

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

**ESTUDO DA CINÉTICA DE SECAGEM DE FATIAS DE
BANANA NANICA (*Musa acuminiata* var. *Cavendish*)
OSMOTICAMENTE DESIDRATADAS**

Por

EDER AUGUSTO FURTADO ARAUJO
(Engenheiro Químico)

Orientadora: Profa. Dra. FERNANDA ELIZABETH XIDIEH MURR

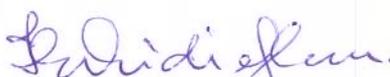
Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da
Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestre em
Engenharia de Alimentos

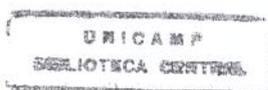
PARECER

Este exemplar corresponde à
redação final da tese defendida por
Eder Augusto Furtado Araújo,
aprovada pela Comissão Julgadora
em 06 de abril de 2000.

Campinas, 06 de abril de 2000.

Campinas, 2000


Profa. Dra. Fernanda E. X. Murr
Presidente da Banca



UNIDADE BC
N.º CHAMADA:
T/UNICAMP
Ar 15e
V. _____ Ex. _____
TOMBO BC/ 41414
PROC. 278/00
C D
PREÇO R\$ 11,00
DATA 07-07-00
N.º CPD _____

CM-00142377-9

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

Ar15e Araujo, Eder Augusto Furtado
Estudo da cinética de secagem de fatias de banana
nanica (*Musa acuminata* var. *Cavendish*)
osmoticamente desidratadas / Eder Augusto Furtado
Araujo. – Campinas, SP: [s.n.], 2000.

Orientador: Fernanda Elizabeth Xidieh Murr
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de
Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1.Banana. 2.Secagem. I.Murr, Fernanda Elizabeth
Xidieh. II.Universidade Estadual de
Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos.
III.Título.

**ESTUDO DA CINÉTICA DE SECAGEM DE FATIAS DE BANANA NANICA
(*Musa acuminiata* var. *Cavendish*) OSMOTICAMENTE DESIDRATADAS**

Por

EDER AUGUSTO FURTADO ARAUJO

Tese aprovada em _____ de _____ de 2000

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Fernanda Elizabeth Xidieh Murr
(ORIENTADORA – FEA/UNICAMP)



Prof. Dr. Kil Jin Park
(MEMBRO – FEAGRI/UNICAMP)

Prof. Dr. Theo Guenter Kieckbusch
(MEMBRO – FEQ/UNICAMP)



Prof. Dr. Carlos Alberto Gasparetto
(SUPLENTE – FEA/UNICAMP)

*Este trabalho dedico aos meus pais,
Expedito e Benedita, que sempre me
incentivaram, obrigado.*

AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Fernanda Murr pela orientação, amizade e paciência.

Aos Profs. Kil Jin Park, Theo Guenter e Carlos Alberto Gasparetto pelas sugestões apresentadas e pela ajuda prestada na etapa de discussão dos resultados.

Ao Prof. Satoshi Tobinaga pelos ensinamentos e atenção.

À Suzy pelo amor, carinho e companheirismo incondicional em todos os momentos, meu muito obrigado.

Ao Sr. Wilson Magário, Andréia e “Kibe” da empresa Comércio de Frutas Magário Ltda. pela doação das frutas utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa e pela atenção dispensada.

À Patrícia Azoubel e Ângela Grandin pela amizade e colaboração, fundamentais para o que eu pudesse chegar a este momento.

Aos amigos de curso Daniel, Daniela, Fernanda, Fernando, Guilherme, Isabel, Luciana, Luciano e Sueli que participaram das dificuldades e alegrias vividas em todas as etapas do curso.

À Cris, Dinho, e Lydi pela convivência e pelos momentos de descontração que ajudaram a superar a saudade de casa e seguir em frente.

Aos amigos do Laboratório de Medidas Físicas Anoar, Antônio, Denise e Ranieri que proporcionaram bons momentos durante nossa convivência.

À Faculdade de Engenharia de Alimentos pela oportunidade e ao Cnpq pela bolsa de estudos concedida.

A todas aquelas pessoas que contribuíram de alguma forma para que este momento pudesse ser realizado.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	01
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFIA	03
2.1	BANANA	03
2.1.1	Aspectos Comerciais	03
2.1.2	Classificação Botânica	04
2.1.3	Descrição Morfológica	05
2.1.4	Variedades	05
2.1.5	Composição e Valor Nutritivo	06
2.2	DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA	08
2.3	UMIDADE DE EQUILÍBRIO	14
2.4	SECAGEM	19
2.4.1	Período de secagem a taxa constante	21
2.4.2	Período de secagem a taxa decrescente	21
3	MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1	MATÉRIA-PRIMA	26
3.2	MÉTODOS	27
3.2.1	Análises Químicas	27
3.2.2	Inativação Enzimática	30
3.2.3	Cálculo da Espessura Cartesiana Equivalente	31
3.2.4	Desidratação Osmótica	32
3.2.5	Secagem	38
3.2.6	Ajuste dos Modelos Matemáticos	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1	DETERMINAÇÕES NA MATÉRIA-PRIMA	41
4.2	DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA	41
4.2.1	Ajuste dos Dados Experimentais da Desidratação Osmótica	48
4.3	SECAGEM	57
4.3.1	Ajuste das Curvas de Secagem	63
4.4	ANÁLISE DO PRODUTO FINAL	72

4.4.1	Avaliação Visual do Produto Final	72
4.4.2	Teor de Ácido Ascórbico	76
5	CONCLUSÕES	78
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
	ANEXOS	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Resultados análises realizadas na banana nanica “ <i>in natura</i> ”.....	41
Tabela 4.2 – Valores encontrados para a difusividade da água calculados pelo modelo de Fick.	51
Tabela 4.3 – Valores calculados de S_1 e D obtidos pelo modelo.....	56
Tabela 4.4 – Valores calculados de S_2 e D obtidos pelo modelo.....	56
Tabela 4.5 – Valores da difusividade efetiva da água para a banana “ <i>in natura</i> ”, calculada pelo modelo difusional.....	64
Tabela 4.6 – Valores da difusividade efetiva da banana desidratada osmoticamente a 25°C e 60°C seca a 40°C.....	65
Tabela 4.7 – Valores da difusividade efetiva da banana desidratada osmoticamente a 25°C e 60°C e seca a 60°C.....	67
Tabela 4.8 – Parâmetros obtidos do modelo de Page.....	68
Tabela 4.9 – Parâmetros obtidos do modelo de Page para a banana desidratada osmoticamente a 25 e 60°C e seca a 40°C.....	69
Tabela 4.10 – Parâmetros obtidos do modelo de Page para a banana desidratada osmoticamente a 25°C e seca a 60°C.....	71
Tabela 4.11 – Teor de vitamina C na amostra “ <i>in natura</i> ” e seca nas temperaturas de 40 e 60°C.....	77
Tabela 4.12 – Teor de vitamina C nas amostras desidratadas osmoticamente a 25 e 60°C e secas nas temperaturas de 40 e 60°C.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Fluxos de massa durante o processo de desidratação osmótica.	9
Figura 2.2 – Formas características de isotermas de sorção de BRUNAUER, EMMET e TELLER, (1938).....	16
Figura 2.3 – Métodos para determinação de isotermas de sorção segundo GÁL (1975).....	16
Figura 2.4 – Evolução do tempo (t), do teor de água do produto (X), de sua temperatura (T), e da velocidade de secagem (dX/dt), para um ar com propriedades constantes.	20
Figura 3.1 – Cor da casca da fruta com teor de sólidos solúveis na faixa de 9 a 10°BRIX.....	25
Figura 3.2 – Corte realizado na banana "in natura" para a realização dos experimentos de desidratação osmótica e secagem.	27
Figura 3.3 – Forma geométrica utilizada para o cálculo da espessura equivalente.....	31
Figura 3.4 – Esquema do secador utilizado para a secagem da banana.....	39
Figura 4.1 - Perda de água na banana nanica durante o processo de desidratação osmótica a 25°C, para diferentes concentrações de sacarose.....	42
Figura 4.2 - Perda de água na banana nanica durante o processo de desidratação osmótica a 60°C, para diferentes concentrações de sacarose.....	42
Figura 4.3 - Efeito da temperatura na perda de água durante a desidratação osmótica nas concentrações de (a) 35%, (b) 50% e (c) 60% de sacarose.....	44
Figura 4.4 - Ganho de sólidos durante a desidratação osmótica a 25°C para diferentes concentrações de sacarose.	45
Figura 4.5 - Ganho de sólidos durante a desidratação osmótica a 60°C para diferentes concentrações de sacarose.	45
Figura 4.6 - Efeito da temperatura no ganho de sólidos durante a desidratação osmótica nas concentrações de a) 35%, b) 50% e c) 60%.....	46

Figura 4.7 - Perda de água (WL) e ganho de sólidos (GS) para as amostras desidratadas a 25 e 60°C nas concentrações de a) 35%, b) 50% e c) 60% de sacarose.....	47
Figura 4.8 - Ajuste dos dados experimentais pelo modelo de Fick para a desidratação osmótica a 25°C com concentrações de a) 35%, b) 50% e c) 60% de sacarose.....	49
Figura 4.9 - Ajuste dos dados experimentais pelo modelo de Fick para a desidratação osmótica a 60°C com concentrações de a) 35%, b) 50% e c) 60%.....	50
Figura 4.10 - Ajustes das curvas de perda de água para as amostras desidratadas a 25°C nas diferentes concentrações de solução a) 35%, b) 50% e c) 60% de sacarose.....	52
Figura 4.11 - Ajustes das curvas de perda de água para as amostras desidratadas a 60°C nas diferentes concentrações de solução a) 35%, b) 50% e c) 60% de sacarose.....	53
Figura 4.12 - Ajustes das curvas de ganho de sólidos para as amostras desidratadas a 25°C nas concentrações de a) 35%, b) 50% e c) 60% de sacarose.....	54
Figura 4.13 - Ajustes das curvas de ganho de sólidos para as amostras desidratadas a 60°C nas concentrações de a) 35%, b) 50% e c) 60% de sacarose.....	55
Figura 4.14 - Curvas experimentais de secagem a 40°C de banana "in natura" e desidratada osmoticamente a 25°C com diferentes concentrações de sacarose..	58
Figura 4.15 - Curvas experimentais de secagem a 40°C de banana "in natura" e desidratada osmoticamente a 60°C com diferentes concentrações de sacarose..	58
Figura 4.16 - Curvas experimentais de secagem a 60°C de banana "in natura" e desidratada osmoticamente a 25°C com diferentes concentrações de sacarose..	59
Figura 4.17 - Curvas experimentais de secagem a 60°C de banana "in natura" e desidratada osmoticamente a 60°C com diferentes concentrações de sacarose..	60
Figura 4.18 - Curvas de umidade das amostras, "in natura" e pré-tratadas a 25°C e secas a 40°C.....	61
Figura 4.19 - Curvas de umidade das amostras, "in natura" e pré-tratadas a 60°C e secas a 40°C.....	61
Figura 4.20 - Curvas de umidade das amostras, "in natura" e pré-tratadas a 25°C e secas a 60°C.....	62

Figura 4.21 - Curvas de umidade das amostras, "in natura" e pré-tratadas a 60°C e secas a 60°C.	63
Figura 4.22 - Curvas de secagem da banana "in natura" ajustada pelo modelo difusional.	64
Figura 4.23 - Curvas de secagem da banana, desidratada osmoticamente a 25°C e secas a 40°C, ajustadas pelo modelo de Fick.	66
Figura 4.24 - Curvas de secagem da banana, desidratada osmoticamente a 60°C e secas a 40°C, ajustadas pelo modelo de Fick.	66
Figura 4.25 - Curva de secagem da banana, desidratada osmoticamente a 25°C e seca a 60°C, ajustada pelo modelo de Fick.	67
Figura 4.26 - Curva de secagem da banana, desidratada osmoticamente a 60°C e seca a 60°C, ajustada pelo modelo de Fick.	68
Figura 4.27 - Curva de secagem da banana "in natura" ajustada pelo modelo de Page para as temperaturas de 40 e 60°C.	69
Figura 4.28 - Curva de secagem da banana, desidratada osmoticamente a 25°C e seca a 40°C, ajustada pelo modelo de Page.	70
Figura 4.29 - Curva de secagem da banana, desidratada osmoticamente a 60°C e seca a 40°C, ajustada pelo modelo de Page.	70
Figura 4.30 - Curva de secagem da banana, desidratada osmoticamente a 25°C e seca a 60°C, ajustada pelo modelo de Page.	71
Figura 4.31 - Curva de secagem da banana, desidratada osmoticamente a 60°C e seca a 60°C, ajustada pelo modelo de Page.	72
Figura 4.32 - Fatias de banana nanica "in natura" e pré-tratadas a 60°C e secas a 40°C.	73
Figura 4.33 - Fatias de banana nanica "in natura" e pré-tratadas a 25°C e secas a 60°C.	74
Figura 4.34 - Efeito da temperatura de desidratação osmótica na coloração do produto final.	75
Figura 4.35 - Amostras desidratadas osmoticamente a 60°C com 35% de sacarose e secas na temperatura de 40 e 60°C.	76

NOMENCLATURA

X : umidade no tempo (t)

X_e : umidade de equilíbrio

X_i : umidade inicial

D_{ef} : difusividade efetiva

t : tempo

L : semi-espessura da placa

X_m : conteúdo de umidade da monocamada molecular

n : número de camadas moleculares

C_{BET} : constante de BET

C_{GAB} : constante de adsorção de GAB

K_{GAB} : constante de adsorção de GAB

X_{bs} : umidade da amostra em base seca

$m_{\text{água}}$: massa de água da amostra

m_{seca} : massa seca da amostra

$\%N$: percentagem de proteína bruta

V_{HCl} : volume de HCl gasto na titulação

N_{HCl} : normalidade da solução de HCl

m massa da amostra

V_T : volume gasto na titulação

V_i : volume titulado na padronização da solução indicadora

V : volume aferido

V_A : volume da alíquota

WL : fração de água perdida pelo alimento no tempo t

WL_{∞} : fração de água perdida pelo alimento no equilíbrio

WS : fração de água que pode difundir para fora do alimento, mas que permanece dentro do mesmo no tempo t

WW_0 : conteúdo inicial de água

tw : peso da amostra no tempo t

ws : peso de sólidos no tempo t

w_s : peso de sólidos no tempo t

w_{s0} : conteúdo inicial de sólidos

S_1 : parâmetro do modelo de AZUARA relacionado com a perda de água

S_2 : parâmetro do modelo de AZUARA relacionado com o ganho de sólidos

D : difusividade aparente

WL_{∞}^{mod} : valor no equilíbrio obtido a partir da Equação (3.12);

WL_{∞}^{exp} : valor no equilíbrio obtido experimentalmente;

D_t - difusividade aparente no tempo t .

D_m : difusividade aparente média

GS : ganho de sólidos

GS_{∞} : quantidade de sólidos que entra na amostra após um tempo infinito

GS_{∞}^{mod} : valor no equilíbrio obtido a partir da Equação (3.17);

GS_{∞}^{exp} : valor no equilíbrio obtido experimentalmente;

V_{amostra} : volume o sólido

V_{placa} : volume da placa plana

A_{placa} : área da placa plana

L_j : espessura da placa plana

P : módulo do desvio relativo médio

M_j : valores preditos pelo modelo

M_{Pj} : valores obtidos experimentalmente

ms : massa seca

R^2 : coeficiente de determinação

K : constante de secagem

b : parâmetro da equação de Page

RESUMO

Neste trabalho estudou-se a influência da desidratação osmótica, como pré-tratamento, para a secagem de fatias de banana nanica (*Musa cavendishi*).

O pré-tratamento osmótico foi realizado utilizando-se soluções de sacarose nas concentrações de 35, 50 e 60%. Utilizou-se também como variável do processo a temperatura de desidratação, 25 e 60°C, com agitação constante de 80rpm.

No estudo da cinética da desidratação osmótica verificou-se que a temperatura do processo assim como a concentração da solução osmótica tiveram influência significativa nos valores de perda de água e ganho de sólidos das amostras.

A etapa de secagem foi realizada utilizando-se duas temperaturas, 40 e 60°C, com velocidade do ar constante de 2,75m/s. Os experimentos foram realizados em secador de leito fixo. O ajuste dos dados experimentais foi realizado utilizando-se a equação de Fick para placa plana sem considerar o encolhimento e também pelo modelo de Page.

Palavras-chaves: Banana, Secagem

SUMMARY

The effect of osmotic dehydration as a pre-treatment to air drying of banana (*Musa cavendishi*) slices was studied.

The osmotic dehydration factors involved in the experiments were sucrose syrup concentration (30, 50 and 60% w/w) and temperature (25 and 60°C). Experiments were conducted under constant agitation of 80 rpm.

The drying kinetics was obtained at 40 and 60°C, and at constant air velocity of 2,75 m/s in a fixed bed dryer. The drying curves were fitted using Fick's second law for flat plate without considering shrinkage and with the use Page's equation.

Key Words: Banana, Drying

1 INTRODUÇÃO

A banana é um alimento facilmente digerível e fornece aproximadamente 100 calorias por 100 gramas de polpa da fruta. Além do consumo *in natura* vários produtos podem ser obtidos a partir da banana como purês, sucos, néctares, compotas, doces diversos e produtos desidratados.

Sendo o Brasil o segundo maior produtor de banana do mundo e com uma elevada percentagem de perdas, se faz necessário a busca de alternativas econômicas, para tentar diminuir ao máximo essas perdas e a secagem apresenta-se como uma solução bastante eficaz para esse problema.

A secagem é um dos processos de conservação mais antigos utilizados pelo homem que confere ao produto um maior tempo de vida útil, além de facilitar os trabalhos de armazenamento, transporte e manuseio, sendo que a secagem de frutas tem tido um destaque especial nos últimos anos.

Além da secagem, outras técnicas tem sido aplicadas na conservação de frutas e alimentos em geral; a desidratação osmótica é uma delas, sendo que seu objetivo é a obtenção de produtos com poucas alterações em suas características sensoriais e nutritivas, quando comparados a produtos obtidos por processos convencionais de secagem.

Entretanto, as umidades dos alimentos obtidos por processos de desidratação osmótica são relativamente elevadas, originando produtos com uma estabilidade um tanto quanto frágil. Sendo assim, uma boa alternativa é a combinação dos dois processos, secagem e desidratação osmótica, o que permite a obtenção de um produto seco com características finais melhores em relação a cor, sabor, textura além de uma redução no tempo de secagem, vantagens essas que segundo a literatura são conferidas a desidratação osmótica.

Tendo em vista o exposto acima, o objetivo deste trabalho foi estudar a cinética de secagem de fatias de banana nanica desidratadas osmoticamente, para obtenção de um produto com baixa umidade, o que propiciará um tempo maior de armazenagem sem que o mesmo venha sofrer deterioração de natureza microbiológica, e que conserve as principais características sensoriais e nutricionais da fruta *in natura*.

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Estudar a cinética da desidratação osmótica de fatias de banana nanica;
- Avaliar a influência da concentração das soluções osmóticas, nas temperaturas de 25 e 60°C e concentrações de 35, 50 e 60%, nos valores de perda de água e ganho de sólidos, e aspecto final do produto através de observação visual;
- Avaliar a influência do pré-tratamento osmótico na etapa de secagem verificando o tempo final de processo.
- Avaliar o produto final visualmente e através do seu teor de ácido ascórbico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BANANA

2.1.1 Aspectos Comerciais

O comércio internacional de frutas frescas movimenta, anualmente, 40 milhões de toneladas. É um volume bastante considerável, visto ser maior que toda a produção brasileira de frutas. Deste mercado, quase metade é comercializada com banana e cítricos, sendo a primeira considerada como a fruta que detém o maior mercado de frutas frescas do mundo (ALVEZ, 1997).

Quando se considera o valor comercial, os cítricos possuem o maior dentre todos os tipos de frutas (3,5 bilhões de dólares), seguidos da banana (3,0 bilhões de dólares), maçã (2 bilhões de dólares), e uva (1,5 bilhão de dólares).

A importância do mercado internacional de banana descrita acima é muito pequena, quando se leva em conta a expressividade do mercado interno nos países produtores, pois do total produzido de banana no mundo apenas 13% são destinados ao mercado externo, enquanto o maior percentual é comercializado internamente nos locais de produção. Assim, além da importância social que estas culturas representam no mundo, a relevância do mercado (interno e externo) é expressiva, pois movimenta uma soma considerável de moeda, gerando emprego, trabalho e desenvolvimento nos países produtores (ALVEZ, 1997).

A banana (*Musa ssp*), uma das frutas mais consumidas no mundo, é explorada na maioria dos países tropicais. Sua produção elevou-se a 45 milhões de toneladas em 1990, segundo dados da FAO (1995); neste cenário o Brasil se destaca como o segundo país produtor de bananas, com 12,1% do total mundial. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1999) a produção brasileira no ano de 1999 foi de 243 milhões de cachos.

De acordo com MEDINA (1985), a banana constitui a principal fonte de divisas para vários países, sobressaindo-se, entre eles Equador, Costa Rica, Filipinas e Honduras. No Equador essa fruta contribui com 60% das entradas de divisas do país. Dos 75 milhões de cachos produzidos, 62% destinam-se à exportação, em contraste com o Brasil que exporta apenas 3%, principalmente para a Argentina. Em consequência, existe uma grande disponibilidade de matéria-prima no Brasil, e a falta de um mercado garantido tende a acarretar grandes perdas.

Dentre as produções frutíferas brasileiras, a banana é a que mais se destaca quanto à sua importância econômica, sendo seguida pela citricultura. É uma fruta de consumo universal, apreciada por pessoas de todas as classes e de todas as idades.

2.1.2 Classificação Botânica

As bananeiras produtoras de frutas comestíveis são plantas monotiledôneas pertencentes a ordem Scitaminea, onde se incluem as subfamílias Heliconioideae, Strelitzoideae e Musoideae. Nesta última inclui-se o gênero **Musa** que contém os subgêneros **Rhodochlamys**, **Calimusa**, **Australimusa**, **Physocaulis** e **Eumusa**. Constituem o gênero **Eumusa** as quatro espécies seguintes: *Cavendishi*, *Sapientum*, *Paradisíaca* e *Corriculata*, todas de frutos comestíveis (MOREIRA, 1987).

O sistema de classificação atualmente adotado para as bananeiras de frutos comestíveis ou partenocápios (cultivares de **Musa**) baseia-se no trabalho de SIMMONDS E SHEPHERD apud FUJIAMA (1997), que utilizaram um método de notas para indicar as contribuições relativas das duas espécies selvagens (*Musa acuminata* e *Musa balbissiana*) na constituição genética de um determinado cultivar, ou seja, baseada no número de cromossomos.

2.1.3 Descrição Morfológica

A bananeira é planta tipicamente tropical (BORGES et al., 1994), e é um vegetal herbáceo de porte gigantesco, tendo largas folhas lanceoladas, suportadas por fortes pecíolos cavados na parte superior e que se alargam para baixo, formando grandes estojos encaixados uns nos outros para constituir o tronco (CASTRO, 1923). As raízes são carnosas, compridas, fusiformes e nascem no rizoma.

Segundo DECKER (s. d.) as flores formam uma espiga terminal, cujo eixo nasce diretamente no cone vegetativo do rizoma e abre para si um caminho no meio das bainhas do pseudo-tronco. As flores inferiores da inflorescência são todas femininas, enquanto que as de cima são somente masculinas, ficando estas em geral escondidas entre brácteas maiores que formam um gigantesco botão terminal ovóide e púrpuro.

Os frutos são originados de vasta inflorescência que nasce do eixo da planta, rodeada primeiramente de um envólucro esverdeado, depois por brácteas ordinariamente de um vermelho-violáceo carregado, que expões, à medida que se desprendem, um grupo de flores dispostas em duas ordens, e em número raras vezes superior a vinte. Só as ordens colocadas na base da inflorescência, e abrigadas pelas primeiras brácteas são férteis, sendo as outras estéreis e caducas (CASTRO, 1923).

2.1.4 Variedades

Embora exista um número expressivo de variedades de banana no Brasil, quando se consideram aspectos como preferência dos consumidores, produtividade, tolerância a pragas e doenças, resistência à seca, porte e resistência ao frio, restam poucos cultivares com potencial agrônômico para serem usados comercialmente (ALVES, 1997). Segundo FILGUEIRAS (1990), as

variedades prata, pacovã (uma mutação mais resistente da prata), maçã, nanica e banana da terra dominam o mercado interno, e seu cultivar está relacionado com a preferência do consumidor em cada região, a resistência às doenças e ao clima.

Nas regiões norte e nordeste, 70% da produção são do cultivar prata, 20% são do cultivar maçã e 10% do cultivar terra. Nos estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro a produção do cultivar prata também é dominante, enquanto que São Paulo e Santa Catarina possuem grandes pólos de produção de nanica e nanicão (LUCCAS, 1996).

2.1.5 Composição e Valor Nutritivo

As células da polpa da banana verde possuem uma rígida membrana, composta principalmente de substâncias insolúveis, conhecidas como protopectina. Internamente encontram-se numerosos grãos sólidos de amido. Na maturação a protopectina é parcialmente transformada pela ação de enzimas, formando pectina solúvel, o que causa o amolecimento das células da membrana.

Consumida em quase sua totalidade na forma *in natura*, a banana é parte integrante da alimentação das populações de baixa renda, não só por seu alto valor nutritivo como por seu custo relativamente baixo.

Segundo BLEINROTH (1985), a banana constitui-se num alimento de alto valor energético, além de possuir vitaminas e sais minerais em quantidades apreciáveis. Segundo o autor, as vitaminas presentes na banana são: A, C e algumas do complexo B como a tiamina ou vitamina B1, na proporção de 0,40-0,60 mg por 100 g de matéria seca, e a riboflavina ou B2, no teor de 0,80-0,90 mg, além de outras vitaminas que estão presentes em menores quantidades como a niacina. O teor de ácido ascórbico (vitamina C) decresce com a maturação de 0,15-0,20 mg por 100 g de matéria seca, quando a casca apresenta coloração amarelo-verde, para 0,10-0,11 mg à medida que vai amadurecendo e

apresentando a coloração amarela, atingindo a proporção mais baixa quando a fruta apresenta manchas marrons na casca enquanto que, a vitamina A aumenta de 160-20 UI para 450-500 UI em 100 g de matéria seca.

As proteínas estão presentes em baixa percentagem, sendo representadas pela albumina e globulina.

Entre os minerais presentes na banana, salientam-se: potássio (350-400 mg por 100 g de matéria seca); fósforo (25-35 mg); cálcio (8-10 mg); sódio (40-50 mg); magnésio (25-35 mg) e outros em quantidades menores como ferro, manganês, iodo, cobre, alumínio e zinco.

