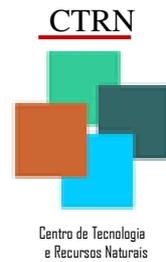




UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA AGRÍCOLA



DISSERTAÇÃO

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:

Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas

DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COM SECAGEM COMPLEMENTAR
DE BANANA PACOVAN

RENATA DUARTE ALMEIDA

Campina Grande – Paraíba

Dezembro/2013

RENATA DUARTE ALMEIDA

***DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COM SECAGEM COMPLEMENTAR
DE BANANA PACOVAN***

**Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola da Universidade Federal de
Campina Grande em cumprimento
das exigências para obtenção do título
de Mestre em Engenharia Agrícola.**

ORIENTADORES

Prof^a. Dr^a. Maria Elita Martins Duarte

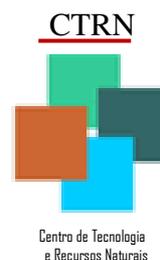
Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata

Campina Grande – Paraíba

Dezembro/2013



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA AGRÍCOLA



RENATA DUARTE ALMEIDA

DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COM SECAGEM COMPLEMENTAR
DE BANANA PACOVAN

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Prof^ª. Dr^ª. Maria Elita Martins Duarte
(Orientadora – UFCG/CTRN/UAEAg)

Prof. Dr. Mario Eduardo R. M. Cavalcanti Mata
(Orientador – UFCG/CTRN/UAEAg)

Prof^ª. Dr^ª. Deyzi Santos Gouveia
(Examinadora Externa – UFCG/CTRN/UAEAg)

Dr^ª. Leila de Sousa Nunes
(Examinadora Externa – IFRN/Apodi)

Dr^ª. Severina de Sousa
(Examinadora Externa – UFCG/CTRN/UAEAg)

Campina Grande – Paraíba
Dezembro/2013

Dedicatória

*A Deus e a minha família por,
terem me fortalecido durante
minha caminhada em prol
da realização desta pesquisa.*

“Que a oração seja a minha primeira providência e não meu último recurso”

“O valor das coisas não está no tempo em que elas duram mas na intensidade com que acontecem. Por isso existem momentos inesquecíveis, coisas inexplicáveis e pessoas incomparáveis”.
(Fernando Pessoa)

Agradecimentos

Tenho a convicção de que, sozinha, não faria absolutamente nada e também pelo fato de ser o momento que tenho de rememorar tudo aquilo que vivi no decorrer deste período da minha vida acadêmica, profissional e pessoal.

Assim, começo por justificar que poucas pessoas são insuficientes para compor meus agradecimentos pois muitas foram as que estiveram envolvidas direta e indiretamente na realização desta conquista.

*Inicio por aquele a quem devo o dom da vida, **Deus**, que me ampara em momentos difíceis para superar as dificuldades com perseverança.*

A minha família, por acreditar nos meus sonhos, em especial a minha mãe (Socorro), pai (Joaquim), irmã (Rafaela), tia (Elita) e namorado (Fernando) pelo amor que enriquece a minha vida.

Aos meus orientadores, Prof^a. Dr^a. Maria Elita Martins Duarte e Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata, pela orientação, incentivo e apoio durante o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, pela oportunidade oferecida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Ao Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas e ao Laboratório de Engenharia de Alimentos, pertencentes à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande.

Aos meus amigos Anastácia Mikaella, Deyzi, Leila, Severina, Hugo, Taciano, Beatriz, Vanessa, Karla e Bergson, pelos momentos de alegria, descontração e participação nos trabalhos, minha sincera gratidão.

Aos colegas de pós-graduação pela troca de experiência e aos membros da banca examinadora, pela colaboração.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	xiv
RESUMO.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
1.0- INTRODUÇÃO.....	01
1.1- Objetivo geral.....	02
1.1.1- Objetivos específicos.....	02
2.0- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	04
2.1- Banana.....	04
2.1.2- Banana Pacovan.....	06
2.2- Desidratação osmótica.....	06
2.3.1- Vantagens e desvantagens.....	08
2.3- Secagem.....	09
2.4- Cinética de secagem.....	10
2.5- Atividade de água.....	14
2.6- Minerais.....	14
2.7- Espectrometria por raios-x.....	18
2.8- Textura.....	18
3.0- MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1- Seleção e processamento da banana.....	21
3.2- Desidratação osmótica.....	21
3.2.1- Perda de água.....	23
3.2.2- Perda de massa.....	24
3.2.3- Ganho de sólidos.....	24
3.2.4- Cinética de desidratação osmótica.....	25
3.3- Cinética de secagem.....	25
3.4- Características químicas e físico-químicas.....	27
3.4.1- Teor de água e matéria seca.....	28

3.4.2- Acidez total titulável.....	28
3.4.3- Açúcares redutores.....	28
3.4.4- Potencial hidrogeniônico (pH).....	29
3.4.5- Sólidos solúveis totais (°Brix).....	29
3.4.6- Cinzas.....	29
3.4.7- Atividade de água.....	29
3.5- Análises de minerais.....	29
3.6- Textura.....	30
3.6.1- Avaliação da ruptura de fibras.....	31
3.6.2- Avaliação da firmeza.....	31
4.0- RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1- Desidratação osmótica de banana Pacovan.....	32
4.1.1- Ganho de sólidos e perdas de água.....	32
4.1.2 - Análise estatística do ganho de sólidos.....	35
4.1.3- Análise estatística da perda de água.....	37
4.1.4- Cinética de desidratação osmótica - aplicação de modelos matemáticos.	40
4.2- Cinética de secagem - aplicação de modelos matemáticos.....	50
4.3- Avaliação físico-química e química.....	72
4.3.1- Avaliação físico-química das bananas semi-maduras “in natura”.....	72
4.3.2- Avaliação físico-química das bananas desidratadas osmoticamente.....	74
4.3.3- Avaliação físico-química das bananas submetidas à secagem.....	80
4.3.4- Avaliação química - Espectrometria por raios-x.....	88
4.4- Textura.....	91
4.4.1- Avaliação instrumental de resistência à compressão e ruptura de fibra da banana	91
5.0- CONCLUSÕES.....	102
6.0- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1-	Escala da maturação de Von Loesecke. (FONTE: Adaptado de PBMH & PIF, 2006).....	05
Figura 2.2-	Fluxo de água nas células através da membrana celular, durante a desidratação osmótica (FONTE: MERCALI, 2009).....	07
Figura 3.1-	Fluxograma para obtenção, caracterização, textura e análises de minerais para banana passa.....	20
Figura 3.2-	Banana Pacovan.....	21
Figura 3.3-	Desidratação osmótica da banana Pacovan.....	22
Figura 3.4-	Fatias de banana Pacovan: (A) “in natura”; (B) Desidratada.....	23
Figura 3.5-	Secador de bandejas com circulação de ar Polidryer PD-25 ^a	25
Figura 3.6-	Cestas de alumínio usadas no experimento de secagem.....	26
Figura 3.7-	Amostras embaladas a vácuo.....	27
Figura 3.8-	Espectrômetro de dispersão de raios X, modelo EDX-720.....	30
Figura 3.9-	Equipamento utilizado para determinação dos atributos de textura, TATXplus da STABLE MICRO SYSTEMS.....	30
Figura 3.10-	Ensaio de penetração e ruptura de fibras, utilizando-se o Probe P/2.....	31
Figura 3.11-	Ensaio de compressão, utilizando-se o Probe P/36R.....	31
Figura 4.1-	Perda de água do produto em função do tempo de desidratação osmótica para a concentração de sacarose de 40°Brix nas temperaturas de 40, 50 e 60°C, em base úmida(a) e em percentagem do total de água perdida em 5 horas (b).....	33
Figura 4.2-	Perda de água do produto em função do tempo de desidratação osmótica para a concentração de sacarose de 55°Brix nas temperaturas de 40, 50 e 60°C, em base úmida(a) e em percentagem do total de água perdida em 5 horas (b).....	33
Figura 4.3-	Perda de água do produto em função do tempo de desidratação osmótica para a concentração de sacarose de 70°Brix nas temperaturas de 40, 50 e 60°C, em base úmida(a) e em percentagem do total de água perdida em 5 horas (b).....	33
Figura 4.4-	Dados de razão de teor de água em função do tempo, para desidratação osmótica na concentração de sacarose a 40°Brix e secagem nas	

	temperaturas de 50, 60 e 70°C, segundo ajuste pelo modelo de Fick.....	40
Figura 4.5-	Dados de razão de teor de água em função do tempo, para desidratação osmótica na concentração de sacarose a 55°Brix e secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, segundo ajuste pelo modelo de Fick.....	41
Figura 4.6-	Dados de razão de teor de água em função do tempo, para desidratação osmótica na concentração de sacarose a 70°Brix e secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, segundo ajuste pelo modelo de Fick.....	41
Figura 4.7-	Dados de razão de teor de água em função do tempo para desidratação osmótica na concentração de sacarose a 40°Brix e secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, segundo ajuste pelo modelo de Page.....	44
Figura 4.8-	Dados de razão de teor de água em função do tempo, para desidratação osmótica na concentração de sacarose a 55°Brix e secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, segundo ajuste pelo modelo de Page.....	44
Figura 4.9-	Dados de razão de teor de água em função do tempo para desidratação osmótica na concentração de sacarose a 70°Brix e secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, segundo ajuste pelo modelo de Page.....	45
Figura 4.10-	Dados de razão de teor de água em função do tempo para desidratação osmótica na concentração de sacarose a 40°Brix e secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, segundo ajuste pelo modelo de Cavalcanti Mata.....	47
Figura 4.11-	Dados de razão de teor de água em função do tempo para desidratação osmótica na concentração de sacarose a 55°Brix e secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, segundo ajuste pelo modelo de Cavalcanti Mata	47
Figura 4.12-	Dados de razão de teor de água em função do tempo para desidratação osmótica na concentração de sacarose a 70°Brix e secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, segundo ajuste pelo modelo de Cavalcanti Mata.....	48
Figura 4.13-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Fick da banana desidratada osmoticamente na temperatura de 50°C a uma solução de sacarose de 40°Brix, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	51
Figura 4.14-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Fick da banana desidratada osmoticamente na temperatura de 60°C a uma solução de sacarose de 40°Brix, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	51

Figura 4.15-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Fick da banana desidratada osmoticamente na temperatura de 70°C a uma solução de sacarose de 40°Brix, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	52
Figura 4.16-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Fick da banana desidratada osmoticamente na temperatura de 50°C a uma solução de sacarose de 55°Brix, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	52
Figura 4.17-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Fick da banana desidratada osmoticamente na temperatura de 60°C a uma solução de sacarose de 55°Brix, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	53
Figura 4.18-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Fick da banana desidratada osmoticamente na temperatura de 70°C a uma solução de sacarose de 55°Brix, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	53
Figura 4.19-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Fick da banana desidratada osmoticamente na temperatura de 50°C a uma solução de sacarose de 70°Brix, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	54
Figura 4.20-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Fick da banana desidratada osmoticamente na temperatura de 60°C a uma solução de sacarose de 70°Brix, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	54
Figura 4.21-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Fick da banana desidratada osmoticamente na temperatura de 70°C a uma solução de sacarose de 70°Brix, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	55
Figura 4.22-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Page da banana desidratada osmoticamente a 40°Brix na temperatura de 50°C e posteriormente secada, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	58
Figura 4.23-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Page da banana desidratada osmoticamente a 40°Brix na temperatura de 60°C e posteriormente secada, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	58
Figura 4.24-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Page da banana desidratada osmoticamente a 40°Brix na temperatura de 70°C e posteriormente secada, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	59
Figura 4.25-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Page da banana desidratada osmoticamente a 55°Brix na temperatura de	

	50°C e posteriormente secada, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	59
Figura 4.26-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Page da banana desidratada osmoticamente a 55°Brix na temperatura de 60°C e posteriormente secada, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	60
Figura 4.27-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Page da banana desidratada osmoticamente a 55°Brix na temperatura de 70°C e posteriormente secada, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	60
Figura 4.28-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Page da banana desidratada osmoticamente a 70°Brix na temperatura de 50°C e posteriormente secada, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	61
Figura 4.29-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Page da banana desidratada osmoticamente a 70°Brix na temperatura de 60°C e posteriormente secada, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	61
Figura 4.30-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Page da banana desidratada osmoticamente a 70°Brix na temperatura de 70°C e posteriormente secada, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	62
Figura 4.31-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Cavalcanti Mata da banana desidratada osmoticamente a 40°Brix na temperatura de 50°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	65
Figura 4.32-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Cavalcanti Mata da banana desidratada osmoticamente a 40°Brix na temperatura de 60°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	65
Figura 4.33-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Cavalcanti Mata da banana desidratada osmoticamente a 40°Brix na temperatura de 70°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	66
Figura 4.34-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Cavalcanti Mata da banana desidratada osmoticamente a 55°Brix na temperatura de 50°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	66
Figura 4.35-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Cavalcanti Mata da banana desidratada osmoticamente a 55°Brix na temperatura de 60°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	67

Figura 4.36-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Cavalcanti Mata da banana desidratada osmoticamente a 55°Brix na temperatura de 70°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	67
Figura 4.37-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Cavalcanti Mata da banana desidratada osmoticamente a 70°Brix na temperatura de 50°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	68
Figura 4.38-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Cavalcanti Mata da banana desidratada osmoticamente a 70°Brix na temperatura de 60°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	68
Figura 4.39-	Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Cavalcanti Mata da banana desidratada osmoticamente a 70°Brix na temperatura de 70°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.....	69
Figura 4.40-	Gráfico de força requerida para ruptura de fibras em função do tempo das amostras desidratadas osmoticamente a 50°C, nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix.....	92
Figura 4.41-	Gráfico de força requerida para ruptura de fibras em função do tempo das amostras desidratadas osmoticamente a 60°C, nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix.....	92
Figura 4.42-	Gráfico de força requerida para ruptura de fibras em função do tempo das amostras desidratadas osmoticamente a 70°C, nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix.....	93
Figura 4.43-	Gráfico de força requerida para ruptura de fibras em função do tempo das amostras desidratadas osmoticamente a 50°C, nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix e submetidas a secagem a 50°C.....	95
Figura 4.44-	Gráfico de força requerida para ruptura de fibras em função do tempo das amostras desidratadas osmoticamente a 60°C, nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix e submetidas a secagem a 50°C.....	95
Figura 4.45-	Gráfico de força requerida para ruptura de fibras em função do tempo das amostras desidratadas osmoticamente a 70°C, nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix e submetidas à secagem a 50°C.....	96
Figura 4.46-	Gráfico de força requerida para ruptura de fibras em função do tempo das amostras desidratadas osmoticamente a 50°C, nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix e submetidas à secagem a 60°C.....	96
Figura 4.47-	Gráfico de força requerida para ruptura de fibras em função do tempo das amostras desidratadas osmoticamente a 60°C, nas concentrações de	

	sacarose de 40, 55 e 70°Brix e submetidas à secagem a 60°C.....	97
Figura 4.48-	Gráfico de força requerida para ruptura de fibras em função do tempo das amostras desidratadas osmoticamente a 70°C, nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix e submetidas à secagem a 60°C.....	97
Figura 4.49-	Gráfico da força de compressão sobre amostras desidratadas osmoticamente a 50°C nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix.....	99
Figura 4.50-	Gráfico da força de compressão sobre amostras desidratadas osmoticamente a 60°C nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix.....	100
Figura 4.51-	Gráfico da força de compressão sobre amostras desidratadas osmoticamente a 70°C nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix.....	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1-	Modelos empíricos e semiteóricos para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas.....	13
Tabela 4.1-	Ganho de sólidos e perdas de água observados para banana Pacovan ao final de 300 minutos de processo em função da concentração de sacarose da solução e temperatura de osmose	34
Tabela 4.2-	Análise de variância entre os parâmetros temperatura de desidratação e concentração de sacarose sobre o ganho de sólidos (%), ao final de processo de desidratação osmótica	35
Tabela 4.3-	Comparação entre os valores médios de ganho de sólidos em banana Pacovan ao final de cinco horas de processo de desidratação osmótica, para as temperaturas de 50, 60 e 70°Brix.....	36
Tabela 4.4-	Comparação entre os valores médios de ganho de sólidos em banana Pacovan ao final de cinco horas de processo de desidratação osmótica, em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix.....	36
Tabela 4.5-	Comparação entre as médias de valores de incorporação de sólidos (%) para a interação temperatura e concentração de sacarose, na desidratação osmótica de banana Pacovan.....	37
Tabela 4.6-	Análise de variância entre os parâmetros temperatura de desidratação e concentração de sacarose sobre a perda de água (%), ao final de processo de desidratação osmótica.....	38
Tabela 4.7-	Comparação entre os valores médios de perda de água em banana Pacovan, ao final de cinco horas de processo de desidratação osmótica para as temperaturas de 50, 60 e 70°C.....	38
Tabela 4.8 -	Comparação entre os valores médios de perda de água em banana Pacovan ao final de cinco horas de processo de desidratação osmótica, em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix.....	39
Tabela 4.9-	Comparação entre as médias de valores de perda de água (%), para a interação temperatura e concentração de sacarose na desidratação osmótica de banana Pacovan.....	39
Tabela 4.10-	Coefficientes de difusão estimados pela equação de Fick em função da concentração da solução osmótica e da temperatura de processo, considerando-se a banana como uma placa plana circular de 10 mm de espessura.....	42
Tabela 4.11-	Parâmetros do modelo de Page e coeficiente de determinação (R ²) encontrados segundo ajuste aos dados de razão de teor de água em função o tempo, para desidratação osmótica de banana Pacovan nas concentrações de sacarose a 40, 55 e 70°Brix e temperaturas de 50, 60 e 70°C.....	46

Tabela 4.12-	Parâmetros do modelo de Cavalcanti Mata e coeficientes de determinação (R^2) encontrados segundo ajuste aos dados de razão de teor de água em função o tempo, para desidratação osmótica de banana Pacovan, nas concentrações de sacarose a 40, 55 e 70°Brix e temperaturas de 50, 60 e 70°C.....	49
Tabela 4.13-	Coefficientes da equação de Fick decorrentes do processo de secagem da banana desidratada nas temperaturas de 50, 60 e 70°C em soluções de sacarose de 40, 55, 70°Brix, nas temperaturas de secagem de 40, 50 e 60°C.....	56
Tabela 4.14-	Coefficientes da equação de Page decorrentes do processo de secagem da banana nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, depois de ser desidratada osmoticamente em soluções de sacarose de 40, 55, 70°Brix, nas temperaturas de 40, 50, 60°C.....	63
Tabela 4.15-	Coefficientes da equação de Cavalcanti Mata decorrentes do processo de secagem da banana nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, depois de ser desidratada osmoticamente em soluções de sacarose de 40, 55, 70°Brix, nas temperaturas de 40, 50, 60°C.....	70
Tabela 4.16-	Valores médios da caracterização físico-química da banana Pacovan semi-madura “in natura”	73
Tabela 4.17-	Valores da Análise de Variância (ANOVA) da caracterização físico-química para bananas desidratadas osmoticamente.....	75
Tabela 4.18-	Médias do fator teor de água em banana Pacovan submetidas a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C.....	76
Tabela 4.19-	Médias do teor de acidez em banana Pacovan submetidas a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C.....	77
Tabela 4.20-	Médias do fator pH em banana Pacovan submetidas a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C.....	77
Tabela 4.21-	Médias do fator sólidos solúveis (%) em banana Pacovan submetidas a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C.....	78
Tabela 4.22-	Médias do teor de cinzas (%) em banana Pacovan submetidas a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C.....	79

Tabela 4.23-	Médias do fator atividade de água em banana Pacovan submetidas a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C.....	80
Tabela 4.24-	Valores da Análise de Variância (ANOVA) da caracterização físico-química da banana-passa.....	81
Tabela 4.25-	Médias do fator teor de água em banana Pacovan submetidas a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C e secagem a 50 e 60°C.....	82
Tabela 4.26-	Médias do fator acidez (%) em banana Pacovan submetidas a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C e secagem a 50 e 60°C.....	83
Tabela 4.27-	Médias do fator açúcares (%) em banana Pacovan submetidas a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C e secagem a 50 e 60°C.....	84
Tabela 4.28-	Médias do fator pH em banana Pacovan submetidas a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C e secagem a 50 e 60°C.....	85
Tabela 4.29-	Médias do fator sólidos solúveis (%) em banana Pacovan submetidas a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C e secagem a 50 e 60°C.....	86
Tabela 4.30-	Médias do fator atividade de água em banana Pacovan submetidas a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C e secagem a 50 e 60°C.....	87
Tabela 4.31-	Valores das análises de minerais (mg/100g) para as bananas “in natura”.....	88
Tabela 4.32-	Componentes minerais em cascas de banana e laranja.....	91
Tabela 4.33-	Médias da avaliação instrumental de força máxima (N) de ruptura de fibra das bananas Pacovan submetidas a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C e secagem a 50 e 60°C.....	93
Tabela 4.34-	Médias da avaliação instrumental de força máxima (N) de ruptura de fibra das bananas submetidas a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C e secagem a 50 e 60°C.....	98

RESUMO

ALMEIDA, Renata Duarte. **Desidratação osmótica com secagem complementar de banana Pacovan**. 155f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2013.

