xarope de milho.

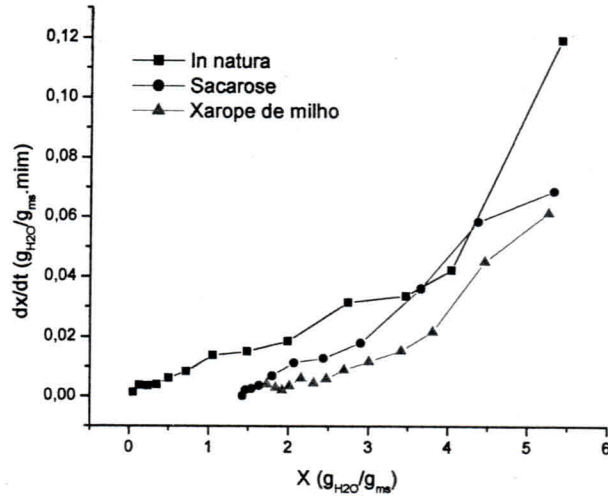


Figura 4.16. Taxa de secagem de manga Tommy Atkins *in natura* e desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose e xarope de milho (T=30°C)

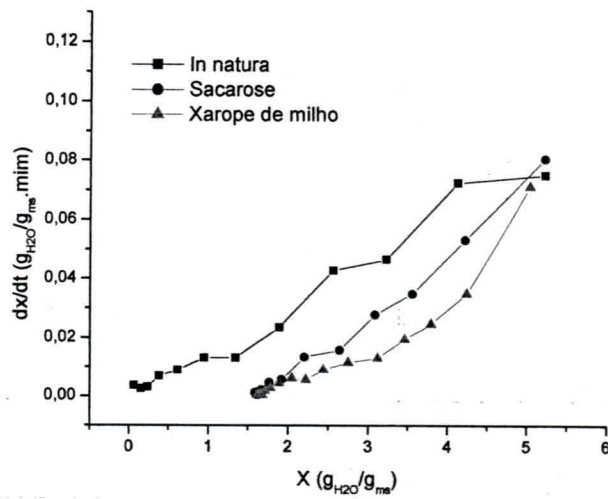


Figura 4.17. Taxa de secagem de manga Tommy Atkins *in natura* e desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose e xarope de milho (T=40°C)

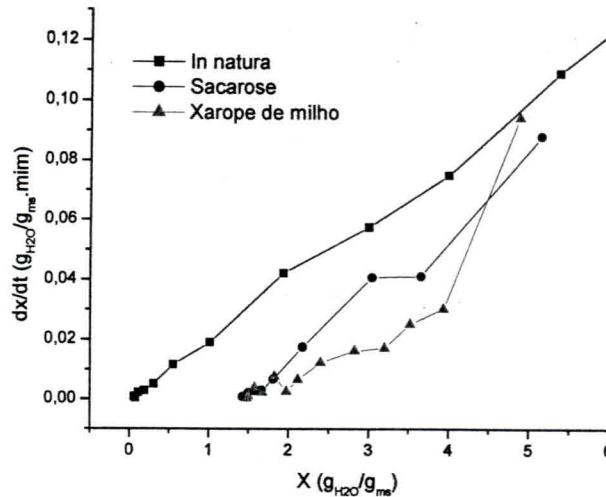


Figura 4.18. Taxa de secagem de manga Tommy Atkins *in natura* e desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose e xarope de milho ($T=50^{\circ}C$)

4.3.2. Modelagem matemática da secagem

Os dados experimentais foram ajustados pelo modelo de Page, através da regressão não linear, obtendo-se os parâmetros estimados, b , K , coeficiente de correlação (R^2) e erro médio relativo (Tabela 4.12). Observa-se através das Figuras 4.19 e 4.21 que o modelo obteve um ótimo ajuste, podendo ser utilizado para predição da cinética de secagem de manga Tommy Atkins *in natura* e desidratadas em soluções de sacarose e xarope de milho nas condições experimentais utilizadas neste estudo.

AZOUBEL (2002) utilizou o *modelo empírico de Page* para predição da cinética de secagem de caju *in natura*, pré-tratada por secagem HTST e desidratada osmoticamente em solução de sacarose e xarope de milho.