O conteúdo de umidade da polpa de banana verde está, em média, por volta de 70%, se elevando para 75% quando completamente madura. Durante a maturação, essa variação de umidade se dá devido a transferência de água da casca para a polpa, e provavelmente também para o engaço (MEDINA, 1978).

Devido ao seu alto teor de umidade, a banana sofre diversas alterações em sua estrutura e composição química durante a maturação, e o conhecimento dessas alterações é de fundamental importância para o seu processamento e conservação. Estas mudanças estão relacionadas à presença de uma grande variedade de enzimas na fruta (SGARBIERI, 1965/66). Segundo BLEINROTH (1985) estão presentes na banana as seguintes enzimas: peroxidase, fenolase, catalase, amilase, invertase oxidase do ácido ascórbico, polifenoloxidase entre outras.

Uma enzima oxidativa muito importante é a polifenoloxidase, responsável pelo escurecimento do fruto. Essa enzima causa reações com compostos fenólicos naturais da fruta, quando a estrutura celular é rompida por uma ação física, e ela é liberada. Ela oxida os compostos fenólicos, formando ortoquinonas, que são compostos que se polimerizam facilmente, formando as melaninas, de

coloração escura (MAURO, 1992).

2.2 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

O processo de desidratação osmótica, também conhecido como desidratação-impregnação por imersão (DII), é um método no qual, o alimento inteiro ou fatiado é imerso em uma solução hipertônica (açúcar, sal, sorbitol, glicerol), ocorrendo uma transferência simultânea de soluto e água através das membranas das células, provocada pela alta pressão osmótica da solução (RAOULT-WACK *et al.*, 1994; LENART, 1996).

Em consequência dos gradientes de concentração da água e do soluto, ocorrem dois principais fluxos em contra-corrente através das paredes celulares, como mostra a Figura 5. Um fluxo de água difundindo-se desde o interior do produto até a solução – sendo este o fluxo responsável pelo aspecto da desidratação – e um fluxo em direção oposta, de substância desidratante difundindo-se desde a solução até o produto (RAOULT-WACK *et al.*, 1992). Em uma situação ideal, a membrana seria permeada apenas pelas moléculas do solvente e não pelas moléculas do soluto, entretanto na realidade, é observado que estas membranas celulares, constituídas principalmente por compostos lipoproteicos, permitem um movimento livre de moléculas de solvente e também admitem em menor quantidade, a passagem de moléculas de soluto. Por este motivo a membrana é classificada como semi-permeável (TORREGGIANI, 1993).

O interesse no pré-tratamento utilizando desidratação osmótica em relação aos processos convencionais de desidratação, se justifica pelas vantagens que são apresentadas pelos produtos finais, devido às condições amenas de operação, que, de uma maneira geral, provocam menores alterações na matéria-prima, segundo PONTING *et al.*, (1966).

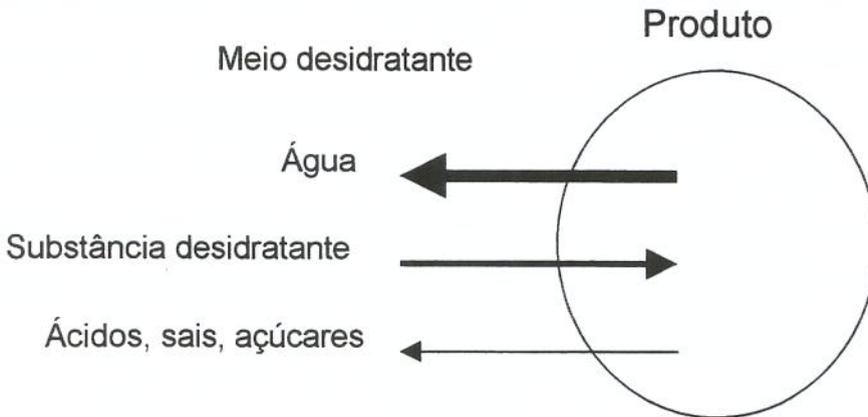


Figura 2.1 – Fluxos de massa durante o processo de desidratação osmótica.

De acordo com RAOULT-WACK *et al.* (1994), a transferência de massa ocorre principalmente nas duas primeiras horas, chegando então ao equilíbrio.

LENART e LEWICKI (1990) objetivando a produção de maçãs desidratadas osmoticamente com atividade de água de 0,95, para várias temperaturas, verificaram que a 25°C durante 90 minutos e a 85°C durante 3 minutos foi alcançada essa atividade, sendo que para alta temperatura e curto tempo de processamento, além da desidratação osmótica, houve um efeito de inativação enzimática.

Com o intuito de avaliar a conveniência da etapa de pré-tratamento na preparação de passas, RIVA e MASI (1990) estudaram o processo de desidratação osmótica em uvas brancas com posterior secagem a ar quente (60°C e 12% de umidade relativa). Analisaram os fatores que influenciam no processo osmótico, com base na cinética de remoção da água, tais como: concentração osmótica, temperatura e natureza do meio. Verificaram que, de forma geral, essa técnica contribui para aumentar a velocidade de secagem das uvas e reduzir a necessidade energética do processo global.

SHI *et al.* (1995) pesquisaram a influência da pressão na taxa de transferência de massa, durante a desidratação osmótica, em damasco, morango

e abacaxi. As condições experimentais utilizadas foram: solução de sacarose a 65°Brix, temperatura variando na faixa de 30-50°C e tempo de 15-240 minutos sobre pressão normal e vácuo. Os resultados experimentais revelaram que os tratamentos a vácuo aumentaram a taxa de transferência de água, mas não tiveram efeito no aumento da concentração de açúcar em relação ao tratamento a pressão ambiente, sendo que a influência do vácuo na perda de água para o abacaxi foi muito significativa.

Um estudo sobre os efeitos da temperatura (50, 60 e 70°C), concentração de sacarose (50, 60 e 70°Brix) e pH (6,7 e 8) durante a desidratação osmótica de banana "chips" foi desenvolvido por WALISZEWSKI *et al.* (1997). Os autores concluíram que os valores encontrados para a difusividade aparente dependeram da temperatura e concentração de sacarose e não dependeram das mudanças no pH.

A desidratação osmótica é um processo que tem sido proposto para produção de alimentos com umidade intermediária ou como um estágio preliminar para a secagem a ar, pasteurização ou congelamento. A taxa de perda de água durante a desidratação osmótica é aumentada pelos seguintes fatores:

- Propriedades do tecido vegetal

A perda de água e o ganho de soluto pelo produto dependem primeiramente das propriedades do tecido vegetal. O branqueamento químico ou por calor, o congelamento, amadurecimento ou ação enzimática são fatores que afetam diretamente as características do tecido vegetal. Diferenças nas características do tecido vegetal como compactação, massa inicial de substâncias não solúveis, enzimas presentes no produto, tamanho dos espaços intercelulares, presença de gás retido nos capilares e complexos de pectina e celulose e grau de gelificação, determinam a cinética do processo (TORREGIANNI, 1993).

Segundo PONTING (1993), a membrana plasmática é quem controla o processo de desidratação osmótica, permitindo a passagem das moléculas de água e em menor grau a passagem das moléculas do soluto. Entretanto, RAUOLT-WACK (1994) afirma que, a presença de uma membrana celular não é condição necessária para que seja atingida uma alta perda de água e, baixo ganho de soluto. Isso foi comprovado em estudos realizados utilizando um modelo de alimento gel.

- Tipo e concentração da solução osmótica:

A solução osmótica deve ter uma baixa atividade de água, e, além disso, o soluto deve apresentar um sabor agradável e não ser tóxico. Segundo LENART (1966), os açúcares são um grupo que se enquadram nesses requisitos e dentre eles a melhor substância é a sacarose, principalmente se após a osmose o produto for seco convencionalmente. ISLAM e FLINK (1982) citam o sal e o glicerol como boas substâncias para serem empregadas como agentes desidratantes.

O tipo de açúcar utilizado como substância osmótica afeta fortemente a cinética de transferência de massa. O aumento do peso molecular do soluto provoca uma diminuição de sólidos ganhos e um aumento na perda de água, favorecendo com isso a perda de peso. Sacarídeos de baixo peso molecular como a glicose e a frutose, favorecem o ganho de sólidos devido a alta velocidade de penetração das moléculas (TORREGGIANI, 1993).

- Tempo de imersão:

Antes de atingir o equilíbrio, quanto maior o tempo de contato maior é a saída de água do produto.

- Temperatura:

Segundo PONTING (1966), a taxa de transferência de massa aumenta consideravelmente com o aumento da temperatura, porém o escurecimento não enzimático, o amolecimento da parede vegetal e a deterioração de sabor que se iniciam a partir de 50°C limitam o processo; sendo a temperatura máxima de processo uma particularidade de cada produto.

- Agitação:

A agitação de acordo com muitos pesquisadores tem um papel bastante importante no processo osmótico. Segundo HAWKES e FLINK (1978) a agitação tem o papel de diminuir a resistência a transferência de massa, causada pela viscosidade da solução desidratante.

- Vantagens do processo:

As principais vantagens desse processo segundo POKHARKAR *et al.* (1997) são:

- Retenção da cor natural sem adição de sulfitos;
- Alta retenção de componentes voláteis durante a etapa de secagem;
- Redução do consumo de energia na etapa de secagem convencional;
- Minimiza o encolhimento.

- Modelos de ajuste:

A teoria difusional baseia-se na equação da difusão líquida (lei de difusão de Fick), a qual postula que o fluxo de massa é proporcional ao gradiente de concentração dentro do sólido.

De acordo com CRANK (1975) a solução analítica para a lei de Fick considerando-se distribuição de umidade inicial uniforme e ausência de qualquer resistência térmica para uma placa plana infinita é dada por:

$$\frac{X - X_e}{X_i - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp\left[-(2i+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2}\right] \quad (2.1)$$

onde:

X : umidade média no tempo (t);

X_e : umidade de equilíbrio;

X_i : umidade inicial;

D_{ef} : difusividade efetiva;

t : tempo;

L : meia espessura da placa

Baseados na segunda lei de Fick, RASTOGI *et al.* (1997) estudaram a transferência de massa durante a desidratação osmótica de banana para uma configuração cilíndrica, e verificaram um alto grau de correlação entre os valores experimentais e teóricos quando utilizaram uma faixa de temperatura de 25-35°C e concentração de 40-70°Brix.

Outros autores também utilizaram o modelo difusional para ajustar os dados experimentais da cinética de desidratação como BARONI (1997) trabalhando com cebola; SANJINEZ (1998) trabalhando com goiaba.

Uma equação de dois parâmetros foi desenvolvida por AZUARA *et al.* (1992), a partir de considerações no balanço de massa, para prever a cinética de desidratação osmótica, sem entretanto, necessitar dos valores experimentais do ponto de equilíbrio e o ponto de equilíbrio. A equação descreveu bem os dados experimentais de dez diferentes trabalhos encontrados na literatura.

HOUGHT et al (1993) desidrataram fatias de maçã utilizando xarope de glicose 55% a 45°C e elaboraram um modelo para desidratação osmótica da fruta considerando a perda de água, entrada de soluto e o encolhimento da matriz durante o processo. Segundo os autores o modelo ajustou de forma satisfatória os dados experimentais obtidos.

2.3 UMIDADE DE EQUILÍBRIO

LEWIS (1921) introduziu o conceito de umidade de equilíbrio na secagem, relacionando a taxa de secagem com a umidade livre, ou seja, o conteúdo total de umidade menos a umidade de equilíbrio.

Segundo TREYBAL (1968), a umidade de equilíbrio pode ser interpretada como sendo o conteúdo de umidade que este apresenta quando a pressão de vapor de água em sua superfície se iguala à pressão de vapor de água no ar que o envolve.

O conteúdo de umidade de equilíbrio é particularmente importante na secagem porque ele representa o valor limite para uma dada condição de umidade relativa e temperatura. Se o alimento for seco até um conteúdo de umidade menor que normalmente possui quando em equilíbrio com o ambiente, ele retornará ao seu equilíbrio na estocagem ou manipulação, se precauções não forem tomadas (CHEN 1971).

LABUZA et al (1972) relata que uma característica fundamental de materiais biológicos, que influencia todo aspecto de manuseio, estocagem, processamento e consumo de produtos alimentares é sua higroscopicidade, que segundo o pesquisador, é a relação existente entre a água e outros compostos de um produto.

Sendo assim, a maior ou menor intensidade com que a água se liga ao alimento pode ser expressa pela chamada atividade de água (a_w), que pode ser definida como a relação entre a pressão do vapor de água no ar e a pressão de saturação de vapor de água no ar, medidas a mesma temperatura. Reações químicas e atividade microbiológica são diretamente controladas pela atividade de água, deste modo é necessário o conhecimento de isotermas de sorção que descrevam satisfatoriamente esse comportamento (LABUZA et al, 1985).

Uma isoterma de sorção de um material pode ser descrita graficando o conteúdo de umidade de equilíbrio em função da umidade relativa ou atividade de água a uma dada temperatura. Esta curva pode ser obtida em duas direções, LABUZA (1968):

- Isoterma de adsorção: é obtida quando um material completamente seco é colocado em várias atmosferas com incremento de umidade relativa onde são medidos os ganhos de peso devido à água;
- Isoterma de dessorção: é obtida quando o material inicialmente úmido é colocado em um ambiente com umidade relativa menor que a sua, sendo medidas as perdas de peso, pela saída de água.

Uma classificação para as isotermas foi feita por BRUNAUER et al (1938) e esta divide as isotermas em cinco tipos como mostra a Figura 2.2 . O Tipo I é a isoterma de Langmuir e a do Tipo II é chamada de sigmoidal. Para os outros três tipos não se deu uma denominação especial. A grande maioria das isotermas de alimentos são não-lineares, geralmente apresentam comportamento sigmoidal como o apresentado pelo Tipo V.

Uma isoterma de sorção pode ser dividida em três regiões, dependendo do estado de água presente. A primeira região cobre a faixa de atividade de água entre 0 e 0,35 e representa a adsorção monomolecular de um filme de água. A segunda região cobre a faixa de 0,35 a 0,60 de atividade de água, e representa a adsorção das camadas adicionais de água acima da monocamada. Finalmente a

terceira região, acima de 0,60 representa a água condensada nos poros do material seguida pela dissolução de materiais solúveis presentes, LABUZA et al (1968, 1985).

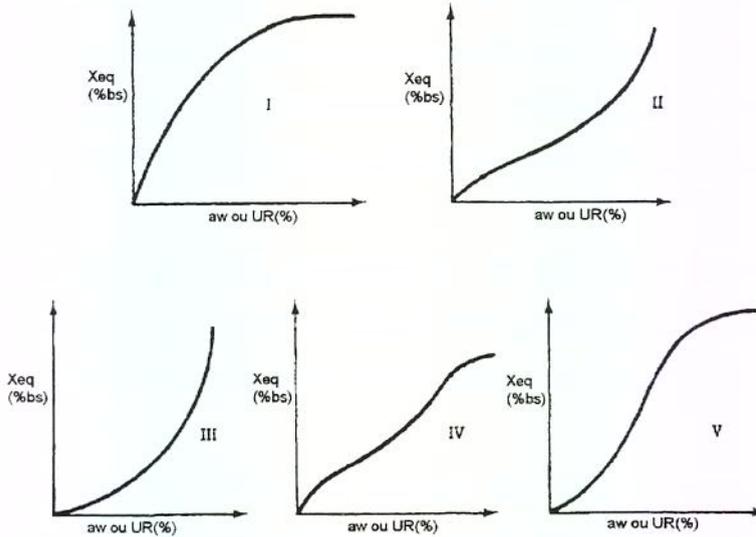


Figura 2.2 – Formas características de isotermas de sorção de BRUNAUER, EMMET e TELLER, (1938).

GÁL (1975) classificou os métodos para determinar isotermas de sorção (Figura 2.3) para materiais sólidos da seguinte maneira:



Figura 2.3 – Métodos para determinação de isotermas de sorção segundo GÁL (1975)

Na literatura existem diversos modelos para ajustar isotermas de sorção dentre eles destaca-se o modelo de BET (BRUNAUER, EMMET e TELLER, 1938) e o de GAB (GUGGENHEIM, (1966), ANDERSON, (1946) de BOER, (1953)).

O modelo de BET descreve a adsorção em multi-camadas moleculares e representa a relação entre a atividade de água e a umidade de equilíbrio pela seguinte expressão:

$$\frac{X}{X_m} = \frac{C_{BET} a_w [1 - (n+1)(a_w)^n + (a_w)^{n+1}]}{1 - a_w [1 - (1 - C_{BET}) a_w - C_{BET} (a_w)^{n+1}]} \quad (2.2)$$

Onde:

C_{BET} : Constante de BET

X_m : Conteúdo de umidade da monocamada molecular

n : número de camadas moleculares

O modelo de GAB é uma extensão do modelo de BET linear e a expressão que relaciona a atividade de água com a umidade de equilíbrio é dada por:

$$\frac{X}{X_m} = \frac{C_{GAB} K_{GAB} a_w}{(1 - K_{GAB} a_w)(1 - K_{GAB} a_w + C_{GAB} K_{GAB} a_w)} \quad (2.3)$$

Onde C_{GAB} e K_{GAB} são as constantes de adsorção relacionadas com as interações energéticas entre as moléculas da monocamada e as subsequentes em um dado sítio de sorção. Quando K_{GAB} for igual a unidade a equação de GAB se reduz a equação de BET linear.

LUCCAS (1996) trabalhando com banana prata determinou a isoterma de sorção da banana pré-tratada com amido de mandioca gelatinizado. Os dados experimentais foram obtidos para a temperatura de 25°C e ajustados pelos modelos de BET, GAB, Halsey, Oswin e Iglesias e Chirife. O melhor ajuste

conseguido foi o que utilizou a equação de GAB onde foi conseguido um valor de 0,0406 (g água/g massa seca) de umidade na monocamada.

Em outro trabalho, FUJIAMA (1996) construiu a isoterma de adsorção para farinha de banana (*Musa sp*) verde. A autora utilizou as temperaturas de 25 e 35°C. A metodologia utilizada foi uma modificação do método estático dos dessecadores com soluções que geraram um ambiente com umidades relativas de 7 a 87%. Foram utilizados cinco modelos bi e tri-paramétricos para o ajuste dos dados experimentais sendo os que melhor representaram os dados obtidos foram os de GAB e Anderson e Hall.

As isotermas de dessorção de tomate cereja, “in natura” e desidratado osmoticamente com solução de cloreto de sódio 10%, foram levantadas por AZOUBEL E MURR (1999) para diferentes temperaturas. As autoras verificaram que os dados experimentais não apresentaram uma dependência com a temperatura e que os melhores ajustes foram obtidos com os modelos de GAB para a amostra “in natura” e o de Halsey para o produto desidratado osmoticamente.

Um modelo matemático considerando a dependência da temperatura foi desenvolvido por GOUVEIA E MURR (1998) para a isoterma de dessorção de gengibre. O experimento foi realizado para cinco diferentes temperaturas, 29, 35, 50, 65 e 71°C usando o método gravimétrico estático. Três equações de dois parâmetros foram utilizadas no ajuste dos dados experimentais; Halsey, Oswin e Smith. As autoras verificaram que, para as menores temperaturas os valores dos erros encontrados foram bem pequenos enquanto que os maiores erros foram apresentados para as temperaturas mais elevadas, e concluíram que as equações de Oswin e Smith podem ser usadas para predizer a dessorção de gengibre em toda a faixa de temperatura utilizada.

2.4 SECAGEM

A desidratação convencional envolve a aplicação artificial de calor para remover a água de materiais sólidos, por evaporação. A corrente de ar é o meio mais comum de transferir calor ao material, servindo também como veículo no transporte do vapor úmido; e a convecção é o principal mecanismo envolvido. Segundo TRAVAGLINI *et al.* (1993), além do baixo custo de instalação e facilidade de operação do secador, o ar quente mostra-se, até o presente momento, o mais adequado agente de secagem para frutas.

Durante a desidratação convencional ocorrem dois processos que podem ocorrer simultaneamente: transferência de calor para evaporar o líquido e transferência de massa, na forma de líquido ou vapor no interior do material, e na forma de vapor na superfície. Os fatores que governam a velocidade desses fenômenos de transferência determinam a taxa de secagem, tais como, pressão de vapor d'água no material e no ar de secagem, temperatura e velocidade do ar, velocidade de difusão da água no material, espessura e superfície exposta para secagem (VAN ARSDEL, 1973).

Do ponto de vista de cinética de secagem, de um modo geral, os materiais apresentam duas ou mais fases distintas de secagem, uma que ocorre a taxa de evaporação constante, e nas demais a taxa de evaporação é decrescente, apresentando ainda uma fase anterior a estas que é chamada de período de indução (KEEY, 1972).

Quando um material úmido entra em contato com uma corrente de ar aquecida com velocidade, temperatura e umidades constantes, o comportamento da secagem pode ser representado pela Figura 2.4.

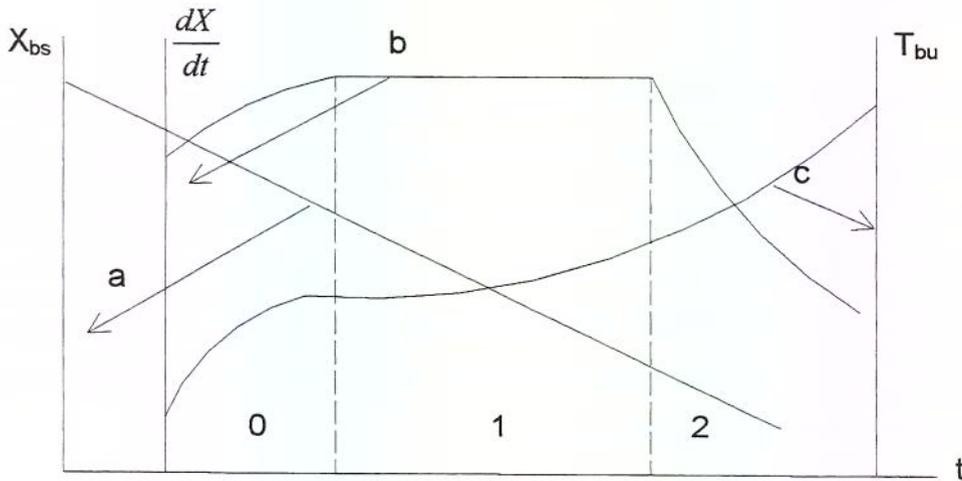


Figura 2.4 – Evolução do tempo (t), do teor de água do produto (X), de sua temperatura (T), e da velocidade de secagem (dX/dt), para um ar com propriedades constantes.

A curva b mostra que no início da secagem o produto estando geralmente a uma temperatura mais baixa que o ar de secagem, ocorre um período de indução, representado pela região 0. À medida que a temperatura do sólido se eleva, esta imprime uma elevação na taxa de secagem, que continua até que a transferência de calor seja igual a energia necessária para evaporar a água (transferência de massa). Passando para o período 1, período de taxa constante de secagem, tem-se que a quantidade de água livre no produto é bem grande, sendo a pressão de vapor de água na superfície do produto constante, e sua temperatura igual a temperatura de bulbo úmido. Este período permanece enquanto a migração de água do interior do produto seja suficiente para compensar a perda por evaporação na superfície. Quando a quantidade de água na superfície diminui e conseqüentemente ocasiona um decréscimo na taxa de secagem, tem-se início do período 2 que descreve o período de taxa decrescente de secagem. Na transição entre o período 1 e o período 2 tem-se o valor do conteúdo de umidade do produto, denominado de umidade crítica (X_c). Como a transferência de calor não é mais compensada pela transferência de massa, ocorre uma elevação da temperatura do produto (curva c), e esta tende assintoticamente para a

temperatura do ar. Neste período o fator limitante é a migração interna de água. A redução da taxa de secagem é mais frequentemente interpretada pela diminuição da pressão parcial de vapor de água na superfície.

2.4.1 Período de Secagem a Taxa Constante

Neste período os fatores que governam a secagem são as transferências de calor e massa na interface ar-produto, que são interpretadas por um fenômeno de camada limite. Esta camada pode ser definida como uma fina camada de ar em escoamento laminar ao redor da partícula.

Este período é raramente observado na secagem de materiais biológicos, e pode ser detectado apenas sob condições especiais de processo (NOGUEIRA, 1991).

2.4.2 Período de Secagem a Taxa Decrescente

Este período é quase sempre o único observado para secagem de produtos agrícolas e alimentícios, sendo que a migração interna de água é quem determina a taxa de secagem. Esta transferência interna de massa é influenciada pela migração de solutos e por sua deformação. No período de taxa decrescente a migração de água por difusão é baseada na segunda lei de Fick.

Segundo CHIRIFE (1981), os principais mecanismos de transporte durante o período de taxa decrescente são:

- Difusão líquida;
- Escoamento capilar;
- Difusão de vapor.

Uma análise global dos trabalhos publicados, referentes à modelagem do processo de secagem permite a distinção de duas formas de abordagem do tema: uma que se baseia principalmente nas condições externas, como temperatura,

umidade e velocidade do ar, correlacionando-as com a velocidade de secagem do sólido, e outra que considera não apenas as condições externas, mas também os mecanismos de migração interna da umidade e suas possíveis consequências sobre alterações físicas, químicas e biológicas do produto. Neste último caso, a modelagem deve ainda estabelecer, entre os diferentes mecanismos de movimento de umidade no interior do produto, aquele que será considerado como determinante.

O modelo de difusão líquida, segundo a lei de Fick (Equação 2.1), tem apresentado bons resultados em aplicações de secagem de grãos, frutas e cereais, provavelmente, devido ao fato destes produtos não apresentarem um período de taxa constante nas curvas características de secagem, o que permite concluir que o processo é totalmente governado pelas condições internas do material.