Realizou-se esta pesquisa com o intuito de estudar a cinética dos processos de desidratação osmótica e secagem, utilizados para elaboração de passas de banana Pacovan e avaliar o produto processado quanto aos aspectos químicos, físico-químicos e de textura, em função das variáveis do processo, temperatura e concentração de sacarose. O processo de desidratação osmótica foi realizado com três concentrações de sacarose (40, 55 e 70°Brix) e três temperaturas (50, 60 e 70°C). Da desidratação osmótica resultaram 9 produtos que foram submetidos à secagem em três temperaturas (40, 50 e 60°C) em desidratador de frutas de bandejas, sem circulação de ar. Aos dados de desidratação osmótica e secagem foram ajustados os modelos de Fick, Page e Cavalcanti Mata, segundo regressões não lineares, utilizando-se o programa Estatística 8.0; a análise de perda de água e incorporação de sólidos na desidratação osmótica, foi feita por análise de variância, ANOVA, com comparação das médias pelo Teste de Tukey. Os produtos resultantes desses processos foram submetidos a análises químicas e físico-químicas (teor de água, acidez, açúcares redutores, pH, sólidos solúveis totais, cinzas, atividade de água) segundo metodologia do Instituto Adolfo Lutz; minerais (K, Ca, P, Mg, Fe), utilizando-se espectrometria por raios -X e avaliação de textura, realizada em texturômetro TAXTplus, por meio de testes de ruptura de fibras e firmeza. Entre os principais resultados concluiu-se que: a concentração de sacarose da solução osmótica, a temperatura de processo, bem como a interação entre esses dois fatores, exercem influência sobre a perda de água e na incorporação de sólidos, no processo de desidratação; nas condições estudadas o modelo que representa melhor os dados experimentais de desidratação osmótica de banana Pacovan, é o de Page, com valores dos coeficientes de determinação maiores que 90%, os coeficientes de difusão calculados utilizando-se o modelo de Fick na desidratação osmótica, estão entre $1,692 \times 10^{-11}$ e $8,692 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ para bananas desidratadas a 50°C em solução de 40°Brix e 70°C em solução de 70°Brix, respectivamente; na secagem complementar todos os modelos testados representam satisfatoriamente os dados experimentais; os coeficientes de difusão, calculados por meio do modelo de Fick para secagem complementar, estiveram entre $3,49 \times 10^{-10}$, para banana desidratada a 40°Brix na temperatura de 50°C com secagem complementar a 40°C e $4,38 \times 10^{-8}$ para banana desidratada a 70°Brix na temperatura de 70°C, com secagem complementar a 60°C; a acidez, os açúcares redutores, sólidos solúveis totais e teor de cinzas na desidratação osmótica aumentaram com o aumento da concentração de sacarose; os minerais presentes em maior quantidade nas bananas processadas foram potássio, cálcio, manganês, fósforo e ferro; bananas tratadas osmoticamente requerem maior esforço para rompimento de fibras à medida em que o teor de sólidos da solução desidratante na desidratação osmótica se eleva.

Palavras-chave: *Musa spp.*, processamento, desidratação osmótica, conservação.

ABSTRACT

ALMEIDA, Renata Duarte. **Osmotic Dehydration using complement drying of banana Pacovan**. 155f. Dissertation (Masters in Agricultural Engineering). Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2013.

This research was conducted in order to study the kinetics of osmotic dehydration and drying processes used for the preparation of dried banana Pacovan and evaluate the processed product for several aspects such as the chemical, physico-chemical and texture, depending on the process variables, temperature and sucrose concentration. The osmotic dehydration process was carried out with three concentrations of sucrose (40, 55 and 70°Brix) and three temperatures (50, 60 and 70°C). From osmotic dehydration resulted 9 products, which were subjected to a complement drying at three temperatures (40, 50 and 60°C) in a fruit dehydrator with trays and without air circulation. Data from osmotic dehydration and drying were adjusted to three models: Fick , Page and Cavalcanti Mata, using nonlinear regressions and the Statistica 8.0 software; the analysis of water loss and solid gain by osmotic dehydration, was made through analysis of variance, ANOVA, with comparison of averages by the Tukey Test. The products resulting from this process were subjected to chemical and physico-chemical testing (water content, acidity, reducing sugars, pH, total soluble solids, ash, water activity) according to the methodology of the Adolfo Lutz Institute; minerals content (K , Ca , P , Mg , Fe), were determined using X-ray spectrometry and texture evaluation using a texturometer TAXTplus performed through rupture of fibers and strength tests. Among the key findings it is concluded that: the sucrose concentration of the osmotic solution, process temperature as well as the interaction between these two factors exert influence on water loss and solid gain in the dehydration process; the model that best represents the experimental data for osmotic dehydration of banana Pacovan is the Page, with coefficients of determination greater than 90%, the diffusion coefficients calculated by the Fick model for osmotic dehydration, are between $1,692 \times 10^{-11}$ and $8,692 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ for dehydrated bananas at 50°C in 40°Brix solution and 70°C in 70°Brix solution, respectively; in complement drying, all tested models satisfactorily represent the experimental data: the diffusion coefficients calculated by the Fick model to complement drying were between $3,49 \times 10^{-10}$, for the dehydrated banana in 40°Brix solution at a temperature of 50°C, with complement drying at 40°C, and $4,38 \times 10^{-8}$ for the dehydrated banana in 70°Brix solution at a temperature of 70°C with complement drying at 60°C; acidity, reducing sugars, total soluble solids and ash content in the osmotic dehydration increased with increasing sucrose concentration; the minerals content present in greater quantities in processed banana are potassium, calcium, manganese, phosphorus and iron; bananas treated osmotically require greater effort for fiber breakage as it increases the solids content of the desiccant solution in the osmotic dehydration.

Keywords: *Musa spp*, processing, osmotic dehydration, preservation.

1.0- INTRODUÇÃO

A bananeira (*Musa spp.*), cresce abundantemente em diversos países em expansão, sobretudo nas regiões tropicais e subtropicais, por ser considerada uma das principais fontes de energia.

Segundo dados da FAO (2009), com uma produção anual de 7,1 milhões de toneladas em 2007 o Brasil é o 4º maior produtor de bananas, atrás da Índia (21,8 milhões de toneladas), China (8,0 milhões de toneladas) e Filipinas (7,5 milhões de toneladas). A bananicultura é a 9ª cultura mais importante do país, ocupando o segundo lugar em volume de frutas produzidas, perdendo apenas para as laranjas (18,7 milhões de toneladas).

Pelos dados do DIEESE (2011) a produção de banana nos estabelecimentos agropecuários foi de 6.783.000 toneladas e, de acordo com o último censo agropecuário do IBGE (2006), esta produção de banana nos estabelecimentos agropecuários apresentou 3.780.321 toneladas e o valor total da produção de 5.067.711 reais enquanto a área total colhida foi equivalente a 259.776 ha e o rendimento médio no ano de 2008 de 13.639 kg/ha de banana.

Para muitos países a banana apresenta, além de ser um alimento complementar da dieta da população, grande relevância social e econômica, auxiliando na criação de postos de trabalho, gerando renda para muitas famílias de agricultores e contribuindo para o desenvolvimento das regiões envolvidas em sua produção. A banana é um produto de exportação responsável por uma parte bastante significativa dos ingressos relativos à exportação agrícola.

Os dados referentes à perda deste produto são expressivos, estando entre 30 e 40% da produção, dependendo da região; este evento ocorre principalmente em razão da alta perecibilidade da fruta “in natura” e das condições de transporte e comercialização; em consequências, novas tecnologias de processamento têm sido desenvolvidas para assegurar maior tempo de duração, maior rendimento na produção e, sobremaneira, melhor qualidade dos produtos finais dela derivados.

A quantidade de água livre presente nos alimentos é a maior responsável pela deterioração de alimentos frescos, armazenados e processados. Reduzir a água desses alimentos é a forma mais antiga de preservação; desta forma, as operações de desidratação têm sido usadas, há décadas em indústrias de processamento de alimentos para a conservação eficiente dos produtos, durante longos períodos. O objetivo básico desta operação é a remoção de água do sólido até um nível no qual os danos por microrganismo sejam evitados. Além do efeito conservante a desidratação reduz o peso e o volume do alimento aumentando a capacidade e a eficiência do transporte e do armazenamento.

Com a mudança nos hábitos alimentares a sociedade atual mostra um interesse cada vez maior em ingestão de frutas, alimentos nutritivos, prontos para o consumo e sem aditivos químicos; frente a este fato as pesquisas de frutas desidratadas se têm intensificado nos últimos anos.

Uma das formas de desidratação aplicadas às frutas com grande aceitação em virtude dos resultados proporcionarem grande semelhança ao produto “in natura”, é a desidratação osmótica, constituindo uma alternativa para a conservação de alimentos. Em alguns casos a desidratação osmótica auxilia a perda de água com pouco custo, economia de energia e, algumas vezes, auxiliando a incorporação e sólidos desejáveis como agente conservante ou outro soluto que confira melhor qualidade sensorial ou nutricional ao produto processado; na grande maioria das vezes a desidratação osmótica compõe uma das etapas do processamento, em geral como uma fase que precede a secagem.

Apesar dos aspectos positivos da secagem e se tratar de uma prática bem antiga, existe grande dificuldade de se encontrar dados referentes ao processo, de forma que se possa aprimorar as técnicas de secagem e elaborar produtos com padrão de qualidade. O ponto em que se deseja obter um produto quanto à textura, cor, aroma e sabor, pode ser previsto através de uma simples simulação a qual, porém, depende de aspectos intrínsecos de cada produto e do processo a que é submetido.

1.1- Objetivo geral

Realizar a cinética dos processos de desidratação osmótica e secagem, utilizados para elaboração de passas de banana pacovan e avaliar o produto processado quanto aos aspectos químicos, físico-químicos e de textura, em função das variáveis do processo, temperatura e concentração de sacarose.

1.1.1- Objetivos específicos

- Realizar a cinética de desidratação osmótica da banana a 50, 60 e 70°C, em solução de sacarose a 40, 55 e 70°Brix;

- Realizar a cinética de secagem nas temperaturas de 40, 50 e 60°C, em secador de bandejas da banana osmoticamente desidratada;
- Verificar, entre os modelos matemáticos de Fick, Page e Cavalcanti Mata, o qual melhor se ajusta aos dados experimentais obtidos na desidratação osmótica e na secagem posterior;
- Avaliar as características físico-químicas das bananas “in natura” após a desidratação osmótica e após a secagem, tais como: teor de água, acidez, açúcares redutores, pH, sólidos solúveis totais (°Brix), cinzas e atividade de água;
- Realizar análise de minerais segundo Espectrometria por raios-x;
- Realizar testes de avaliação instrumental de textura (ruptura de fibras e avaliação de firmeza).

2.0- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1- Banana

Quanto à origem da banana (*Musa spp.*), não se pode afirmar com exatidão haja vista que ela se perde na mitologia grega e indiana. Atualmente, admite-se que ela seja originária do Oriente, sul da China ou Indochina (MOREIRA, 1987).

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 agrônômicos para serem usados comercialmente. Os cultivares mais difundidos no Brasil são: Prata, Pacovan, Prata Anã, Maçã, Mysore, Terra e D'Ângola, Nanica, Nanição e Grande Naine, sendo que a Prata e a Pacovan são responsáveis por aproximadamente 60% da área cultivada com banana no território brasileiro (ALVES, 1999).

As bananas, que constituem as frutas mais populares do mundo, são membros do gênero *Musa* (parte da família *Musaceae*) e se considera que elas são derivadas das espécies selvagens *Musa acuminata* (AA) e *Musa balbisiana* (BB). Acredita-se que haver quase 1000 variedades de banana espalhadas pelo planeta, as quais estão subdivididas em 50 subgrupos (UNCTAD, 2007).

O Brasil ocupou a quinta posição no ranking dos países produtores de banana no ano de 2011, com uma área cultivada de 503.354 hectares e uma produção de 7,3 milhões de toneladas de frutos, estando na liderança a Índia, a China, as Filipinas e o Equador, países com produções de, respectivamente, 29,7; 10,7; 9,2 e 7,4 milhões de toneladas de frutos por ano (FAO, 2013). De acordo com AGRIANUAL (2012), os maiores estados brasileiros produtores de banana em 2011 foram: São Paulo, Bahia, Minas Gerais, Santa Catarina, Pernambuco e Pará; este último colheu 545.493 toneladas do fruto, numa área de 40.710 hectares, sendo o sexto posicionado, internamente, em produção e área colhida, despontando como o principal produtor da região Norte do Brasil.

Dados da EMBRAPA (2008) mostram que a produção brasileira de banana está distribuída pelas 27 unidades da Federação, incluindo o Distrito Federal. Os estados de São Paulo, Santa Catarina, Bahia, Ceará e Pernambuco, são os mais representativos, tanto em área

colhida quanto em quantidade produzida, visto que mais de 95% da produção são destinados ao mercado nacional.

Devido ao clima e à natureza favoráveis, a banana brasileira é cultivada em grande parte do país e pode ser encontrada e adquirida o ano todo. A produção está distribuída por todo o território nacional, sendo a Região Nordeste a maior produtora (34%), seguida das Regiões Norte (26%), Sudeste (24%), Sul (10%) e Centro-Oeste (6%) (ALMEIDA et al., 2001; FANCELLI, 2003).

A cor da casca é um bom indicativo do grau de amadurecimento da banana (MEDINA & PEREIRA, 2004); na Figura 2.1 é mostrada a escala de maturação utilizada para a classificação das bananas pela cor.

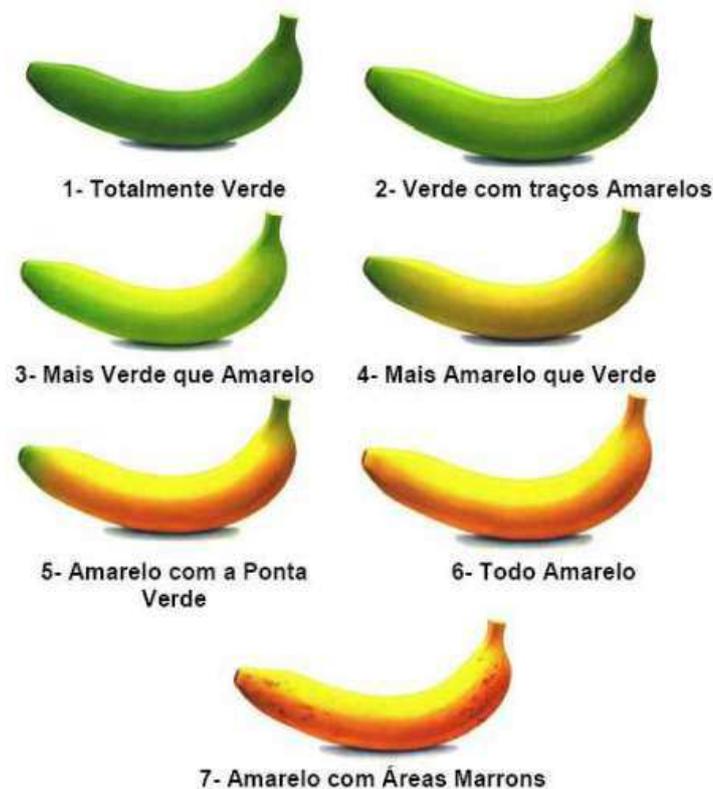


Figura 2.1- Escala da maturação de Von Loesecke. (FONTE: Adaptado de PBMH & PIF, 2006)

A banana é uma fruta de alto valor nutritivo, muito rica em açúcares e sais minerais, principalmente cálcio, fósforo, ferro e potássio e vitaminas A, B1, B2 e C. Fácil de digerir e como quase não tem gordura, é indicada nas dietas de teor de colesterol reduzido, além do

potássio, que é um elemento abundante na banana e cumpre o papel de manter o equilíbrio hidrelétrico do organismo.

A boa aceitação da banana se deve aos seus aspectos sensoriais e ao valor nutricional, consistindo em fonte energética em razão da presença de carboidratos, minerais e vitaminas. Contribui, para sua aceitação, a ausência de sementes duras e de suco na polpa, além de sua disponibilidade durante todo o ano (FASOLIN, 2007).

2.1.2- Banana Pacovan

Segundo LEITE (2001), a banana Pacovan é resultante de uma mutação da Prata e atualmente é a cultivar mais plantada no Norte e Nordeste do país. Possui porte alto (6 a 7 m) com cachos cônicos, com peso de 16 kg e 7,5 pencas, em média; os frutos são grandes, com quinhas salientes (mesmo quando maduros) e casca grossa pesando, em média, 122 g e apresentam sabor menos intenso que a banana prata; é susceptível à Sigatoka amarela e negra e ao Moko, moderadamente susceptível ao Mal-do-panamá, medianamente resistente aos nematoides e brocas, sendo sujeita ao tombamento pela ação dos ventos.

De acordo com (MATSUURA et al. 2002) os frutos maduros da Pacovan apresentam pH de 4,3 a 4,5; sólidos solúveis totais de 22,2 a 25,3% e acidez titulável de 0,52 a 0,64%.

2.2- Desidratação osmótica

A banana é um dos alimentos mais consumidos no mundo e produzidos em quase todos os países tropicais. É perecível e se deteriora rapidamente após a colheita, razão por que é necessário aplicar uma tecnologia de pós-colheita apropriada para preservar parte da produção que não será rapidamente consumida ou cujos frutos serão exportados (PEREIRA, et al. 2006).

Dentre os processos de conservação a desidratação osmótica tem-se tornado bastante utilizada. Segundo SOARES JÚNIOR et al. (2006), a melhoria dos aspectos nutricionais e funcionais está diretamente relacionada à diminuição do teor de água e ao consequente aumento na concentração dos nutrientes e do teor de fibras; já o aspecto sensorial é melhorado porque o

tratamento osmótico não muda a integridade do alimento, de maneira que o dano térmico à textura, à cor e ao aroma, é minimizado.

Durante o processo de desidratação por osmose observam-se, basicamente, as seguintes transferências de massa: saída de água do produto para a solução hipertônica e a saída de soluto da solução para o produto (QUEIROZ et al., 2010). Através desta transferência é possível introduzir-se uma quantidade desejada de princípio ativo, agente conservante, qualquer outro soluto de interesse nutricional ou capaz de conferir, ao produto, uma qualidade sensorial melhor; existe, ainda, a saída de alguns solutos do próprio produto (açúcares, ácidos orgânicos, sais minerais, vitaminas). Embora seja em quantidades desprezíveis quando comparada aos dois itens anteriormente citados, exerce uma importante influência com relação à composição final do produto (RAOULT-WACK et al., 1994).

A taxa de perda da água e de incorporação de solutos depende de fatores como a natureza do material (espécie, variedade, grau de maturação, tamanho e formato) e das variáveis de processo: concentração, composição e temperatura da solução osmótica, tempo de contato, nível de agitação da solução, geometria da amostra e razão volumétrica entre a solução osmótica e o produto (MERCALI, 2009).

A Figura 2.2 ilustra o esquema dos fluxos de transferência de massa durante o processo de desidratação osmótica.

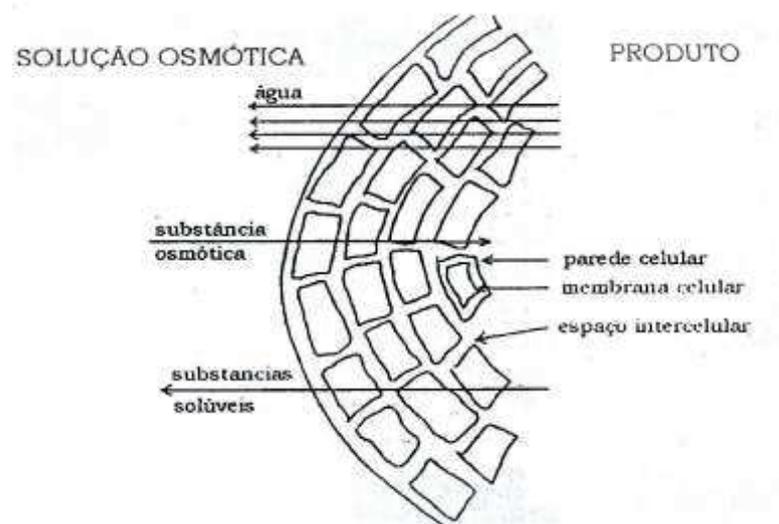


Figura 2.2- Fluxo de água nas células através da membrana celular, durante a desidratação osmótica (FONTE: MERCALI, 2009)

2.2.1- Vantagens e desvantagens

A desidratação osmótica é um processo alternativo de preservação e manutenção das qualidades nutricionais dos produtos agrícolas; sua vantagem é incorporar solutos e retirar a água do alimento criando um meio desfavorável às reações enzimáticas e ao crescimento biológico. Por diminuir o tempo de secagem e melhorar algumas características do produto, essa técnica é muito utilizada em processos combinados, como pretratamento ao processo de secagem de frutas e vegetais.

Para LIMA (2004), outra vantagem da desidratação osmótica é o tempo de vida útil do produto, que pode apresentar boa estabilidade microbiológica por até 180 dias, com boa aceitabilidade durante todo o período de armazenamento.

Considerando todos os fatores citados e segundo TORREGGIANI & BERTOL (2001), é possível afirmar que a desidratação osmótica é uma alternativa para o aproveitamento do excesso de produção, além de possibilitar o consumo do produto nos períodos de entressafra desde que a técnica seja adaptada ao uso para processamento em pequena escala; com isto será possível, então, obter produtos de alta qualidade e de alto valor agregado, valorizando a produção da agricultura familiar.

Segundo MEDEIROS et al. (2006), a principal desvantagem da desidratação osmótica é a permanência de uma camada fina, indesejável, de açúcar, na superfície da fruta e também a tendência desta se tornar rançosa e com teor de água muito baixo.

Para GOMES et al. (1997), a grande limitação do processo de desidratação osmótica tem sido estabelecer um processo em que essa tecnologia simples possa ser usada de forma a não gerar resíduos e, sim, coprodutos, em sistema que permita seu uso comercial para pequenos produtores rurais, com baixos níveis de investimento, gerando produtos de boa qualidade e preços competitivos.

2.3- Secagem

Secagem é a remoção, voluntária ou não, total ou parcial, de uma fase líquida ou gasosa de qualquer material envolvendo exclusivamente a transferência de calor e massa. É utilizada principalmente quando o processo envolve a transferência de calor do ambiente para o produto, a evaporação da água líquida contida no produto e sua retirada na forma de vapor, em convecção natural ou forçada (FIOREZE, 2004).

MARTINAZZO et al. (2010) afirmam que a secagem consiste na remoção de grande parte de água inicialmente contida no produto, logo após sua maturidade fisiológica, a um nível máximo de teor de água no qual possa ser armazenado por longos períodos sem que ocorram perdas significativas. De acordo com ALMEIDA et al. (2006), a secagem é um processo combinado de transferência de calor e massa, que reduz a disponibilidade de água dificultando o crescimento microbiano e reações químicas e bioquímicas.