Tabela 4.12. Valores dos parâmetros K, b, coeficiente de correlação (R^2), obtido pelo modelo de Page para a fruta *in natura*, desidratada osmoticamente em solução de sacarose e xarope de milho

	Temperatura			
	(°C)	K	b	R^2
<i>In natura</i>	30	0,17	0,90	0,9953
	40	0,01	0,94	0,9993
	50	0,02	1,00	0,9999
Sacarose	30	0,02	0,89	0,9982
	40	0,02	0,91	0,9997
	50	0,02	0,90	0,9998
Xarope de milho	30	0,02	0,81	0,9971
	40	0,03	0,81	0,9983
	50	0,04	0,75	0,9972

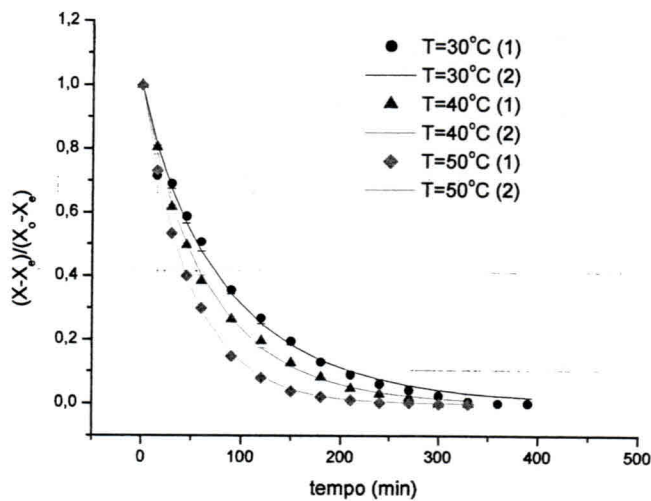


Figura 4.19. Dados experimentais (1) e valores preditos (2) pelo modelo de Page para a secagem de manga Tommy Atkins *in natura*

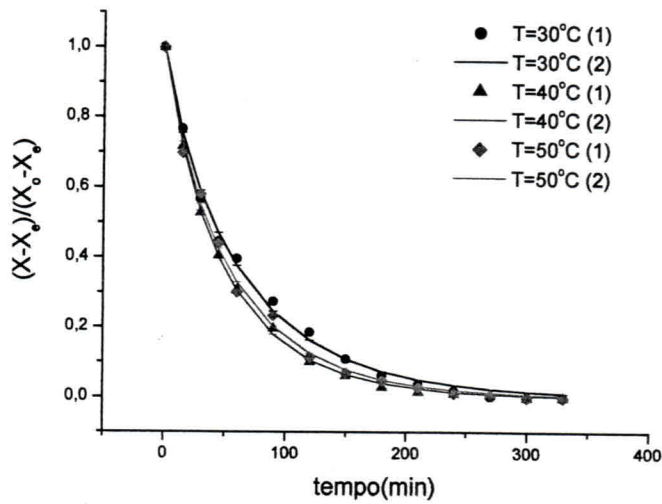


Figura 4.20. Dados experimentais (1) e valores preditos (2) pelo modelo de Page para a secagem de manga Tommy Atkins desidratada osmoticamente em solução de sacarose

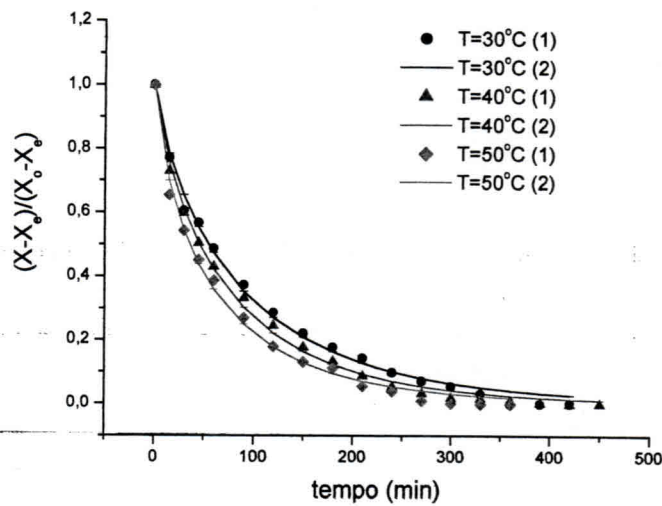


Figura 4.21. Dados experimentais (1) e valores preditos (2) pelo modelo de Page para a secagem de manga Tommy Atkins desidratada osmoticamente em solução de xarope de milho

Sobre o contexto geral abordado, MURZA (1983) observou que ao aumentar a concentração de sacarose a taxa de secagem decresce. Segundo o autor este fato ocorre devido à cristalização da sacarose durante o processo de secagem que diminui a difusividade do vapor d'água e dificulta a transferência de calor e a redução da pressão de vapor d'água no produto em consequência da dissolução de açúcar. Assim a diferença de pressão de vapor entre o ar e produto diminui, resultando em menores taxas no processo. E, também, como se observa, ao se elevar à concentração de sacarose, aumenta-se o ganho de sólidos durante o pré-processo.

4.4. Caracterização do produto final

O produto foi desidratado osmoticamente na melhor condição para a realização da secagem convectiva, gerado pela combinação dos métodos, ou seja, o produto final foi avaliado através do pH, °Brix, açúcares redutores, açúcares totais e acidez titulável, conforme a Tabela 4.13.