CRANK (1975) apresentou diversas soluções analíticas para a equação da difusão, considerando diferentes condições iniciais e de contorno. Tratou também de casos onde a difusividade varia linearmente com a concentração de água. No entanto, esta solução somente se aplica a sólidos com formas geométricas simples e regulares. A Equação (2.1) pode ser truncada no primeiro termo da série quando o valor do número de Fourier for maior ou igual a 0,2 obtendo-se assim a equação simplificada. Para a geometria de placa plana tem-se que:

$$\left[\frac{(X - X_e)}{(X_i - X_e)} \right] = \left(\frac{8}{\pi^2} \right) e^{\left(\frac{\pi^2 D_{ef} t}{4L^2} \right)} \quad (2.4)$$

Outros modelos, também tem sido empregados para ajustar os dados experimentais de secagem entre eles estão duas modificações da lei exponencial, na forma integrada, Equações (2.5) e (2.6). A Equação (2.5) é similar à solução do modelo de Fick para tempo de secagem longos quando apenas o primeiro termo

da série for significativo. Segundo PINTO (1996) esta Equação tem sido bastante utilizada para determinação do parâmetro de difusividade efetiva a partir da constante de secagem.

$$\left[\frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \right] = a \exp(-K t) \quad (2.5)$$

Onde:

a : parâmetro do modelo

K : constante de secagem

t : tempo

A Equação (2.6) é conhecida como modelo de Page, esta equação foi proposta para descrever a secagem de milho. Posteriormente, outros pesquisadores aplicaram o modelo para estudar a cinética de secagem de outros produtos alimentícios.

$$\left[\frac{(X - X_e)}{X_0 - X_e} \right] = \exp(-K t^b) \quad (2.6)$$

Onde:

K : constante de secagem

b : parâmetro do modelo de Page

t : tempo

Em geral o coeficiente de difusão é obtido por ajuste do modelo aos dados experimentais de secagem e é também denominado difusividade efetiva, por englobar efeitos de diferentes fenômenos durante a migração de umidade.

Fundamentada em princípios da termodinâmica dos processos irreversíveis, a teoria de LUIKOV (1966), considera o fenômeno da difusão térmica de umidade nos processos de transferência de calor e massa no interior de corpos capilares-porosos.

HAENDLER (1966), entre outras recomendações, indicou algumas condições para o processo de secagem de banana, a saber: temperatura de 70°C e velocidade do ar de 3 m/s. Segundo o autor esses parâmetros fornecem um produto com uma melhor qualidade sensorial.

ANDRADE *et al.* (1980) estudaram a influência de diversas fases de amadurecimento sobre a cinética de desidratação ambiental de banana prata, analisada através de regressões polinomiais. Apresentaram também a composição química do produto final, assim como esquemas representando a deformação sofrida pela fruta desidratada e diagrama de escurecimento, todos em função do índice de amadurecimento. O teor de umidade final foi de 30% para bananas verdes e 26% para as maduras.

MOWLAH *et al.* (1983) utilizaram a lei de difusão de Fick para estudar o fenômeno de transporte de umidade e determinar o tempo de secagem em experimentos com cubos de banana. Além disso, analisaram a ocorrência de escurecimento durante a secagem com a finalidade de investigar uma técnica adequada para produzir desidratados de boa qualidade. Concluíram que a transferência de umidade durante a desidratação da banana, sob as condições experimentais impostas (temperatura de bulbo seco de 60°C, temperatura de bulbo úmido de 30°C e velocidade do ar de 1,5 m/s) segue o mecanismo difusional. Quanto ao escurecimento das amostras, observaram que este apresenta uma tendência de escurecimento proporcional ao tempo de secagem.

NOGUEIRA (1991) estudou o processo de secagem de banana com o objetivo de obter parâmetros ótimos para obtenção de banana-passa e verificou que o modelo difusional foi o mais adequado e que os resultados das difusividades efetivas indicaram que os melhores parâmetros de secagem foram 60°C e 1,5 m/s ou 70°C e 1,0 m/s ou ainda 70°C e 1,5 m/s.

Um estudo sobre a desidratação de bananas para serem consumidas na forma de “snacks” foi desenvolvido por LUCAS (1996). O processo consistiu de uma pré-secagem HTST nas seguintes condições: temperaturas de 130 e 150°C e tempos de 15 e 6 minutos respectivamente, com o objetivo de formar uma rígida camada externa dificultando assim o encolhimento e deformações, e posterior secagem em secador de bandejas a 100°C até umidade desejada. Os melhores resultados ocorreram para banana prata com estágio de maturação entre 14 e 18°Brix, pré-desidratadas durante 12 minutos a 130°C e 10 m/s. A secagem final no secador de bandejas ocorreu durante 5,5 horas, com ar a 70°C e 1,25 m/s; tendo o produto final 6% de umidade.

Estudando o comportamento de secagem de fatias de banana previamente desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose SANKAT et al. (1996), avaliaram o efeito da velocidade do ar de secagem e da espessura das fatias na taxa de secagem a 60°C e concluíram que o aumento da velocidade do ar não provocou nenhuma influência no comportamento da secagem. Concluíram ainda que a banana seca mais lentamente comparada com outras frutas, por causa da sua constituição físico-química.

Utilizando o método HTST (alta temperatura e curto tempo) LUCAS (1996), desenvolveu um estudo com banana prata em secador de leito fluidizado. As amostras foram submetidas a pré-tratamento com soluções infiltrantes. A pesquisa indicou que as fatias de frutas mais verdes obtiveram os melhores resultados demonstrando que o teor inicial de amido presente na fruta é de grande importância, pois fortalece a estrutura celular evitando o colapso total das células durante a desidratação.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATÉRIA-PRIMA

Para a realização dos experimentos, utilizou-se como matéria-prima banana (*Musa acuminata*) subgrupo *Cavendish* variedade nanica, proveniente da região de Registro-SP, que foi gentilmente fornecida por Comércio de Frutas Magário Ltda., localizado no CEASA – CAMPINAS.

Para a padronização das amostras adotou-se como critérios o teor de sólidos solúveis (°BRIX) e observação visual. A faixa de sólidos solúveis utilizada foi de 9 a 10°BRIX, onde a polpa apresentava uma textura firme e o descascamento era possível sem maiores dificuldades. Para um teor de sólidos abaixo de 9°BRIX a casca da fruta ainda estava completamente aderida a polpa impossibilitando o descascamento sem danificar a polpa da mesma, além do sabor adstringente acentuado que a fruta apresentava mesmo depois de submetida ao tratamento osmótico, fato este que ficou evidenciado em testes preliminares realizados.

Após o descascamento manual, com o auxílio de faca de aço inoxidável, as extremidades foram desprezadas e procedeu-se então ao corte. O corte foi feito dividindo a banana ao meio em duas partes iguais; essas partes foram novamente cortadas desta vez em quatro pedaços como mostra a Figura (3.1). A banana foi cortada em fatias de 5cm de comprimento com espessura média de 0,07cm.



Figura 3.1 – Corte realizado na banana "*in natura*" para a realização dos experimentos de desidratação osmótica e secagem.

A Figura 3.2 mostra a cor da casca da fruta utilizada para a realização dos ensaios experimentais de desidratação osmótica e secagem.

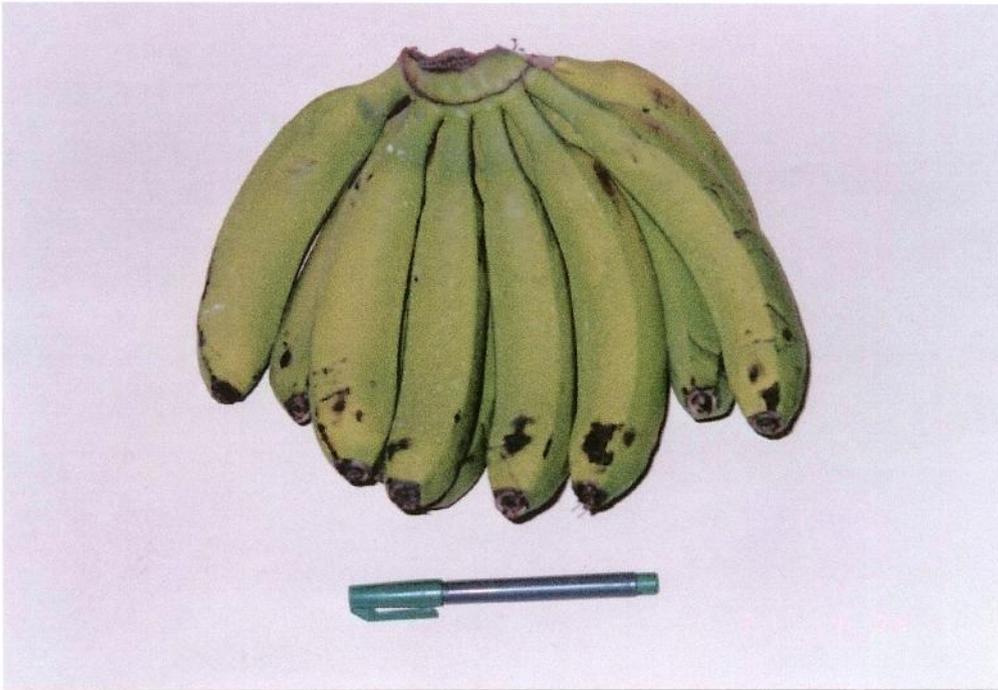


Figura 3.2 – Cor da casca da banana utilizada nos ensaios de desidratação osmótica e secagem

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Análises Químicas

A composição centesimal da fruta "*in natura*" foi determinada de acordo com as normas da AOAC (Association of Official Analytical Chemists) para frutas. A banana foi submetida às seguintes determinações:

- Conteúdo de Umidade

Pesou-se aproximadamente 1g de amostra em cadinhos de alumínio previamente tarados os quais foram colocados em estufa, marca FANEM, com

circulação forçada de ar a 70°C durante 24 horas. Após este período as amostras foram transferidas para uma estufa a vácuo que operava com temperatura de 70°C e vácuo de 25 polegadas de mercúrio. As amostras foram pesadas em balança analítica digital marca BOSH modelo SAE 200, em intervalos de tempo de 24h até 72h quando foi obtido peso constante.

Após este período as amostras foram retiradas da estufa, colocadas em dessecador e posteriormente pesadas. As análises foram realizadas em triplicata e o resultado final é uma média aritmética das três determinações. Para o cálculo da umidade, em base seca, utilizou-se a Equação (3.1)

$$X_{bs} = \frac{m_{\text{água}} - m_{\text{seca}}}{m_{\text{seca}}} \quad (3.1)$$

Onde:

X_{bs} : umidade da amostra (g água/g massa seca);

$m_{\text{água}}$: massa de água (g);

m_{seca} : massa seca da amostra (g massa seca).

- Determinação de Sólidos Solúveis (°BRIX)

Para a determinação de sólidos solúveis na banana utilizou-se um refratômetro marca PZO modelo RL3. A banana foi triturada em liquidificador doméstico juntamente com água destilada numa proporção de 1:4, respectivamente. Após a homogeneização uma pequena quantidade de amostra foi colocada no prisma do refratômetro onde foi feita a leitura. Os valores observados foram corrigidos para a temperatura de 20°C.

- Determinação de Proteínas

A determinação de proteínas realizada na amostra seguiu a metodologia de Kjeldhal. Neste método determina-se o nitrogênio contido na matéria orgânica, incluindo o nitrogênio protéico propriamente dito e outros compostos nitrogenados não protéicos, tais como: aminas, aminoácidos entre outros. Neste caso o resultados é expresso em termos de proteínas bruta ou total.

Proteínas e compostos nitrogenados decompostos na presença de ácido sulfúrico concentrado a quente produzem sulfato de amônia. O sulfato de amônia em presença de solução de hidróxido de sódio libera NH_3 que é recebido na solução de ácido bórico. A amônia em solução de ácido bórico é titulada com solução de ácido clorídrico de normalidade conhecida e assim determina-se o teor de nitrogênio contido na amostra. A Equação (3.2) foi utilizada para o cálculo da proteína bruta.

$$\%N = \frac{V_{HCl} N_{HCl} \times 0,014 \times 6,25}{m} 100 \quad (3.2)$$

Onde:

V_{HCl} : volume de HCl gasto na titulação da amostra (ml);

N_{HCl} : normalidade da solução de HCl;

m : peso da amostra (g).

- Determinação de Açúcares Redutores

O teor de açúcares redutores foi determinado de acordo com a metodologia de Lane e Eynon. O conteúdo presente na amostra foi calculado com base no volume de solução de açúcar necessário para reduzir todo cobre presente na solução de Fehling.

- Determinação do Teor de Ácido Ascórbico

A determinação do teor de ácido ascórbico foi realizada através da redução do 2,6-diclorofenol-indofenol pelo ácido ascórbico.

A solução indicadora padrão foi feita dissolvendo-se 50 mg de 2,6-diclorofenol-indofenol em 150mL de água destilada quente contendo 42mg de bicarbonato de sódio. Resfriou-se e diluiu-se com água destilada até 200mL. As amostras foram guardadas em refrigerador, e padronizadas, titulando-se 5mL de ácido ascórbico padrão (100mg/L) e adicionando-se 5mL de HPO_3 .

A quantidade de ácido ascórbico presente na amostra foi determinada através da Equação (3.3):

$$Vit C = \frac{V_T (0,5/V_t) V 1000}{V_A m} \quad (3.3)$$

Onde:

Ác. ascórbico: teor de ácido ascórbico (mg/100g);

V_T : volume gasto na titulação (mL);

V_t : volume titulado na padronização da solução indicadora (mL);

V : volume aferido (mL);

V_A : volume da alíquota (mL);

m : peso da amostra (g).

3.2.2 Inativação Enzimática

Para evitar o escurecimento enzimático das amostras adotou-se como pré-tratamento a imersão da fruta em uma solução de ácido cítrico 1% durante 30 minutos. Este procedimento baseou-se em estudo prévio realizado por ARAUJO e SANTOS (1994), que na produção de chips de banana verde, investigaram qual o

tempo de imersão da fruta necessário para que houvesse uma total inativação enzimática.

3.2.3 Cálculo da Espessura Cartesiana Equivalente

Uma dificuldade encontrada foi a definição da geometria do material a ser adotada. Utilizou-se então uma espessura cartesiana equivalente admitindo-se que a geometria era de placa plana. A Figura 3.3 mostra a forma geométrica utilizada no cálculo da espessura equivalente.

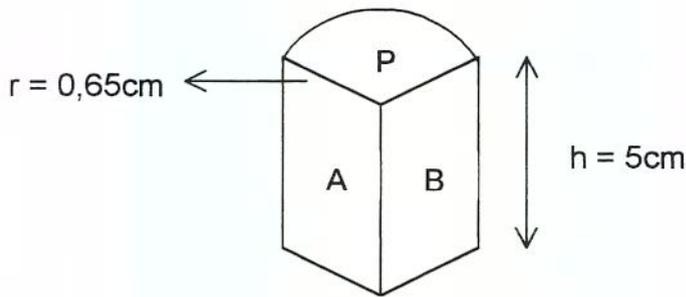


Figura 3.3 – Forma geométrica utilizada para o cálculo da espessura equivalente.

Sabendo-se que o volume da amostra é igual a $\frac{1}{4}$ do volume do cilindro e admitindo que este seja igual ao volume da placa, temos:

$$V_{amostra} = V_{placa} = \frac{\pi \bar{r}^2 h}{4} \quad (3.4)$$

Onde:

\bar{r} : raio médio do cilindro (cm);

h : altura do cilindro (cm).

Sabendo-se ainda que o volume da placa é dado pela Equação (3.5):

$$V_{placa} = A_{placa} L_1 \quad (3.5)$$

Onde:

A_{placa} : área da placa (cm^2);

L_1 : espessura equivalente (cm).

Como área da placa, vamos considerar as superfícies de transferência que são as áreas retangulares A e B e $\frac{1}{4}$ do perímetro da amostra.

$$A_{placa} = A + B + P = (\bar{r} h)_A + (\bar{r} h)_B + \frac{2\pi \bar{r} h}{4} \quad (3.6)$$

Substituindo as Equações (3.4) e (3.6) na Equação (3.5), temos:

$$L_1 = \frac{V_{placa}}{A_{placa}} = \frac{\pi \bar{r}^2 h}{[8\bar{r} h + 2\pi \bar{r} h]} \quad (3.7)$$

Para um valor de $\bar{r} = 0,65\text{cm}$ e $h = 5\text{cm}$ obtivemos $L_1 = 0,14\text{cm}$.

Como o valor da espessura é muito menor que o valor da área podemos admitir a geometria de placa plana infinita.

3.2.4 Desidratação Osmótica

Para a realização desta etapa definiu-se como variáveis do processo a concentração do agente desidratante e a temperatura.

Foram utilizadas soluções de sacarose com concentrações de 35, 50 e 60% e temperaturas de 25 e 60°C, sendo mantida uma agitação constante de 80 rpm. Para que não houvesse variação da concentração da solução durante o experimento ou para que esta fosse considerada desprezível, utilizou-se uma relação massa da amostra/massa da solução de 1/10.

A banana previamente selecionada, de acordo com a secção 3.1, foi cortada em fatias longitudinais de aproximadamente 5cm de comprimento, colocada em solução de ácido cítrico 1% para promover a inativação, em seguida a amostra foi drenada, pesada e colocada em béckeres de 600ml contendo a solução desidratante na temperatura ambiente. As amostras foram então levadas a uma incubadora, marca TECNAL modelo TE-421, com controle de agitação e temperatura. As amostras foram retiradas de quinze em quinze minutos durante as duas primeiras horas do processo, depois de trinta em trinta minutos nas duas horas seguintes e de 24 em 24 horas até que o equilíbrio fosse atingido, perfazendo um total de 48 horas de experimento. As amostras, após serem retiradas da incubadora, foram drenadas, lavadas com 20ml de água destilada, para remover o excesso de solução desidratante, e finalmente pesadas. Todas as determinações foram realizadas em triplicata.

- Modelo Matemático para Desidratação Osmótica

No estudo da modelagem matemática da desidratação osmótica, utilizou-se o modelo difusional de Fick considerando difusão unidirecional em estado não estacionário e geometria de placa plana cujo cálculo de dimensão equivalente encontra-se apresentado na secção 3.2.3. Os dados experimentais foram ajustados através de regressão não-linear da Equação (2.1), utilizando os seis primeiros termos da série, considerando o equilíbrio em 24 horas de processo, como mostra a Tabela 1A do Anexo A.

Os dados experimentais também foram ajustados utilizando-se o modelo desenvolvido por AZUARA *et al* (1992), pois este modelo não necessita dos valores do ponto de equilíbrio, reduzindo assim o tempo de experimento de desidratação osmótica.

Segundo os autores o balanço de massa para o movimento de água no interior do alimento é dado por:

$$WL = WL_{\infty} - WS \quad (3.8)$$

Onde:

WL : fração de água perdida pelo alimento no tempo t ;

WL_{∞} : fração de água perdida pelo alimento no equilíbrio;

WS : fração de água que pode difundir para fora do alimento, mas que permanece dentro do mesmo no tempo t .

O cálculo da fração de água perdida no tempo t foi feito pela Equação (3.9)

$$WL = \frac{ww_0 - (tw - ws)}{ws_0 + ww_0} \times 100 \quad (3.9)$$

Onde:

WL : perda de água (g água/100g amostra);

ww_0 : conteúdo inicial de água (g);

tw : peso da amostra no tempo t (g);

ws : peso de sólidos no tempo t (g);

ws_0 : conteúdo inicial de sólidos (g).

Para uma determinada condição de temperatura e concentração o valor da fração de água perdida no equilíbrio (WL_{∞}) é fixo enquanto que os valores da

perda de água (WL) e da fração de água que permanece no alimento (WS) são funções da taxa de perda de água e do tempo. Os valores de WL e WS são inversamente proporcionais e esta relação é dada pela Equação (3.10):

$$WS = \frac{WL}{K} \quad (3.10)$$

Sabendo-se que a taxa de perda de água é função da temperatura, concentração da solução desidratante e do tempo do processo e ainda sabendo-se que no início do processo a concentração inicial é conhecida e a temperatura é mantida constante, a taxa de perda de água fica sendo apenas função do tempo. A partir destas considerações a Equação (3.11) foi proposta para o parâmetro K como uma função do tempo (t) e de uma constante relacionada com a perda de água (S_1):

$$K = S_1 t \quad (3.11)$$

Substituindo as Equações (3.10) e (3.11) na Equação (3.8), temos:

$$WL = \frac{S_1 t (WL_\infty)}{1 + S_1 t} \quad (3.12)$$

Para a condição de equilíbrio (t_∞) a Equação torna-se uma assíntota em um valor correspondente a WL_∞ . Para o cálculo da perda de água pelo alimento em qualquer tempo t , na Equação (3.12), é necessário saber os valores de S_1 e WL_∞ , que podem ser calculados através de regressão linear (Equação (3.13)) aplicada aos dados obtidos experimentalmente para um curto período de tempo:

$$\frac{t}{WL} = \frac{1}{S_1(WL_\infty)} + \frac{t}{WL_\infty} \quad (3.13)$$

De acordo com CRANK (1975), baseado na segunda lei de Fick, para uma placa plana em contato com uma quantidade infinita de solução, considerando regime transiente e curtos períodos de tempo a Equação simplificada é do tipo:

$$\frac{WL_t}{WL_\infty} = 2 \left(\frac{Dt}{\pi L^2} \right)^{1/2} \quad (3.14)$$

Onde:

WL_t : quantidade de água deixando o sólido no tempo t ;

WL_∞ : quantidade de água deixando o sólido depois de um tempo infinito;

D : difusividade aparente;

t : tempo;

L : Espessura da placa.

Esta Equação foi aplicada na etapa inicial de adsorção, quando assumiu-se que a difusão ocorreu em um meio semi-infinito. Nesta etapa a quantidade de água saindo do alimento assim como a quantidade de sólidos entrando são diretamente proporcionais à raiz quadrada do tempo. O valor de D calculado pela Equação (3.14) é uma média para concentrações diferentes durante o processo difusional.

Fazendo a relação entre a Equação (3.14) e o modelo proposto por AZUARA (1992), Equação (3.13), obteve-se uma expressão simples para o cálculo da difusividade aparente em função do tempo (Equação (3.15)):

$$D_1 = \frac{\pi t}{4} \left[\left(\frac{S_1 L}{1 + S_1 t} \right) \left(\frac{WL_\infty^{\text{mod}}}{WL_\infty^{\text{exp}}} \right) \right]^2 \quad (3.15)$$

Onde:

WL_∞^{mod} : valor no equilíbrio obtido a partir da Equação (3.12);

WL_∞^{exp} : valor no equilíbrio obtido experimentalmente;

D_1 : difusividade aparente no tempo t .

Se o valor de WL_∞^{exp} é desconhecido, assume-se que seu valor seja igual a WL_∞^{mod} e a Equação (3.15) pode ser usada para obter boas estimativas para D_t , desde que os dados da cinética sejam adequadamente ajustados pela Equação (3.13).

A difisividade aparente média (D_m) foi calculada de acordo com a Equação (3.16).

$$D_m = \frac{\sum_{i=1}^n (D)_i}{n} \quad (3.16)$$

Todas as considerações feitas para a perda de água são válidas para o ganho de sólidos.

$$\frac{t}{GS} = \frac{1}{S_2(GS_\infty)} + \frac{t}{GS_\infty} \quad (3.17)$$

Onde:

GS: ganho de sólidos (g sólidos/100g amostra);

GS_∞ : quantidade de sólidos que entra na amostra após um tempo infinito

$$D_2 = \frac{\pi t}{4} \left[\left(\frac{S_2 L}{1 + S_2 t} \right) \left(\frac{GS_{\infty}^{\text{mod}}}{GS_{\infty}^{\text{exp}}} \right) \right]^2 \quad (3.18)$$

Onde:

GS_{∞}^{mod} : valor no equilíbrio obtido a partir da Equação (3.17);

GS_{∞}^{exp} : valor no equilíbrio obtido experimentalmente;

D_2 : difusividade aparente do açúcar no tempo t .

3.2.5 Secagem

A secagem foi feita para a banana "*in natura*" e banana desidratada osmoticamente. O processo foi realizado em um secador de bandejas com o ar passando verticalmente pela amostra.

O sistema de operação do equipamento consiste em passar o ar verticalmente pelas bandejas e retornar ao ventilador em um circuito fechado, passando antes por um conjunto de três resistências de 800, 1600 e 1600W, que podem ser acionadas independentemente, sendo controladas por um termostato digital.

Utilizou-se ainda um psicrômetro para a medição das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido com a finalidade de se conhecer a umidade relativa do ar de secagem. A temperatura do ar no interior da câmara de secagem foi monitorada com um termopar de cobre constantan e a velocidade do ar foi medida com o auxílio de um anemômetro digital marca AIRFLOW Co, modelo LCS 6000. Para manter a umidade do ar mais constante, no interior do secador, utilizou-se na primeira gaveta uma bandeja contendo sílica-gel.

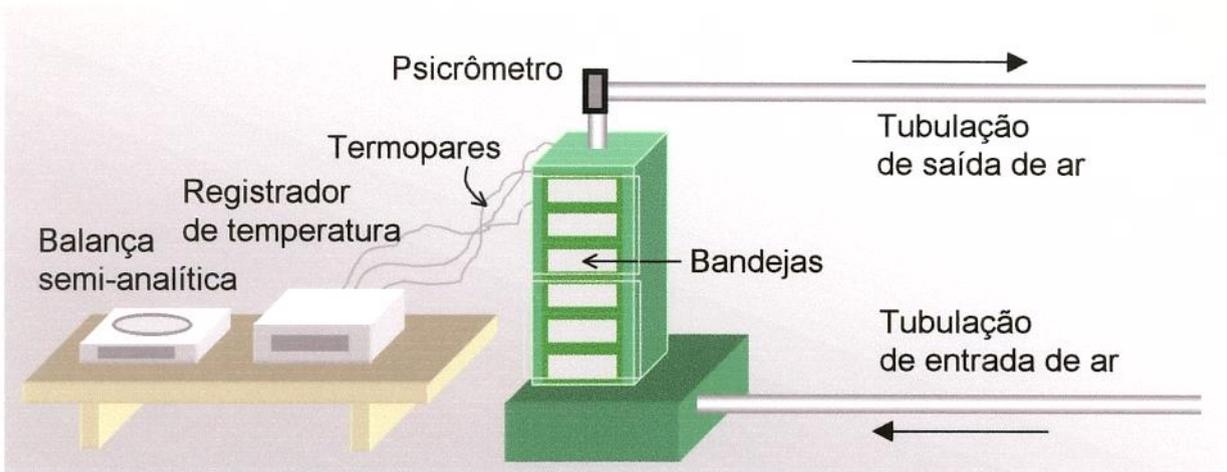


Figura 3.4 – Esquema do secador utilizado para a secagem da banana.

As condições de secagem utilizadas foram de 40 e 60°C com velocidade do ar de 2,75 m/s.

A variação de peso das amostras foi verificada pela pesagem das mesmas. Para a primeira hora de experimento as amostras foram pesadas e 15 em 15 minutos. Durante a segunda e terceira hora as amostras foram pesadas de 30 em 30 minutos e depois as amostras foram pesadas de 1 em 1 hora até que a variação no peso fosse considerada desprezível.