No processo de secagem os alimentos são secados visando atender à preservação contra deterioração; conservação de suas condições durante estocagem, diminuição dos custos e dificuldade de acondicionamento, manipulação, armazenamento e transporte do material.

O processo de secagem pode envolver três meios de transferência de calor: convecção, condução e radiação. A transferência de calor por convecção é o meio mais utilizado na secagem comercial; nela, um fluxo de ar aquecido passa através da camada do material. Durante o processo a umidade migra do interior para a superfície do produto, de onde se evapora para o ambiente (VALENTE, 2007).

Para SANTOS (2009) a secagem é inerentemente uma área inter e multidisciplinar que oferece amplo campo de pesquisas, de natureza fundamental e aplicada, acoplando fenômenos de transporte e ciência dos materiais, visto que o objetivo da secagem não é somente fornecer calor e remover umidade do material mas também produzir um produto seco e de qualidade específica.

Segundo GAVA et al. (2008), as vantagens da secagem são várias, entre as quais se tem melhor conservação do produto e redução de sua massa, isto sem falar em preço pois muitas vezes a secagem é mais econômica do que outros processos de conservação.

Os métodos de secagem são classificados, quanto ao uso de equipamentos, em natural ou artificial; à periodicidade no fornecimento de calor, em contínuo ou intermitente e quanto à movimentação da massa do produto, em estacionário ou contínuo. Na escolha do método de secagem o fator quantidade de produto é limitante e, quando se necessita secar grandes quantidades, é imprescindível a utilização da secagem artificial cujos custos de operação estão relacionados principalmente com volume, velocidade de secagem e temperatura do ar (GARCIA et al. 2004).

2.4- Cinética de secagem

A cinética de secagem é a relação entre o teor de água do material e o tempo. Esta é frequentemente utilizada para descrever os mecanismos macro e microscópicos de transferência de calor e massa envolvidos no processo de secagem (ROSA, 2010).

Vários modelos matemáticos são utilizados para modelar o processo de secagem de produtos biológicos porém é comum a utilização do modelo difusional. A teoria difusional se apoia exclusivamente sobre a lei de Fick, o qual expressa que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água.

O coeficiente de difusão (D_{ef}) é uma difusividade efetiva que engloba os efeitos de todos os fenômenos que podem intervir sobre a migração da água e seu valor é sempre obtido pelo ajuste das curvas experimentais. A solução da equação de difusão utilizada é uma das mais simples e parece ser a principal razão de seu emprego. Entende-se a difusividade como a facilidade com que a água é removida do material. Como a difusividade varia conforme mudam as condições de secagem (temperatura e velocidade do ar), ela não é intrínseca ao material; convencionou-se, portanto, chamá-la difusividade efetiva (PARK et al. 2004).

Utilizando a lei de Fick na Equação 2.1 de balanço de massa de água no interior do produto, vem:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla \cdot (D_{ef} \nabla X) \quad (2.1)$$

Em que:

X = teor de água do produto, decimal, base seca;

t = tempo de secagem, s;

D_{ef} = difusividade efetiva, $m^2.s^{-1}$.

A teoria da difusão líquida tem sido amplamente empregada na área de secagem, embora existam algumas suposições a serem consideradas para sua aplicação, como: redução do volume desprezada, não existência do efeito de capilaridade, equilíbrio térmico instantâneo com o ar e os efeitos da transferência de energia e massa de um corpo para outro, admitidos como desprezíveis. Os modelos teóricos que descrevem a taxa decrescente de secagem de um sólido consideram, geralmente, como mecanismo principal, a difusão baseada na segunda Lei de Fick que expressa que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água (PARK et al., 2002; ROMERO-PEÑA & KIECKBUSCH, 2003).

CRANCK (1975) apresentou diversas soluções analíticas em forma de séries para a equação de difusão considerando diferentes condições iniciais e de contorno, além de casos em que a difusividade pode variar de forma linear ou exponencial com a concentração de teor de água; tratando-se de um fenômeno de migração complexo, trabalha-se com a difusividade aparente, que engloba todos os efeitos que podem intervir neste fenômeno porém essas soluções se aplicam a sólidos de formas geométricas simples e constantes ao longo do processo.

A secagem de materiais homogêneos, segundo a teoria de difusão de líquido, pode ser explicada pela Equação 2.2:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{c}{r} \cdot \frac{\partial X}{\partial r} \right) \quad (2.2)$$

Em que,

X = teor de água do produto, decimal, base seca;

c = 0, para corpos planos, 1 para corpos cilíndricos e 2 para corpos esféricos;

r = distância radial ou espessura m;

t = tempo, s;

D_{ef} = difusividade efetiva $m^2.s^{-1}$.

Esta forma de Fick é simplificada já que ela despreza a interdifusão mas esta hipótese é justificada, de vez que a água migra dentro de uma matriz fixa (PARK et al., 2001).

Várias soluções analíticas da Equação 2.2 podem ser obtidas para diversas formas geométricas. No estudo da cinética de desidratação osmótica faz-se uso da Teoria Difusional. CRANK (1975) propôs uma solução analítica para a Lei de Fick considerando distribuição de umidade inicial uniforme e ausência de qualquer resistência térmica para uma placa plana infinita (Equação 2.3):

$$\frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[\frac{-(2n+1)^2 \pi^2 D_{ef} t}{4L^2}\right] \quad (2.3)$$

Em que,

X_t = teor de água no tempo;

X_e = teor de água de equilíbrio;

X_0 = teor de água inicial;

D_{ef} = difusividade efetiva $m^2.s^{-1}$;

t = tempo, s;

L = dimensão característica meia espessura da placa, mm.

Outro modelo muito utilizado pra expressar a secagem de matérias biológico é o modelo de Page (Equação 2.4):

$$RX = \exp(-Kt^n) \quad (2.4)$$

Em que,

RX = Razão de teor de água, adimensional;

t = tempo, min;

k e n = constantes do modelo.

O modelo de Page é uma modificação empírica do modelo de Newton, descrito por Lewis em 1921, que corrige seus defeitos (DOYMAZ, 2005). Para JAIN & PATHARE (2004) este modelo difere do de Newton pela adição de um expoente, n , ao tempo, t , na equação 2.4. De

acordo com CORRÊA et al. (2001) n é um parâmetro que depende do material e das condições de secagem.

Inúmeros trabalhos têm sido realizados com o objetivo de se identificar as características de diversos produtos agrícolas durante a secagem, como: uva (YALDIZ et al., 2001; RAMOS et al., 2004; 2005), pimenta (KAYMAK-ERTEKIN, 2002; AKPINAR et al., 2003), pera (LAHSASNI et al., 2004) dentre outros. Durante a modelagem e a simulação dos processos de secagem de produtos agrícolas, diversos trabalhos correlacionaram satisfatoriamente os coeficientes dos modelos ajustados aos parâmetros de secagem, em especial a temperatura, a umidade relativa e a vazão do ar (AZZOUZ et al., 2002; KROKIDA et al., 2004; MOHAPATRA & RAO, 2005).

Na Tabela 3 são selecionados os modelos utilizados para predizer o fenômeno de secagem de produtos agrícolas.

Tabela 2.1- Modelos empíricos e semiteóricos para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas

Modelo	Designação do Modelo	Equação
Verna	$RX=a \text{ Exp}(-k t)+(1-a) \text{ Exp}(-k_2 t)$	(2.5)
Thompson	$t=a \ln RX+b(\ln RX)^2$	(2.6)
Page	$RX=\text{Exp}(-k t^n)$	(2.7)
Midilli	$RX=a \text{ Exp}(-k t^n)+b.t$	(2.8)
Logarítmico	$RX=a \text{ Exp}(-k t)+c$	(2.9)
Henderson & Pabis	$RX=a \text{ Exp}(-k t)$	(2.10)
Exponencial de dois termos	$RX=a \text{ Exp}(-k_0 t)+b \text{ Exp}(-k_1 t)$	(2.11)
Aproximação da Difusão	$RX=a \text{ Exp}(-k t)+(1-a) \text{ Exp}(-k b t)$	(2.12)
Cavalcanti Mata	$RX=a_1 \text{ Exp}(-b t^{a_2})+a_3 \text{ Exp}(-b t^{a_4})+a_5$	(2.13)

Em que k , k_0 e k_1 – constantes de secagem (s^{-1}) e a , b , c e n – coeficientes do modelo
 Fonte: CORREA et al., 2007

2.5- Atividade de água

A atividade de água nos alimentos é um fator que proporciona o crescimento e o desenvolvimento de microrganismos, a retirada de água reduz o crescimento desses microrganismos, impedindo sua proliferação e a atividade enzimática que provocam alterações nos produtos.

Segundo RIBEIRO & SERAVALLI (2007), nos alimentos a água se encontra de duas formas, ou seja, na forma de água livre e na forma de água ligada.

- A água ligada é definida como a água em contato com solutos e outros constituintes não aquosos existindo em vários graus de ligação podendo ser dividida em: água constitucional, que é a água ligada mais fortemente aos constituintes não aquosos do alimento, através de ligações iônicas; água vicinal é aquela que ocupa os espaços mais próximos da maioria dos grupos hidrofílicos (afinidade pela água) presentes nos constituintes; água de multicamadas representa a água ligada de forma mais fraca aos constituintes não aquosos do alimento.
- A água livre no alimento é a água que representa as mesmas propriedades da água pura e que está disponível para o crescimento de microrganismos e para reações enzimáticas.

De acordo com FELLOWS (2006), a água exerce pressão de vapor nos alimentos, a qual depende da quantidade de água presente, da temperatura e da concentração dos solutos dissolvidos (particularmente sais e açúcares) na água.

2.6- Minerais

Os minerais formam a cinza dos materiais biológicos após oxidação completa da matéria orgânica. Os elementos minerais reconhecidos como essenciais são comumente divididos em macrominerais ou minerais principais, de que o organismo humano necessita em maior quantidade (cálcio, fósforo, potássio, sódio, cloro, magnésio, enxofre) e os minerais traços (microminerais), que são necessários em doses diárias bem pequenas (ferro, cobre, cobalto, manganês, zinco, iodo, flúor, molibdênio, selênio, cromo, silício). A importância de sua inclusão

na dieta tem sido amplamente discutida em textos sobre nutrição (SOARES et al., 2004).

- **Cálcio**

O cálcio é o mineral mais abundante no organismo humano e a sua grande maioria (99%) está localizada nos ossos e dentes, sendo responsável por 1% a 2% do peso corporal. O restante se encontra distribuído em todas as células e participa ativamente em vários processos como, por exemplo, na contração muscular, na coagulação sanguínea e no equilíbrio com o fósforo, dentre outros (ESTEVEZ et al., 2010). Ingerir uma quantidade adequada de cálcio alimentar ou suplementado, é essencial para a integridade do sistema ósseo.

A absorção de cálcio declina com o passar da idade. Este declínio pode ser causado por deficiência dietética e diminuição endógena na produção de vitamina D. Referida diminuição da produção é devida, em parte, à menor exposição solar nos grupos etários mais avançados. Além disso ocorre, com o processo do envelhecimento, perda da função renal e diminuição da produção de vitamina D, com conseqüente hiperparatireoidismo secundário (BUZINARO et al. 2010).

- **Magnésio**

O magnésio é um mineral que está envolvido em vários processos fisiológicos. É essencial como cofator de um grande número de enzimas catalizadoras de reações, especialmente das reações que requerem ATP como energia. Essas enzimas, que necessitam de ATP, incluem aquelas que adicionam fosfato em outras enzimas (enzimas de fosforilação) e a formação da célula sinalizadora da molécula Adenosina Monofosfato Cíclica (cAMP); ambas as funções regulam muitos processos dentro das células; uma outra função do magnésio é possuir íons livres intracelulares que atuam como modulador fisiológico. O magnésio também atua sobre o potássio bloqueando os canais possíveis de levar células. Além disto, influencia a distribuição do potássio para a enzima Na, K-ATPase; esta enzima, por sua vez, joga o sódio para fora da célula e o magnésio para dentro; o magnésio estabiliza algumas estruturas de grupos fosfatos e atua indiretamente como antioxidante (DISILVESTRO, 2005).

- **Potássio**

O potássio é o íon intracelular mais abundante com aproximadamente 98% do potássio corporal total localizado a nível intracelular; tem grande importância fisiológica uma vez que o íon potássio é o eletrólito mais abundante carregado positivamente dentro das células. O potássio intracelular é o maior determinante da osmolaridade intracelular. O gradiente entre o potássio intra e o extracelular é necessário para polarização da membrana celular que influencia alguns processos, tais como impulsos nervosos e contração muscular (inclusive a do músculo cardíaco). Dentro das células o potássio é essencial para o crescimento normal da célula e para a síntese de proteínas, participando também de algumas funções renais devido à alta solubilidade do potássio em água. Ele é muito bem absorvido, geralmente cerca de 90% (DISILVESTRO, 2005).

Para manter um equilíbrio normal de potássio no corpo os rins são responsáveis por excretar mais de 90% da ingestão diária total desse íon. Diversos fatores influenciam a perda de potássio através dos rins. A aldosterona faz com que o rim excrete o potássio em contraste com os efeitos da aldosterona sobre o sódio. O equilíbrio ácido-básico, a quantidade de potássio na dieta e a velocidade de fluxo do filtrado no túbulo distal, também influenciam a quantidade de potássio secretada na urina. A retenção de potássio é o efeito mais ameaçador da insuficiência renal (SMELTZER et al., 2006).

A deficiência de potássio pode ocorrer devido a uma má alimentação. Não há Ingestão Diária Recomendada (DOR) estabelecida para o potássio porém se recomenda a ingestão diária de 2500 mg diárias, para uma pessoa adulta. Sua deficiência tem, como sintomas, a fraqueza muscular e a apatia mental (AZEREDO et al., 1998).

- **Fósforo**

O fósforo tem a função de tamponar sistemas ácidos ou alcalinos auxiliando na manutenção do pH, no armazenamento temporário de energia provinda do metabolismo de macronutrientes, e na forma de ATP, além de ser responsável pela ativação, por meio da fosforilação de diversas cascatas enzimáticas (COZZOLINO, 2007). Numa dieta mista cerca de 60 e 70% do fósforo são absorvidos; a absorção ocorre ao longo de todo o intestino sendo maior no jejuno, menor no duodeno e mínima no íleo (KAYNE et al., 1993; LOGHMAN-ADHAM, 1993).

A absorção de fósforo é proporcional à sua ingestão, quando esta se encontra dentro de valores normais. Entretanto, quando o aporte dietético de fósforo é reduzido ocorre um aumento na eficiência absorptiva e quando este se encontra elevado a absorção diminui. Esta resposta adaptativa ao fósforo dietético é específica do co-transporte sódio/fósforo (LOGHMAN-ADHAM, 1993).

Aproximadamente 90% do fósforo absorvido são excretados por via renal, sendo essa mediada pelo paratormônio (PTH) e quando seus níveis plasmáticos se encontram abaixo de 2,5 mg/dL, em decorrência de uma anormalidade qualquer, instala-se um quadro de hipofosfatemia (LOTSCHER et al., 1996).

- **Ferro**

A deficiência de ferro é o principal fator de risco para o desenvolvimento de anemias nutricionais. A carência de ferro ocorre no organismo, de forma gradual e progressiva, até que a anemia se manifeste (PAIVA et al. 2007). As gestantes representam um dos grupos populacionais mais vulneráveis às anemias nutricionais em função da baixa ingestão durante esse período e aumento da demanda deste mineral. Como consequência, associa-se a uma incidência maior de abortos, partos prematuros, baixo peso ao nascer e morte perinatal, entre outras (MASSUCHETI et al., 2007).

Mais de 65% do ferro corporal se encontram na hemoglobina cuja principal função é o transporte de oxigênio e gás carbônico. O ferro, portanto, é indispensável na formação da hemoglobina (ANGELIS et al., 1993); além disto, participa na composição da molécula de mioglobina do tecido muscular e atua como cofator de reações enzimáticas no ciclo de Krebs (responsável pelo metabolismo aeróbico dos tecidos) e na síntese das purinas, carnitina, colágeno e neurotransmissores cerebrais. O ferro faz parte da composição das flavoproteínas e das heme proteínas catalase e peroxidase (presentes nos eritrócitos e hepatócitos). Essas enzimas podem ser apontadas como responsáveis pela redução do peróxido de H⁺ produzido no organismo (BOTTONI et al., 1997).

2.7- Espectrometria por raios-x

É uma técnica analítica utilizada para a análise elementar ou a caracterização química de uma amostra; e, também, um acessório essencial no estudo de caracterização microscópica, no qual os elementos químicos presentes numa amostra podem ser identificados através do espectro de raios X emitidos pela amostra. O diâmetro reduzido do feixe permite a determinação da composição mineral em amostras de tamanhos muito reduzidos, menores que 5 µm, permitindo uma análise quase que pontual (FIDÉLES, 2010).

2.8- Textura

Conforme CHITARRA & CHITARRA (2005) e BOURNE (2004), a textura pode ser definida como o conjunto de propriedades do alimento, compostas por características físicas perceptíveis pelo tato e que se relacionam com a deformação, desintegração e fluxo do alimento, com a aplicação de uma força. A textura é uma combinação de sensações derivadas dos lábios, língua, mucosa bucal, dentes e do ouvido. Cada área é sensível a pequenas diferenças de pressão e apresenta diferenças para cada atributo ou característica do produto. O conjunto de impressões obtidas na mastigação é responsável pela aceitação ou rejeição do produto.

Dentre os instrumentos de medição de força disponíveis o mais utilizado é o analisador de textura TAXT2, que mede as propriedades de textura de produtos alimentícios através da sua deformação em várias maneiras e da medição da força necessária para alcançar a deformação (SHARMA et al., 2000).

De acordo com Szczesniak e Kahn, citados por GRIZOTTO (2003) a corânica parece ser o parâmetro de textura mais versátil, sendo o termo mais frequente mencionado que qualquer outra palavra para descrever a textura dos alimentos; é, também, um termo bastante proeminente em combinação com a textura ressaltando qualidade de preparo e sinônimo de alimento saudável e fresco.

Como os hábitos dos consumidores se tornaram mais sofisticados, a importância da textura como atributo de qualidade vem aumentando significativamente. Para estabelecer

técnicas eficientes de preservação com o mínimo dano ao produto, o comportamento da textura de fruta deve ser estudado (MASTRANGELO, 2000).

MAZUMDER et al. (2007) realizaram testes de compressão uniaxial em um *snack* de milho de baixa densidade pronto para consumo, e obtiveram curvas características como função da deformação. ALMEIDA et al. (2007) verificaram, em amostras de caju-passa, que com o aumento do teor de açúcar da passa ocorre um aumento da resistência à penetração; portanto, observa-se uma dureza maior e que a temperatura de secagem influenciou sobre a textura das passas de caju. NOBREGA et al. (2013) estudaram os atributos de textura de mamão formosa e observaram que as amostras mais macias foram obtidas na menor temperatura, influenciadas pela solução osmótica na qual estiveram imersas e as menos macias foram aquelas que sofreram secagem a uma temperatura maior.

3.0- MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido no Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA), pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande-PB.

Utilizam-se para a realização desta pesquisa, bananas (*Musa spp.*) da variedade Pacovan, no estágio semimaduro; as etapas referentes ao processo de obtenção e caracterização da banana passa estão expostas no fluxograma da Figura 3.1.

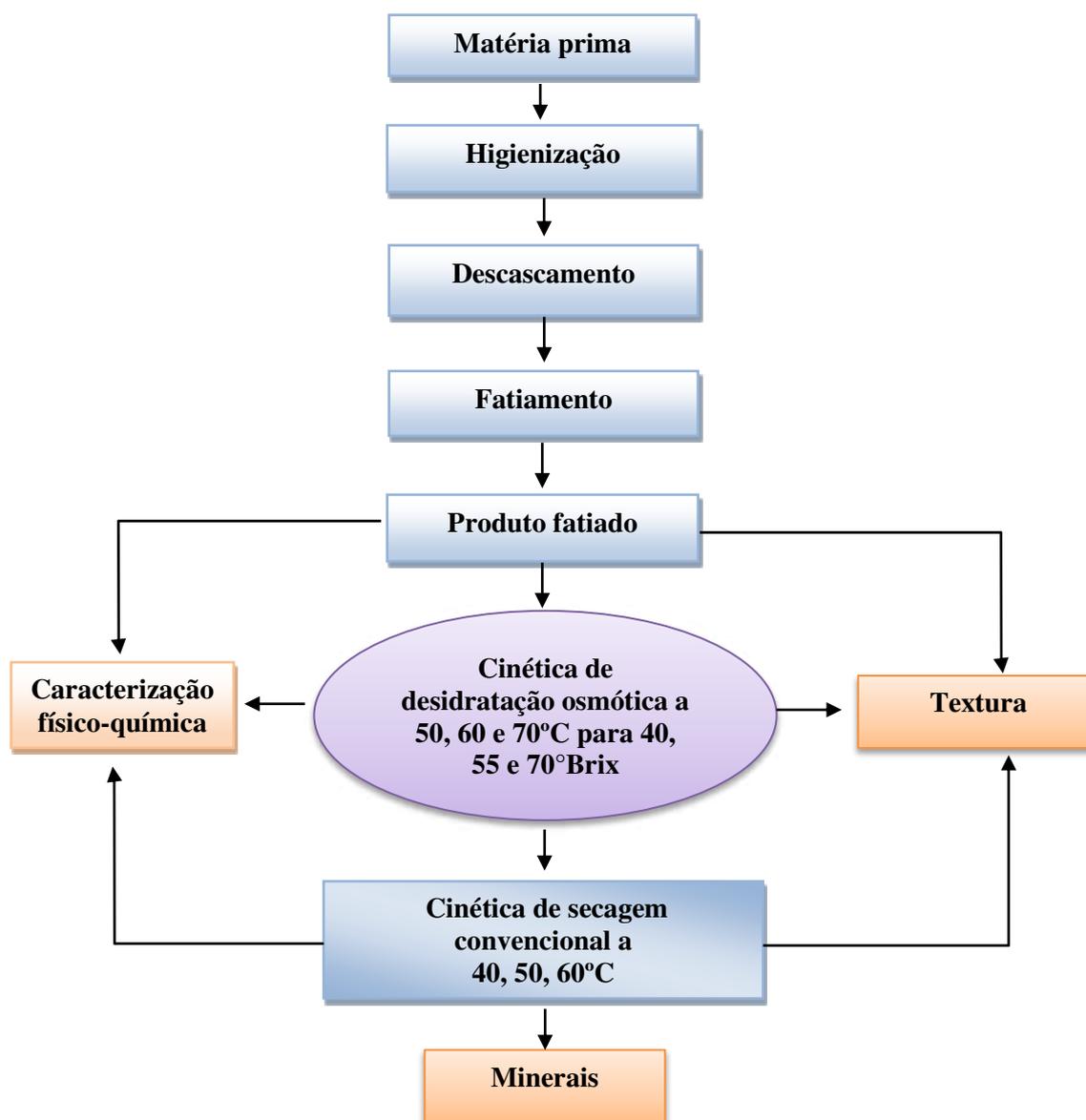


Figura 3.1- Fluxograma para obtenção, caracterização, textura e análises de minerais para banana passa

3.1- Seleção e processamento da banana

Foi utilizada, nesta pesquisa, a banana (*Musa spp.*) da variedade Pacovan, mostrada da Figura 3.2, no estágio semimaduro, adquiridas no mercado de Campina Grande-PB.