Tabela 4.13. Resultados das determinações químicas da manga Tommy Atkins desidratação osmoticamente em soluções de sacarose e xarope de milho após a secagem

Determinações	Valor médio	
	Sacarose T (50°C)	Xarope de milho T (40°C)
pH	3,11	3,15
Açúcares redutores (% de glicose)	7,70	18,48
Açúcares totais (% de glicose)	49,09	28,43
Acidez titulável (ac. cítrico)	3,94	3,92

A comparação dos valores obtidos com o produto final e os valores da manga *in natura* (Tabela 4.1), indica que o método combinado, desidratação osmótica mais secagem, teve grande influência sobre a acidez e os açúcares. SANTOS (2003) após a elaboração de um estruturado de manga (Tommy Atkins) desidratada parcialmente por osmose, observou que os produtos gerados continham elevados teores de açúcares redutores e totais. Segundo a autora a manga apresentava antes do processo 11,77% e 3,88% e após 71,28 e 23,52% de açúcares totais e redutores, respectivamente.

BORGES & MENEGALLI (1994) estudaram a influência da desidratação osmótica na cinética de secagem de manga relataram que o tratamento osmótico (5h/30°C) resultou num aumento de açúcares totais de até 21% e quando era complementado com secagem (7,5h/50°C) o aumento dos açúcares totais passou para 36%.

5. CONCLUSÕES

UFCG - BIBLIOTECA

5. CONCLUSÕES

Tendo-se como base os resultados apresentados e nas condições em que a pesquisa foi desenvolvida pode-se concluir:

1. A perda de peso, perda de água e ganho de sólidos aumentaram com o aumento das variáveis, temperatura, concentração e tempo de imersão durante o processo de desidratação osmótica de manga Tommy Atkins.
2. A concentração e o tempo de imersão para as soluções osmótica de sacarose e xarope de milho foram os fatores de maior efeito sobre a perda de peso. A manga desidratada em solução de sacarose apresentou maiores valores de perda de peso que em solução de xarope de milho, dentro da faixa estudada.
3. A concentração e a temperatura foram os fatores que mais exerceram influência sobre a perda de água durante o processo de desidratação osmótica de manga em solução de sacarose e que o tempo foi o fator de maior influência quando utilizado o xarope de milho como agente osmótico.
4. O ganho de sólidos no processo de desidratação osmótica de manga foi menor para as amostras desidratadas em solução de xarope de milho.
5. O processamento da manga por métodos combinados mostrou-se eficiente possibilitando a utilização de baixas temperaturas e concentrações.
6. Os modelos experimentais ajustados para perda de peso, perda de água e ganho de sólidos na desidratação com sacarose através da metodologia de superfície de resposta, foram considerados preditivos, Com exceção para ganho de sólidos na desidratação osmótica em solução de xarope de milho.

7. O modelo de Page apresentou um bom ajuste aos dados experimentais da secagem convectiva da manga desidratada tanto na solução de sacarose quanto na de xarope de milho.
8. O aumento da temperatura durante a secagem com ar quente acelerou o processo de secagem e a manga pré-desidratada atingiu umidade em menor tempo que a manga *in natura*
9. Os resultados obtidos na determinação físico-química do produto final são concordantes com os relatados na literatura especializada para processos similares com frutas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRRE, J. M de; GASPARINO FILHO, J. Desidratação de frutas e hortaliças. Manual Técnico. Instituto de Tecnologia de Alimentos - ITAL. Campinas, SP. 2001.

ALVES, S. M.; SILVEIRA, A. M. Estudo da secagem de tomates desidratados e não desidratados osmoticamente. Revista Universidade Rural, Série Ciências Exatas e da Terra, Rio de Janeiro, v. 21, n. 1, p. 21-30, 2002.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (A. O. A. C.) Official Methods of Analysis, 16ed, Washington, 1992.

ARGAIZ, A.; MALO, A. L.; PALOU, E.; WELTI, J. Osmotic dehydration of papaya with corn syrup solids. *Drying Technology*, New York, v.12, n. 7, p.1709 – 1725, 1994.

AZEREDO, H. M. C. e JARDINE, J. G. Desidratação osmótica de abacaxi aplicada à tecnologia de métodos combinados. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, SP . v. 20, n.1, p.78-82. 2000.

AZEVEDO, L. C. de. Caracterização e utilização da manga (*Mangifera indica* cv. Tommy Atkins), “de Segunda”, para fins de processamento. João Pessoa: UFPB, 1999. 128p. Dissertação de Mestrado.

AZOUBEL, P. M. Influência de Pré-tratamento na obtenção de produtos secos de caju (*anacardium occidentale L.*). Campinas, SP: UNICAMP, 2002. Tese de doutorado – Faculdade de Engenharia de Alimentos.

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

BARBANTI, D.; MASTROCOLA, D.; SEVERINI, C. Air drying of plums. A comparison among twelve cultivares. *Science des Aliments*, França, n.14, p. 61-73, 1994.

BARBOSA JÚNIOR, J. L. Avaliação da influencia da temperatura e concentração durante a desidratação osmótica de abóbora (*cucúrbita máxima*) e cenoura (*Daucus carota L.*) utilizando metodologia de superfície de resposta. Campinas, SP: UNICAMP, 2002. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia de Alimentos.