O estudo da secagem, assim como os ajustes das curvas experimentais e o cálculo da difusividade efetiva da água, foram realizados com base na segunda lei de Fick adotando-se geometria de placa plana infinita (Equação 2.1) e desprezando-se as resistências externas ao transporte de massa. Utilizou-se ainda a equação de Page (Equação 2.6) para descrever a cinética de secagem do produto “*in natura*” e osmoticamente desidratado.

3.2.6 Ajuste dos Modelos Matemáticos

Os ajustes dos modelos aos dados experimentais das curvas da cinética de desidratação osmótica e secagem foram realizados através de um procedimento de regressão linear e não linear do pacote estatístico do STATISTICA 5.0. Para a escolha dos melhores ajustes foi utilizado como critérios o coeficiente de determinação (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).

$$P = \frac{100}{N} \cdot \sum \frac{|M_i - M_{pi}|}{M_i} \quad (3.19)$$

Onde:

M_i : valores preditos pelo modelo;

M_{pi} : valores obtidos experimentalmente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DETERMINAÇÕES NA MATÉRIA-PRIMA

Os resultados das análises realizadas na matéria-prima estão apresentados na Tabela 4.1. O valor de umidade determinado está dentro da faixa encontrada na literatura (74,12 – 75,40%) para banana nanica. O teor de sólidos solúveis indica que a banana encontra-se em estágio de maturação de “vez” de acordo com a classificação apresentada por FUJIAMA (1996). O teor de ácido ascórbico encontrado está ligeiramente abaixo do apresentado por MEDINA (1985) para banana nanica “*in natura*” (10 – 11mg). Com relação aos valores de proteínas e açúcares redutores na matéria-prima, os valores determinados estão próximos dos valores encontrados por FRANCO (1987), indicando que a matéria-prima encontrava-se em boas condições para ser utilizada.

Tabela 4.1 – Resultados análises realizadas na banana nanica “*in natura*”.

Determinação	Valor médio
Conteúdo de umidade (% ms)	289,0
Teor de sólidos solúveis (°BRIX)	9,50
Açúcares redutores (% ms)	39,25
Proteínas (% ms)	6,10
Ac. ascórbico (mg/100g ms)	9,33

4.2 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

A desidratação osmótica das fatias de banana nanica foi realizada utilizando-se como variáveis do processo a temperatura (25 e 60°C) e a concentração do agente desidratante (35, 50 e 60%). O procedimento experimental foi realizado conforme descrito na secção 3.2.3.

As Figuras 4.1 e 4.2 mostram os resultados obtidos para a perda de água nas fatias de banana durante quatro horas do processo de desidratação osmótica.

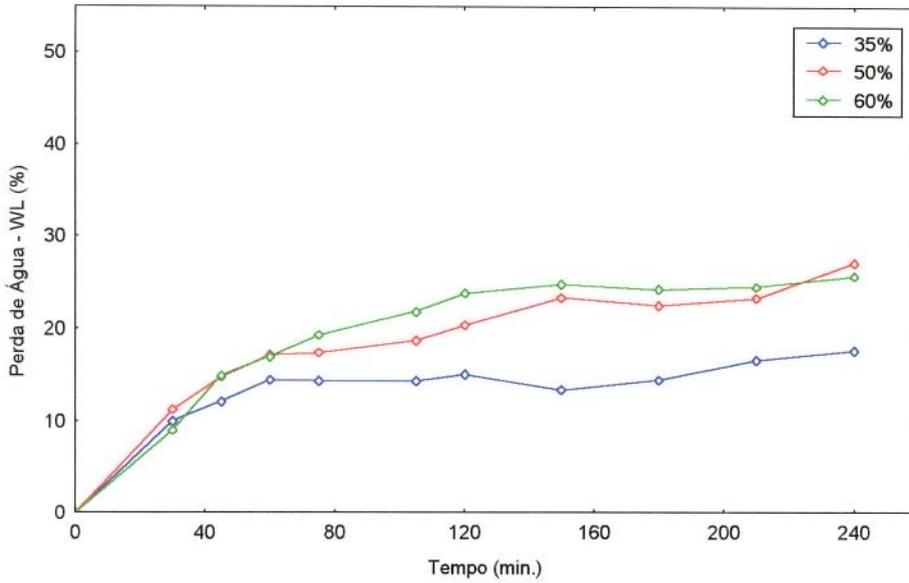


Figura 4.1 – Perda de água (WL) na banana nanica durante o processo de desidratação osmótica a 25°C, para diferentes concentrações de sacarose.

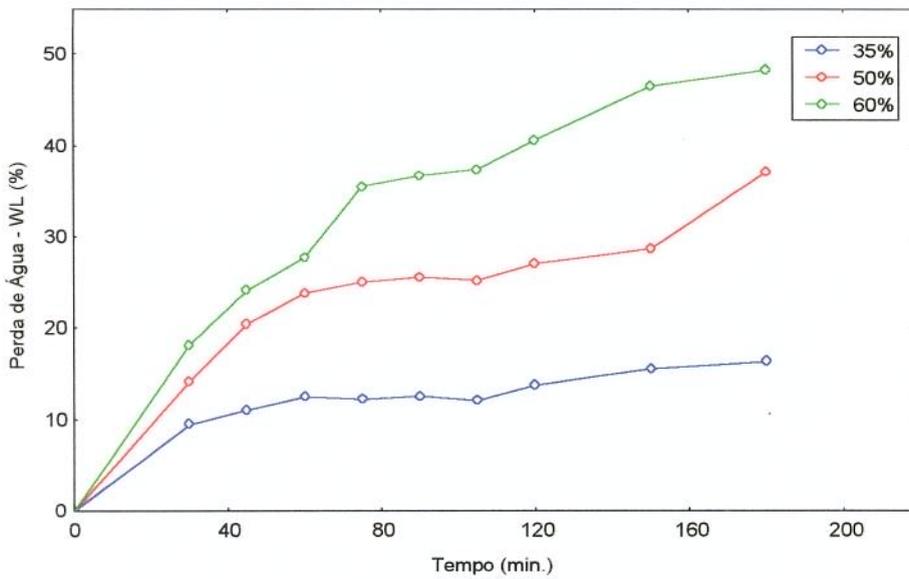


Figura 4.2 – Perda de água (WL) na banana nanica durante o processo de desidratação osmótica a 60°C, para diferentes concentrações de sacarose.

Para a desidratação osmótica realizada à temperatura de 25°C verifica-se que um aumento na concentração do agente desidratante provoca um pequeno aumento na perda de água das amostras. Verifica-se ainda que para as concentrações de 50 e 60% de sacarose as diferenças entre os valores obtidos para a perda de água são muito pequenas.

No experimento realizado a 60°C (Figura 4.2) observa-se que o aumento da concentração da solução osmótica provoca um aumento significativo no valor da perda de água.

Comparando-se as Figuras 4.1 e 4.2 verifica-se que à temperatura de 25°C a perda de água é ligeiramente superior a 20%, enquanto que a 60°C é possível chegar a valores próximos de 50% de perda de água.

A influência da temperatura de desidratação nos valores de perda de água é mostrada na Figura 4.3, onde pode ser constatada a importância dessa variável do processo no valor final de perda de água. Para a solução a 35% de sacarose tem-se que, a temperatura influencia o processo só após 100 minutos de experimento.

Essa influência da temperatura provavelmente deve-se ao fato de que, com o aumento da temperatura, tem-se uma diminuição da viscosidade da solução de sacarose aumentando com isso o coeficiente de transferência de massa.

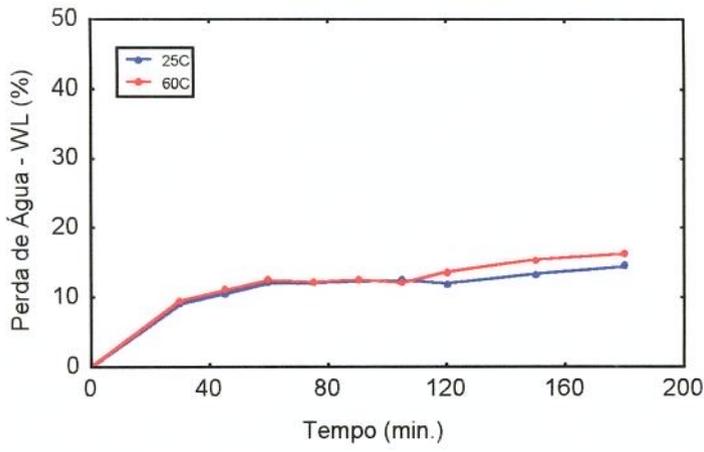
MAURO (1992) estudando os fatores que afetam a transferência de massa na desidratação osmótica de banana nanica, também observou que com o aumento da temperatura da solução utilizada, sacarose e sacarose-glicerol, o produto apresentava um aumento na taxa de remoção de água, confirmando assim, ser um importante fator no estudo do processo de desidratação osmótica.

Uma avaliação visual e sensorial das amostras desidratadas nas duas temperaturas mostrou que, a matriz não sofreu alterações em seu formato e permaneceu intacta durante todo o experimento. O produto desidratado apresentou uma coloração bastante atraente e um sabor adocicado muito agradável, completamente diferente do sabor adstringente da banana "*in natura*" no início do processo. Vale ressaltar que, não foram observadas diferenças significativas entre as amostras das duas temperaturas de desidratação osmótica.

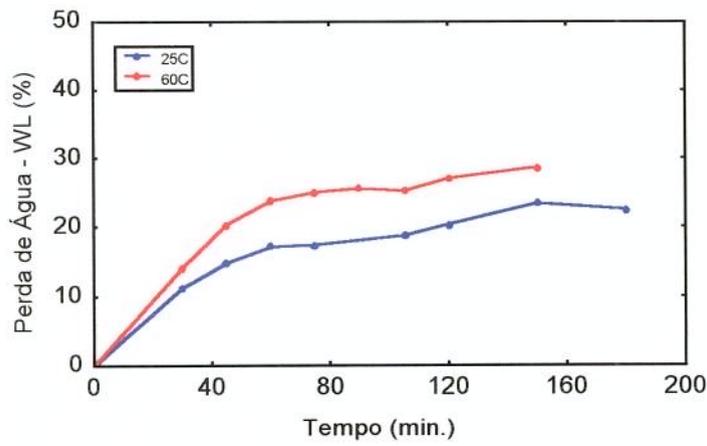
4.2.1 Ajuste dos Dados Experimentais da Desidratação Osmótica

Os dados experimentais para 48 horas de experimento são apresentados na Tabela A1 do Anexo A. Pode-se verificar, que para todas as condições estudadas, o equilíbrio foi atingido com 24 horas de processo.

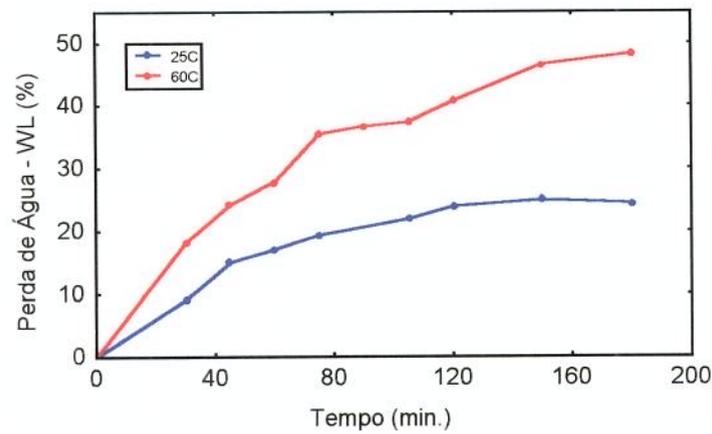
O ajuste dos dados experimentais da desidratação osmótica foi feito através do modelo difusional de Fick, considerando geometria de placa plana com espessura média de 0,07cm. Para todas as condições de desidratação utilizou-se os seis primeiros termos da série da Equação 2.1. As curvas dos ajustes dos dados experimentais, nas temperaturas de 25 e 60°C, são mostradas nas Figuras 4.8 e 4.9, respectivamente.



(a)



(b)



(c)

Figura 4.3 – Efeito da temperatura na perda de água (WL) durante a desidratação osmótica nas concentrações de (a) 35%, (b) 50% e (c) 60% de sacarose.

Os teores de ganho de sólidos são mostrados nas Figuras 4.4 e 4.5 para as amostras desidratadas a 25 e 60°C, respectivamente. Observa-se que o aumento da concentração favoreceu o ganho de sólidos, assim como o aumento da temperatura.

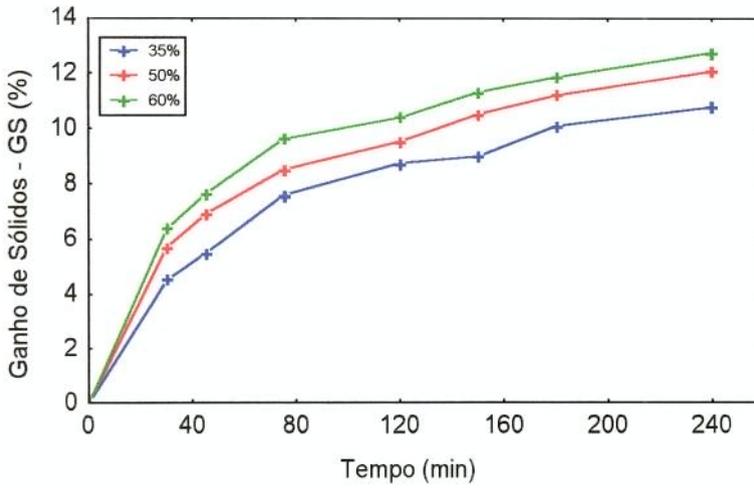


Figura 4.4 – Ganho de sólidos durante a desidratação osmótica a 25°C para diferentes concentrações de sacarose.

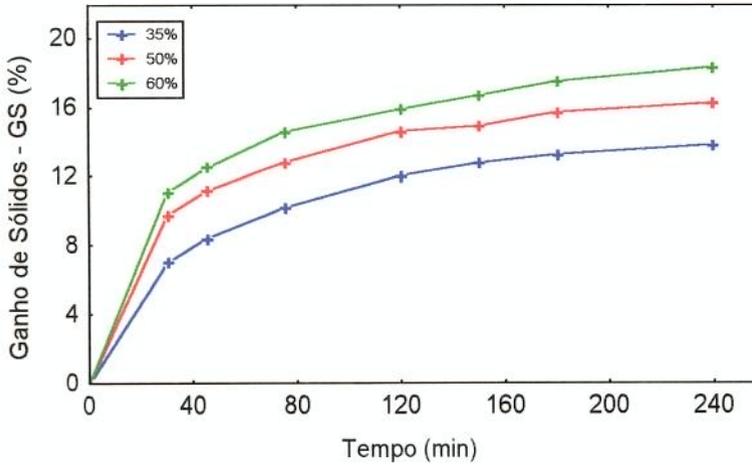


Figura 4.5 – Ganho de sólidos (GS) durante a desidratação osmótica a 60°C para diferentes concentrações de sacarose.

A influência da temperatura sobre o ganho de sólidos é evidenciada pela Figura 4.6. Observa-se um efeito positivo desta variável nas três condições, onde na temperatura mais elevada a percentagem de ganho de sólidos é sempre maior.

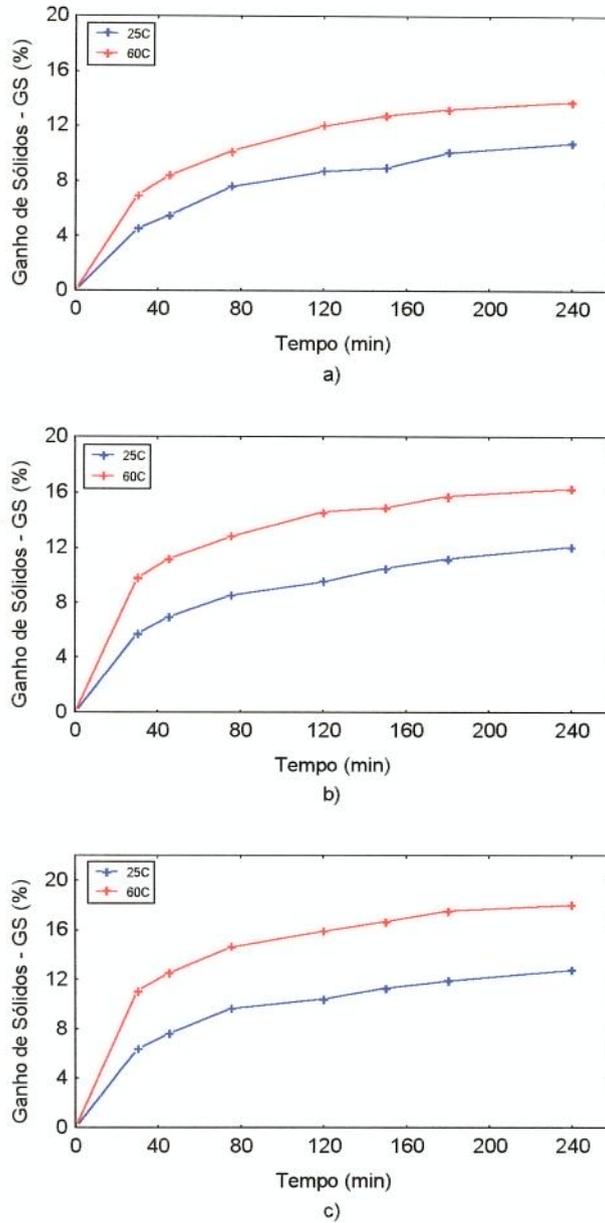


Figura 4.6 – Efeito da temperatura no ganho de sólidos (GS) durante a desidratação osmótica nas concentrações de a) 35%, b) 50% e c) 60%.

Comparando as duas correntes de troca osmótica, perda de água e ganho de sacarose, verifica-se conforme Figura 4.7, que para a baixa concentração de

35% de sacarose os valores são bem próximos, o mesmo não acontecendo nas outras concentrações onde a perda de água é bem maior que o ganho de sólidos.

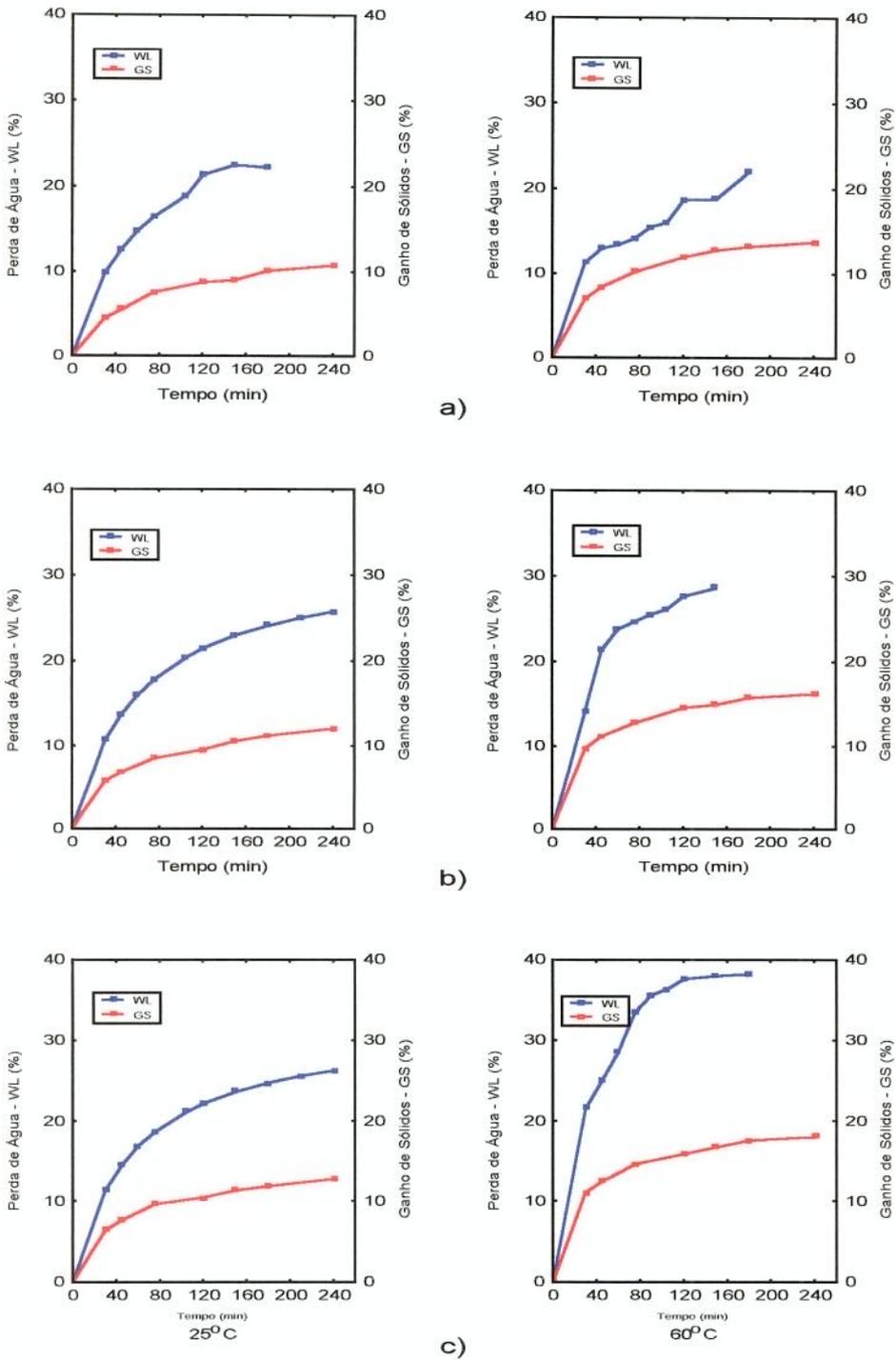
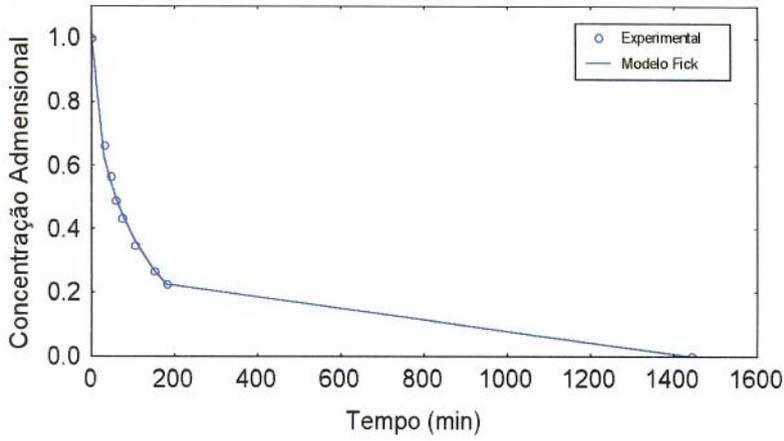
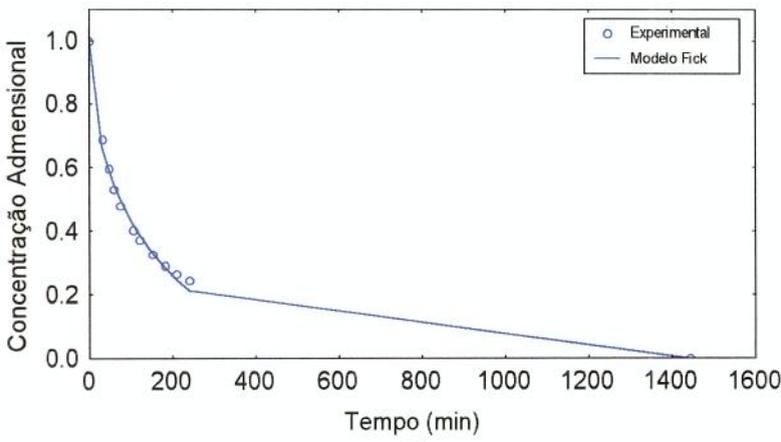


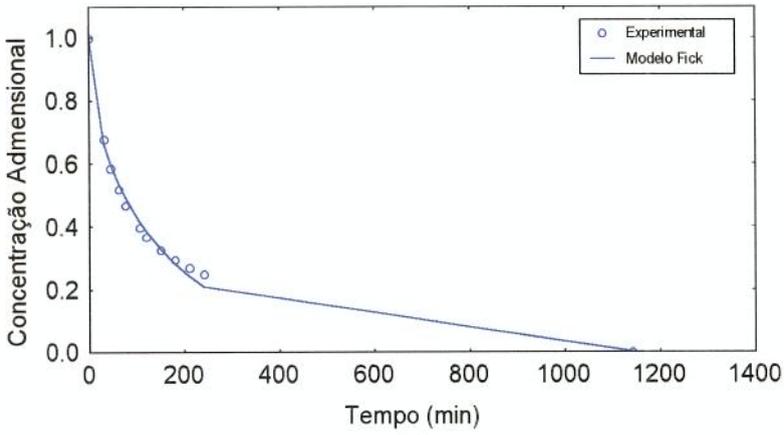
Figura 4.7 – Perda de água (WL) e ganho de sólidos (GS) para as amostras desidratadas a 25 e 60°C nas concentrações de a) 35%, b) 50% e c) 60% de sacarose.