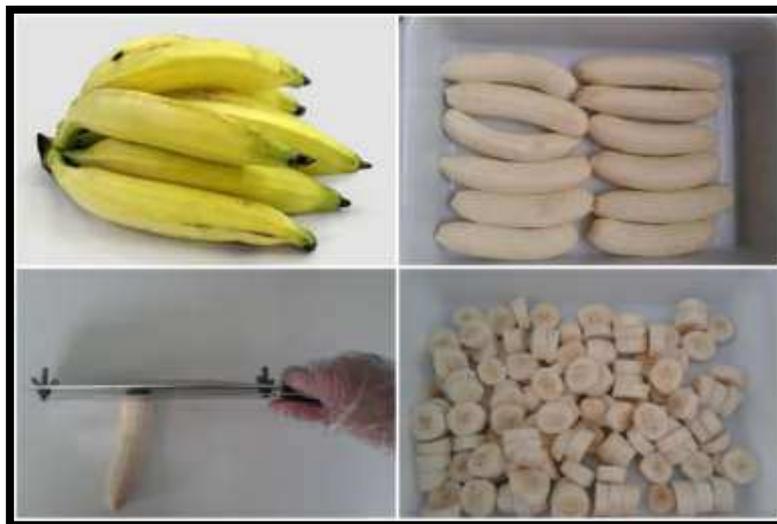


Figura 3.2- Banana Pacovan

As bananas foram pré-selecionadas de acordo com seu tamanho e cor; ainda com casca foram lavadas em água corrente com a finalidade de eliminar sujidades, como terra e demais corpos estranhos; em seguida, o descascamento foi realizado de forma manual com vista à remoção da casca e partes indesejadas no produto, as quais foram cortadas em fatias originando formato de placas planas circulares de 10 mm de espessura, com o auxílio de um cortador de aço inox, com lâmina dupla sendo uma delas ajustável. Desta forma, pode-se cortar as fatias na espessura desejada mantendo o tamanho uniforme das fatias.

3.2- Desidratação osmótica

Obtiveram-se as soluções osmóticas misturando-se açúcar cristalizado granulado e água destilada até atingir os teores de sólidos solúvel desejados 40, 55 e 70°Brix, em que a aferição do °Brix era realizada por meio de um refratômetro manual.

O cálculo da quantidade de solução foi feita de forma a manter a proporção *Massa de fruto* : *Massa de solução* em 1:8. Esta proporção foi escolhida com base na literatura em que

diversos autores, entre eles SOUZA et al. (2003) e (MOTA, 2005), utilizaram a proporção de 1 porção de fruta para 4 porções de solução, também para banana, por 5 horas. A justificativa para tal proporção ou maior, se baseia no fato de esta ser suficiente para descartar a correção da concentração da solução no decorrer do processo, visto que as perdas serão irrisórias, porém vários autores asseguram ser oportuna a utilização de valores elevados para a relação *fruta : xarope*, tais como 1:10 (RASTOGI & RAGHAVARAO, 2004; CORZO & GOMEZ, 2004; MARTÍNEZ et al., 2007, DIONELLO et al., 2009). Escolheu-se para esta pesquisa a proporção 1:8 para assegurar este requisito. As bananas, como ilustrado na Figura 3.3, foram imersas nas soluções de sacarose nas concentrações 40, 55 e 70°Brix e mantidas em estufa sem circulação forçada de ar nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, respectivamente, durante todo o tempo de desidratação osmótica, em que, após testes iniciais, se optou por 5 horas.



Figura 3.3- Desidratação osmótica da banana Pacovan

Acompanhou-se a perda de água, perda de massa e ganho de sólidos periodicamente, em intervalos de 0, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270 e 300 minutos, totalizando 5 horas de osmose para a banana semimadura. Este período de tempo foi escolhido com base em testes preliminares, nos quais se utilizaram 24 horas de desidratação porém o escurecimento enzimático e a deterioração do produto se inicia dependendo, em média da temperatura da osmose, após 5 horas de processo.

Desta maneira, amostras de banana foram pesadas nos intervalos determinados (Figura 3.4) e ao mesmo tempo se retiravam amostras para determinação de matéria seca. Para obter a matéria seca da banana desidratada utilizou-se o método da estufa por 24 horas (IAL, 2008).

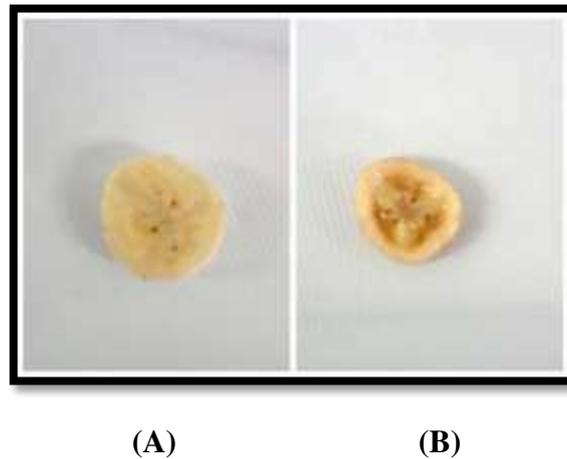


Figura 3.4– Fatias de banana Pacovan: (A) “in natura”; (B) Desidratada

Para calcular os percentuais de perda de água, perda de massa e ganho de sólidos foram utilizados os valores obtidos nos intervalos determinados.

3.2.1- Perda de água

Visando a determinação da perda de água da banana durante a desidratação osmótica uma amostra foi retirada da solução e com o auxílio de um papel absorvente removeu-se o excesso de solução da superfície da amostra; em seguida, e nos intervalos acima citados, pesada em balança semianalítica para obter a massa, e imediatamente, foi imersa novamente na solução para que o processo de desidratação osmótica desse sequência.

A perda percentual de água foi calculada pela equação 3.1.

$$P_A = 100 \times \frac{(M_0 X_0) - (M_t X_t)}{M_0} \quad (3.1)$$

Em que,

P_A = Perda de água, em % (p/p);

M_0 = Massa do fruto no tempo $t = 0$, g;

X_0 = Teor de água do fruto no tempo $t = 0$;

M_t = Massa do fruto tratado no tempo t , g;

X_t = Teor de água do fruto tratado no tempo t .

3.2.2- Perda de massa

Realizou-se para o acompanhamento da perda de massa da banana, o procedimento semelhante ao da perda de água. A perda percentual de massa é definida pela equação (3.2).

$$P_m = 100 \times \frac{(M_0 - M_t)}{M_0} \quad (3.2)$$

Em que,

P_m = Perda de massa, em % (m/m);

M_t = Massa do fruto tratado no tempo t, g;

M_0 = Massa do fruto no tempo t = 0, g.

3.2.3- Ganho de sólidos

O ganho de sólidos foi determinado à medida em que foram encontradas a matéria seca e a perda de água e massa, nos mesmos intervalos de tempo.

O ganho percentual de sólidos (com base na massa inicial da banana) é definido pela equação (3.3).

$$G_s = 100 \times \frac{(MS_t - MS_0)}{P_0} \quad (3.3)$$

Em que,

G_s = Ganho de sólidos, % (p/p);

MS_t = Massa da matéria seca no tempo t, g;

MS_0 = Massa da matéria seca no tempo t = 0, g;

P_0 = Perda de água, no tempo t = 0 em % (p/p).

3.2.4- Cinética de desidratação osmótica

Os dados de desidratação osmótica foram ajustados os modelos de Fick, Page e Cavalcanti Mata, segundo equações descritas no item 2.5 da Revisão de Literatura. A equação de Fick foi aplicada com 4 termos da série visto que, a partir daí, não havia alteração no coeficiente de difusão nem no ajuste das curvas.

3.3- Cinética de secagem

Após a desidratação osmótica as bananas foram submetidas à secagem nas temperaturas de 40, 50, 60°C, respectivamente. Utilizou-se um secador de bandejas sem circulação forçada de ar, Polidryer PD-25 (Figura 3.5), o qual utiliza gás GLP como combustível. Um conjunto de termopares ligados a um registrador de temperatura foi utilizado para monitoramento da temperatura no secador.



Figura 3.5- Secador de bandejas com circulação de ar Polidryer PD-25

As bananas foram colocadas em cestas de alumínio como ilustrado na Figura 3.6, contendo aproximadamente 50 g das amostras as quais foram pesadas periodicamente para obtenção dos dados de secagem; para cada tratamento foram utilizadas três repetições. O tempo final da secagem foi estabelecido quando as bananas atingiam seu teor de água entre 15 e 18% base úmida, porém amostras eram mantidas no secador até peso constante, ou seja, até que atingissem o equilíbrio higroscópico.



Figura 3.6- Cestas de alumínio usadas no experimento de secagem

Os dados coletados foram utilizados para obtenção das curvas de secagem relacionando-se a razão de teor de água em função do tempo de secagem para cada temperatura (Equação 3.4).

$$RX = \frac{X_{b.s} - X_e}{X_{b.s(\text{inicial})} - X_e} \quad (3.4)$$

Em que:

RX = Razão de teor de água (adimensional)

X_e = Teor de água de equilíbrio em base seca

$X_{b.s}$ = Teor de água em base seca

$X_{b.s(\text{inicial})}$ = Teor de água inicial em base seca

Os parâmetros dos modelos foram obtidos por análise de regressão não linear pelo método numérico Quasi-Newton para os modelos difusional de Fick, Page e Cavalcanti Mata, representadas pelas Equações 2.3, 2.4, e 2.13, respectivamente. Os modelos foram ajustados aos dados experimentais da secagem por meio do software Statistica, versão 8.0 (STATSOFT, 2008).

O modelo difusional de Fick (Equação 3.5) para placa plana foi utilizado para a estimativa da difusividade efetiva (D_{ef}), sendo que foram considerados quatro termos da série, os quais apresentaram melhores ajustes da Equação de Fick aos dados experimentais das secagens.

$$\begin{aligned}
 RX = & (0,8105694691) * (\exp((-2,4674011 * D * T) / (L ** 2))) + (0,0900632743 * \\
 & \exp((-22,2066099 * D * T) / (D ** 2))) + (0,0324227787 * \exp((-61,6850275 * D * T) / \\
 & (L ** 2))) + (0,01654223406 * \exp((-120,9026539 * D * T) / (L ** 2))) \quad (3.5)
 \end{aligned}$$

Como critério de seleção para expressar o modelo que melhor representou o processo de secagem, utilizou-se o coeficiente de determinação (R^2), dado pelo software Statistica 8.0 e a distribuição dos resíduos entre os dados calculados e preditos.

Após a obtenção dos produtos desidratados e secos as amostras foram armazenadas em embalagens laminadas (Figura 3.7) as quais foram seladas a vácuo e congeladas a -50°C em balcão criogênico para posteriores análises físico- químicas.



Figura 3.7- Amostras embaladas a vácuo

3.4- Características químicas e físico-químicas

Para a caracterização química e físico-química, foram feitas as seguintes determinações: teor de água e matéria seca, açúcares redutores, pH, sólidos solúveis totais ($^\circ\text{Brix}$), acidez titulável, atividade de água (a_w), cinzas, textura e análises de minerais. Antes de se submeter as bananas ao processo de secagem e logo após o processamento, foram realizadas as mesmas análises. Os parâmetros foram determinados em triplicata e os resultados obtidos da caracterização foram submetidos a análises de variância, segundo experimento fatorial 2×3 , com três repetições, cujas médias foram comparadas pelo teste de Tukey a nível de 1 e 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico ASSISTAT versão 7.7.

3.4.1- Teor de água e matéria seca

O teor de água foi obtido conforme o método descrito pelo IAL (2008), ou seja, em estufa a 105°C até peso constante, antes e após o processo de desidratação osmótica e secagem.

O cálculo do teor de água em base seca e em base úmida foi obtido por meio das Equações 3.6 e 3.7, respectivamente.

$$X_{bs} = \frac{M_{H_2O}}{M_{seca}} \times 100 \quad (3.6)$$

$$X_{bu} = \frac{M_{H_2O}}{M_{seca} + M_{H_2O}} \times 100 \quad (3.7)$$

Em que,

X b.s = Teor de água, base seca;

X b.u = Teor de água, base úmida;

M_{H₂O} = Massa de água, g;

M_{seca} = Massa seca, g.

3.4.2- Acidez total titulável

De acordo com a metodologia descrita no IAL (2008), a análise da acidez total titulável foi técnica de titulometria utilizando-se 5 g de amostra triturada em 100 mL de água destilada e submetida à titulação com uma solução de 0,1N de hidróxido de sódio utilizando-se como indicador para verificação do ponto de viragem, solução alcoólica a 1% de fenolftaleína. Os resultados foram expressos em percentagem.

3.4.3- Açúcares redutores

O método se baseou na redução de íons cobre bivalente, em meio básico, pelos açúcares redutores, conforme o método proposto pelo IAL (2008).

3.4.4- Potencial hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) foi determinado pelo método potenciométrico através do uso de um pHmetro da marca Tecnal modelo TEC-2, calibrado com soluções tampão de pH 7,0 e 4,0, segundo a metodologia do IAL (2008). Os resultados foram expressos em unidades de pH.

3.4.5- Sólidos solúveis totais (°Brix)

A determinação dos sólidos solúveis totais foi realizada através de leitura direta com um refratômetro portátil da marca Instrutherm, modelo RT-95. A leitura do °Brix foi corrigida em função da temperatura da amostra utilizando-se a tabela contida no manual do IAL (2008).

3.4.6- Cinzas

A determinação de cinzas foi realizada por meio de método gravimétrico baseado na incineração do material secado em mufla a 550°C, segundo a metodologia descrita pelo IAL (2008). Os resultados foram expressos em percentagem.

3.4.7- Atividade de água

A atividade de água das amostras foi determinada com o auxílio do equipamento Aqualab CX-2T, Decagon a 25°C.

3.5- Análises de minerais

Foram obtidas as cinzas das bananas desidratadas e após secagem. Utilizou-se o equipamento de espectrofotômetro de energia dispersiva, modelo EDX-720, da marca Shimadzu (Figura 3.8), para determinar os minerais (Potássio, Cálcio, Fósforo, Magnésio e Ferro) presentes nas amostras de cinzas da banana.



Figura 3.8- Espectrômetro de dispersão de raios X, modelo EDX-720

3.6- Textura

As análises de textura foram realizadas com bananas cortadas em 10 mm de espessura desidratadas e secadas no secador de bandejas empregando-se um texturômetro TAXT plus (Stable Micro Systems) Figura 3.9.

Os valores obtidos foram de tensão de ruptura da fibra e resistência à compressão. As análises foram realizadas em triplicata e os dados obtidos de textura foram submetidos a análises de variância, segundo planejamento fatorial 2 x 3, com três repetições cujas médias foram comparadas pelo teste de Tukey a nível de 1 e 5% de probabilidade utilizando-se o programa estatístico ASSISTAT versão 7.7.



Figura 3.9- Equipamento utilizado para determinação dos atributos de textura, TAXTplus – STABLE MICRO SYSTEMS

3.6.1- Avaliação da ruptura de fibras

O teste de perfuração foi realizado com o probe P/2 de haste cilíndrica de aço inoxidável com diâmetro de 2 mm (Figura 3.10), ajustada para perfurar até 80% da amostra com uma força de contato de 1N, uma distância de retorno de 20 mm e velocidade de retorno de $2,0 \text{ mm.s}^{-1}$.

As medições do teste foram realizadas no centro de cada amostra obtendo-se, assim, um valor da força máxima de penetração; este ensaio foi realizado com 10 repetições.



Figura 3.10- Ensaio de ruptura de fibras utilizando-se o Probe P/2

3.6.2- Avaliação da firmeza

Para o teste de resistência a compressão utilizou-se o probe P/36R, cilindro de alumínio com diâmetro de 36 mm (Figura 3.11), com uma tensão sobre 80% da amostra, força de contato de 1N, distância de retorno de 40 mm e a velocidade de retorno de $2,0 \text{ mm.s}^{-1}$.

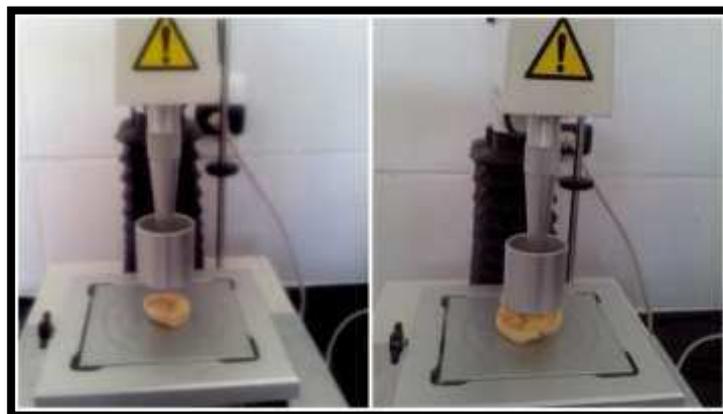


Figura 3.11- Ensaio de compressão, utilizando-se o Probe P/36R

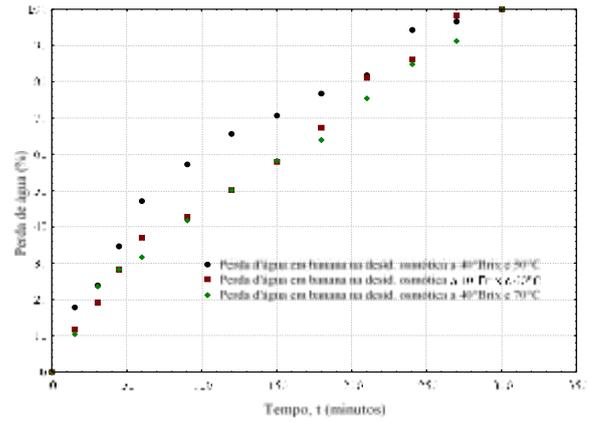
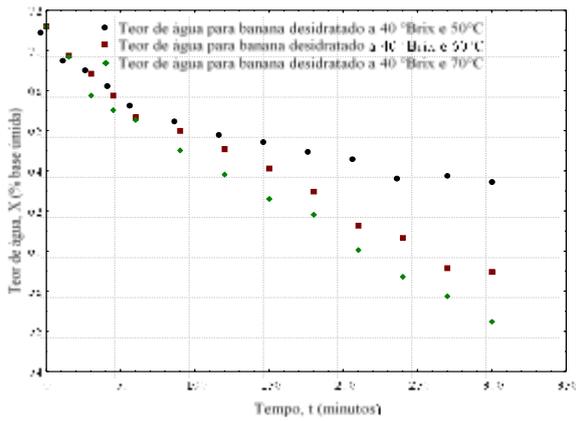
4.0- RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1- Desidratação osmótica de banana Pacovan

4.1.1- Ganho de sólidos e perdas de água

Nas Figuras 4.1 a 4.3 se encontram os dados obtidos para avaliação da cinética de desidratação osmótica de banana Pacovan nos diferentes tratamentos utilizados, 3 soluções de sacarose, 40, 55 e 70°Brix nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, para cinco horas de desidratação osmótica.