BARTELS, P.; TORRINGA, E.; ESVELD, E.; SCHEEWE, I.; BERG, R. V. D. Osmotic dehydration as a pre-treatment before combined microwave-hot-air drying of mushrooms. *Journal of Food Engineering*, New York, n. 49, p. 185 – 191, 2001.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R.E. Como fazer experimentos-pesquisas e desenvolvimento na ciência e na industria. Campinas: Editora da UNICAMP. 2001. 401p.

BORGES, S. V.; MENEGALLI, F. C. Influência da desidratação osmótica sobre a cinética de secagem de manga. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília: EMBRAPA, v.29, n. 4, p. 637-642, 1994.

BOTREL, N. Manga: variedades, qualidade e tecnologia pós-colheita. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, MG, v.17, n.179, p. 55-60, 1994.

BOX, G. E. P.; WETZ, J. Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function. *University of Wisconsin Technical Report*, n.9, 1973.

BRUNINI, M. A, DURIGAN, J. F.; OLIVEIRA, A. L. de. Avaliação das alterações em polpa de manga 'Tommy-Atkins' congeladas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal. v.24, n.3, p.651-653. dez. 2002.

BRANDÃO, M. C. C.; MAIA, G. A.; LIMA, D. P.; PARENTE, E. J. de S; CAMPELLO, C. C.; NASSU, R. T.; FEITOSA, T.; SOUSA, P. H. M. de. Análise físico-química, microbiológica e sensorial de frutos de manga submetidos à desidratação osmótico-solar. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 25, n. 1. abril, 2003.

- CARVALHO, C. R. L.; MANTOVANI, D. M. B.; CARVALHO, P. R. N.; MORAES, R. M. de; *Análises Químicas de Alimentos*. ITAL - Instituto de Tecnologia de Alimentos. Campinas-SP.1990. 121p. (Manual técnico)
- CONTRERAS, J. E.; SMYRL, T. G. An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solids solutions. *Food Research International*, Canadian Institute of Food Science and Technology, v.14, n. 4., p. 310-314, 1981
- CECCHI, H. M. *Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos*. Campinas-SP: Editora da UNICAMP, 1999. 212p.
- CHITARRA, M. I. F. *Colheita e qualidade pós-colheita de frutos*. Informe agropecuário, Belo Horizonte, v.17, n.179, p.8-18. 1994.
- CORTEZ, L. A. B.; HONÓRIO, S. L.; MORETTI, C. L. *Resfriamento de frutas e hortaliças*. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2002. 428p. (Informação tecnológica)
- CRANK, J. *The Mathematics of Diffusion*, 2ª ed. S.I Claredon Press Oxford, 414p., 1975.
- DALBELLO, O. *Eficiência do processo de secagem do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) e milho-de-pipoca (*Zea mays* L.)*. Campinas, SP: UNICAMP. Dissertação de mestrado. 112p. 1995 Faculdade de Engenharia Agrícola.
- EL-AOUAR, A. A. *Avaliação do processo combinado de desidratação osmótica e secagem na qualidade de cubos de mamão formosa (*Carica papaya* L.)* Campinas, SP: UNICAMP. Dissertação de mestrado. 113 p. 2001. Faculdade de Engenharia Alimentos.
- FARKAS, D. F.; LAZAR, M. E. Osmotic dehydration of apples pieces: effect of temperature and syrup concentration on rates. *Food Technology*, Ohio, v.23, p. 688-690, 1969. Apud: *Food Research International*. v. 26, p. 59-68, 1993.
- GABAS, A.L. *Secagem de uva Itália em leito fixo*. Campinas, SP: UNICAMP. Dissertação de mestrado. 135p. 1998. Faculdade de Engenharia de Alimentos.

GAVA, J. A. Princípios de tecnologia de alimentos. São Paulo: Nobel, 1ª edição (8ª reimpressão). 284p. 1998.

GOULARTE, V. D. da S.; ANTUNES, P. L. Caracterização físico-química de maçãs fugi concentradas com açúcares e desidratadas. Revista Brasileira de Agrociência, Pelotas: UFPEL v. 5. n. 2. 149-151p. maio-agosto 1999.

HENG, W.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. Osmotic dehydration of papaya: influence of process variables on the quality. Sciences des Aliments, França, v.10, p. 831 – 848, 1990.

HUI, X.; UDDIN, M. S.; HAWLADER, M.N..A. Drying of mango in a heat pump dryer: drying kinetics and shrinkage. 1st Nordic Drying Conference - NDC'01, Trondheim, Norway, June 27-29, 2001.

ISLAM, M. N.; FLINK, J. N. Dehydration of potato II. Osmotic concentration and effect on air-drying behavior. Journal of Food Technology, v.17, n.3, p. 387-403, 1982.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3ª edição. São Paulo, 1985. v. 1.