(a)

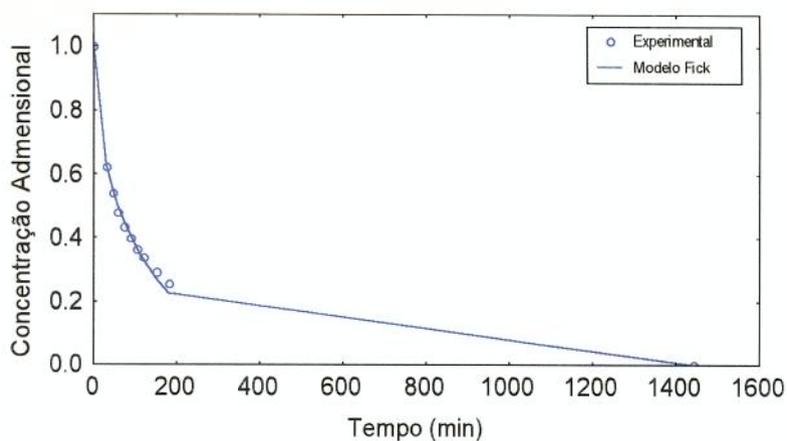


(b)

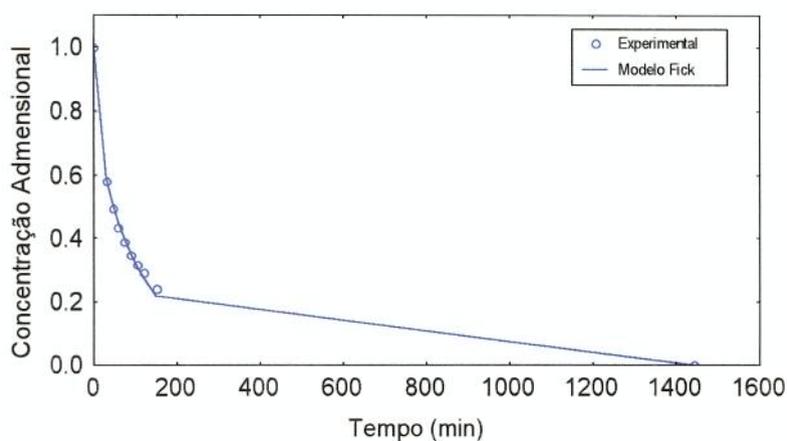


(c)

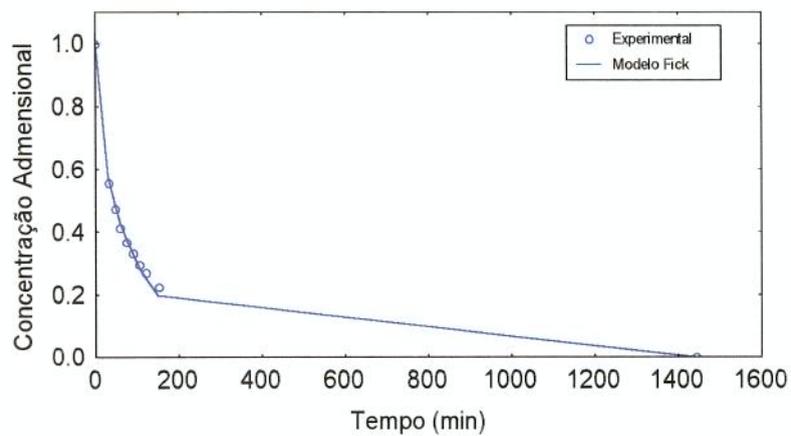
Figura 4.8 – Ajuste dos dados experimentais pelo modelo de Fick para a desidratação osmótica a 25°C com concentrações de a) 35%, b) 50% e c) 60% de sacarose.



(a)



(b)



(c)

Figura 4.9 – Ajuste dos dados experimentais pelo modelo de Fick para a desidratação osmótica a 60°C com concentrações de a) 35%, b) 50% e c) 60%.

Através do modelo difusional foi possível calcular a difusividade efetiva da água cujos valores encontram-se na Tabela 4.2. Observa-se que o aumento da temperatura gerou um aumento no valor da difusividade, conforme discutido anteriormente, assim como o aumento da concentração das soluções de sacarose. Entretanto, para a temperatura de 25°C esse aumento foi praticamente insignificante.

Tabela 4.2 – Valores da difusividade da água calculados pelo modelo de Fick na desidratação osmótica.

Amostra	$D \times 10^9 \text{ (m}^2/\text{s)}$	R^2	P
25°C35%	0,57	0,9908	4,07
25°C50%	0,60	0,9896	5,56
25°C60%	0,61	0,9872	7,24
60°C35%	0,76	0,9904	4,00
60°C50%	0,94	0,9908	4,10
60°C60%	1,02	0,9896	5,34

Conforme discutido na secção 3.2.3, o modelo desenvolvido por AZUARA et al (1992) também foi utilizado para ajustar os dados experimentais de 4 horas de processo, sem levar em consideração a condição de equilíbrio.

As Figuras 4.10, 4.11, 4.12 e 4.13 mostram os dados experimentais de perda de água e ganho de sólidos nas diferentes condições de desidratação osmótica, e a linearização dos mesmos.

O ajuste linear dos dados experimentais, conforme Equação (3.8), gerou valores de S_1 e S_2 que são os parâmetros necessários para o cálculo da difusividade, da água e do sólido, no tempo (D_t), conforme Equações (3.10) e (3.11). Estes dados são apresentados nas Tabelas A2 e A3 do Anexo A.

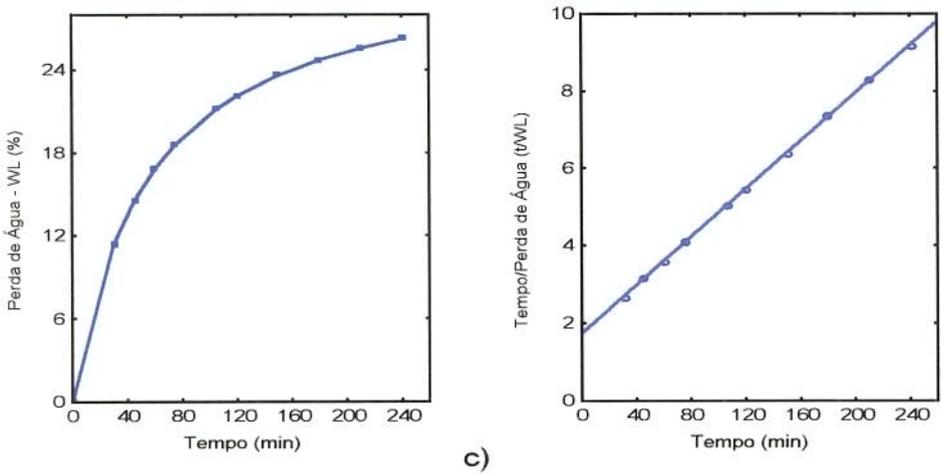
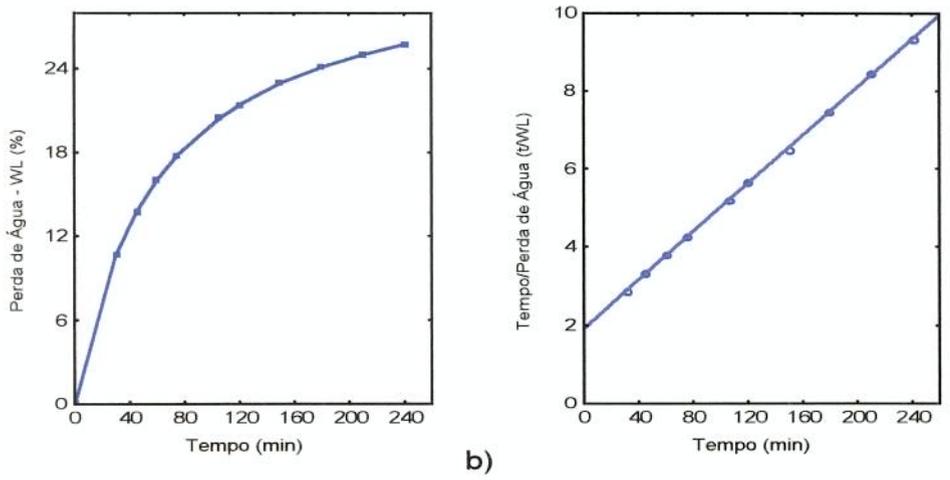
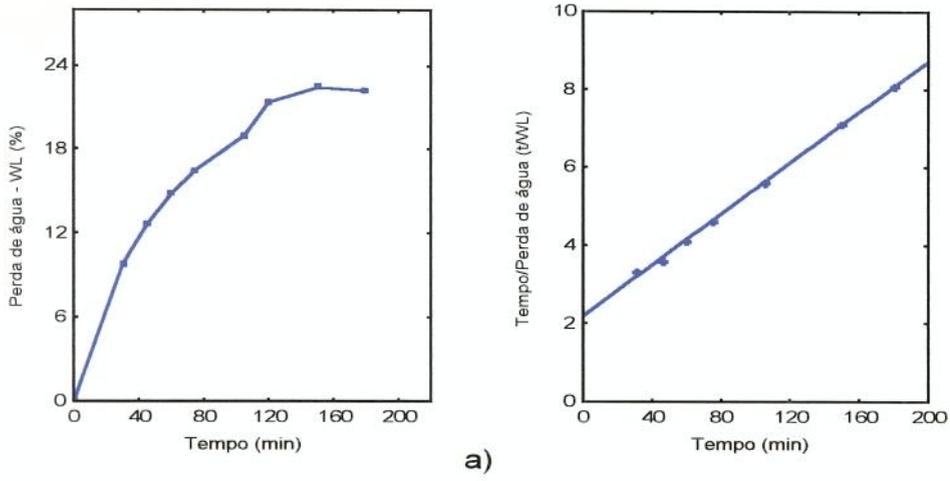


Figura 4.10 – Ajustes das curvas de perda de água (WL) para as amostras desidratadas a 25°C nas diferentes concentrações de solução a) 35%, b) 50% e c) 60% de sacarose.

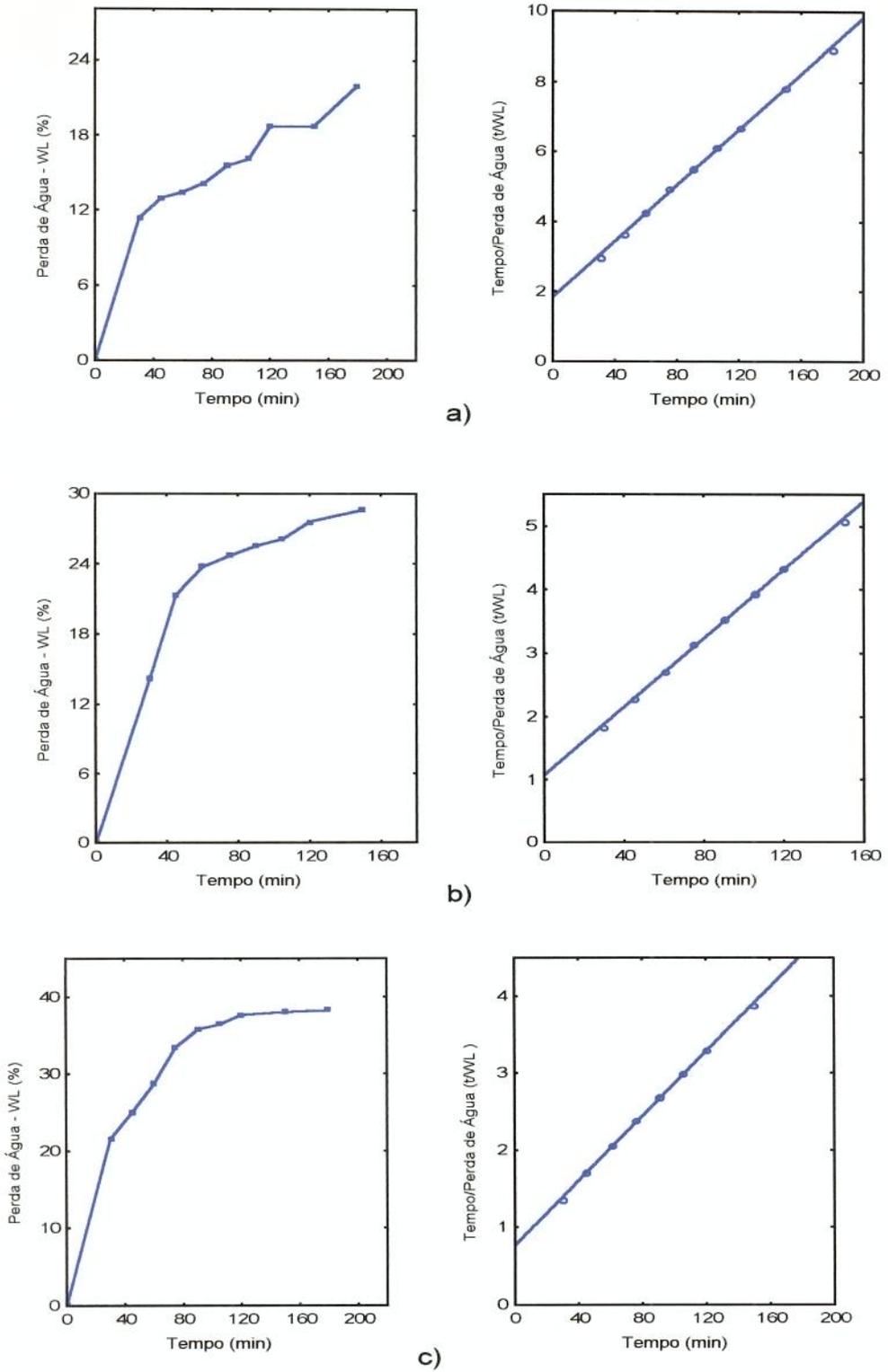
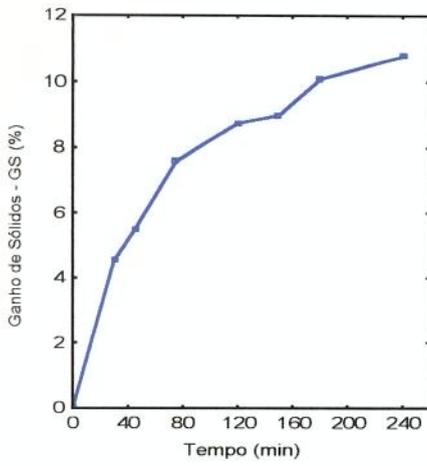
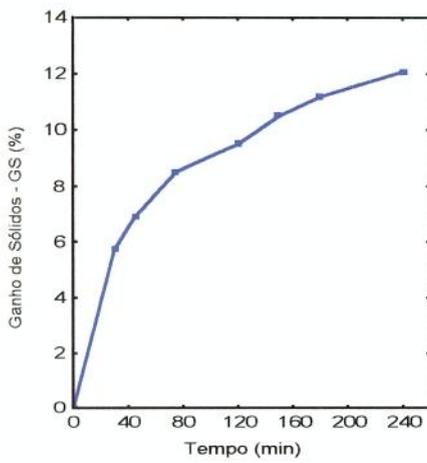
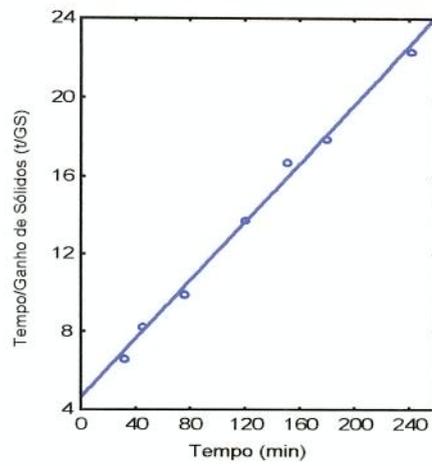


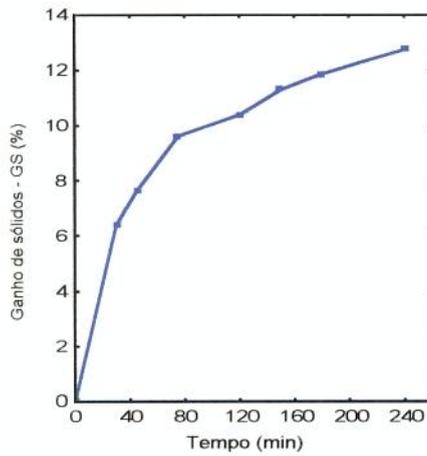
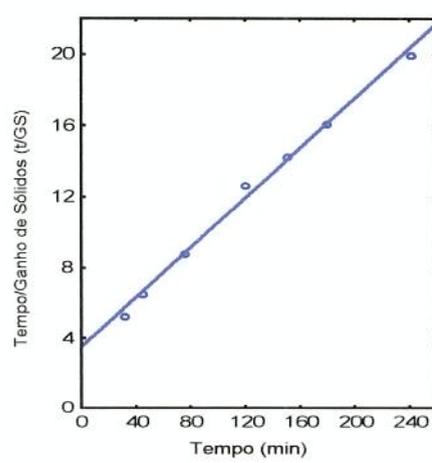
Figura 4.11 – Ajustes das curvas de perda de água (WL) para as amostras desidratadas a 60°C nas diferentes concentrações de solução a) 35%, b) 50% e c) 60% de sacarose .



a)



b)



c)

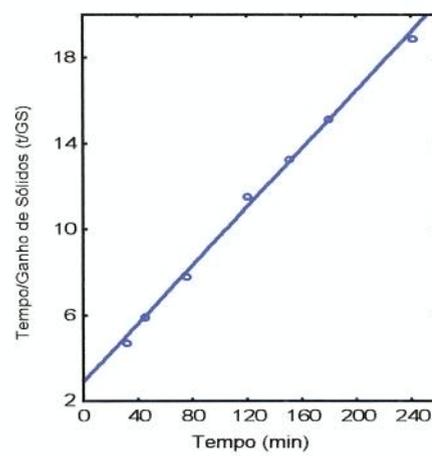
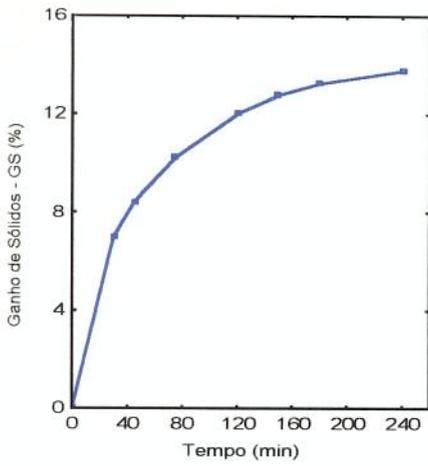
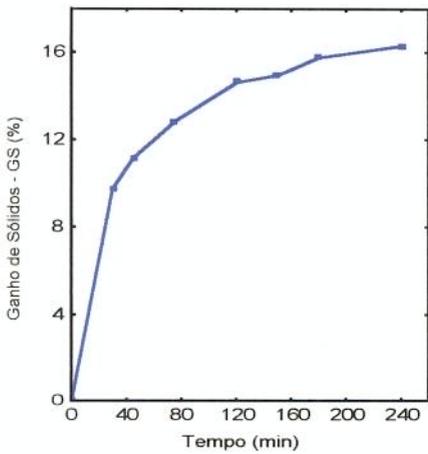
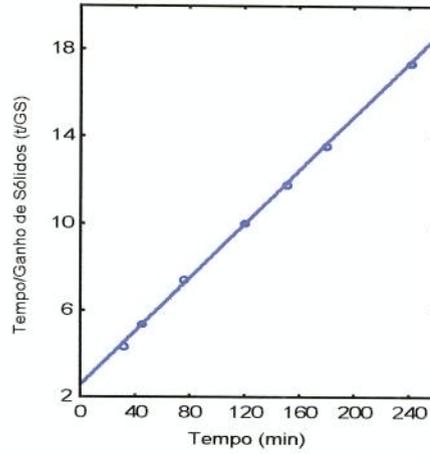


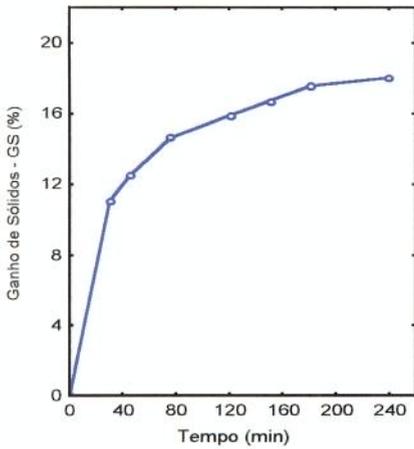
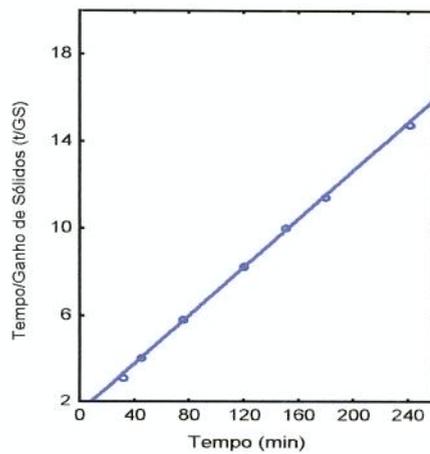
Figura 4.12 – Ajustes das curvas de ganho de sólidos (GS) para as amostras desidratadas a 25°C nas concentrações de a) 35%, b) 50% e c) 60% de sacarose.



a)



b)



c)

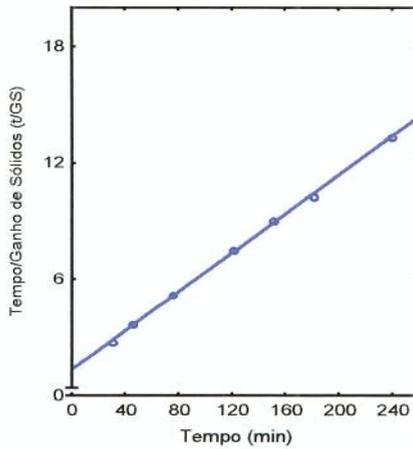


Figura 4.13 – Ajustes das curvas de ganho de sólidos (GS) para as amostras desidratadas a 60°C nas concentrações de a) 35%, b) 50% e c) 60% de sacarose.

As Tabelas 4.3 e 4.4 mostram os valores obtidos de S_1 e S_2 e as respectivas difusividades aparentes (Equação 3.12) da água e da sacarose.

Tabela 4.3 – Valores calculados de S_1 e D_1 obtidos pelo modelo de AZUARA.

Amostra	$S_1 (10^{-2})$	$D_1 \times 10^9 (m^2/s)$	R^2	P
25C35%	1,50	0,47	0.9987	3,45
25C50%	1,60	0,48	0.9998	1,24
25C60%	1,77	0,52	0.9998	1,19
60C35%	2,16	0,65	0.9993	2,00
60C50%	2,51	0,75	0.9994	1,98
60C60%	2,73	0,77	0.9993	1,97

Tabela 4.4 – Valores calculados de S_2 e D_2 obtidos pelo modelo de AZUARA.

Amostra	$S_2 (10^{-2})$	$D_2 \times 10^9 (m^2/s)$	R^2	P
25C35%	1,61	0,51	0.9944	6,58
25C50%	1,98	0,56	0.9946	6,00
25C60%	2,35	0,64	0.9968	5,47
60C35%	2,41	0,70	0.9995	3,47
60C50%	3,49	0,93	0.9991	3,54
60C60%	3,71	0,94	0.9993	3,50

BERISTAIN et al (1990) ao desidratar osmoticamente abacaxi em solução de sacarose a 50°Brix e temperaturas de 40 e 50°C obtiveram valores de difusividade aparente calculadas pelo modelo difusional na faixa de 1,11 a 2,68 x 10⁻⁹ m²/s.

SANKAT (1996), utilizou a Equação linearizada de Fick para calcular a difusividade efetiva da água no processo de desidratação osmótica de banana, as condições do processo foram, temperatura de 60°C e concentração da solução de sacarose de 39°Brix. O autor encontrou o valor de 0,88 x 10⁻⁹ m²/s para a

difusividade aparente da água. Comparando-se o valor encontrado por SANKAT (1996) com os dados das Tabelas 4.2 e 4.3, para a condição de 60°C e 35% de sacarose, verifica-se que o valor da difusividade aparente calculada pela equação de Fick está mais próximo do encontrado por este pesquisador. O modelo de AZUARA, apesar do bom ajuste, gerou valores de difusividade abaixo do que é encontrado na literatura.

4.3 SECAGEM

Os dados experimentais da secagem foram obtidos para a banana "*in natura*" e osmoticamente desidratada nas condições especificadas na secção 3.2.3. O tempo de desidratação osmótica, escolhido como pré-tratamento foi o de 2 horas, pois, os valores de difusividade eram elevados e após este período não apresentaram um aumento muito significativo, conforme mostrado na Tabela A3 do Anexo A. Além do valor da perda de água levou-se em consideração o valor do ganho de sólidos para a escolha do tempo de pré-tratamento. O procedimento experimental e detalhes do equipamento estão descritos na secção 3.2.4.

A Figura 4.14 mostra as curvas de secagem a 40°C da banana nanica, "*in natura*" e osmoticamente desidratada. Analisando esta figura observa-se que a amostra "*in natura*" apresentou uma maior taxa de secagem em relação às amostras desidratadas osmoticamente com solução de sacarose.

O mesmo comportamento foi encontrado para as amostras desidratadas osmoticamente a 60°C, conforme Figura 4.15.

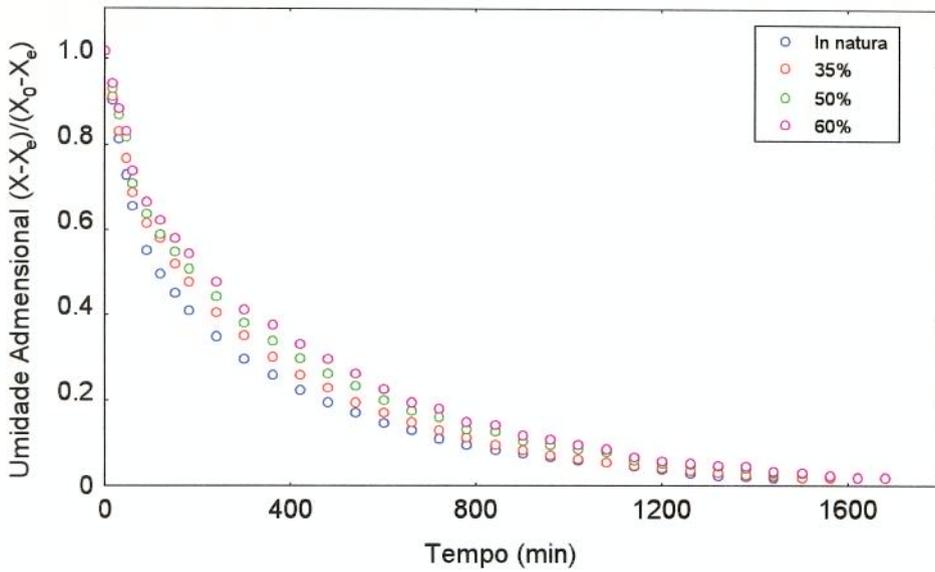


Figura 4.14 – Curvas experimentais de secagem a 40°C de banana “*in natura*” e desidratada osmoticamente a 25°C com diferentes concentrações de sacarose.