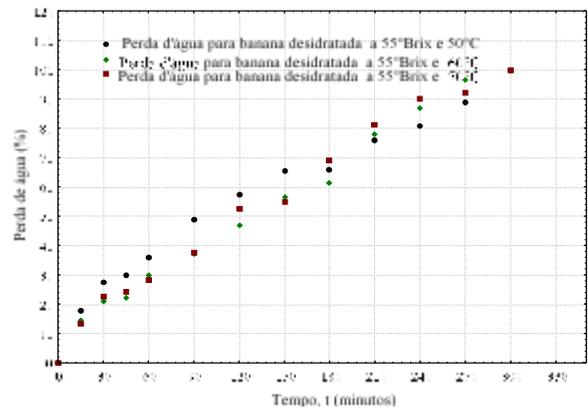
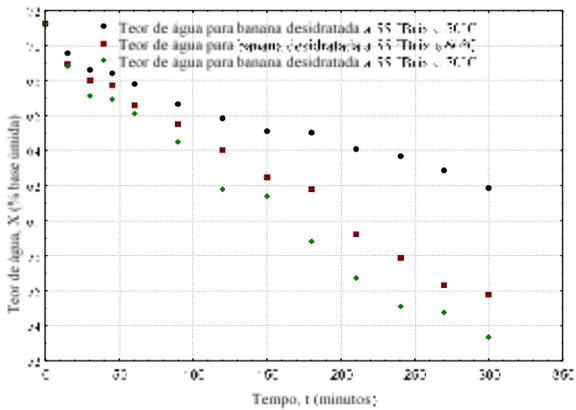
Segundo a literatura (LIMA et al., 2000; SOUSA et al., 2003; EL-AQUAR & MURR, 2003; MOTA, 2005 e SOUZA NETO et al., 2005), a remoção de água de um produto é maior tanto maior seja a concentração da solução de sacarose à qual o produto é submetido porém poucos estudos tratam da importância da combinação entre concentração, temperatura e incorporação de sólidos a última, requerida ou não, dependendo do objetivo do produto final. Observando o comportamento das Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 percebe-se grande diferença na quantidade de água removida devido as temperaturas de desidratação osmótica ao final de 300 minutos, sendo as perdas de água nas temperaturas de 60 e 70°C maiores que as perdas para 50°C, porém muito próximas entre si, o que isso foi observado para a banana desidratada em todas as soluções de sacarose, 40, 55 e 70°Brix. Constata-se, portanto, que além da concentração a temperatura exerce grande influência no processo de desidratação osmótica, possível de ser constatado na Figura 4.3 que, mesmo na concentração de 70°Brix, a maior perda d'água, de 72 para 52% b. u., ocorreu para a temperatura de 70°C.



a)

b)

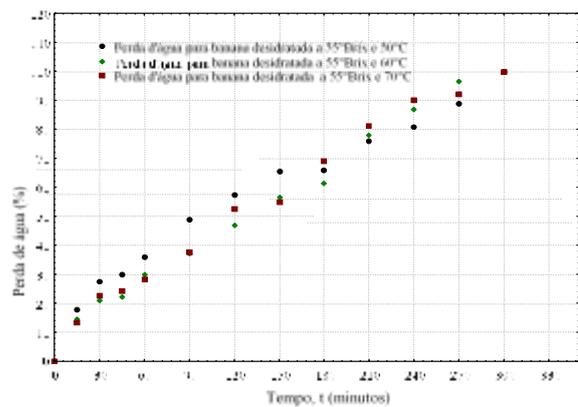
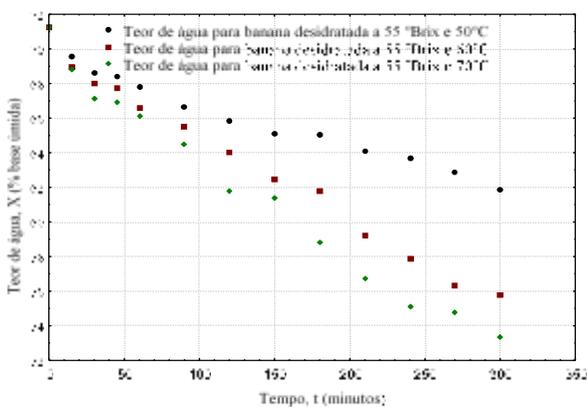
Figura 4.1– Perda de água do produto em função do tempo de desidratação osmótica para a concentração de sacarose de 40°Brix nas temperaturas de 40, 50 e 60°C, em base úmida (a) e em percentagem do total de água perdida em 5 horas (b)



a)

b)

Figura 4.2– Perda de água do produto em função do tempo de desidratação osmótica para a concentração de sacarose de 55°Brix nas temperaturas de 40, 50 e 60°C, em base úmida (a) e em percentagem do total de água perdida em 5 horas (b)



a)

b)

Figura 4.3– Perda de água do produto em função do tempo de desidratação osmótica para a concentração de sacarose de 70°Brix nas temperaturas de 40, 50 e 60°C, em base úmida (a) e em percentagem do total de água perdida em 5 horas (b)

Observa-se, por essas mesmas figuras, que as velocidades de perda de água foram maiores nas 2 primeiras horas de processo, tempo necessário para que todos os tratamentos perdessem mais de 50% de toda a água perdida durante as cinco horas de desidratação. Este comportamento tem sido relatado por vários pesquisadores ao estudarem a desidratação osmótica de diversas frutas, tais como maçã, kiwi, banana, goiaba, mamão, melão e manga (EL-AQUAR & MURR, 2003; SOUZA NETO et al., 2004; LIMA et al., 2000; MOTA, 2005 e SOUZA NETO et al., 2005).

Os dados referentes à perda de água (% b.u.) e o ganho de sólidos (%), ao final de 5 horas de processo, obtidos nos diferentes experimentos de desidratação, sendo 3 soluções de sacarose (40, 55 e 70°Brix) e 3 temperaturas (50, 60 e 70°C) se encontram na Tabela 4.1.

Tabela 4.1- Ganho de sólidos e perda de água observados para banana Pacovan ao final de 300 minutos de processo em função da concentração de sacarose da solução e temperatura de osmose

Concentração de sacarose	Temperatura de desidratação osmótica					
	50°C		60°C		70°C	
	Ganho de sólidos (%)	Perda de água (% b.u.)	Ganho de sólidos (%)	Perda de água (% b.u.)	Ganho de sólidos (%)	Perda de água (% b.u.)
40°Brix	4,68	10,99	4,03	17,07	0	20,69
55°Brix	6,12	13,12	4,05	21,49	1,05	25,14
70°Brix	4,12	27,6	3,01	24,43	0,90	25,40

A combinação temperatura-concentração de sacarose na desidratação osmótica deve ser muito bem investigada. O que se observou neste estudo foi que, quando se utiliza concentração de sacarose da solução osmótica elevada, 70°Brix a temperaturas de processo alta, 70°C, não deve ser utilizada pois a formação de uma película de melaço na superfície do produto pode dificultar as trocas osmóticas resultando em baixíssima ou nenhuma incorporação de sólidos, para determinado tempo de processo. Ainda se observa, analisando as Figuras 4.1-a e 4.3-a, uma proximidade muito grande entre as curvas de processo a 60 e 70°C e como o intuito da

desidratação em solução de sacarose é a perda de água com mínima incorporação de sólidos, neste caso a opção seria pela concentração de 70°Brix a 60°C, visto que a perda de água é aproximadamente a mesma (Tabela 4.1). Desta forma, o custo do processo diminui ainda com baixa incorporação de sólidos pelo produto. Na desidratação osmótica de frutas as condições requeridas e tidas como vantajosas é que se tenha perda considerável de água com baixa incorporação de sacarose (MAURO & MENEGALLI, 1995; ARHNÉ, 2005).

4.1.2- Análise estatística do ganho de sólidos

Para analisar melhor o efeito dos parâmetros temperatura de desidratação e concentração de sacarose sobre o ganho de sólidos, ao final do processo, tal como a interação entre esses fatores, fez-se uma análise de variância segundo experimento fatorial 3 (Temperaturas) x 3 (Concentrações de sacarose) com três repetições, utilizando o programa computacional ASSISTAT 7.0. A comparação entre as médias foi realizada pelo teste de Tukey a 1 e 5% de probabilidade; os resultados desta análise são apresentados nas Tabelas 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5.

Tabela 4.2- Análise de variância entre os parâmetros temperatura de desidratação e concentração de sacarose sobre o ganho de sólidos (%), ao final de processo de desidratação osmótica

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Temperatura (T)	2	89,15410	44,57705	426,5595 **
°Brix (B)	2	5,73294	2,86647	27,4294 **
(T) x (B)	4	4,69255	1,17314	11,2258 **
Tratamentos	8	99,57959	12,44745	119,1101 **
Resíduo	18	1,88107	0,10450	
Total	26	101,46065		

** significativo a nível de 1% de probabilidade ($p < .01$); ns não significativo ($p \geq .05$)

Percebe-se, pela Tabela 4.2, que os fatores temperatura, concentração de sacarose e a interação entre esses dois, são significativos o nível de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey. A comparação entre as médias desses fatores e a interação entre eles estão apresentados nas Tabelas 4.3 e 4.4.

Tabela 4.3- Comparação entre os valores médios de ganho de sólidos em banana Pacovan ao final de cinco horas de processo de desidratação osmótica, para as temperaturas de 50, 60 e 70°C

Temperatura	Ganho de sólidos (%)
50°C	4,973a
60°C	3,697b
70°C	0,642c

DMS = 0,38900 MG = 3,10407 CV% = 10,41

Tabela 4.4- Comparação entre os valores médios de ganho de sólidos em banana Pacovan ao final de cinco horas de processo de desidratação osmótica, em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix

Concentração	Ganho de sólidos (%)
40°Brix	2,90444b
55°Brix	3,74111a
70°Brix	2,66667b

DMS = 0,38899 MG = 3,10407 CV% = 10,41

Percebe-se, observando a Tabela 4.3, que o ganho de sólidos é menor quanto maior a temperatura de processo de desidratação enquanto em relação à concentração de sacarose existe um ponto ótimo se o objetivo for a incorporação de sólidos. A banana incorpora maior quantidade de sólidos na solução a 55°Brix e possui uma viscosidade muito elevada e a incorporação de sólidos é dificultada por este fator. MAEDA & LORETO (1998), trabalhando com desidratação osmótica de bananas em altas concentrações de sacarose, 60 e 70°Brix fazem referência às viscosidades da banana e também às altas concentrações de sacarose das soluções como sendo um obstáculo à incorporação de sólidos. Outros autores, trabalhando com desidratação osmótica de bananas em condições semelhantes às desta pesquisa, relatam o mesmo fenômeno (SOUSA et al., 2003; PEREIRA, 2007).

Com base em comentários anteriores percebe-se, pela análise da Tabela 4.5, a qual ilustra a interação entre temperatura e concentração de sacarose do processo de desidratação osmótica, que a combinação que resulta em incorporação de sólidos nula seria a imersão de bananas em solução de sacarose a 40°Brix mantidas a 70°C e com incorporação de sólidos um pouco maior,

porém baixa (0,87%) para a combinação 70°Brix e 70°C. A maior incorporação de sólidos foi observada (6,12%) para a combinação 55°Brix a 50°C, combinação esta que deve ser descartada do ponto de vista das vantagens do processo e desidratação osmótica (MAURO & MENEGALLI, 1995; LIMA et al., 2000; EL-AQUAR & MURR, 2003; SOUZA NETO et al., 2004; MOTA, 2005; SOUZA NETO et al., 2005; PEREIRA, 2007).

Tabela 4.5- Comparação entre as médias de valores de incorporação de sólidos (%) para a interação temperatura e concentração de sacarose, na desidratação osmótica de banana Pacovan

Temperatura (°C)	Concentração de Sacarose (°Brix)		
	40	55	70
50	4,68aB	6,12aA	4,12aB
60	4,03aA	4,05bA	3,01bB
70	0,00bB	1,05cA	0,87cA

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo Teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade; DMS para colunas = 0,6738, classificação com letras minúsculas
DMS para linhas = 0,6738, classificação com letras maiúsculas, MG = 3,10407; CV% = 10,41

4.1.3- Análise estatística da perda de água

Para analisar o efeito dos parâmetros temperatura de desidratação e a concentração de sacarose sobre a perda de água ao final do processo tal como a interação entre esses fatores, fez-se uma análise de variância segundo experimento fatorial 3 (Temperaturas) x 3 (Concentrações de sacarose) com três repetições utilizando o programa computacional Assistat 7,0. A comparação entre as médias foi realizada pelo teste de Tukey a 1 e 5% de probabilidade; os resultados desta análise são apresentados nas Tabelas 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9.

Constata-se, pela análise contida na Tabela 4.6, que a concentração de sacarose da solução osmótica, a temperatura de processo e a interação entre esses dois fatores, são significativos e, portanto, exercem influência sobre a perda de água no processo de desidratação osmótica e banana Pacovan.

Tabela 4.6- Análise de variância entre os parâmetros temperatura de desidratação e concentração de sacarose sobre a perda de água (%), ao final de processo de desidratação osmótica

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.
Temperatura (T)	2	191,97356	95,98678	686,4734 **
°Brix (B)	2	418,41410	209,20705	1496,1964 **
(T) x (B)	4	195,75217	48,93804	349,9926 **
Tratamentos	8	806,13983	100,76748	720,6638 **
Resíduo	18	2,51687	0,13983	
Total	26	808,65670		

** significativo a nível de 1% de probabilidade ($p < ,01$); ns não significativo ($p \geq ,05$)

Analisando a Tabela 4.7 percebe-se que a maior perda de água ocorre para o processo de desidratação a 70 °C, que foi uma perda média e 23,74 % da água inicial da banana. Observa-se ainda que a perda de água aumenta com o aumento da temperatura da solução assim como ocorre na secagem convectiva.

Tabela 4.7- Comparação entre os valores médios de perda de água em banana Pacovan, ao final de cinco horas de processo de desidratação osmótica para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C

Temperatura	Perda de água (%)
50°C	17,24c
60°C	20,99b
70°C	23,74a

DMS = 0,44997; MG = 20,65963; CV% = 1,81

Percebe-se ainda, confirmando as citações de literatura consultada (MAURO & MENEGALLI, 1995; LIMA et al., 2000; EL-AQUAR & MURR, 2003; SOUSA et al., 2003; MOTA, 2005; SOUZA NETO et al., 2005), que a perda de água aumenta com o aumento da concentração de sacarose sendo esses valores de 16,25% para a banana desidratada a 40°Brix e 25,81% de perda de água, para a banana desidratada a 70°Brix, ambos ao final de 5 horas de processo (Tabela 4.8).

Tabela 4.8- Comparação entre os valores médios de perda de água em banana Pacovan ao final de cinco horas de processo de desidratação osmótica, em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix

Concentração	Perda e água (%)
40°Brix	16,25c
55°Brix	19,92b
70°Brix	25,81a

DMS = 0,44997; MG = 20,65963; CV% = 1,81

Tabela 4.9- Comparação entre as médias de valores de perda de água (%), para a interação temperatura e concentração de sacarose na desidratação osmótica de banana Pacovan

Temperatura (°C)	Concentração de Sacarose (°Brix)		
	40	55	70
50	10,99cC	13,12cB	27,60aA
60	17,07bC	21,49bB	24,43cA
70	20,69aB	25,14aA	25,40bA

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo Teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade; dms para colunas = 0,7794, classificação com letras minúsculas

DMS para linhas = 0,7794, classificação com letras maiúsculas, MG = 20,66; CV% = 1,81

Analisando a interação entre a concentração de sacarose da solução osmótica e a temperatura de processo, pode-se afirmar que a melhor combinação para a retirada de água de banana Pacovan entre os experimentos conduzidos nesta pesquisa, foi 70°Brix e 50°C, seguidos da combinação 55°Brix e 70°C, com perdas de água de 27,6 e 25,14%, respectivamente. Previse-se que a combinação 70°Brix e 70°C contribuiria para a maior perda de água no processo de desidratação osmótica porém a alta viscosidade da solução osmótica de sacarose a 70 °Brix forma uma película que, impregnada na superfície da banana, pode dificultar a saída de água, assim como dificulta a incorporação de sólidos e, auxiliada pela alta temperatura, pode haver certa caramelização, que interfere nas trocas osmóticas.

4.1.4- Cinética de desidratação osmótica – aplicação de modelos matemáticos

Para a análise da cinética e desidratação osmótica foram ajustados os modelos de Fick, Page e Cavalcanti Mata, aos dados experimentais.

Modelo de Fick

O modelo de Fick para desidratação osmótica de banana Pacovan foi ajustado com 4 termos da série visto que com mais de 4 termos não havia mudança no coeficiente de difusão e, também, não havia melhora significativa no ajuste das curvas. Nas Figuras de 4.4 a 4.6 se encontra a cinética de desidratação osmótica representada pelo modelo de Fick.

$$RX = 0,8106 \exp((-2,4674/L^2)Dt) + 0,111 \exp((-22,2066/L^2)Dt) + 0,04 \exp((-61,684/L^2)Dt) + 0,0204 \exp((-120,90/L^2)Dt)$$

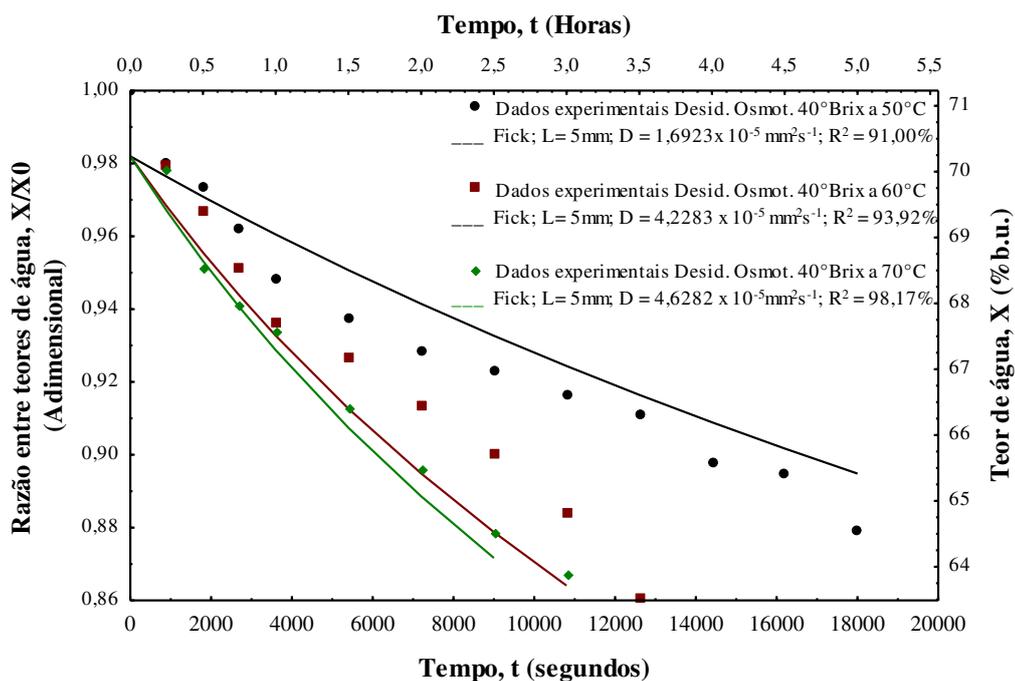


Figura 4.4- Dados de razão de teor de água em função do tempo para desidratação osmótica na concentração de sacarose a 40°Brix e secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, segundo ajuste pelo modelo de Fick

$$RX=0,8106 \exp((-2,4674/L^2)Dt) + 0,111 \exp((-22,2066/L^2)Dt) + 0,04 \exp((-61,684/L^2)Dt) + 0,0204 \exp((-120,9026/L^2)Dt)$$

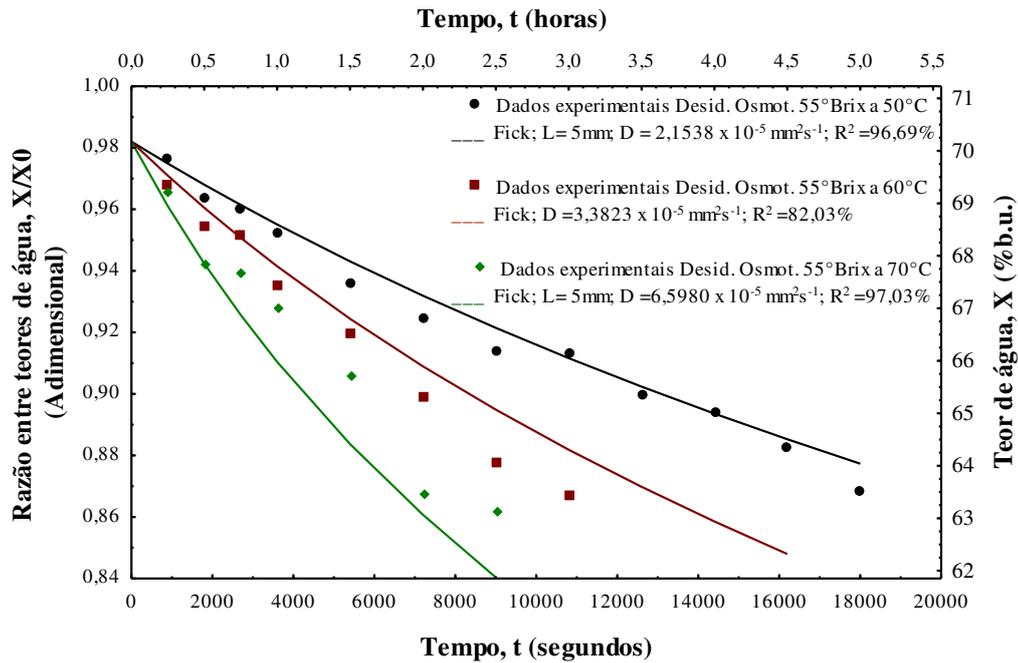


Figura 4.5- Dados de razão de teor de água em função do tempo para desidratação osmótica na concentração de sacarose a 55°Brix e secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, segundo ajuste pelo modelo de Fick

$$RX=0,8106 \exp((-2,4674/L^2)Dt) + 0,111 \exp((-22,2066/L^2)Dt) + 0,04 \exp((-61,684/L^2)Dt) + 0,0204 \exp((-120,9026/L^2)Dt)$$

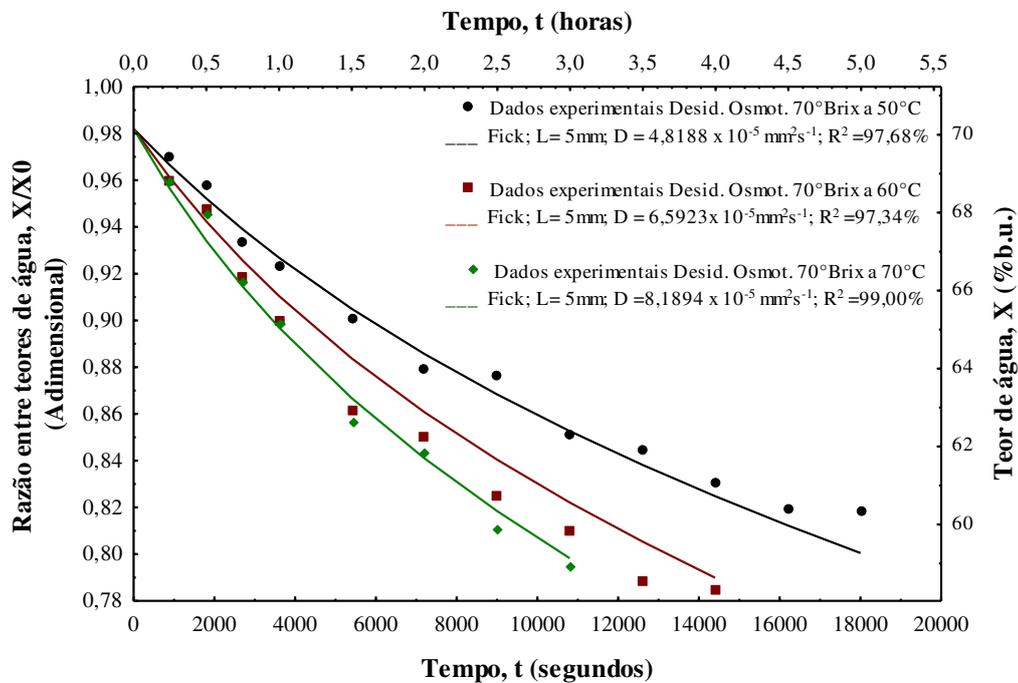


Figura 4.6- Dados de razão de teor de água em função do tempo para desidratação osmótica na concentração de sacarose a 70°Brix e secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, segundo ajuste pelo modelo de Fick

Observa-se, pelas Figuras 4.4, 4.5 e 4.6, que a maioria das curvas foi ajustada com um coeficiente de determinação acima de 90 %, o que é considerado aceitável sendo o pior ajuste observado para a desidratação osmótica realizada em solução de sacarose a 55°Brix e temperatura de processo de 60°C, que foi $R^2 = 82,03\%$. Os melhores ajustes foram obtidos para os dados de desidratação em solução de sacarose a 70°Brix, cujos valores dos coeficientes de determinação foram superiores que 97%, para todas as temperaturas de secagem.