LABUZA, T. P. The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration. Food Technology, Ohio, p. 36 – 41, abril. 1980.

LOMAURO, C..J.; BAKSHI, A.S., LABUZA, T.P. Moisture transfer properties of dry and semimoist food. Journal of Food Science, Chicago : Institute of Food Technologists, v.50, p.397-400, 1985.

MAIA, G. A; OLIVEIRA, G. S. F de.; FIGUEIREDO, R. W. de.; GUIMARÃES, A. C. L. Matérias-primas (frutas). Brasília-DF: ABEAS. p. 225. 1998. (Curso de tecnologia em processamento de sucos e polpas tropicais-módulo 1)

- MAGALHÃES, P. S. G.; CORTEZ, L. A. B. Introdução à engenharia agrícola. (coordenadores). 2 ed. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 1993.
- MAGALHÃES, A. M. de; QUEIROZ, M. R. de. Desidratação osmótica de abacaxi. In: IX CONGRESSO INTERNO DE INICIAÇÃO CIENTIFICA DA UNICAMP. Campinas, SP. 27 a 28 de setembro, 2001.
- MANNHEIM, C. H.; LIU, J. X.; GILBERT, S. G. Control of water in foods during storage. *Journal of Food Engineering*, New York: Elsevier Applied Science, n. 22, p. 509 – 532, 1994.
- MEDINA, V. M. Fisiologia pós-colheita da manga. Cruz das Almas, BA: EMBRAPA-CNPMPF, 31p. 1995. (EMBRAPA-CNPMPF. Circular técnicas 24).
- MOY, j. K.; LAU, B. H.; DOLLAR, A. M. Effects of sucrose and acid on osmotic-dehydration of tropical fruits. *Journal of Food Processing and Preservation*, Trumbull: Food & Nutrition Press, v.2, p. 131-135, 1978.
- PARK, K. J. Fundamentos de secagem. Notas de aula. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, 1988.
- PELEGRINE, D. H. Comportamento reológico das polpas de manga e abacaxi. Campinas, SP: UNICAMP. 115 p. 1999. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia de Alimentos.
- PINA, M. G. M.; MAIA, G. A.; SOUZA FILHO, M. de SÁ M. de; FIGUEIREDO, R. W.E de; MONTEIRO, J. C. S. Processamento e conservação de manga por métodos combinados. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v.25, n.1, 2003.
- PINTO, A. C. de Q. Capa: a produção, o consumo e a qualidade da manga no Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v.24, n.3, dez. 2002.

- RAHMAN, M. D.; LAMB, J. Air drying behaviour of fresh and osmotically dehydrated pineapple. *Journal of Food Engineering*, New York : Elsevier Applied Science, v. 14., p. 163-171. 1991.
- RANGANA, S. *Manual of analysis of fruit and vegetables products*. New Delhi: Mc-Graw Hill Publishing Company, 634p.1977.
- RAOULT-WACK, A. L.; LENART, A.; GUILBERT S. Recent advances in dewatering though immersion in concentrated solutions. In: *Drying of Solids*. ed. A. S. Mujundar. International Science Publishers, New York, p. 211-51, 1992.
- RAOULT-WACK, A. L.; LENART, A.; GUILBERT, S. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science & Technology*, v. 5, p. 225 – 260. agosto, 1994.
- RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. Effect of temperature and concentration on osmotic dehydration of coconut. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, v.27, p.564-567, 1994.
- RIBEIRO, S. da C. A.; TOBINAGA, S. Avaliação sensorial de filés de matricã (*Brycon cephalus*) processados por métodos combinados. Campina Grande, PB. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, PB, v.4, n.2, p.101-106, 2002.
- ROCHA, G. M.; QUEIROZ, M. R. de. Desidratação osmótica de abacaxi. Campinas, SP: In: X CONGRESSO INTERNO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNICAMP. 25 a 26 de setembro, 2002.
- RODRIGUES, M. E. de A.; ALMEIDA, F. de A. C.; GOUVEIA, J. P. G.; SILVA, M. M. da. Avaliação da temperatura e velocidade do ar na secagem de goiaba. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, PB, v. 4, n.2, p.141-147, 2002.
- SANJINEZ ARGANDONA, E. J.; NISHIYAMA, C.; HUBINGER, MÍRIAM, D. Qualidade final de melão osmoticamente desidratado em soluções de sacarose com adição

de ácidos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília: EMBRAPA, v.37, n .12, p.1803-1810. 2002.

SANTOS, C. de N. P. Elaboração de um estruturado de polpa de manga (*mangifera indica* L. cv Tommy Atkins) parcialmente desidratada por osmose. Campinas, SP: UNICAMP. 75 p. 2003. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia de Alimentos.

SILVA, JOSÉ EUFLÁVIO da. Secagem de algaroba *proposis juliflora* (S. W) D.C. em laboratório e a nível de fazenda. Campina Grande: UFCG. Set. 1999. Dissertação de mestrado.