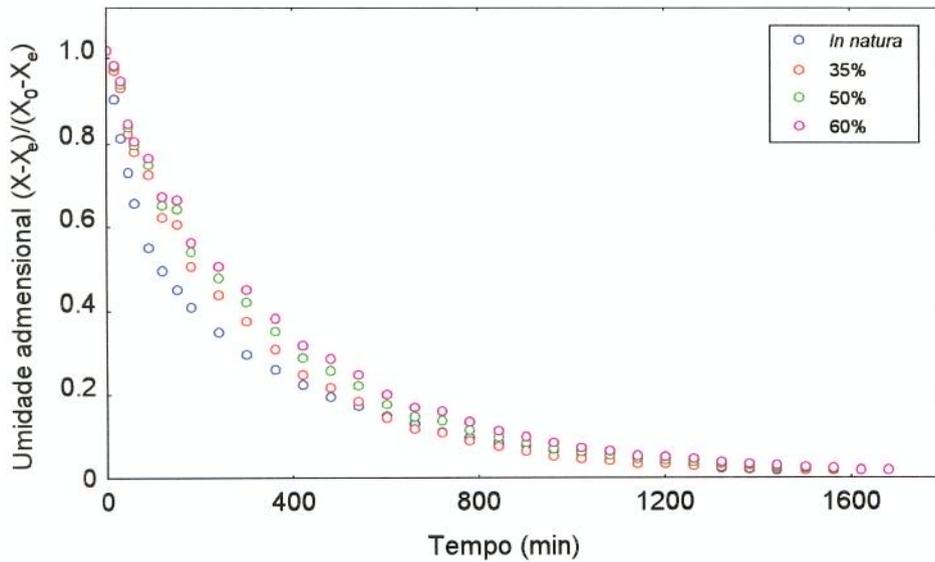


Figura 4.15 – Curvas experimentais de secagem a 40°C de banana “*in natura*” e desidratada osmoticamente a 60°C com diferentes concentrações de sacarose.

FITO (1999), ao estudar a influência da desidratação osmótica a vácuo combinada com microondas e secagem convencional a ar, em pedaços de maçãs, verificou que para todas as amostras submetidas ao pré-tratamento osmótico, o

tempo de secagem foi bem maior do que aquele observado para as amostras “*in natura*”.

Um outro estudo desenvolvido por AZOUBEL (1999) utilizando a desidratação osmótica como pré-tratamento à secagem de tomate cereja também revelou que as difusividades efetivas de algumas amostras desidratadas foram menores do que as encontradas para o produto “*in natura*”.

As Figuras 4.16 e 4.17 mostram as curvas de secagem a 60°C das amostras desidratadas a 25 e 60°C, respectivamente. Nos dois casos apresentados, novamente verifica-se o melhor desempenho do produto “*in natura*” em relação a taxa de secagem. Esta maior taxa de secagem apresentada pela amostra “*in natura*” deve-se ao fato de que a mesma apresenta uma maior quantidade de água livre e muito provavelmente devido as células das amostras desidratadas não terem sido plasmolizadas.

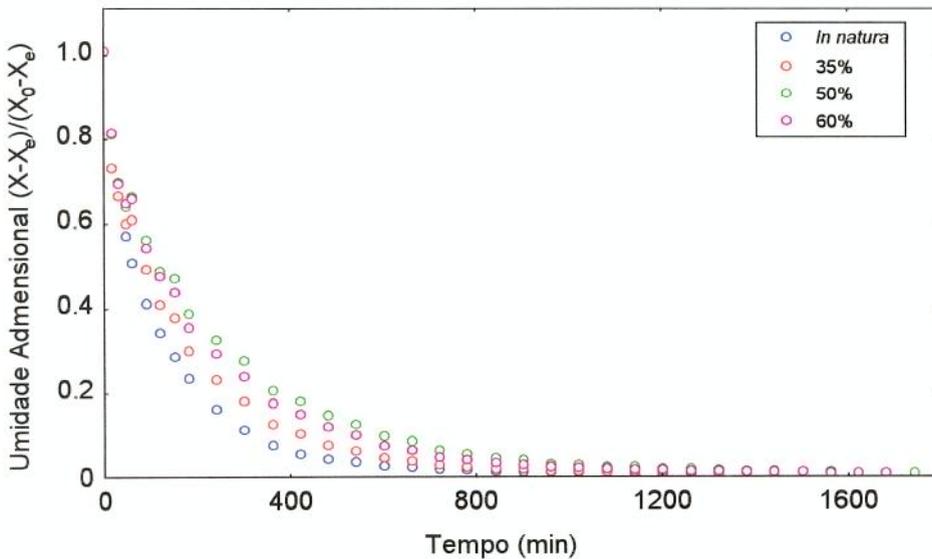


Figura 4.16 – Curvas experimentais de secagem a 60°C de banana “*in natura*” e desidratada osmoticamente a 25°C com diferentes concentrações de sacarose.

COLLIGNAM et al. (1992) compararam as necessidades energéticas dos processos de secagem de maçãs, bananas, mangas e damascos na forma “*in*

natura” e pré-processadas osmoticamente. Foi observado que para um mesmo teor de umidade, os pré-processados secam mais lentamente que os frescos. Os autores atribuíram este comportamento à resistência a saída da água, formada por uma camada de açúcar na superfície da fruta.

Provavelmente o mesmo fenômeno tenha ocorrido com a banana, pois numa observação visual das amostras desidratadas com 50 e 60% de sacarose, verificou-se cristais de açúcar distribuídos sobre a superfície das amostras (Figura 4.30).

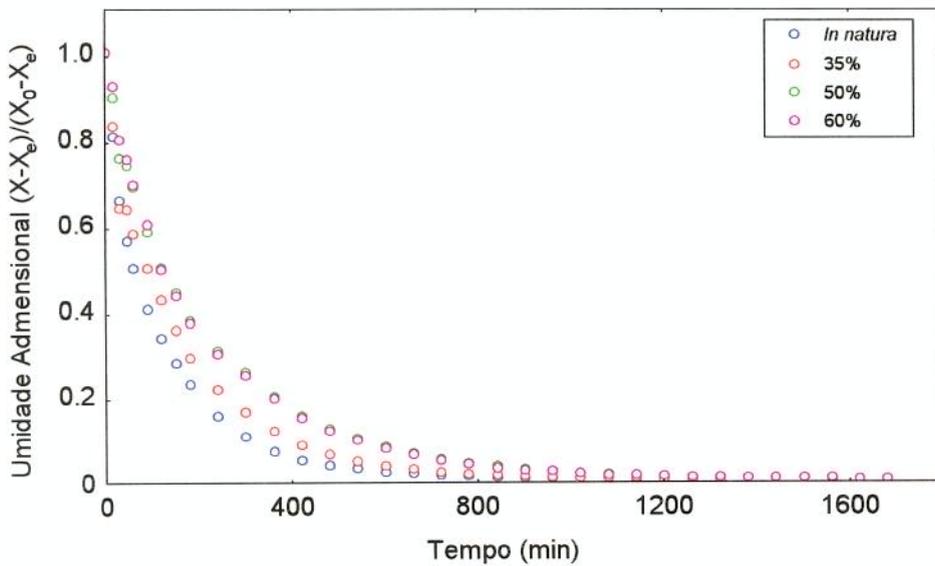


Figura 4.17 – Curvas experimentais de secagem a 60°C de banana “*in natura*” e desidratada osmoticamente a 60°C com diferentes concentrações de sacarose.

Apesar das curvas de secagem mostrarem que as amostras “*in natura*” apresentaram uma maior taxa de secagem, vale ressaltar que as amostras desidratadas osmoticamente tem um menor conteúdo inicial de umidade, o que pode ser visualizado pelas Figuras 4.18, 4.19, 4.20 e 4.21. Considerando um valor final de umidade de 30% em base úmida, verifica-se que para a secagem a 40°C com pré-tratamento a 25°C (Figura 4.18); as amostras “*in natura*” e as pré-tratadas a 35 e 50% chegaram ao valor desejado de umidade, aproximadamente 3 horas antes, do que a amostra pré-tratada a 60%.

Comparando agora o efeito do pré-tratamento osmótico a 60°C, verifica-se que a amostra desidratada com solução de sacarose a 60%, foi quem primeiro alcançou o valor desejado de 30% de umidade, provavelmente por esta amostra ter apresentado uma alta taxa de perda de água durante a etapa osmótica.

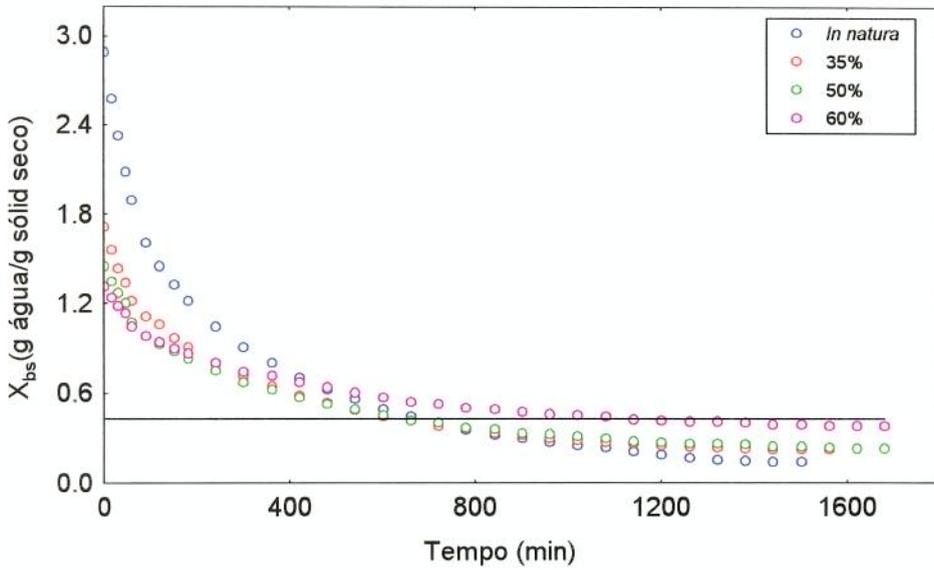


Figura 4.18 – Curvas de umidade das amostras, “*in natura*” e pré-tratadas a 25°C e secas a 40°C.

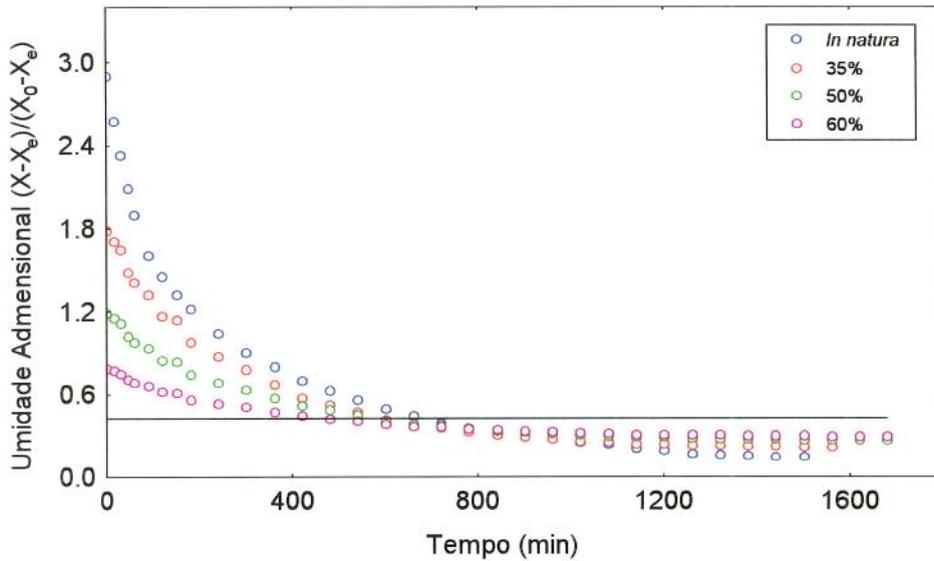


Figura 4.19 – Curvas de umidade das amostras, “*in natura*” e pré-tratadas a 60°C e secas a 40°C.

Analisando as curvas de umidade para a temperatura de secagem de 60°C, observa-se que a amostra "*in natura*" foi quem primeiro alcançou o nível de 30% umidade quando comparada com as amostras desidratadas osmoticamente a 25°C. Para a secagem das amostras pré-tratadas a 60°C; verifica-se que as amostras "*in natura*" e pré-tratada com 60% de solução de sacarose atingiram primeiramente o valor de 30% de umidade.

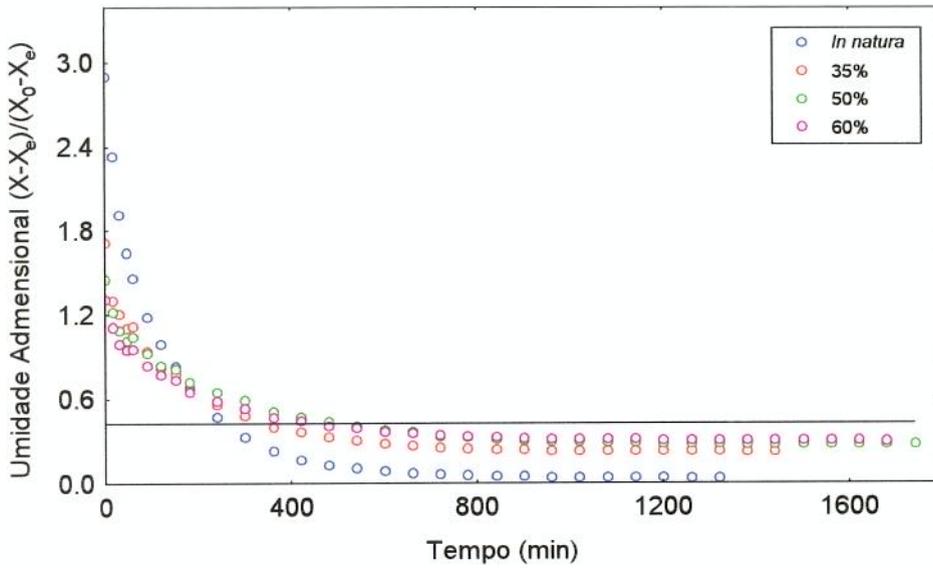


Figura 4.20 – Curvas de umidade das amostras, "*in natura*" e pré-tratadas a 25°C e secas a 60°C.

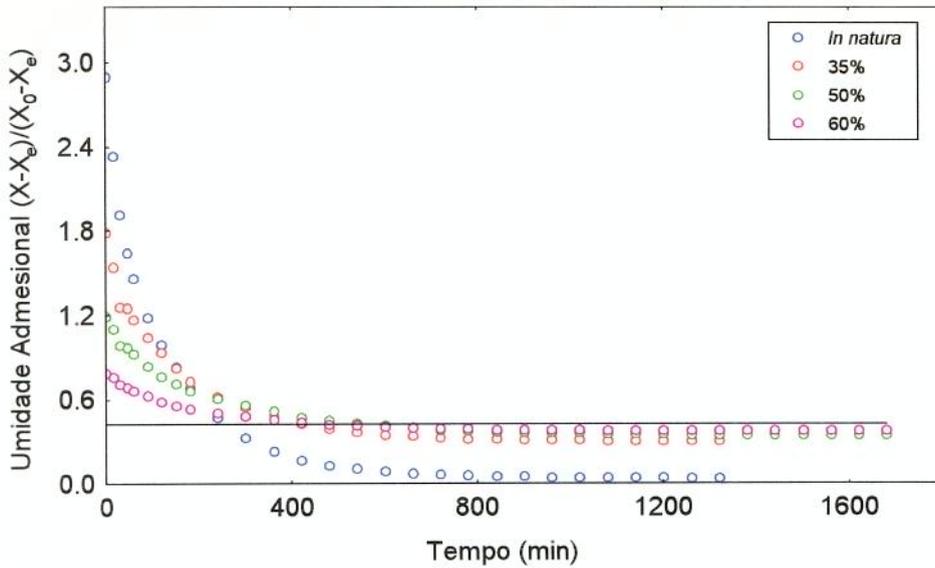


Figura 4.21 – Curvas de umidade das amostras, “*in natura*” e pré-tratadas a 60°C e secas a 60°C.

4.3.1 Ajuste das Curvas de Secagem

Para o ajuste das curvas experimentais de secagem e cálculo da difusividade efetiva da água, foi utilizado o modelo difusional de Fick (Equação 2.4) considerando geometria de placa plana infinita. Os dados experimentais também foram ajustados utilizando-se o modelo de Page (Equação 2.6).

A espessura inicial média das amostras utilizadas na secagem foi de 0,07cm que foi calculada de acordo com a secção 3.2.3. A Tabela 4.5 mostra os valores encontrados para a difusividade da água, para as amostras “*in natura*” secas a 40 e 60°C, bem como os respectivos desvios médios relativos.

- Ajuste do Modelo de Fick

A Tabela 4.5 mostra os valores das difusividades efetivas para as amostras “*in natura*”.

Tabela 4.5 – Valores da difusividade efetiva da água para a banana “*in natura*”, calculada pelo modelo difusional

Temperatura	$D_{ef}(10^9 \text{ m}^2/\text{s})$	R^2	P (%)
40	3,24	0,9926	5,34
60	7,18	0,9951	4,52

De acordo com os valores encontrados para a difusividade do produto “*in natura*” verifica-se que a difusividade da amostra seca na temperatura de 60°C é o dobro da difusividade para a amostra seca a 40°C. Este fato fica evidenciado na Figura 4.22 que mostra as curvas ajustadas das duas amostras. Com relação aos valores encontrados para o coeficiente de determinação e para o desvio médio relativo, ambos apresentaram valores bastante satisfatórios.

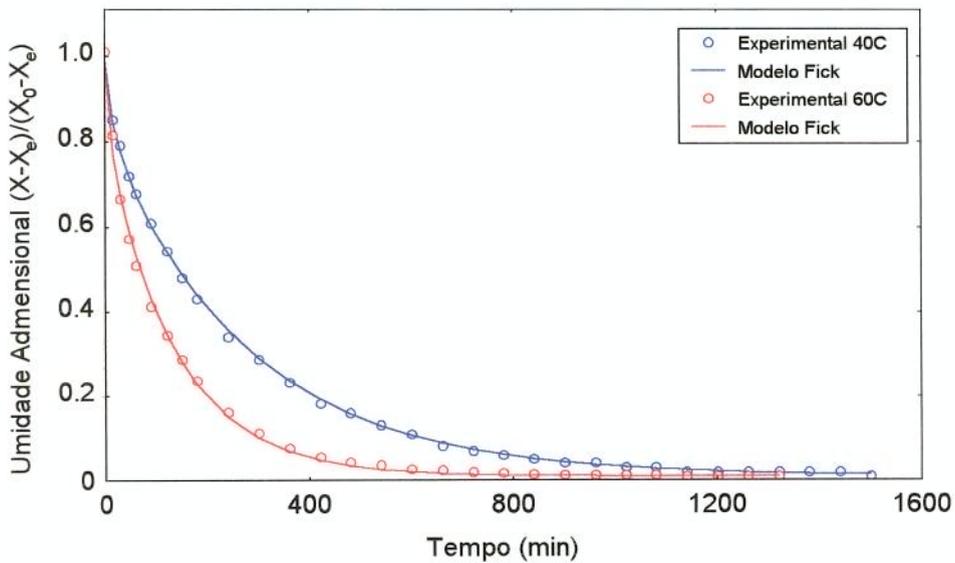


Figura 4.22 – Curvas de secagem da banana “*in natura*” ajustada pelo modelo difusional.

A Tabela 4.6 apresenta os valores encontrados para as difusividades efetivas das amostras desidratadas osmoticamente nas temperaturas de 25 e 60°C e secas a 40°C.

Tabela 4.6 – Valores da difusividade efetiva da banana desidratada osmoticamente a 25°C e 60°C seca a 40°C.

Amostra	D_{ef} (10^9 m ² /s)	R^2	P (%)
25°C35%	2,74	0,9982	2,68
25°C50%	2,43	0,9983	3,31
25°C60%	2,11	0,9976	5,42
60°C35%	2.86	0,9983	3,26
60°C50%	2.49	0,9982	3,15
60°C60%	2,34	0,9989	2,87

Observando-se os valores encontrados para as difusividades efetivas das amostras desidratadas osmoticamente a 25°C verifica-se que a amostra a 35% foi a que apresentou o maior valor fato que pode ser visualizado pela Figura 4.14. O pré-tratamento a 60°C, assim como o tratamento a 25°C favoreceu a amostra pré-tratada a 35%, visto que novamente, o valor encontrado para a difusividade foi maior para esta amostra. Entretanto, todos os valores encontram-se abaixo do valor determinado para a amostra “*in natura*”.

Os maiores valores de difusividade da água encontrados para as amostras pré-tratadas com 35% de sacarose, podem ser devido a esta amostra ter perdido uma menor quantidade de água durante a etapa osmótica, ou seja, a quantidade de água livre presente nesta amostra era maior do que nas amostras desidratadas osmoticamente com 50 e 60% de sacarose.

As Figuras 4.23 e 4.24 mostram os ajustes obtidos através do modelo de Fick para as amostras desidratadas a 25 e 60°C e secas a 40°C.

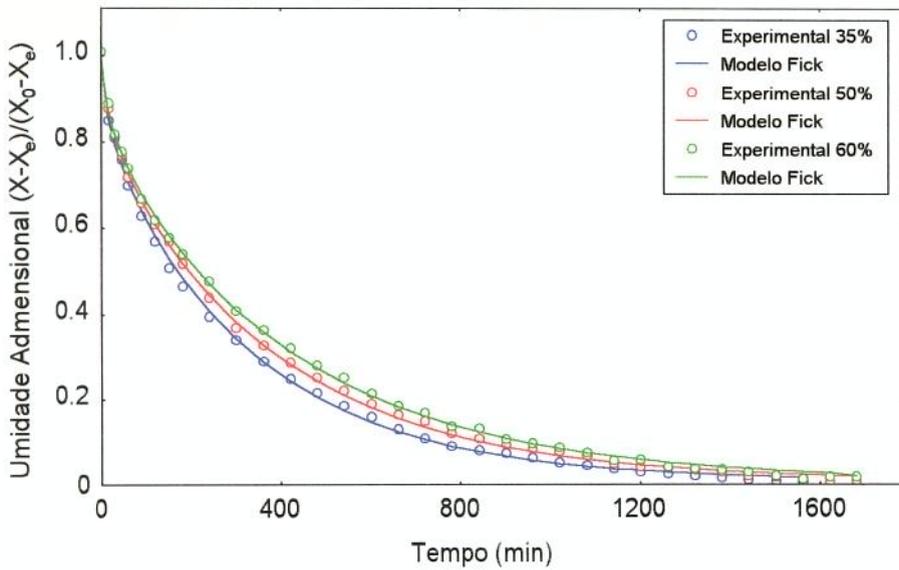


Figura 4.23 – Curvas de secagem da banana, desidratada osmoticamente a 25°C e secas a 40°C, ajustadas pelo modelo de Fick.

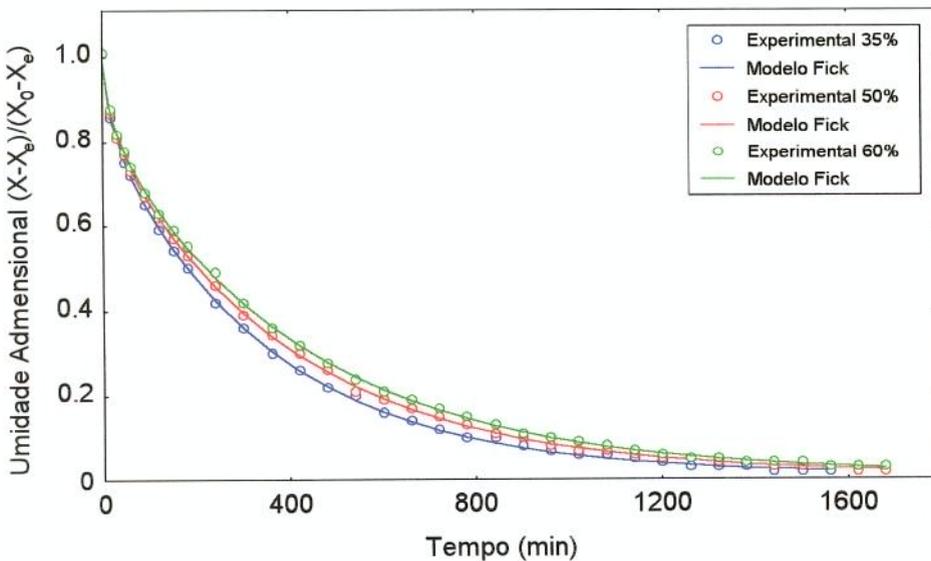


Figura 4.24 – Curvas de secagem da banana, desidratada osmoticamente a 60°C e secas a 40°C, ajustadas pelo modelo de Fick.

A Tabela 4.7 mostra os valores encontrados para a difusividade efetiva da água nas amostras desidratadas osmoticamente 25°C e 60°C e posteriormente secas a 60°C. Observando-se os valores encontrados do desvio médio verifica-se

que o modelo difusional proporcionou um bom ajuste aos dados experimentais. Observa-se ainda que as amostras desidratadas a 60°C apresentaram valores de difusividade efetiva menores que o observados a 25°C. Os ajustes das curvas experimentais pelo modelo difusional são apresentados nas Figuras 4.25 e 4.26.

Tabela 4.7 – Valores da difusividade efetiva da banana desidratada osmoticamente a 25°C e 60°C e seca a 60°C.

Amostra	$D_{ef} (10^9 \text{ m}^2/\text{s})$	R^2	$P (\%)$
25°C35%	5,74	0,9967	4,36
25°C50%	4,09	0,9972	3,94
25°C60%	4,48	0,9974	3,89
60°C35%	5,65	0,9962	4,41
60°C50%	3,87	0,9980	3,09
60°C60%	3,93	0,9965	4,49

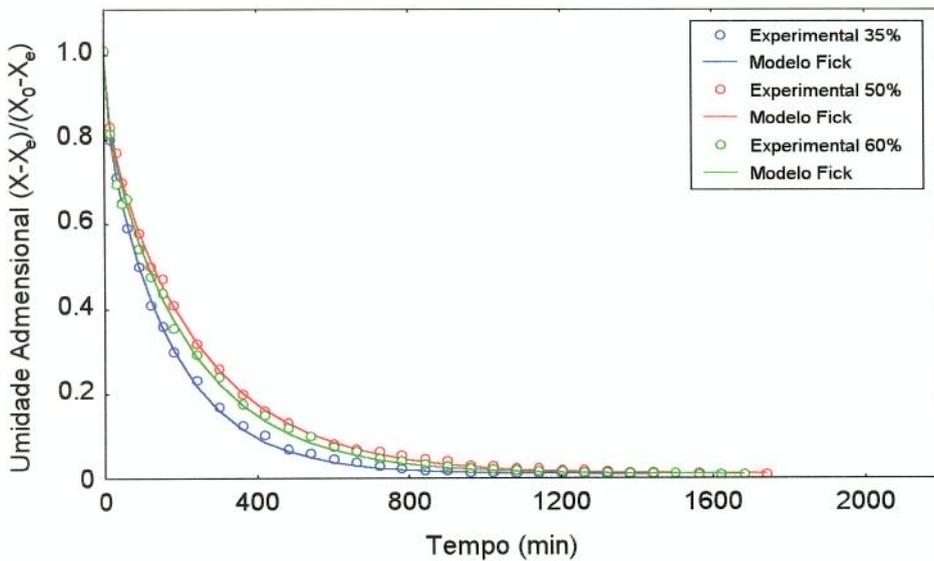


Figura 4.25 – Curva de secagem da banana, desidratada osmoticamente a 25°C e seca a 60°C, ajustada pelo modelo de Fick.