Na Tabela 4.10 se encontram os coeficientes de difusão estimados pela equação de Fick em função da concentração da solução osmótica e da temperatura de processo considerando-se a banana como placa plana circular de 10 mm de espessura.

Tabela 4.10- Coeficientes de difusão estimados pela equação de Fick em função da concentração da solução osmótica e da temperatura de processo considerando-se a banana uma placa plana circular de 10 mm de espessura

Temperatura de processo	Coef. de difusão ($\text{mm}^2.\text{s}^{-1}$)	Coef. de difusão ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$)	Interv. de Teores de água (b.u.)	R^2 (%)
Concentração de sacarose da solução 40°Brix				
50°C	$1,69225 \times 10^{-5}$	$1,69225 \times 10^{-11}$	71,230 - 63,489	91,00
60°C	$4,22829 \times 10^{-5}$	$4,22829 \times 10^{-11}$	71,230 - 58,983	93,92
70°C	$4,62822 \times 10^{-5}$	$4,62822 \times 10^{-11}$	71,230 - 56,471	98,17
Concentração de sacarose da solução 55°Brix				
50°C	$2,15378 \times 10^{-5}$	$2,15378 \times 10^{-11}$	61,852 - 71,230	96,69
60°C	$3,382348 \times 10^{-5}$	$3,382348 \times 10^{-11}$	55,816 - 71,230	82,03
70°C	$6,598028 \times 10^{-5}$	$6,598028 \times 10^{-11}$	58,329 - 71,230	97,03
Concentração de sacarose da solução 70°Brix				
50°C	$4,818847 \times 10^{-5}$	$4,818847 \times 10^{-11}$	58,329 - 71,230	97,68
60°C	$6,592341 \times 10^{-5}$	$6,592341 \times 10^{-11}$	53,866 - 71,230	97,34
70°C	$8,189450 \times 10^{-5}$	$8,18945 \times 10^{-11}$	53,043 - 71,230	99,00

Percebe-se, pela análise da Tabela 4.10, que o coeficiente de difusão na desidratação osmótica de bananas aumenta com o aumento da temperatura em todas as concentrações de sacarose, sendo os mais elevados na concentração de 70°Brix. Nas concentrações de 40°Brix os coeficientes de difusão são consideravelmente maiores para as temperaturas de 60 e 70°C. Os coeficientes de difusão estimados pela equação de Fick nesta pesquisa, ficaram entre $1,692 \times 10^{-11}$ e $8,189 \times 10^{-11}$, para temperaturas variando de 50 a 70°C e concentrações de sacarose de 40 a 70°Brix. Esses coeficientes são menores que os de NGUYEN & PRICE (2007) que, estudando a secagem da banana nas temperaturas de 50 a 70°C, encontraram valores para difusividade efetiva entre 3,2 a $7,8 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ para amostras com 10 mm de espessura e menores que os resultados relatados por MERCALLI et al. (2012), no estudo sobre a difusão mássica na desidratação osmótica de banana cujos valores ficaram em torno $6,47 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, considerando que os autores trabalharam com temperaturas menores até 55°C e concentração de sacarose de 30 a 60%, proporção massa/massa. MAURO & MENEGALLI (1995) encontraram, estudando o coeficiente de difusão de bananas durante a desidratação osmótica, coeficientes de difusão da mesma ordem de grandeza dos encontrados nesta pesquisa embora os autores tenham usado soluções osmóticas mistas, sacarose e glicerol.

Modelo de Page

Nas Figuras 4.7 a 4.9 se acham as curvas de ajuste aos dados experimentais de desidratação osmótica de banana Pacovan, segundo modelo de Page.

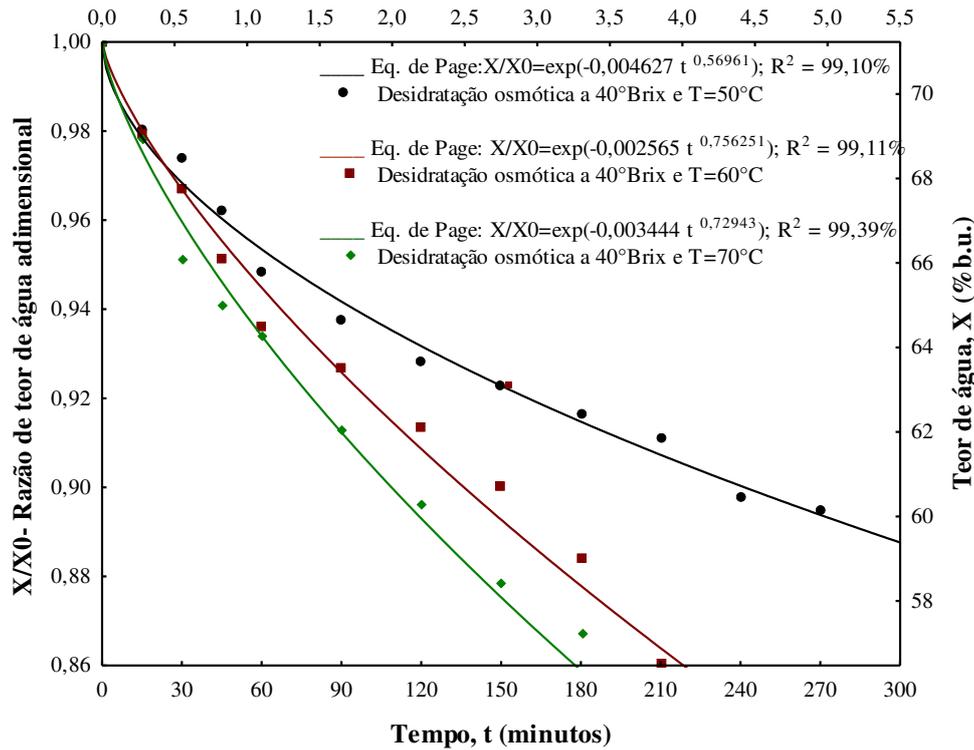


Figura 4.7- Dados de razão de teor de água em função do tempo para desidratação osmótica na concentração de sacarose a 40°Brix e secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, segundo ajuste pelo modelo de Page

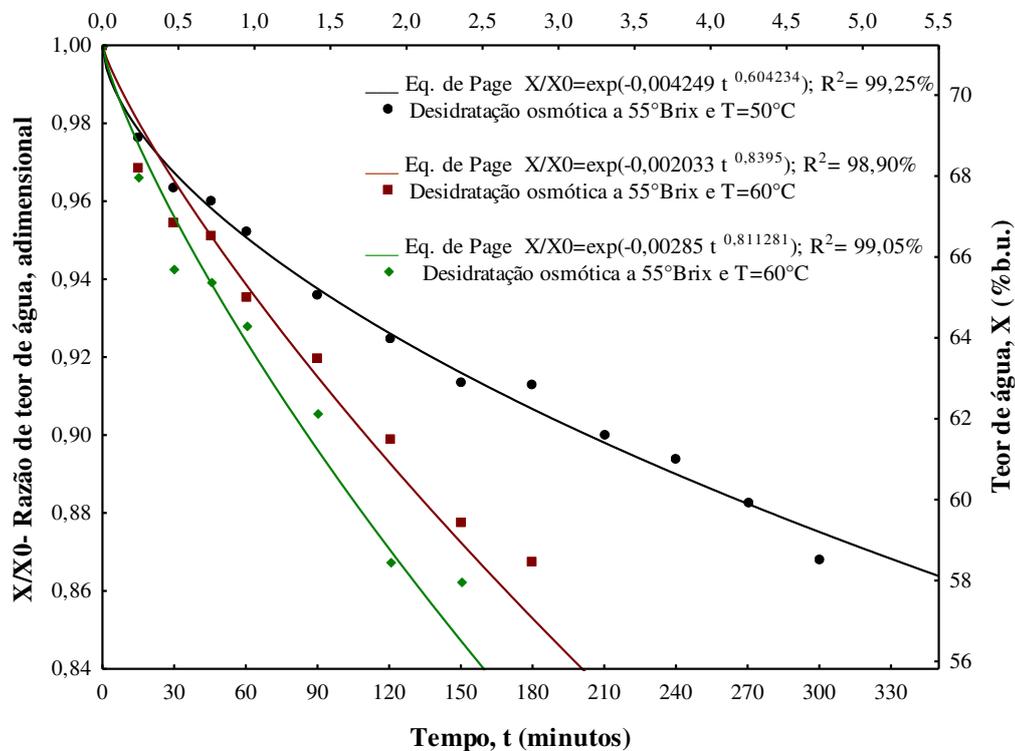


Figura 4.8- Dados de razão de teor de água em função do tempo para desidratação osmótica na concentração de sacarose a 55°Brix e secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, segundo ajuste pelo modelo de Page

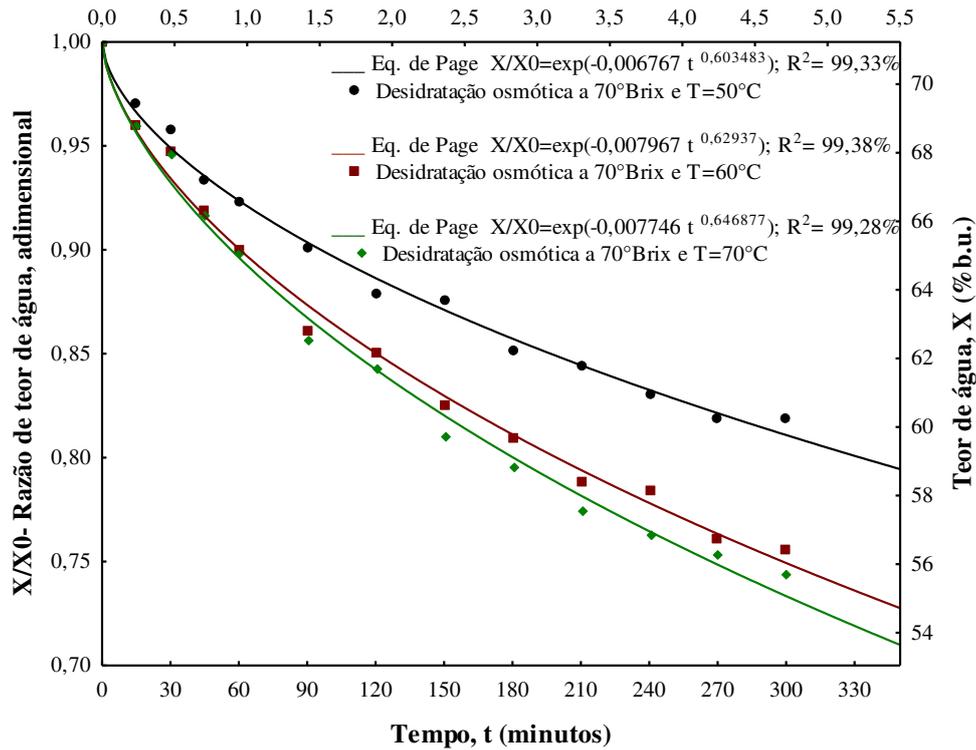


Figura 4.9- Dados de razão de teor de água em função do tempo para desidratação osmótica na concentração de sacarose a 70°Brix e secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, segundo ajuste pelo modelo de Page

Na Tabela 4.11 estão os coeficientes de difusão estimados pela equação de Page em função da concentração da solução osmótica e da temperatura de processo.

Tabela 4.11- Parâmetros do modelo de Page e coeficiente de determinação (R^2) encontrados segundo ajuste aos dados de razão de teor de água em função do tempo, para desidratação osmótica de banana Pacovan nas concentrações de sacarose a 40, 55 e 70°Brix e temperaturas de 50, 60 e 70°C

Modelo de Page				
Concentração	Temperatura(°C)	Parâmetros		R²(%)
		k	n	
40 °Brix	50°C	0,004627	0,56961	99,10
	60°C	0,002565	0,75625	99,11
	70°C	0,003444	0,72943	99,39
55 °Brix	50°C	0,004249	0,60423	99,25
	60°C	0,002033	0,83950	98,9
	70°C	0,00285	0,811281	99,05
70 °Brix	50°C	0,006767	0,603483	99,33
	60°C	0,007967	0,629370	99,38
	70°C	0,007746	0,646877	99,28

Observando as Figuras 4.7 a 4.9 percebe-se que o modelo de Page se ajusta bem aos dados experimentais para todos as condições de desidratação osmótica e temperatura de desidratação considerando as 5 primeiras horas de desidratação osmótica com coeficientes de determinação, $R^2 \geq 99\%$. Os coeficientes da Equação de Page não expressam nenhuma tendência de comportamento, Tabela 4.11, porém todos estão dentro da mesma ordem de grandeza, 10^{-2} e o coeficiente enquanto n varia de 0,57 a 0,84 mas também apresentaram comportamento aleatório.

Modelo de Cavalcanti Mata

Nas Figuras de 4.10 a 4.12 se encontram as curvas de ajuste aos dados experimentais de desidratação osmótica de banana Pacovan, segundo modelo de Cavalcanti Mata.

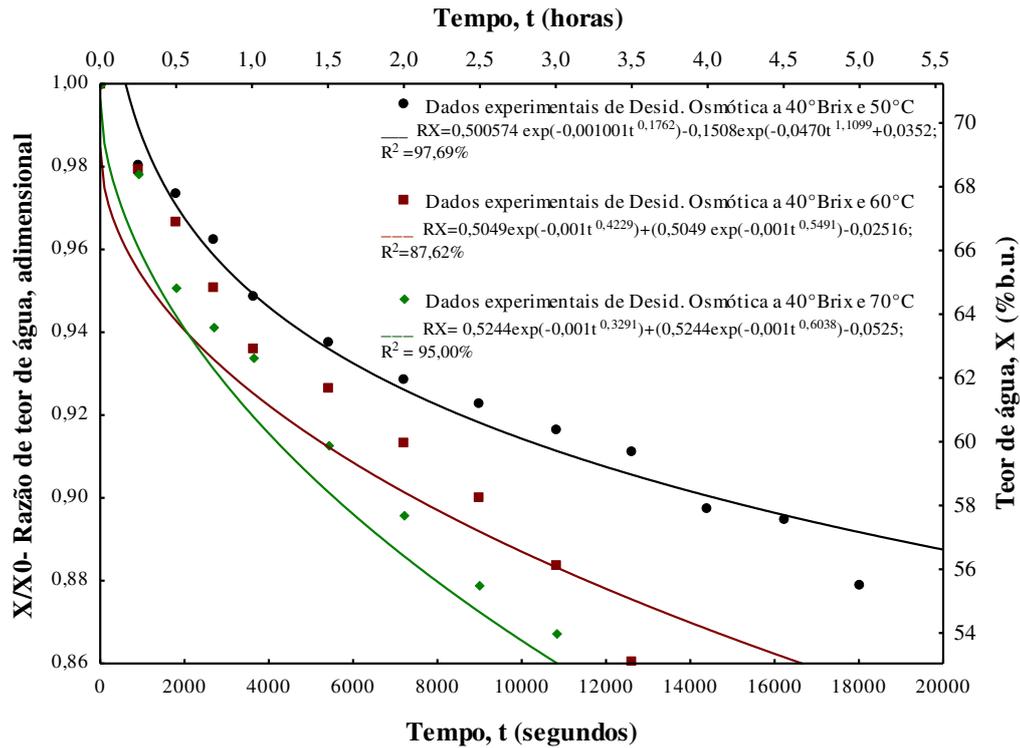


Figura 4.10- Dados de razão de teor de água em função do tempo para desidratação osmótica na concentração de sacarose a 40°Brix e secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, segundo ajuste pelo modelo de Cavalcanti Mata

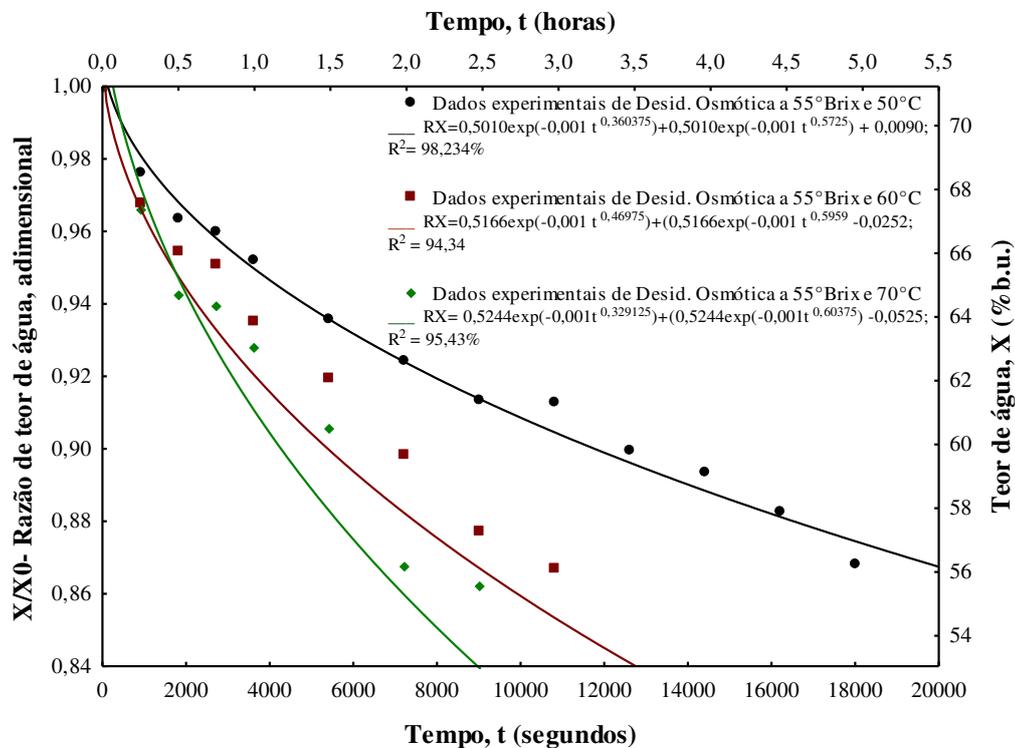


Figura 4.11- Dados de razão de teor de água em função do tempo para desidratação osmótica na concentração de sacarose a 55°Brix e secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, segundo ajuste pelo modelo de Cavalcanti Mata

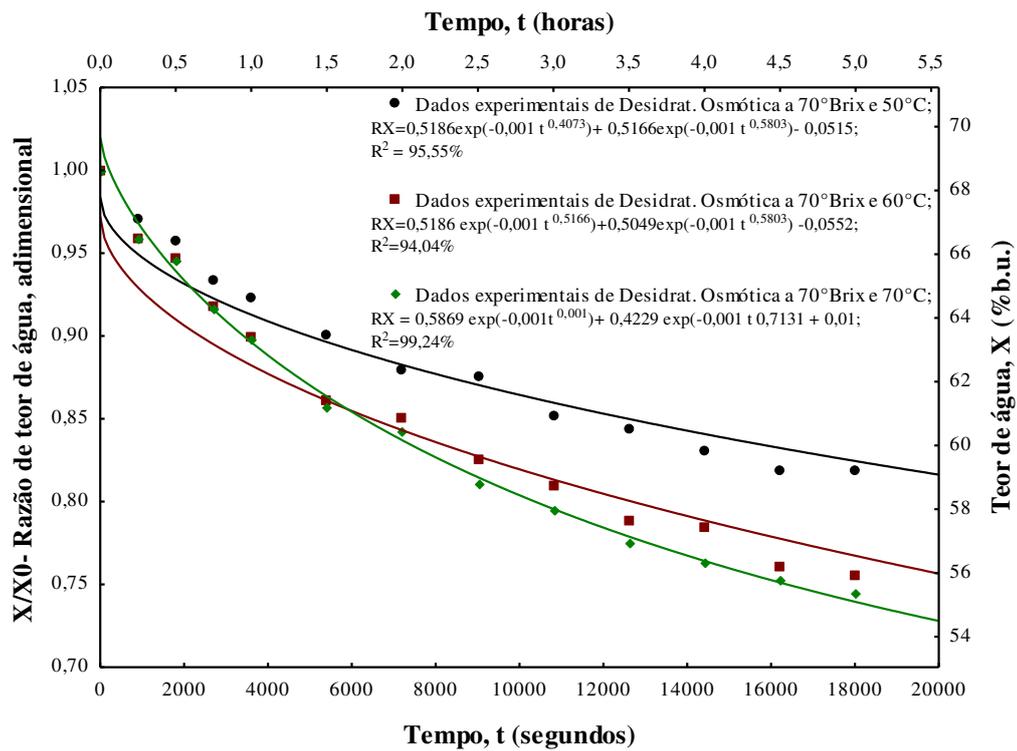


Figura 4.12- Dados de razão de teor de água em função do tempo para desidratação osmótica na concentração de sacarose a 70°Brix e secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, segundo ajuste pelo modelo de Cavalcanti Mata.