SIQUEIRA, D. L.; BOTREL, N.; CARVALHO; V. RAMOS, V. H. V.; COUTO, F. A. D. Características físicas e químicas de vinte cultivares de mangueira (*Mangifera indica* L.). Revista Brasileira de Fruticultura, Uberaba, v.10, n.2, p. 49-54, 1988.

SILVEIRA, E. T. F.; RAHMAN, M. S.; BUCKLE, K. A. Osmotic dehydration of pineapple: kinetics and product quality. Food Research International, Canadian Institute of Food Science and Technology, v.29, n.3, p. 227-233, 1996.

SUGAI, A. Y. Processamento descontínuo de purê de manga (*Mangifera indica* Linn.), variedade Haden: estudo da viabilidade do produto para pronto consumo. São Paulo: USP. 2002. Dissertação de mestrado.

SUHARDJO, Y.; SANTOSO, P. Determination of drying method and fruit maturity in preparing chips of mango cv. arumanis. ISHS Acta Horticulturae 509: VI International Symposium on Mango, Pattaya City, Thailand, p. 515 – 522, 2000.

TEDJO, W.; TAIWO, KEHINDE A.; ESHTIAGHI, MOHAMMAD N.; KNORR, DIETRICH. Comparação de métodos de pré-tratamento e cinéticas de difusão de sólidos em água em mangas desidratadas osmoticamente. Journal of Food Engineering, New York: Elsevier Applied Science, n. 53, p. 133 – 142, 2002.

- TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. Food Research International, Canadian Institute of Food Science and Technology, v. 26, p. 59 – 68, 1993.

UDDIN, M. S.; HAWLADER, M .N. A.; RAHMAN, M. S. Evaluation of drying characteristics of pineapple in the production of pineapple powder. Journal of Food Processing and Preservation, Trumbull: Food & Nutrition Press, v.14, p. 375-391, 1990.

7. ANEXOS

DADOS EXPERIMENTAIS DE SECAGEM

Tabela 1a. Valores do adimensional de umidade e tempo para secagem de manga Tommy Atkins *in natura* nas temperaturas de 30, 40 e 50°C

T=30°C		T=40°C		T=50°C	
Tempo (min)	$(X-X_e)/(X_o-X_e)$	Tempo (min)	$(X-X_e)/(X_o-X_e)$	Tempo (min)	$(X-X_e)/(X_o-X_e)$
0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000
15	0,7141	15	0,8053	15	0,7310
30	0,6890	30	0,6173	30	0,5360
45	0,5874	45	0,4966	45	0,4020
60	0,5068	60	0,3856	60	0,2995
90	0,3560	90	0,2639	90	0,1488
120	0,2670	120	0,1957	120	0,0808
150	0,1948	150	0,1276	150	0,0394
180	0,1288	180	0,0818	180	0,0217
210	0,0890	210	0,0467	210	0,0118
240	0,0597	240	0,0312	240	0,0039
270	0,0408	270	0,0185	270	0,0030
300	0,0241	300	0,0000	300	0,0000
330	0,0063	330	0,0000	330	0,0000
360	0,0000				
390	0,0000				

Tabela 2a. Valores do adimensional de umidade e tempo para secagem de manga Tommy Atkins desidratadas osmoticamente em solução de sacarose, nas temperaturas de 30, 40 e 50°C

T=30°C		T=40°C		T=50°C	
Tempo (min)	$(X-X_e)/(X_o-X_e)$	Tempo (min)	$(X-X_e)/(X_o-X_e)$	Tempo (min)	$(X-X_e)/(X_o-X_e)$
0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000
15	0,7656	15	0,7157	15	0,6989
30	0,5666	30	0,5278	30	0,5810
45	0,4435	45	0,4052	45	0,4401
60	0,3963	60	0,3072	60	0,3011
90	0,2732	90	0,1961	90	0,2342
120	0,1855	120	0,1013	120	0,1144
150	0,1079	150	0,0621	150	0,0687
180	0,0607	180	0,0294	180	0,0475
210	0,0354	210	0,0147	210	0,0282
240	0,0169	240	0,0114	240	0,0123
270	0,0017	270	0,0082	270	0,0070
300	0,0000	300	0,0000	300	0,0000
330	0,0000	330	0,0000	330	0,0000

Tabela 3a. Valores do adimensional de umidade e tempo para secagem de manga Tommy Atkins desidratadas osmoticamente em solução de xarope de milho, nas temperaturas de 30, 40 e 50°C