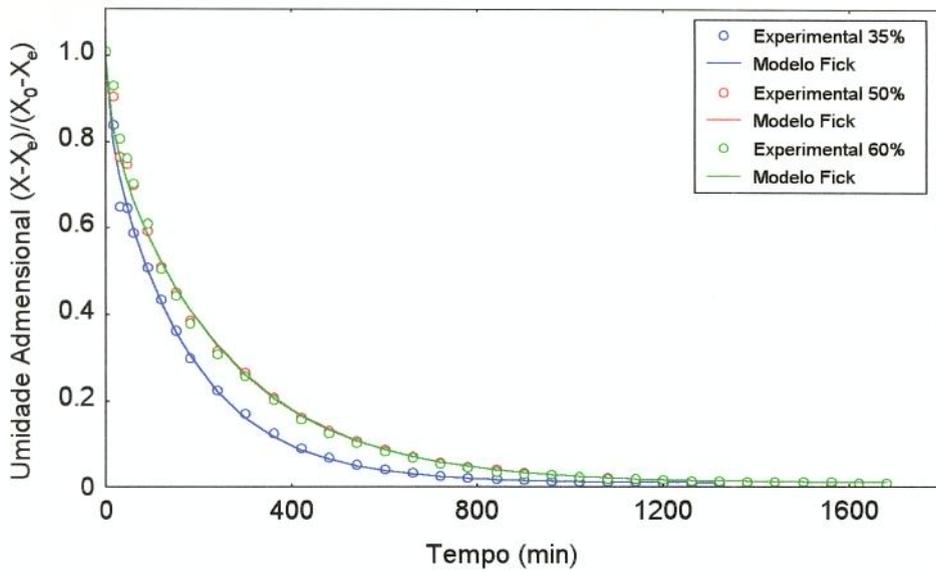


Figura 4.26 – Curva de secagem da banana, desidratada osmoticamente a 60°C e seca a 60°C, ajustada pelo modelo de Fick.

- Ajuste do Modelo de Page

Os parâmetros do ajuste dos dados experimentais ao modelo de Page, para a banana “*in natura*”, estão apresentados na Tabela 4.8. Apesar dos valores dos coeficientes de determinação estarem próximos da unidade, o valor do erro é bastante elevado, indicando que o modelo não representou bem os dados experimentais, fato que pode ser melhor visualizado na Figura 4.27.

Tabela 4.8 – Parâmetros obtidos do modelo de Page

Temperatura	K	b	R^2	P (%)
40°C	0,024335	0,700629	0,9971	20,01
60°C	0,031524	0,749164	0,9991	28,70

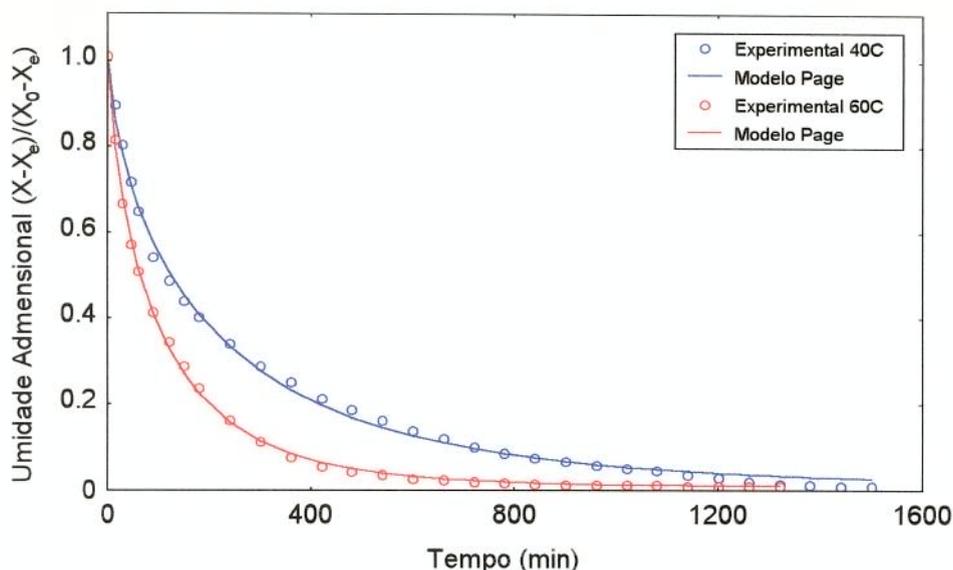


Figura 4.27 - Curva de secagem da banana “*in natura*” ajustada pelo modelo de Page para as temperaturas de 40 e 60°C.

Para as amostras pré-tratadas e posteriormente secas a 40°C o modelo de Page apresentou um ajuste satisfatório, conforme Tabela 4.9, visto que os valores de R^2 estão próximos da unidade e os valores da média do desvio estão dentro da faixa indicada por LOMAURO (1985) que é de 7 - 10%, como aceitável. As Figuras 4.28 e 4.29 mostram os dados experimentais obtidos e os seus respectivos ajustes.

Tabela 4.9 – Parâmetros obtidos do modelo de Page para a banana desidratada osmoticamente a 25 e 60°C e seca a 40°C.

Concentração	K	b	R^2	P (%)
25°C35%	0,016527	0,746149	0,9974	21,87
25°C50%	0,014212	0,754861	0,9965	20,16
25°C60%	0,011256	0,780371	0,9958	20,75
60°C35%	0,005582	0,924670	0,9984	20,25
60°C50%	0,005021	0,923198	0,9981	20,29
60°C60%	0,004619	0,924600	0,9978	19,07

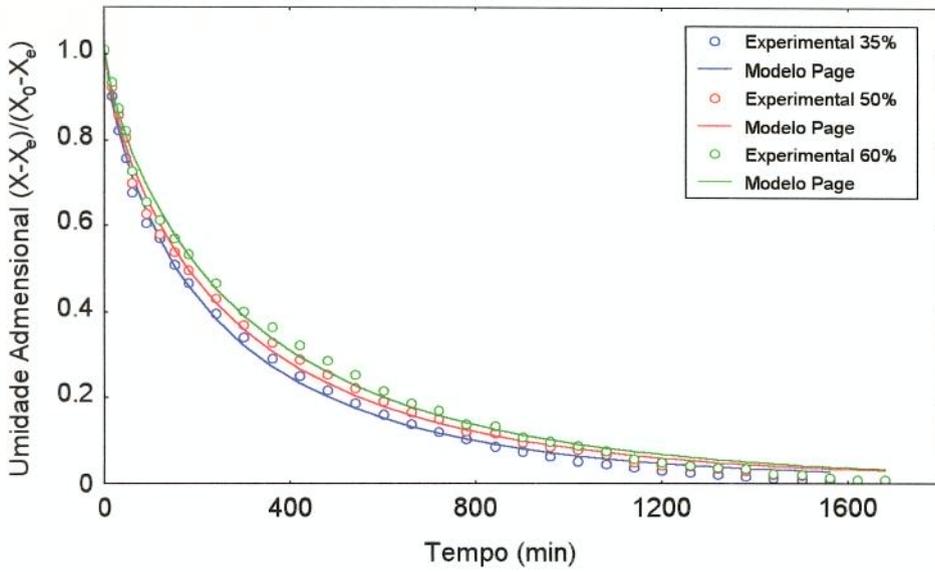


Figura 4.28 – Curva de secagem da banana, desidratada osmoticamente a 25°C e seca a 40°C, ajustada pelo modelo de Page.

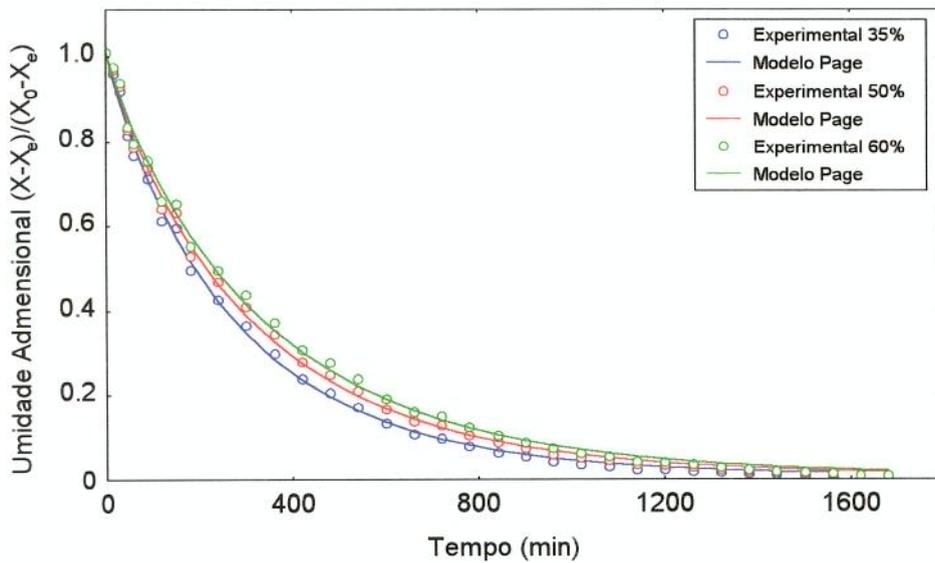


Figura 4.29 – Curva de secagem da banana, desidratada osmoticamente a 60°C e seca a 40°C, ajustada pelo modelo de Page.

Para as amostras secas a 60°C o modelo de Page, não deve ser utilizado pois apesar dos valores do coeficiente de determinação serem satisfatórios, os

valores obtidos para o desvio relativo estão bastante elevados indicando que o modelo não é preditivo, como mostram a Tabela 4.10 e as Figuras 4.30 e 4.31.

Tabela 4.10 – Parâmetros obtidos do modelo de Page para a banana desidratada osmoticamente a 25°C e seca a 60°C

Amostra	k	b	R^2	P (%)
25°C35%	0,034982	0,691700	0,9930	39,18
25°C50%	0,027161	0,695410	0,9939	34,20
25°C60%	0,025436	0,720699	0,9956	34,37
60°C35%	0,026039	0,0747893	0,9955	33,55
60°C50%	0,014136	0,811208	0,9988	25,66
60°C60%	0,011540	0,849082	0,9992	16,99

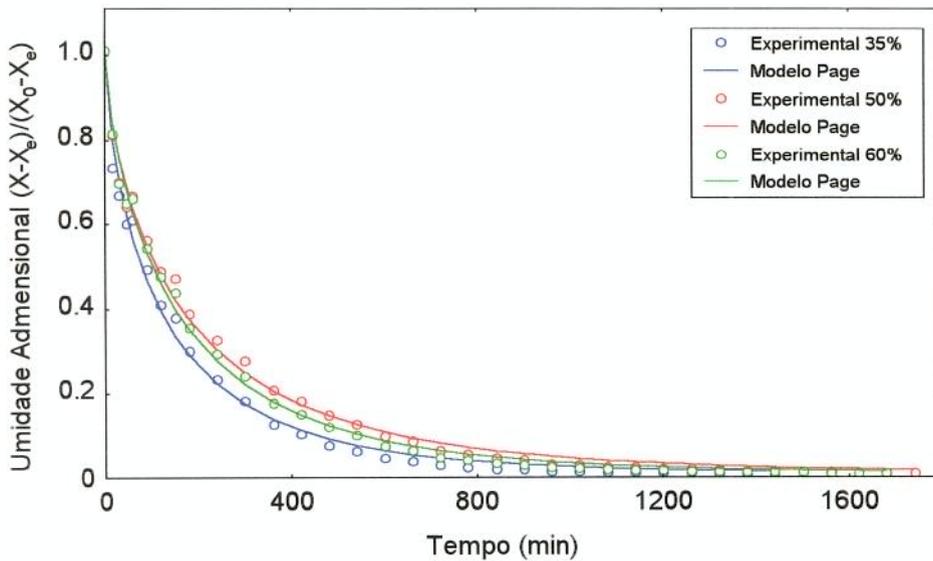


Figura 4.30 – Curva de secagem da banana, desidratada osmoticamente a 25°C e seca a 60°C, ajustada pelo modelo de Page.

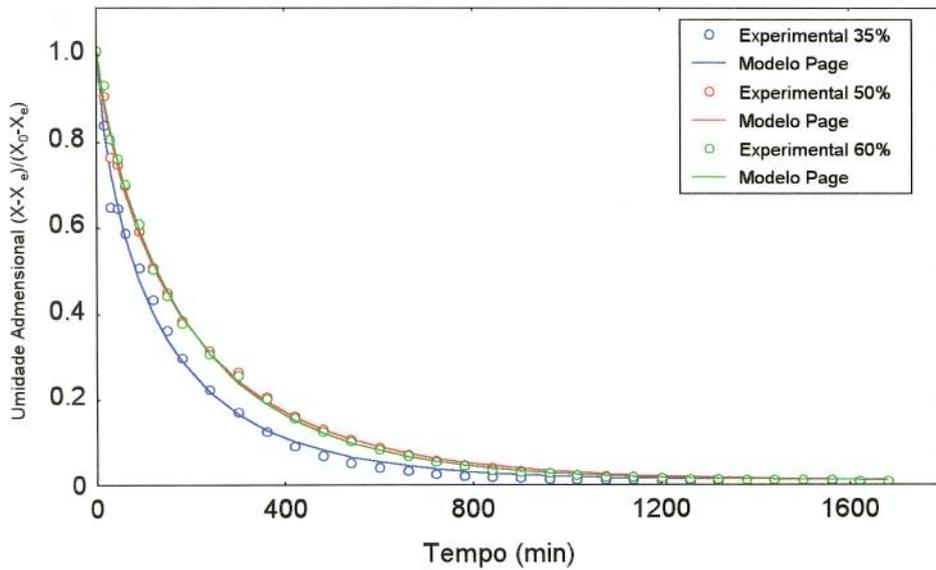


Figura 4.31 – Curva de secagem da banana, desidratada osmoticamente a 60°C e seca a 60°C, ajustada pelo modelo de Page.

4.4 ANÁLISE DO PRODUTO FINAL

4.4.1 Avaliação Visual do Produto Final

As Figuras 4.32, 4.33, 4.34 e 4.35 mostram as amostras pré-tratadas e secas nas diferentes condições de temperatura.

Observando-se a Figura 4.32 fica evidente que as amostras desidratadas apresentam uma coloração bem mais atraente do que a amostra seca “*in natura*”. A amostra desidratada osmoticamente em solução de sacarose a 60%, apresentou uma coloração mais escura em relação às outras duas amostras, o que pode ter ocorrido devido a caramelização do açúcar durante o processo de secagem.

TEMPERATURA DE SECAGEM 40°C

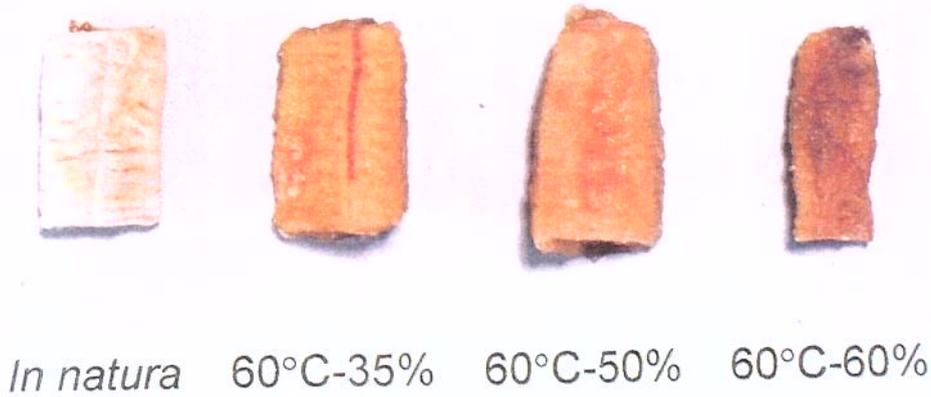


Figura 4.32 – Fatias de banana nanica “*in natura*” e pré-tratadas a 60°C e secas a 40°C.

A Figura 4.33 mostra as fatias de banana “*in natura*” e desidratadas osmoticamente a 25°C em diferentes concentrações de sacarose. Novamente verifica-se na amostra “*in natura*” uma coloração esbranquiçada, que torna a amostra pouco atraente. Observando as amostras pré-tratadas com solução de sacarose a 50 e 60%, verifica-se a formação de áreas esbranquiçadas de açúcar na superfície das mesmas, fato não observado para a amostra pré-tratada com 35% de sacarose, que apresentou uma aparência bastante agradável.

TEMPERATURA DE SECAGEM 60°C

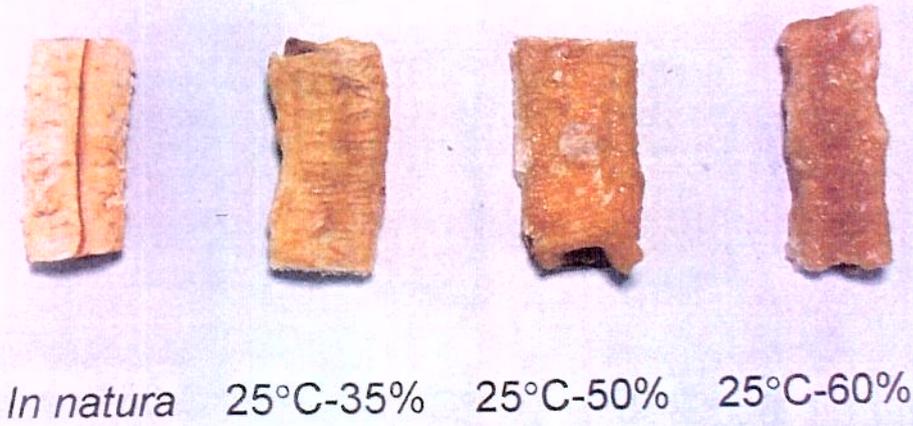


Figura 4.33 – Fatias de banana nanica “*in natura*” e pré-tratadas a 25°C e secas a 60°C.

Comparando-se o efeito da temperatura do pré-tratamento osmótico, Figura 4.34, na aparência do produto seco a 60°C, nota-se que a amostra pré-tratada a 60°C apresentou coloração e brilho bastante agradáveis enquanto que a amostra pré-tratada a 25°C mostrou-se levemente enrugada mas ainda, melhor que a aparência da amostra “*in natura*”.

TEMPERATURA DE SECAGEM 60°C

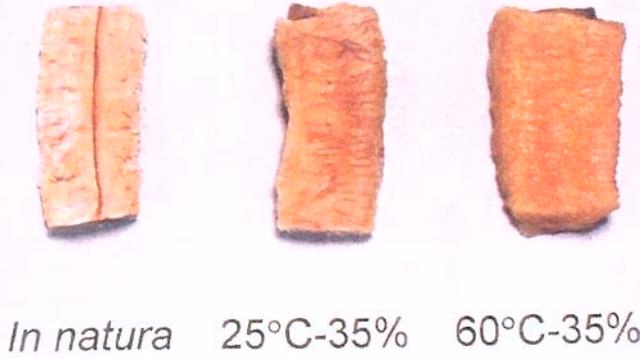


Figura 4.34 – Efeito da temperatura de desidratação osmótica na coloração do produto final.

Comparando-se o efeito da temperatura de secagem na aparência do produto final, Figura 4.35, verifica-se que as amostras são bastante similares com relação a sua coloração, sugerindo que a temperatura de secagem não foi um fator relevante na aparência das amostras desidratadas osmoticamente e secas.

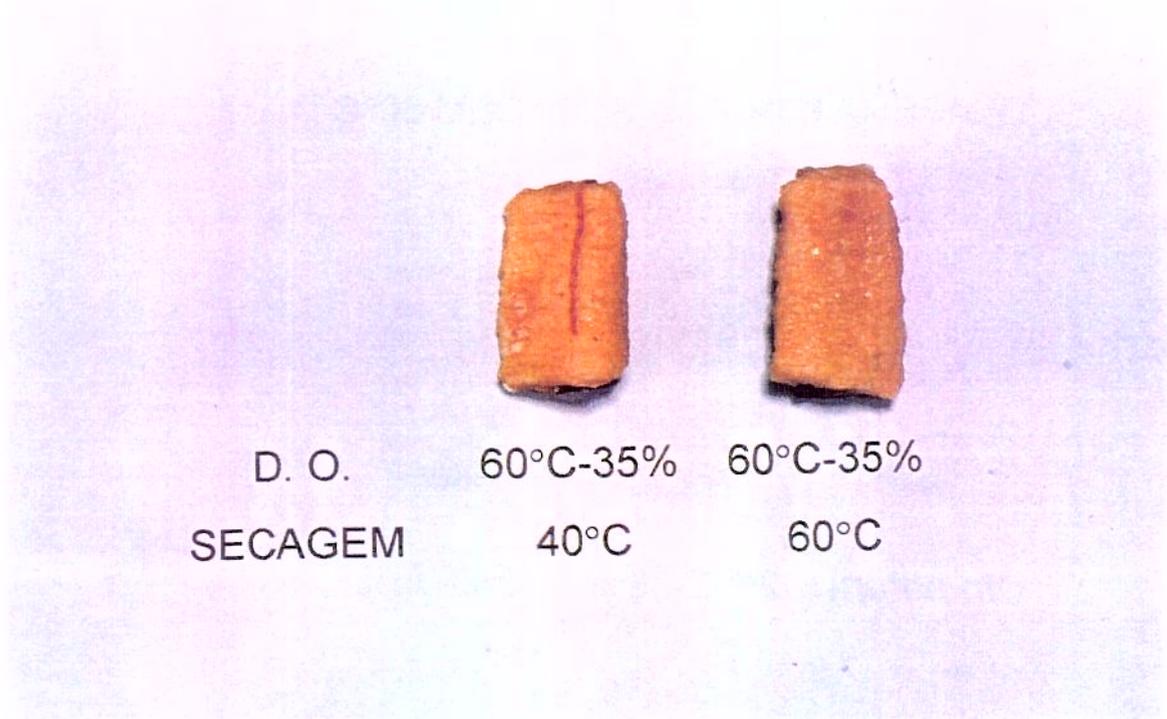


Figura 4.35 – Amostras desidratadas osmoticamente a 60°C com 35% de sacarose e secas na temperatura de 40 e 60°C.

4.4.2 Teor de Ácido Ascórbico

O produto final também foi avaliado através do seu teor de ácido ascórbico. Como era de se esperar a amostra seca 40°C teve uma menor perda no teor de ácido ascórbico. A Tabela 4.11 mostra os valores encontrados para a amostra "in natura" e secas a 40 e 60°C.

Tabela 4.11 – Teor de vitamina C na amostra “*in natura*” e seca nas temperaturas de 40 e 60°C.

Amostra	Teor de ácido ascórbico (mg/100g ms)
<i>In natura</i>	9,32
40°C	5,21
60°C	3,23

Observando os resultados obtidos para o teor de ácido ascórbico nas amostras desidratadas osmoticamente e secas, Tabela 4.12, tem-se que as amostras secas a 40°C apresentaram um menor decréscimo no teor de ácido ascórbico, enquanto que as amostras pré-tratadas e secas a 60°C apresentaram perdas de até 83% em comparação com a amostra “*in natura*”.

Tabela 4.12 – Teor de vitamina C nas amostras desidratadas osmoticamente a 25 e 60°C e secas nas temperaturas de 40 e 60°C.

Amostra	Teor de ácido ascórbico (mg/100g ms)	
	40°C	60°C
25°C35%	4,20	2,45
25°C50%	3,77	2,17
25°C60%	3,97	2,00
60°C35%	3,64	1,86
60°C50%	3,25	1,61
60°C60%	3,08	1,53

5 CONCLUSÕES

No processo de desidratação osmótica ficou evidenciada a influência da temperatura do processo e da concentração da solução desidratante no valor das correntes de perda de água e do ganho de sólidos. A perda de água aumenta com o aumento da temperatura e da concentração da solução. O mesmo comportamento foi observado para o ganho de sólidos.

A equação de Fick apresentou um bom ajuste dos dados experimentais da desidratação osmótica.

Os valores da difusividade aparente da água ficaram na faixa de $0,57 \times 10^{-9}$ a $1,02 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$.

Na cinética de secagem observou-se que o pré-tratamento osmótico provocou uma redução da taxa de secagem nas amostras.

A equação de Fick, utilizando seis termos da série, resultou em um bom ajuste aos dados experimentais da secagem, enquanto que, a equação de Page, apresentou valores do desvio médio relativo elevados não sendo portanto preditiva.

A difusividade efetiva para a banana nanica seca "*in natura*" ficou na faixa de $3,24 \times 10^{-9}$ a $7,18 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ e para as amostras desidratadas osmoticamente ficou na faixa de $2,11 \times 10^{-9}$ a $5,74 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$.

O pré-tratamento osmótico apesar de ter provocado uma elevada diminuição do teor de ácido ascórbico, promoveu uma melhora significativa na aparência das amostras de banana nanica, desidratadas e secas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, E. J., org. A cultura da banana: aspectos técnicos, sócioeconômicos e agroindustriais. Brasília: EMBRAPA – SPI/ Cruz das Palmas. EMBRAPA – CNPMF, 1997. 585p.
- ANDERSON, R. B. Modifications of the BET equation. Journal of American Chemical of Society, v. 68, p.686, 1946.
- ANDRADE, J. S.; CARVALHO, V. D.; CASTRO-GOMES, R.; CAL-VIDAL, J. Cinética de desidratação ambiental de banana-passa (*Musa sp*) em diversas fases de amadurecimento. Revista Brasileira de Tecnologia. v. 11, p. 23-33, 1980.
- A.O.A.C. (Association of Official Analytical Chemists) Official methods of analysis. 14ed., Arlington, 1984.
- ARAUJO, E. A. F.; SANTOS, C. N. P. Contribuição ao aproveitamento tecnológico da banana prata (*Musa balbisiana Colla*): produção de banana chips. In: Resumo Congresso Brasileiro de Química. Natal, 1997.
- AZOUBEL, P. M. Estudo da cinética de desidratação por imersão e secagem d tomate cereja (*Lycopersicon esculentum var. cerasiforme*). Campinas, 1999, 95p. (Dissertação – Mestrado Faculdade de Engenharia de Alimentos, Unicamp).
- AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X. Effect of osmotic dehydration on the drying kinetics of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum var. cerasiforme*). 6th Conference on Food Engineering. p. 471-476, Dallas, 1999.