Na Tabela 4.12 se encontram os parâmetros de ajuste do modelo de Cavalcanti Mata com seus respectivos coeficientes de determinação.

Tabela 4.12- Parâmetros do modelo de Cavalcanti Mata e coeficientes de determinação (R^2) encontrados segundo ajuste aos dados de razão de teor de água em função do tempo, para desidratação osmótica de banana Pacovan nas concentrações de sacarose a 40, 55 e 70°Brix e temperaturas de 50, 60 e 70°C

Modelo de Cavalcanti Mata								
Parâmetros								
(°Brix)	T (°C)	a1	a2	a3	a4	a5	a6	R²(%)
40	50	0,500574	0,001001	0,176229	-0,150823	1,109860	0,035224	97,69
	60	0,504906	0,001000	0,422875	0,504906	0,549063	-0,025156	87,62
	70	0,524438	0,001000	0,329125	0,524438	0,603750	-0,052500	95,43
55	50	0,501000	0,001000	0,360375	0,501000	0,572500	0,009023	98,32
	60	0,516625	0,001000	0,469750	0,516625	0,595938	-0,025156	94,33
	70	0,527689	0,001127	0,441631	0,531592	0,627704	-0,033454	96,42
70	50	0,518578	0,001000	0,407250	0,516625	0,580313	-0,051523	95,54
	60	0,518578	0,001000	0,516625	0,504906	0,580313	-0,051523	94,04
	70	0,586938	0,001000	0,001000	0,422875	0,713125	0,010000	99,23

Observando as Figuras 4.10 a 4.12 correspondentes ao modelo de Cavalcanti Mata percebe-se que, apesar de apresentar coeficientes de determinação altos, esses são bem menores que os da Equação de Page enquanto seu ajuste, principalmente nas curvas de 60 e 70°Brix, em todas as temperaturas, não é satisfatório. Observando esses coeficientes percebe-se que o coeficiente a1 está todos em torno 0,5 e com tendência a um leve aumento com o aumento do teor de sólidos solúveis e o coeficiente a2, em todas as temperaturas e concentrações, tiveram valores praticamente constantes e iguais a 0,001.

4.2- Cinética de secagem – aplicação de modelos matemáticos

Nas Figuras 4.13 a 4.39 se encontram as curvas da cinética de secagem obtidas por regressão não linear para as temperaturas de 40, 50 e 60°C das bananas previamente desidratadas osmoticamente em solução de sacarose com concentração de 40, 55 e 70°Brix nas temperaturas de 50, 60 e 70°C. As equações de Fick, Page e Cavalcanti Mata foram ajustadas aos dados experimentais do processo de secagem da banana.

Pode-se observar que durante a secagem e à medida na que a temperatura é elevada, ocorre maior remoção de água no produto além da redução do tempo de secagem permitindo que o produto atinja o teor de água de equilíbrio mais rápido, o que está de acordo com estudos realizados pelos diversos pesquisadores (GIRALDO-ZUNIGA et al., 2006; MARTINAZZO et al., 2007; NAGLE et al., 2008; KAYA et al., 2008; SILVA et al., 2009; FURTADO et al., 2010; SANTOS et al., 2010).

Modelo de Fick

As curvas de secagem ajustadas ao modelo de Fick para bananas Pacovan desidratadas osmoticamente nas temperaturas de 50, 60 e 70°C com três diferentes concentrações de sacarose (40, 55 e 70°Brix) nas temperaturas de secagem de 40, 50 e 60°C estão apresentadas nas Figuras 4.13 a 4.21.

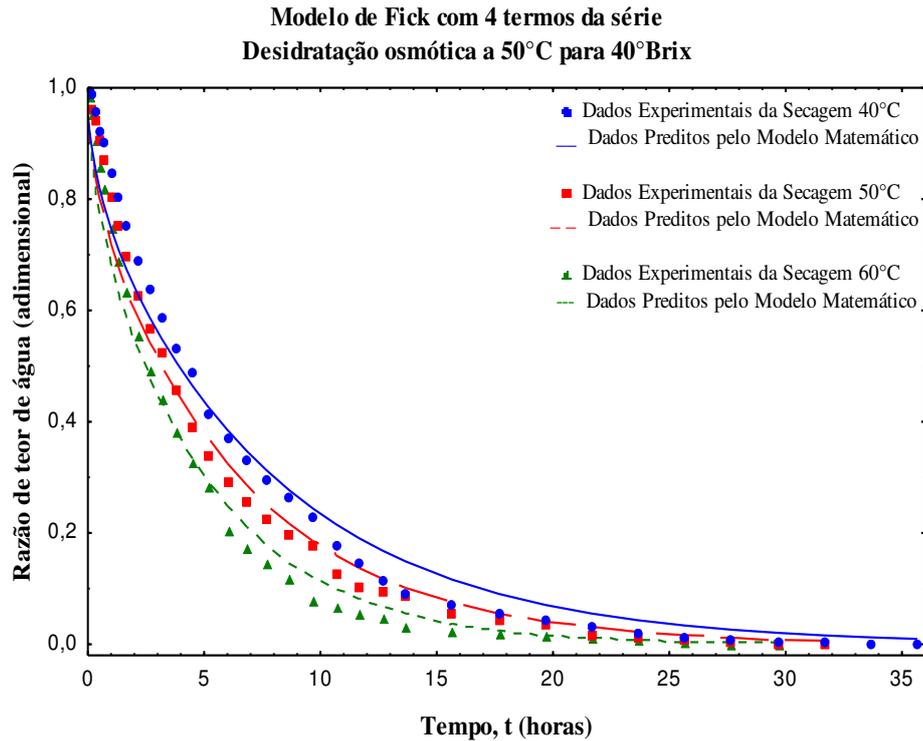


Figura 4.13- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Fick da banana desidratada osmoticamente na temperatura de 50°C a uma solução de sacarose de 40°Brix, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

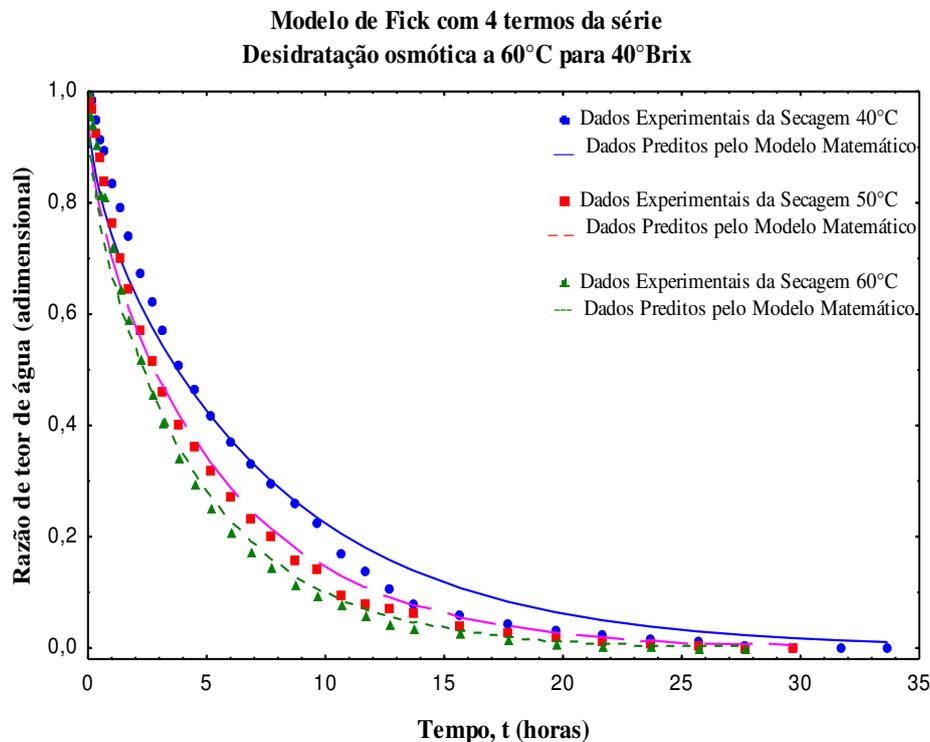


Figura 4.14- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Fick da banana desidratada osmoticamente na temperatura de 60°C a uma solução de sacarose de 40°Brix, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

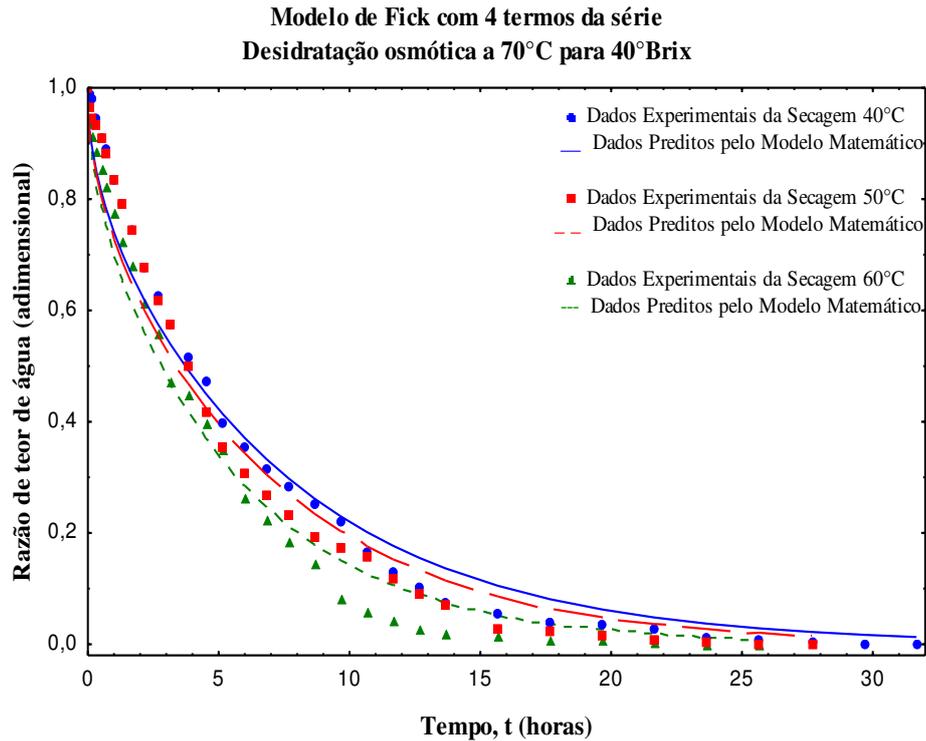


Figura 4.15- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Fick da banana desidratada osmoticamente na temperatura de 70°C a uma solução de sacarose de 40°Brix, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

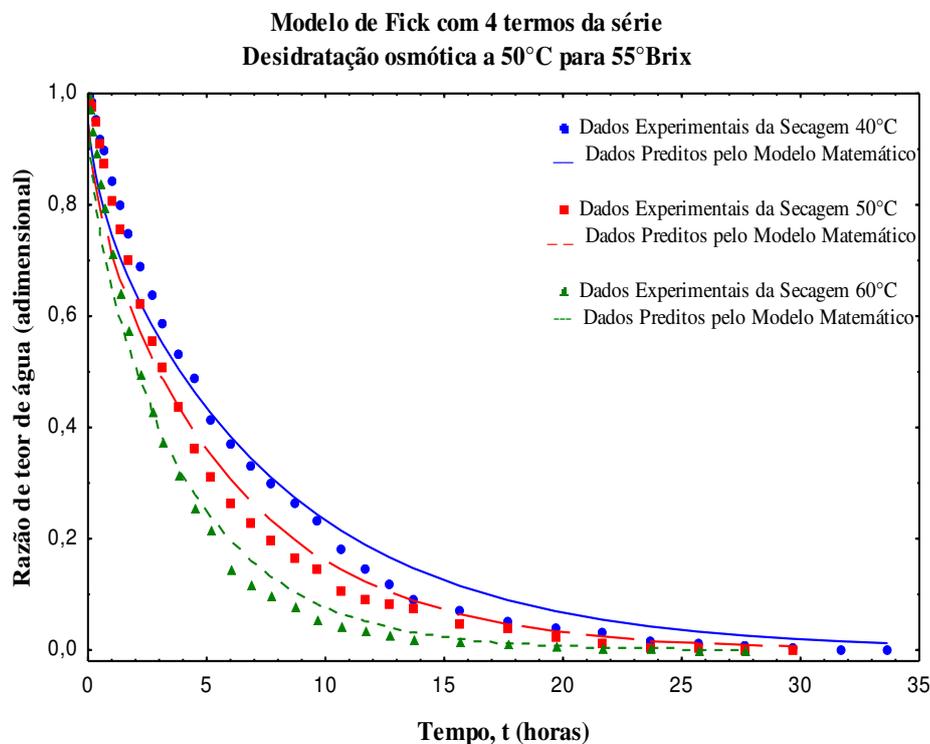


Figura 4.16- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Fick da banana desidratada osmoticamente na temperatura de 50°C a uma solução de sacarose de 55°Brix, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

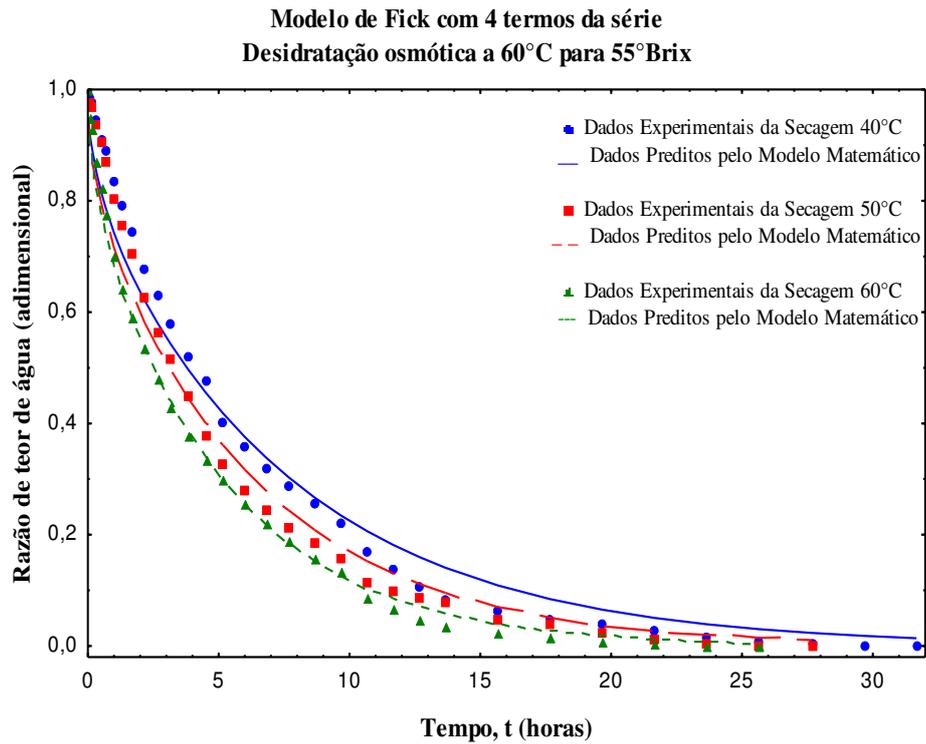


Figura 4.17- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Fick da banana desidratada osmoticamente na temperatura de 60°C a uma solução de sacarose de 55°Brix, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

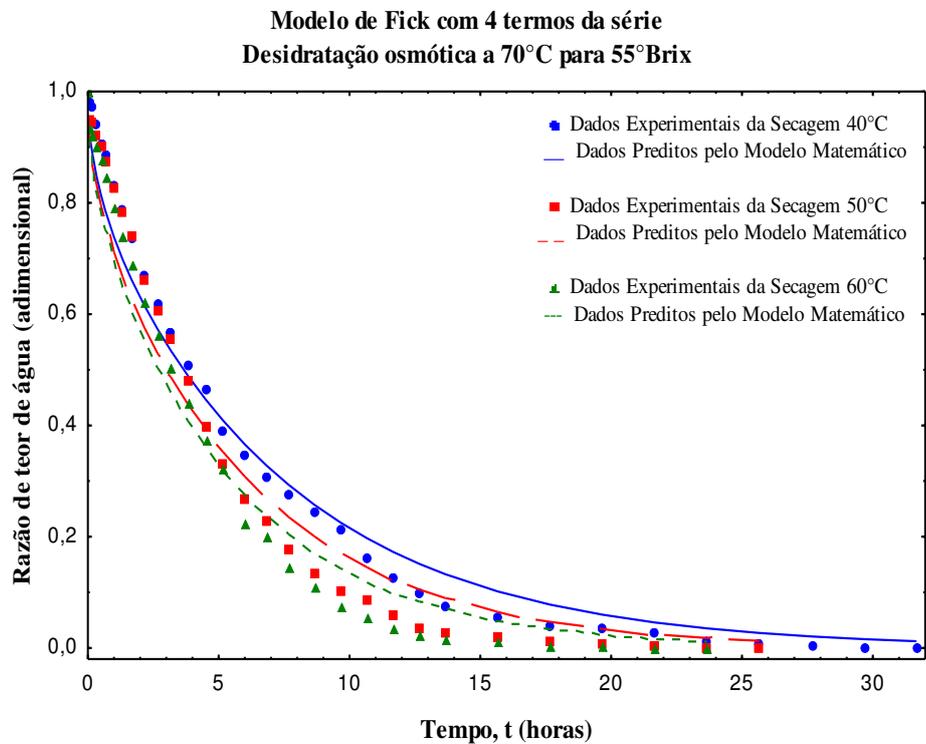


Figura 4.18- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Fick da banana desidratada osmoticamente na temperatura de 70°C a uma solução de sacarose de 55°Brix, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

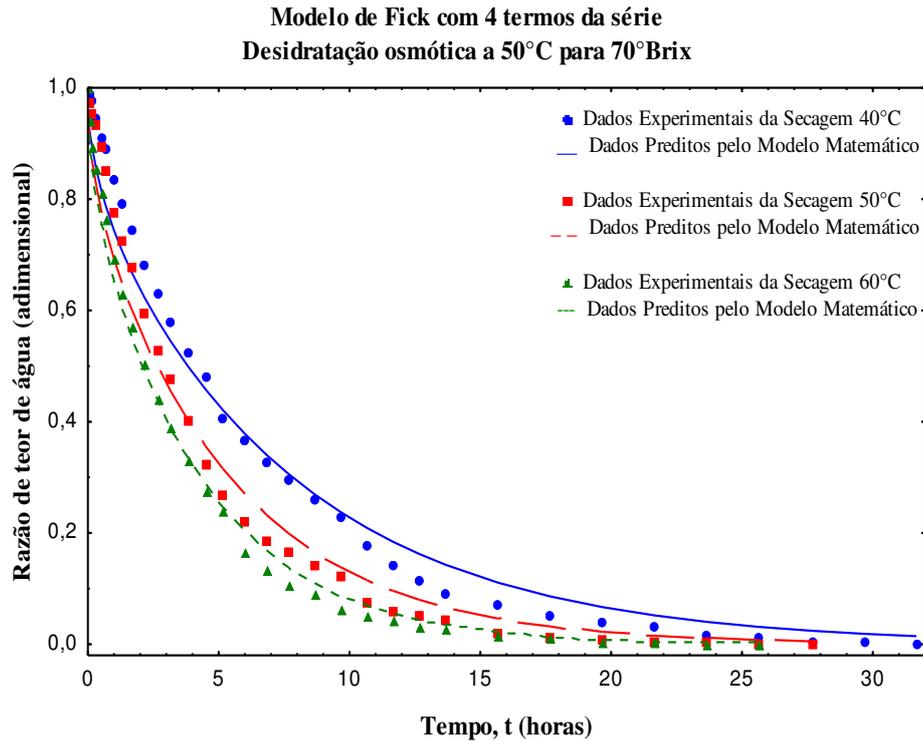


Figura 4.19- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Fick da banana desidratada osmoticamente na temperatura de 50°C a uma solução de sacarose de 70°Brix, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

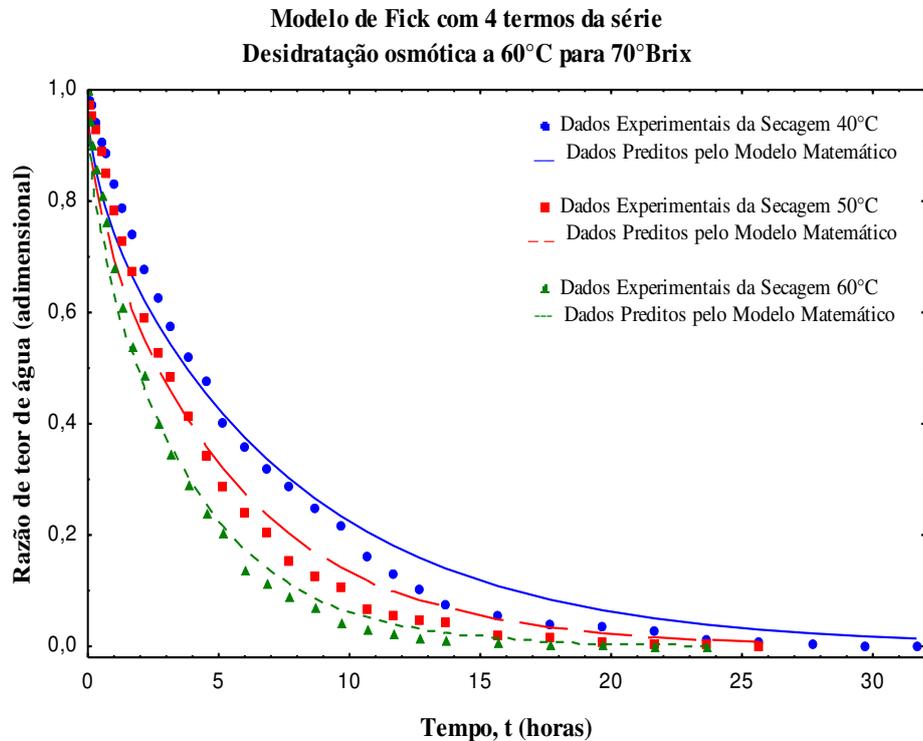


Figura 4.20- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Fick da banana desidratada osmoticamente na temperatura de 60°C a uma solução de sacarose de 70°Brix, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