T=30°C		T=40°C		T=50°C	
Tempo (min)	$(X-X_e)/(X_o-X_e)$	Tempo (min)	$(X-X_e)/(X_o-X_e)$	Tempo (min)	$(X-X_e)/(X_o-X_e)$
0	1,0000	0	1,0000	0	1,0000
15	0,7718	15	0,7301	15	0,6548
30	0,6037	30	0,5981	30	0,5439
45	0,5685	45	0,5049	45	0,4519
60	0,4876	60	0,4311	60	0,3891
90	0,3734	90	0,3320	90	0,2699
120	0,2863	120	0,2447	120	0,1799
150	0,2199	150	0,1767	150	0,1318
180	0,1763	180	0,1340	180	0,1130
210	0,1432	210	0,0874	210	0,0565
240	0,0975	240	0,0544	240	0,0397
270	0,0705	270	0,0330	270	0,0105
300	0,0539	300	0,0194	300	0,0021
330	0,0311	330	0,0175	330	0,0000
360	0,0000	360	0,0078	360	0,0000
390	0,0000	390	0,0039		
420	0,0000	420	0,0000		
		450	0,0000		

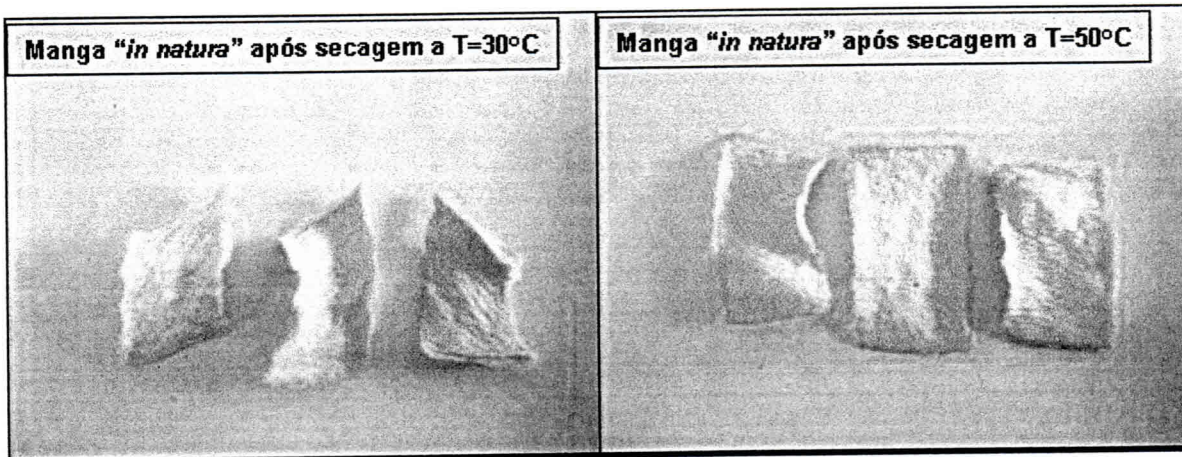


Figura 1a. Manga Tommy Atkins "in natura" após a secagem convectiva nas temperaturas de 30 e 50°C