- 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. v. 27, p. 409-418, 1992.
- BARONI, A., F. Semi-desidratação congelamento e semi-desidratação secagem de cebola (*Allium cepa L.*), Campinas, 1997, 94p. (Dissertação – Mestrado Faculdade de Engenharia de Alimentos, Unicamp).
- BARROS NETO, B. de; SCARMÍNIO, I. S.; BRUNS, R. E. Planejamento e otimização de experimentos. Campinas, Editora da UNICAMP, 1995. 299p.
- BERISTAIN, C. L.; AZUARA, E.; CORTES, R. ; GRCIA, H. S. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings. International Journal of Food science and Technology, n. 25, p.576-582, 1990.
- BLEINROTH, E. W. Matéria-prima. In: Banana – cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos. Campinas: ITAL, 1985. Cap II, p. 133-196. (Série Frutas Tropicais, 3).
- BOER de, J. H. The dynamical character of adsorption. Claredon Press, Oxford, 1953.
- BRUNAUER, S.; EMMET, T. H.; TELLER, F. Adsorption of gases in multimolecular layers. G. Am. Chem. Soc., 60(2):309-319, 1938.
- CASTRO, A. R. de. A bananeira e a sua cultura. Rio de Janeiro: Revista de Petrópolis, 1923. 26p.
- CHEN, C. S. Equilibrium moisture curves for biological materials. Trans ASAE, St Joseph, MI, 14(5):924-26, 1971.

- CHIRIFE, J. Fundamentals of the drying mechanism during air dehydration of foods. In: MUJUNDAR, A. S. (ed.) Advances in drying. New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1981, p. 73-102.
- COLLIGNAM, A.; RAOULT-WACK, A. L.; THEMELIN, A. Energy study of food processing by osmotic dehydration and air drying. Agricultural Engineering Journal. V. 1, n. 3, p. 125-135, 1992.
- CRANK, J. The mathematics of Diffusion. 2 ed., Claredon Press Oxford, 1975, 414p.
- DECKER, J. S. Aspectos biológicos da flora brasileira. Rio Grande do Sul. Rotermund & Co., s.d.
- FAO PRODUCTION YEARBOOK. Rome, 1995. v. 49.
- FILGUEIRAS, O. Banana para todos os gostos. Globo Rural Economia: p.14-17, junho, 1990.
- FITO, P.; MARTIN, E.; MERTINEZ-NAVARRETE, N.; CHIRALT, A. Combined air-microwave drying of fruit as affected by vacuum impregnation treatments. 6th Conference on Food Engineering. p. 465-470, Dallas, 1999.
- FRANCO, G. Tabela de composição química dos alimentos. São Paulo: Atheneu, 1987, 230p. (Série endocrinologia, metabolismo e nutrição).
- FUJIAMA E.Y. Obtenção de isotermas de adsorção de umidade de farinha de banana (*Musa sp*) verde. Belém, 1996, 60p. (Monografia – Especialização em Tecnologia de Alimentos, UFPA).

- GAL, S. Recent developments in techniques for obtaining complete sorption isotherms. In: DUCKWORTH, R. B. (Ed.) Water Relations of Food. London and New York: Applied Science Publisher, 1975.
- GOUVEIA, J. P. G.; MURR, F. E. X. Water sorption isotherms of ginger – mathematical formulation of the temperature dependence. International Symposium on Water Management in the Design and Distribution of Quality Foods. p.188-192, 1998.
- GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. Journal of Research of Standards A. Physics and Chemistry. 81(1): 92-93, 1977.
- GUGGENHEIM, E. A. Applications of statistical mechanics. Claredon Press, Oxford, 1966, 86p..
- HAENDLER, L. Produits de transformation de la banana. Fruits 21 (7) 329-342, 1966.
- HAWKES, J.; FLINK, J. M. Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. Journal of Food Process Engineering, v.2, n. 4, p.265-284, 1978.
- HOUGH, G.; CHIRIFE, J.; MARINI, C. A. Simple model for osmotic dehydration of apples. Lebensmitteln wissenschaft and Technologie, v. 26, n. 2, p.151-156, 1993.
- ISLAM, M. N.; FLINK, J. N. Dehydration of potato II. Osmotic concentration and its effect on air drying behavior. Journal of Food Technology, v. 17, n. 3, p.387-403, 1982.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE.
Levantamento sistemático da produção agrícola, 1999.
- KEEY, R. B. Drying: principles and practice. Oxford, 1972.
- LABUZA, T. P. Sorption phenomena in foods. Food Technology, 22 (3): 263:272, 1968.
- LABUZA, T. P.; TANNEMBAUM, S. R.; KAREL, M. Water content and stability of low – Moisture and Intermediate – Moisture Food Technology, n. 24, p.543, 1972.
- LABUZA, T. P.; KAAANANE, A.; CHEN, J. Y. Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. Journal of Food Science, v. 50, 385-391, 1985.
- LEWIS, W. K. The rate of drying of solids materials. the Journal of Industrial and Eng. Chem., 13 (5): 427-432, 1921.
- LENART, A.; LEWICKI, P. P. Osmotic dehydration of apples at high temperature. In: Drying 89, ed. A. S. Mujumdar, Hemisphere Publishing Corporation, New York, 501-508, 1990.
- LENART, A. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application. Drying Technology, v. 14, n. 2, p. 391-413, 1996.
- LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Par I: Fruit, vegetable and meat products. Lebensmittel-wissenschaft and technologies, v. 18, p. 112-22, 1985.

- LUCCAS, V. Obtenção de fatias de banana desidratada crocantes através da pré-secagem a altas temperaturas e curto tempo em leite fluidizado. Campinas, 1996, 94p. (Dissertação – Mestrado Faculdade de Engenharia Química, Unicamp).
- LUIKOV, A. V. Heat and mass transfer in capillary-porous bodies. Pergamon Oxford. 1966. 392p.
- MAURO, M. A. Cinética da desidratação osmótica de banana nanica. Campinas, 1992, 184p. (Dissertação – Mestrado Faculdade de Engenharia de Alimentos, Unicamp).
- MEDINA, J. C. Cultura. In: Banana – cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos. Campinas: ITAL, 1985. Cap. I, p. 1-132. (Série Frutas Tropicais, 3).
- MOREIRA, R. S. Banana: teoria e prática de cultivo. Fundação Cargill, 1987. 334p.
- MOWLAH, G.; TAKANO, K.; KAMOL, I.; OBARA, T. Water transport mechanism and some aspects of quality changes during air dehydration of bananas. Lebensm-Wiss. U-Technol. 16(2) 103-107, 1983.
- NOGUEIRA, R. I. Processo de secagem de banana (*Musa acuminiata subgrupo Cavendish cultivar Nanica*). Campinas, 1991, 153p. (Dissertação – Mestrado Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp).
- PINTO, L. A. A. Cinética da secagem de filés de peixes: uso de um modelo difusivo com variação de volume. São Carlos, 1996, 154p. (Tese – Doutorado Universidade Federal de São Carlos).

- PONTING, J. D.; WATTERS, R. R.; FORREY, R.; JACKSON, R.; STANLEY, W. L. Osmotic dehydration of fruit. Food Technology, v. 20 n. 10, p.1363-1368, 1966.
- PONTING, J. D. Osmotic dehydration of fruit – recent modification and applications. Process Biochemistry, v. 8, n. 12, p.18-20, 1973.
- POKHARKAR, S. M.; PRASAD, S.; DAS, H. A model for osmotic concentration of banana slices. Journal Food Science Technology. v. 34(3) 230-232, 1997.
- QUEIROZ, M. R. Estudo teórico-experimental da cinética de secagem de bananas. Campinas, 1994, 119p. (Dissertação – Mestrado Faculdade de Engenharia Mecânica, Unicamp).
- 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.; RIOS, G.; SAUREL, R.; GIROUX, F.; GUILBERT, S. Modeling of dewatering and impregnation soaking process (osmotic dehydration). Food Research International. v. 27, p. 209-209, 1994.
- RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S.; NIRANJAM, K. Massa transfer during osmotic dehydration of banana: Fickian diffusion in cylindrical configuration. Journal of Food Engineering. v. 31, p. 423-432, 1997.
- RIVA , M.; MASI, P. Osmodehydration of grapes, In: SPIESS, W. E. L.; SCHUBERT, H. ed. Engineering na Food. v. 1. Elsevier Appl. Sci. P. 711-721, 1990.

- SANJINEZ, E. J. A. Desidratação de goiaba por imersão e secagem. Campinas, 1999, 102p. (Dissertação – Mestrado Faculdade de Engenharia de alimentos, Unicamp).
- SANKAT, C. K.; FRANCOIS, C.; MAHARAJ, R. The air drying behaviour of fresh and osmotically dehydrated banana slices. International Journal of Food Science and Technology, v. 31, p. 123-135, 1996.
- SGARBIERI, V. C.; FIGUEIREDO, J. B. Transformações bioquímicas da banana nanica. Coletânea do ITAL, 1:299 – 322, 1965/66.
- SHI, X. Q.; FITO, P.; CHIRALT, A. Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic dehydration of fruits. Food Research International. v. 28, n. 5, p. 445-454, 1995.
- TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. Food Research International, v.26, n.1, p.59-68, 1993.
- TRAVAGLINI, D. A.; NETO, M. P.; BLEINROTH, E. W. LEITÃO, M. F. F. Banana-passa: princípios, de secagem, conservação e produção industrial. Campinas: ITAL, 73p., 1993. (Manual técnico, 12).
- TREYBAL, R. E. Drying In: Mass Transfer Operations. New York, McGraw-Hill, 1968. P. 569-575.
- VAN ARSDEL, W. B. Drying phenomena. In: VAN ARSDEL, W. B.; COPLEY, M. J.; MORGAN Jr., A.I. ed. Food dehydration. 2. ed., Westport., AVI publishing Co., 1973, v. 1, cap. 3, p. 22-57.

WALISZEWSKI, K., N.; TEXON, N. I.; SALGADO, M. A., GARCIA, M. A. Mass transfer in banana chips during osmotic dehydration. Drying technology. v. 15, n. 10, p. 2597-2607, 1997.

APÊNDICE A

Tabela A1 – Valores de perda de água para as temperaturas de 25°C utilizando diferentes concentrações de sacarose.

Tempo	WL (%)		
	35%	50%	60%
30	9,98	11,23	9,04
45	12,10	14,75	14,92
60	14,44	17,14	16,96
75	14,36	17,38	19,27
105	14,32	18,69	21,82
120	15,02	20,31	23,73
150	13,33	23,32	24,76
180	14,43	22,46	24,20
210	16,60	23,26	24,50
240	17,65	27,11	25,66
1440	27,12	34,52	35,75
2880	27,15	34,54	35,73

Tabela A2 – Valores de perda de água para as temperaturas de 60°C utilizando diferentes concentrações de sacarose.

Tempo	WL (%)		
	35%	50%	60%
30	9,45	14,09	18,07
45	10,97	20,32	24,05
60	12,41	23,75	27,68
75	12,14	24,96	35,41
90	12,51	25,53	36,63
105	12,04	25,12	37,30
120	13,69	26,99	40,57
150	15,43	28,59	46,45
180	16,21	36,98	48,20
1440	29,67	47,54	57,61
2880	29,66	47,57	57,63

Tabela A3 – Valores da difusividade da água calculados a partir do valor de S_f encontrado, para as amostras desidratadas a 25°C.

Tempo	D x 10 ⁹ (m ² /s)		
	35%	50%	60%
30	0.71	0.77	0.88
45	0.79	0.86	0.96
60	0.82	0.88	0.97
75	0.82	0.87	0.96
105	0.78	0.83	0.89
120	0.76	0.79	0.85
150	0.70	0.73	0.77
180	0.65	0.67	0.71
210	0.61	0.62	0.65
240	0.56	0.58	0.60

Tabela A4 – Valores da difusividade da água calculados a partir do valor de S_f encontrado para a temperatura de 60°C.

Tempo	D x 10 ⁹ (m ² /s)		
	35%	50%	60%
30	1.14	1.36	1.49
45	1.19	1.38	1.49
60	1.17	1.33	1.42
75	1.12	1.26	1.33
90	1.07	1.18	1.24
105	1.01	1.11	1.16
120	0.96	1.04	1.08
150	0.86	9.21	0.95
180	0.77	8.24	0.85

Tabela A5 – Valores da difusividade do sólido calculados a partir do valor de S_2 encontrado, para as amostras desidratadas a 25°C.

Tempo	$D \times 10^9 \text{ (m}^2/\text{s)}$		
	35%	50%	60%
30	7,82	10,24	12,60
45	8,67	10,91	12,98
60	8,90	10,86	12,62
75	8,82	10,53	12,00
105	8,31	9,60	10,66
120	8,00	9,13	10,04
150	7,37	8,25	8,95
180	6,79	7,49	8,04
210	6,27	6,84	7,28
240	5,81	6,29	6,65

Tabela A6 – Valores da difusividade do sólido calculados a partir do valor de S_2 encontrado para a temperatura de 60°C.

Tempo	$D \times 10^9 \text{ (m}^2/\text{s)}$		
	35%	50%	60%
30	12,98	19,29	20,45
45	13,30	18,35	19,92
60	12,88	16,88	17,55
75	12,22	15,44	15,96
90	11,51	14,14	14,55
105	10,82	13,00	13,34
120	10,17	12,01	12,29
150	9,04	10,39	10,59
180	8,11	9,14	9,29

Tabela A7 – Dados experimentais das corridas de secagem da banana “*in natura*” para as temperaturas de 40 e 60°C.

Tempo	40°C		60°C	
	Xbs	AD	Xbs	AD
0	2.8941	1.0000	2.8941	1.0000
15	2.5766	0.8845	2.3344	0.8039
30	2.3258	0.7933	1.9122	0.6560
45	2.0888	0.7071	1.6422	0.5614
60	1.8953	0.6368	1.4613	0.4980
90	1.6062	0.5316	1.1847	0.4011
120	1.4506	0.4751	0.9920	0.3336
150	1.3234	0.4288	0.8305	0.2770
180	1.2162	0.3898	0.6826	0.2251
240	1.0453	0.3277	0.4726	0.1515
300	0.9045	0.2764	0.3279	0.1008
360	0.8056	0.2405	0.2314	0.0670
420	0.7016	0.2026	0.1666	0.0443
480	0.6280	0.1759	0.1312	0.0319
540	0.5607	0.1514	0.1110	0.0248
600	0.4950	0.1275	0.0858	0.0160
660	0.4450	0.1093	0.0761	0.0126
720	0.3935	0.0906	0.0664	0.0092
780	0.3557	0.0768	0.0599	0.0069
840	0.3199	0.0639	0.0539	0.0048
900	0.3015	0.0572	0.0484	0.0029
960	0.2763	0.0480	0.0447	0.0016
1020	0.2553	0.0403	0.0439	0.0013
1080	0.2385	0.0342	0.0427	0.0009
1140	0.2143	0.0254	0.0419	0.0006
1200	0.1948	0.0184	0.0413	0.0004
1260	0.1712	0.0097	0.0406	0.0002
1320	0.1580	0.0050	0.0401	0.0000
1380	0.1501	0.0021	---	---
1440	0.1449	0.0002	---	---
1500	0.1444	0.0000	---	---

AD – Umidade adimensional

Tabela A8 – Dados experimentais das corridas de secagem a 40°C da banana desidratada osmoticamente na temperatura de 25°C.

Tempo	35%		50%		60%	
	Xbs	AD	Xbs	AD	Xbs	AD
0	1.7144	1.0000	1.4522	1.0000	1.3084	1.0000
15	1.5563	0.8938	1.3466	0.9133	1.2394	0.9255
30	1.4357	0.8128	1.2697	0.8502	1.1837	0.8654
45	1.3381	0.7473	1.2039	0.7961	1.1340	0.8118
60	1.2174	0.6663	1.0728	0.6885	1.0468	0.7177
90	1.1105	0.5944	0.9843	0.6158	0.9795	0.6450
120	1.0575	0.5589	0.9285	0.5700	0.9409	0.6033
150	0.9693	0.4996	0.8777	0.5283	0.8991	0.5582
180	0.9055	0.4568	0.8289	0.4882	0.8662	0.5227
240	0.7982	0.3848	0.7483	0.4221	0.8051	0.4568
300	0.7175	0.3306	0.6711	0.3587	0.7443	0.3912
360	0.6441	0.2813	0.6236	0.3197	0.7113	0.3556
420	0.5836	0.2406	0.5728	0.2780	0.6707	0.3118
480	0.5342	0.2075	0.5294	0.2423	0.6375	0.2759
540	0.4860	0.1751	0.4933	0.2127	0.6063	0.2422
600	0.4496	0.1507	0.4535	0.1800	0.5719	0.2051
660	0.4157	0.1279	0.4224	0.1545	0.5446	0.1757
720	0.3873	0.1088	0.4051	0.1402	0.5298	0.1597
780	0.3624	0.0921	0.3713	0.1125	0.5006	0.1281
840	0.3398	0.0769	0.3650	0.1073	0.4952	0.1223
900	0.3214	0.0646	0.3376	0.0848	0.4716	0.0969
960	0.3045	0.0532	0.3279	0.0768	0.4631	0.0877
1020	0.2897	0.0433	0.3168	0.0678	0.4534	0.0773
1080	0.2782	0.0356	0.3055	0.0585	0.4435	0.0665
1140	0.2656	0.0271	0.2844	0.0412	0.4253	0.0469
1200	0.2566	0.0210	0.2757	0.0340	0.4179	0.0389
1260	0.2483	0.0155	0.2707	0.0299	0.4134	0.0340
1320	0.2418	0.0111	0.2657	0.0258	0.4088	0.0291
1380	0.2349	0.0065	0.2607	0.0217	0.4049	0.0248
1440	0.2299	0.0031	0.2483	0.0115	0.3941	0.0132
1500	0.2256	0.0002	0.2460	0.0096	0.3921	0.0110
1560	0.2252	0.0000	0.2396	0.0044	0.3867	0.0052
1620	---	---	0.2346	0.0003	0.3821	0.0003
1680	---	---	0.2343	0.0000	0.3820	0.0000

AD – umidade adimensional

Tabela A9 – Dados experimentais das corridas de secagem a 40°C da banana desidratada osmoticamente na temperatura de 60°C.

Tempo	35%		50%		60%	
	Xbs	AD	Xbs	AD	Xbs	AD
0	1.7886	1.0000	1.1863	1.0000	0.7912	1.0000
15	1.7107	0.9503	1.1502	0.9607	0.7733	0.9641
30	1.6473	0.9099	1.1135	0.9207	0.7552	0.9277
45	1.4819	0.8043	1.0197	0.8185	0.7052	0.8272
60	1.4089	0.7578	0.9803	0.7756	0.6850	0.7864
90	1.3231	0.7031	0.9367	0.7281	0.6640	0.7442
120	1.1658	0.6027	0.8483	0.6318	0.6172	0.6500
150	1.1384	0.5852	0.8380	0.6207	0.6138	0.6432
180	0.9804	0.4844	0.7454	0.5198	0.5636	0.5422
240	0.8755	0.4175	0.6892	0.4586	0.5356	0.4859
300	0.7776	0.3551	0.6350	0.3996	0.5073	0.4291
360	0.6730	0.2883	0.5731	0.3321	0.4738	0.3617
420	0.5794	0.2286	0.5157	0.2696	0.4419	0.2976
480	0.5281	0.1959	0.4856	0.2368	0.4260	0.2655
540	0.4751	0.1621	0.4525	0.2008	0.4072	0.2277
600	0.4142	0.1233	0.4119	0.1566	0.3835	0.1801
660	0.3744	0.0978	0.3848	0.1271	0.3679	0.1485
720	0.3598	0.0885	0.3767	0.1182	0.3635	0.1398
780	0.3295	0.0692	0.3551	0.0947	0.3505	0.1136
840	0.3068	0.0547	0.3394	0.0776	0.3408	0.0942
900	0.2904	0.0443	0.3274	0.0645	0.3333	0.0791
960	0.2740	0.0338	0.3145	0.0504	0.3254	0.0631
1020	0.2630	0.0268	0.3063	0.0416	0.3203	0.0529
1080	0.2552	0.0218	0.3003	0.0350	0.3165	0.0451
1140	0.2441	0.0148	0.2910	0.0249	0.3102	0.0325
1200	0.2424	0.0136	0.2901	0.0239	0.3097	0.0316
1260	0.2359	0.0095	0.2853	0.0187	0.3066	0.0252
1320	0.2313	0.0066	0.2811	0.0141	0.3037	0.0194
1380	0.2274	0.0041	0.2775	0.0102	0.3013	0.0146
1440	0.2238	0.0018	0.2745	0.0069	0.2991	0.0102
1500	0.2214	0.0002	0.2718	0.0039	0.2971	0.0063
1560	0.2210	0.0000	0.2697	0.0016	0.2957	0.0034
1620	---	---	0.2685	0.0003	0.2943	0.0005
1680	---	---	0.2682	0.0000	0.2940	0.0000

AD – umidade adimensional

Tabela A10 – Dados experimentais das corridas de secagem a 60°C da banana desidratada osmoticamente na temperatura de 25°C.

Tempo	35%		50%		60%	
	Xbs	AD	Xbs	AD	Xbs	AD
0	1.7137	1.0000	1.4522	1.0000	1.3084	1.0000
15	1.3017	0.7224	1.2186	0.8017	1.1119	0.8045
30	1.2062	0.6581	1.0847	0.6880	0.9925	0.6858
45	1.1051	0.5900	1.0169	0.6305	0.9455	0.6391
60	1.1195	0.5997	1.0465	0.6556	0.9572	0.6508
90	0.9450	0.4821	0.9236	0.5512	0.8394	0.5336
120	0.8240	0.4006	0.8382	0.4787	0.7724	0.4670
150	0.7779	0.3695	0.8183	0.4619	0.7343	0.4291
180	0.6584	0.2890	0.7190	0.3776	0.6505	0.3458
240	0.5595	0.2224	0.6481	0.3174	0.5867	0.2823
300	0.4821	0.1702	0.5876	0.2660	0.5336	0.2296
360	0.4020	0.1163	0.5079	0.1983	0.4698	0.1661
420	0.3659	0.0919	0.4770	0.1721	0.4438	0.1402
480	0.3294	0.0673	0.4360	0.1373	0.4120	0.1086
540	0.3069	0.0522	0.4111	0.1161	0.3927	0.0894
600	0.2825	0.0358	0.3771	0.0872	0.3682	0.0650
660	0.2718	0.0286	0.3632	0.0755	0.3581	0.0549
720	0.2563	0.0181	0.3370	0.0533	0.3406	0.0376
780	0.2504	0.0142	0.3276	0.0452	0.3342	0.0313
840	0.2445	0.0102	0.3159	0.0353	0.3266	0.0237
900	0.2412	0.0080	0.3096	0.0300	0.3225	0.0196
960	0.2368	0.0050	0.2995	0.0214	0.3165	0.0136
1020	0.2353	0.0040	0.2964	0.0187	0.3142	0.0114
1080	0.2331	0.0025	0.2910	0.0142	0.3114	0.0085
1140	0.2327	0.0022	0.2894	0.0128	0.3104	0.0076
1200	0.2316	0.0015	0.2863	0.0102	0.3088	0.0060
1260	0.2309	0.0010	0.2841	0.0083	0.3072	0.0044
1320	0.2301	0.0005	0.2816	0.0062	0.3063	0.0035
1380	0.2298	0.0002	0.2803	0.0051	0.3053	0.0025
1440	0.2294	0.0000	0.2784	0.0035	0.3047	0.0019
1500	---	---	0.2768	0.0021	0.3038	0.0009
1560	---	---	0.2759	0.0013	0.3034	0.0006
1620	---	---	0.2749	0.0005	0.3031	0.0002
1680	---	---	0.2746	0.0003	0.3030	0.0000
1740	---	---	0.2743	0.0000	---	---

AD – umidade adimensional

Tabela A11 – Dados experimentais das corridas de secagem a 60°C da banana desidratada osmoticamente na temperatura de 60°C.

Tempo	35%		50%		60%	
	Xbs	AD	Xbs	AD	Xbs	AD
0	1.7886	1.0000	1.1863	1.0000	0.7912	1.0000
15	1.5363	0.8297	1.0990	0.8957	0.7591	0.9225
30	1.2519	0.6377	0.9819	0.7558	0.7077	0.7980
45	1.2476	0.6348	0.9672	0.7381	0.6885	0.7517
60	1.1640	0.5784	0.9251	0.6879	0.6638	0.6919
90	1.0448	0.4979	0.8379	0.5837	0.6258	0.5998
120	0.9342	0.4232	0.7680	0.5002	0.5824	0.4948
150	0.8273	0.3511	0.7173	0.4396	0.5569	0.4332
180	0.7325	0.2871	0.6640	0.3758	0.5307	0.3697
240	0.6230	0.2132	0.6046	0.3048	0.5012	0.2984
300	0.5468	0.1617	0.5617	0.2536	0.4798	0.2465
360	0.4783	0.1155	0.5150	0.1978	0.4571	0.1916
420	0.4276	0.0812	0.4770	0.1524	0.4387	0.1470
480	0.3951	0.0593	0.4515	0.1219	0.4263	0.1171
540	0.3707	0.0428	0.4301	0.0963	0.4160	0.0921
600	0.3541	0.0316	0.4147	0.0779	0.4084	0.0738
660	0.3417	0.0232	0.4014	0.0620	0.4024	0.0592
720	0.3308	0.0159	0.3889	0.0471	0.3963	0.0445
780	0.3243	0.0115	0.3808	0.0374	0.3925	0.0354
840	0.3196	0.0084	0.3747	0.0301	0.3887	0.0262
900	0.3158	0.0057	0.3686	0.0229	0.3862	0.0201
960	0.3134	0.0042	0.3646	0.0180	0.3855	0.0183
1020	0.3115	0.0029	0.3614	0.0142	0.3837	0.0140
1080	0.3099	0.0018	0.3585	0.0107	0.3819	0.0098
1140	0.3092	0.0013	0.3565	0.0083	0.3814	0.0085
1200	0.3084	0.0008	0.3550	0.0066	0.3804	0.0061
1260	0.3076	0.0003	0.3536	0.0048	0.3802	0.0055
1320	0.3072	0.0000	0.3524	0.0035	0.3794	0.0037
1380	---	---	0.3515	0.0024	0.3792	0.0031
1440	---	---	0.3509	0.0017	0.3789	0.0024
1500	---	---	0.3504	0.0010	0.3787	0.0018
1560	---	---	0.3501	0.0007	0.3784	0.0012
1620	---	---	0.3498	0.0003	0.3782	0.0006
1680	---	---	0.3495	0.0000	0.3780	0.0000

AD – unidade adimensional