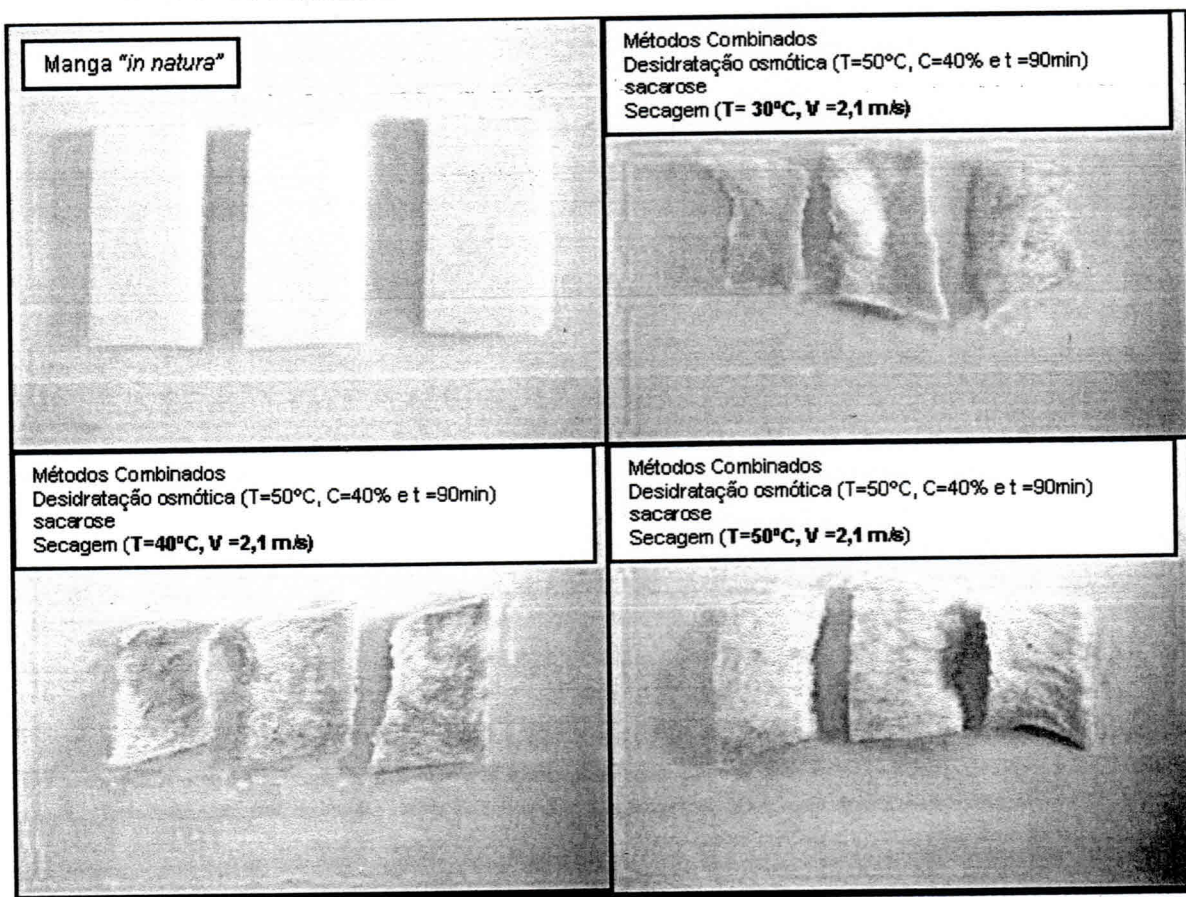


Figura 2a. Manga Tommy Atkins desidratada osmoticamente em solução de sacarose após a secagem convectiva nas temperaturas de 30, 40 e 50°C

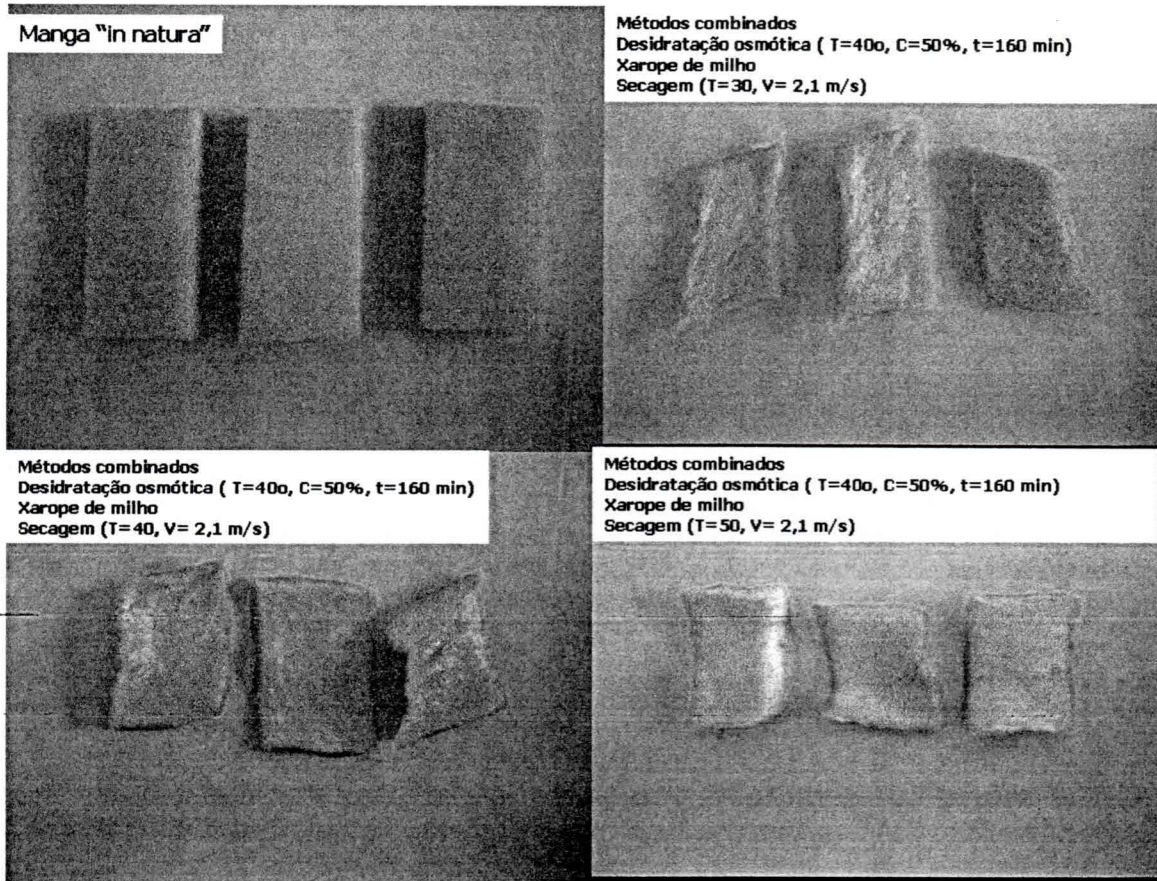


Figura 3a. Manga Tommy Atkins desidratada osmoticamente em solução de xarope de milho após a secagem convectiva nas temperaturas de 30, 40 e 50°C