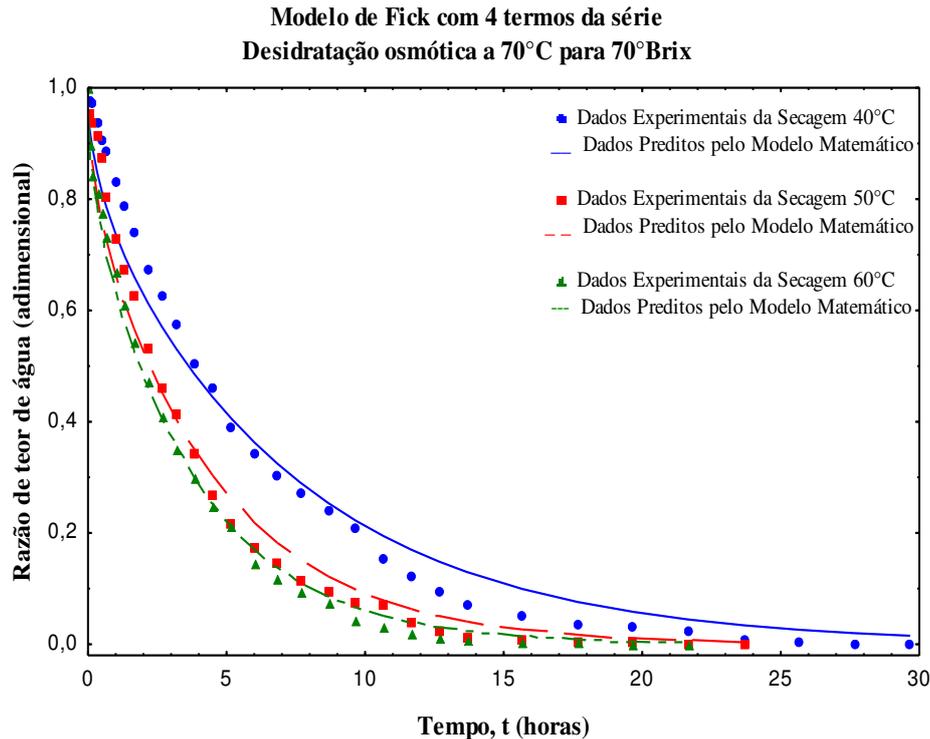


Figura 4.21- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Fick da banana desidratada osmoticamente na temperatura de 70°C a uma solução de sacarose de 70°Brix, nas temperaturas de 40, 50 e 70°C

Na Tabela 4.13 estão os parâmetros estimados e os coeficientes de determinação (R^2) obtidos por meio do ajuste ao modelo de Fick, para as bananas submetidas à desidratação osmótica nas temperaturas de 50, 60 e 70°C com concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix, nas temperaturas de secagem de 40, 50 e 60°C.

Pela análise da Tabela 4.13 percebe-se que todos os coeficientes de determinação (R^2), obtidos com o ajuste da Equação de Fick apresentam valores maiores que 96%, representando um ajuste satisfatório porém pela análise dos resíduos, Figuras A.1 a A.9 do Apêndice A, todos apresentaram comportamento tendencioso.

Tabela 4.13- Coeficientes da equação de Fick decorrentes do processo de secagem da banana desidratada nas temperaturas de 50, 60 e 70°C em soluções de sacarose de 40, 55, 70°Brix, nas temperaturas de secagem de 40, 50 e 60°C

Equação de Fick				
$RX = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[-(2n+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4l^2} \right]$				
°Brix	T (°C) Desidratação osmótica	T (°C) Secagem	D_{ef} (m².s⁻¹)	R² (%)
40	50	40	3,49 x 10 ⁻¹⁰	97,74
		50	4,29 x 10 ⁻¹⁰	98,20
		60	5,54 x 10 ⁻¹⁰	98,51
	60	40	3,62 x 10 ⁻¹⁰	97,88
		50	4,85 x 10 ⁻¹⁰	98,60
		60	5,93 x 10 ⁻¹⁰	99,00
	70	40	3,67 x 10 ⁻¹⁰	97,75
		50	4,03 x 10 ⁻¹⁰	97,36
		60	4,90 x 10 ⁻¹⁰	98,16
55	50	40	3,51 x 10 ⁻¹⁰	97,78
		50	4,55 x 10 ⁻¹⁰	97,65
		60	6,66 x 10 ⁻¹⁰	98,51
	60	40	3,56 x 10 ⁻¹⁰	97,84
		50	4,43 x 10 ⁻¹⁰	97,90
		60	5,37 x 10 ⁻¹⁰	99,48
	70	40	2,24 x 10 ⁻⁸	97,94
		50	2,72 x 10 ⁻⁸	96,53
		60	3,03 x 10 ⁻⁸	97,30
70	50	40	3,58 x 10 ⁻¹⁰	97,91
		50	5,15 x 10 ⁻¹⁰	97,80
		60	6,49 x 10 ⁻¹⁰	99,33
	60	40	3,62 x 10 ⁻¹⁰	97,86
		50	5,07 x 10 ⁻¹⁰	97,77
		60	7,19 x 10 ⁻¹⁰	99,12
	70	40	2,26 x 10 ⁻⁸	97,73
		50	3,69 x 10 ⁻⁸	98,19
		60	4,38 x 10 ⁻⁸	99,62

Os valores mínimos apresentados do coeficiente de difusão para os tratamentos das secagens de 40, 50 e 60°C a desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C, para as concentrações de 40, 55 e 70°Brix, foram de $3,49 \times 10^{-10}$, $3,51 \times 10^{-10}$ e $3,58 \times 10^{-10}$ e os máximos de $5,93 \times 10^{-10}$, $3,03 \times 10^{-8}$ e $4,38 \times 10^{-8}$, respectivamente. Nota-se que, com o aumento da temperatura do ar de secagem, ocorre maior taxa de remoção de água da amostra evidenciando o aumento da taxa de secagem. Para SANTOS et al. (2010) os valores da difusividade efetiva (D_{ef}) para banana-maçã variam entre $2,49 \times 10^{-10}$ a $1,03 \times 10^{-9} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ e para ISLAM et al (2012) os valores de difusividade para bananas verdes (*Musa sapientum*) foram de $1,25 \times 10^{-10}$, $1,67 \times 10^{-10}$ e $2,19 \times 10^{-10} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ na secagem a 55, 60 e 65°C. FALADE et al. (2012), estudando a secagem das bananas desidratadas osmoticamente nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80°C, ressaltam que a difusividade efetiva das bananas variou na ordem de 10^{-10} e $10^{-9} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$. AMENDOLA et al. (2007) estudaram a secagem de banana a temperatura de 50°C e observaram que o coeficiente de difusão de massa na secagem de banana foi de $5,94 \times 10^{-9} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ determinada utilizando-se a equação de Fick com 5 termos da série. Com base neste trabalho e se verificando que os coeficientes de difusão para as bananas Pacovan por meio da equação de Fick estão coerentes ao apresentado na literatura.

Modelo de Page

As curvas de secagem ajustadas ao modelo de Page para bananas Pacovan desidratadas osmoticamente nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, com três diferentes concentrações de sacarose (40, 55 e 70°Brix) nas temperaturas de secagem de 40, 50 e 60°C, estão apresentadas nas Figuras 4.22 a 4.30.

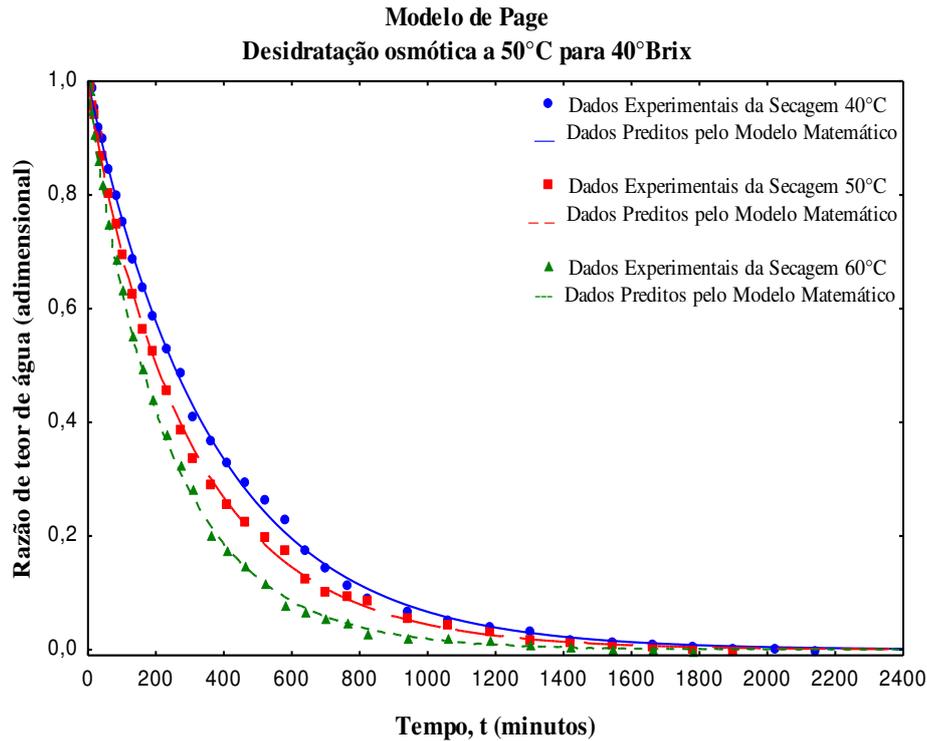


Figura 4.22- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Page da banana desidratada osmoticamente a 40°Brix na temperatura de 50°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

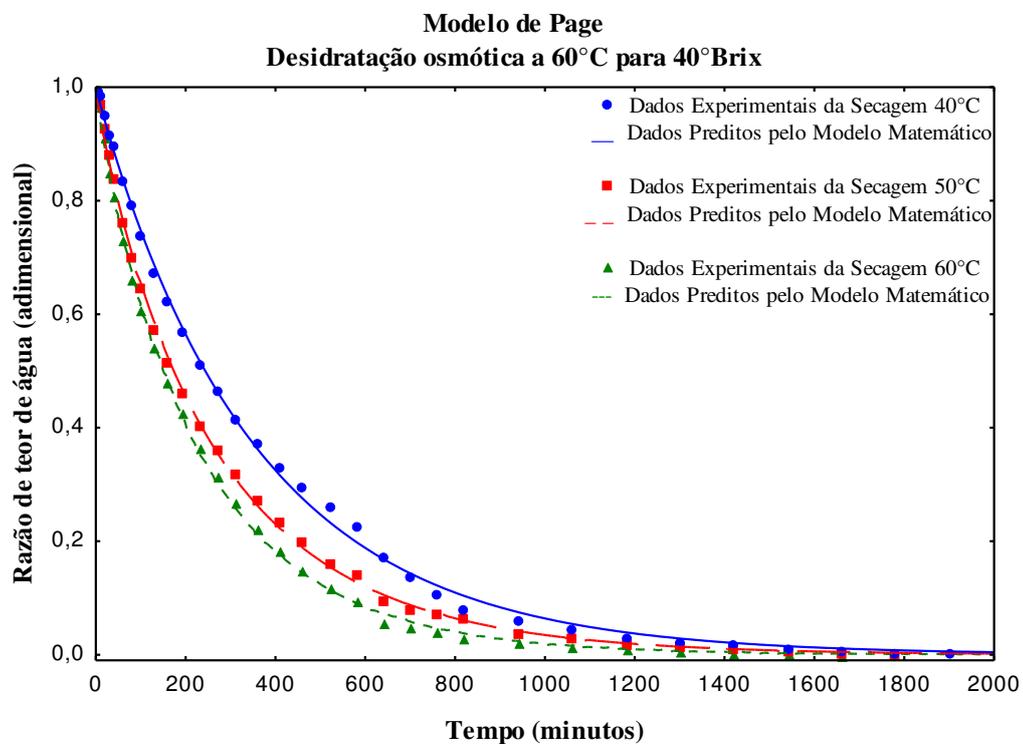


Figura 4.23- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Page da banana desidratada osmoticamente a 40°Brix na temperatura de 60°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

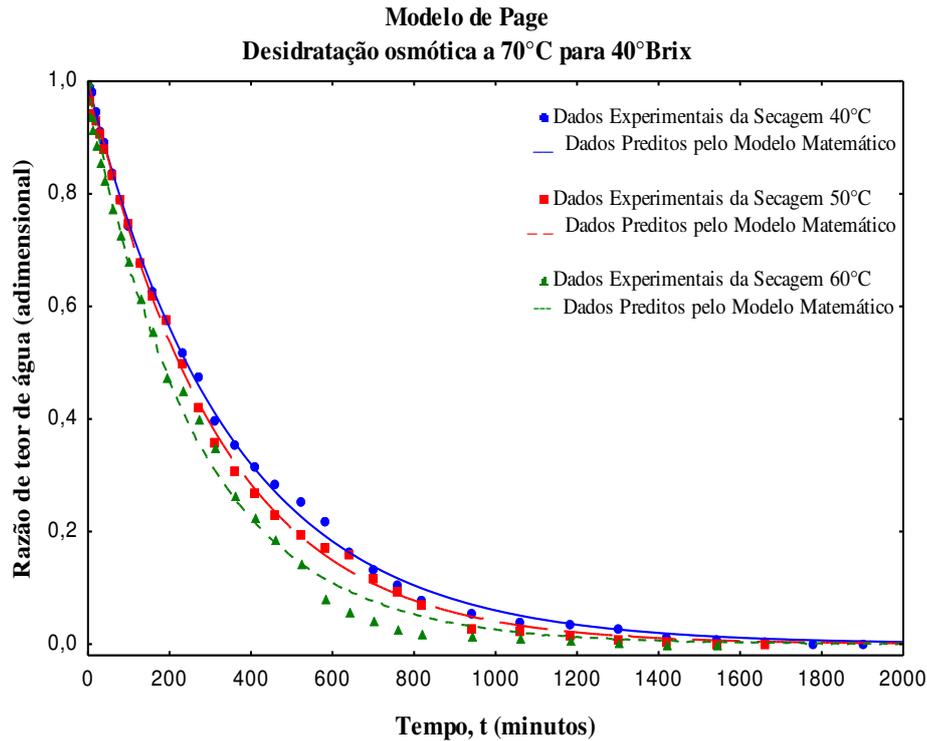


Figura 4.24- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Page da banana desidratada osmoticamente a 40°Brix na temperatura de 70°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

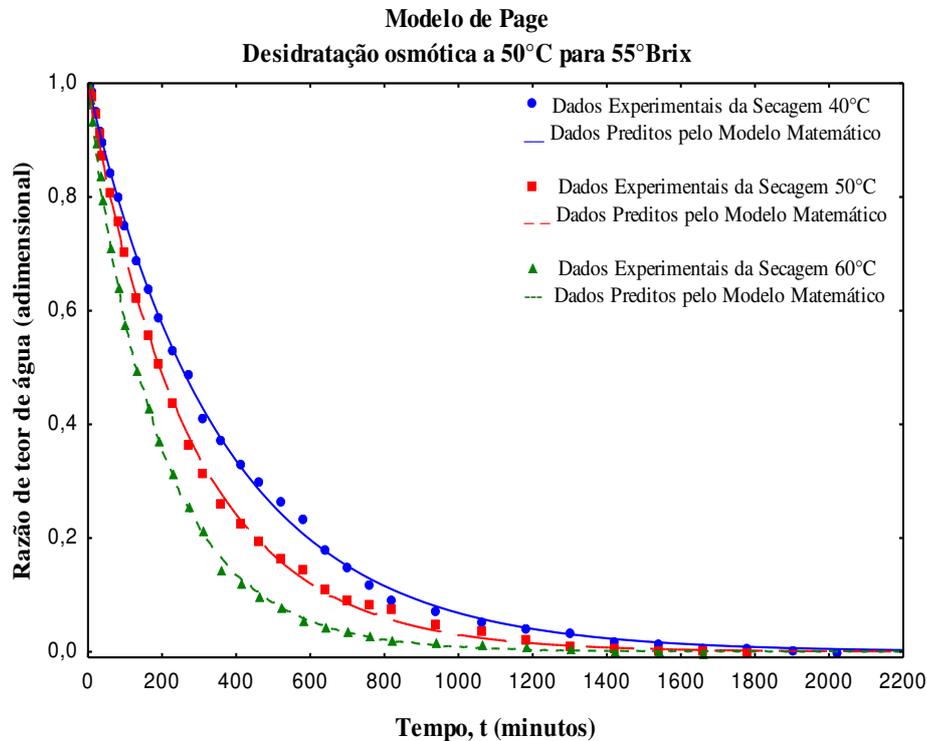


Figura 4.25- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Page da banana desidratada osmoticamente a 55°Brix na temperatura de 50°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

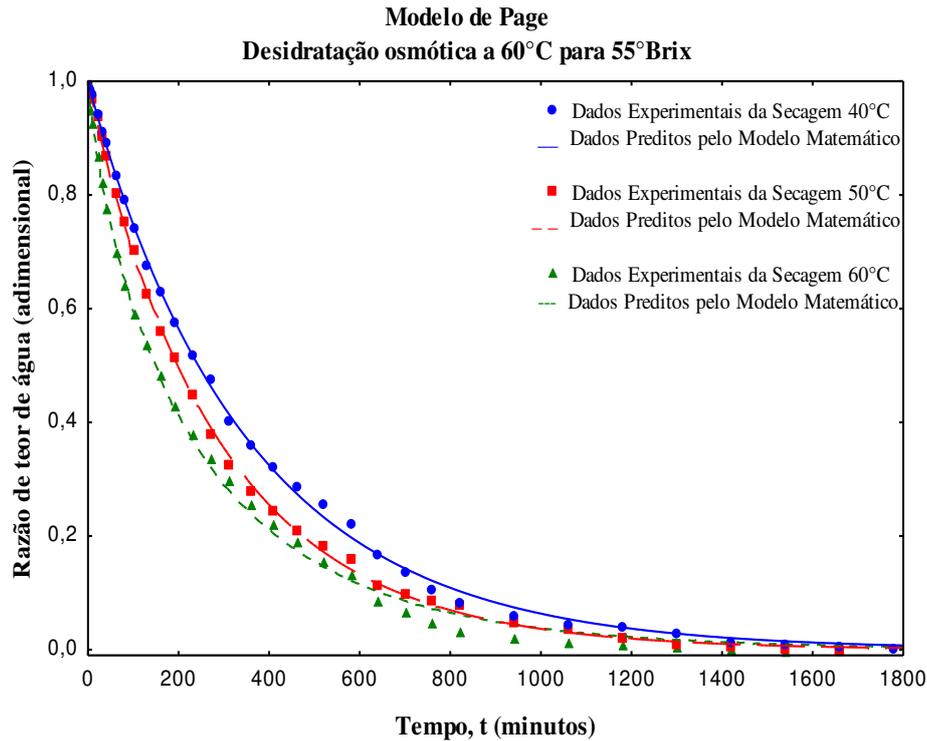


Figura 4.26- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Page da banana desidratada osmoticamente a 55°Brix na temperatura de 60°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

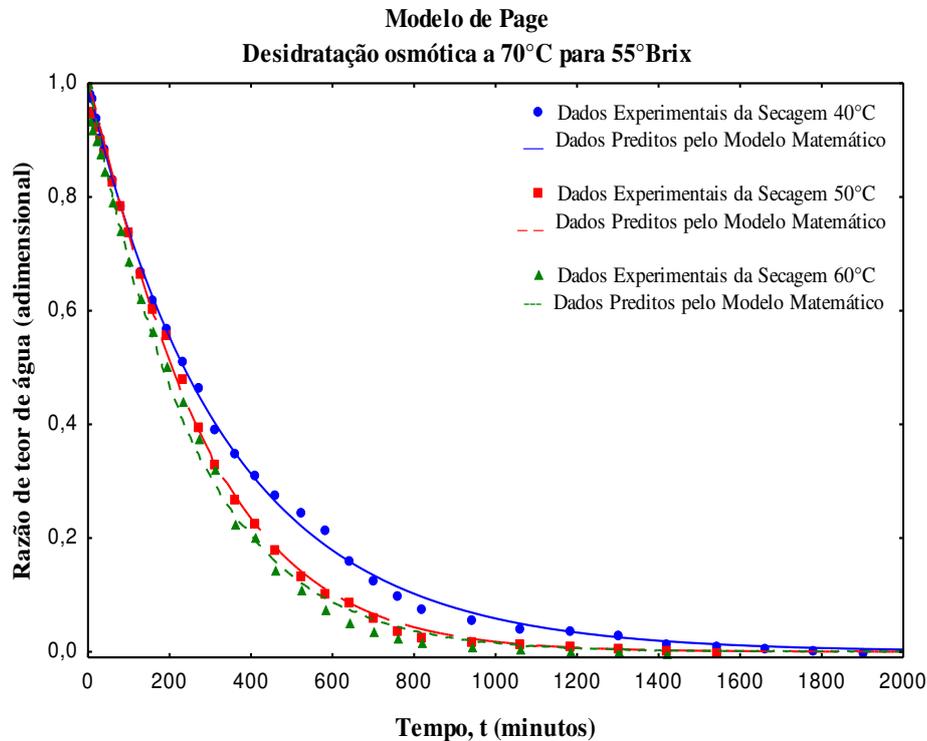


Figura 4.27- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Page da banana desidratada osmoticamente a 55°Brix na temperatura de 70°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

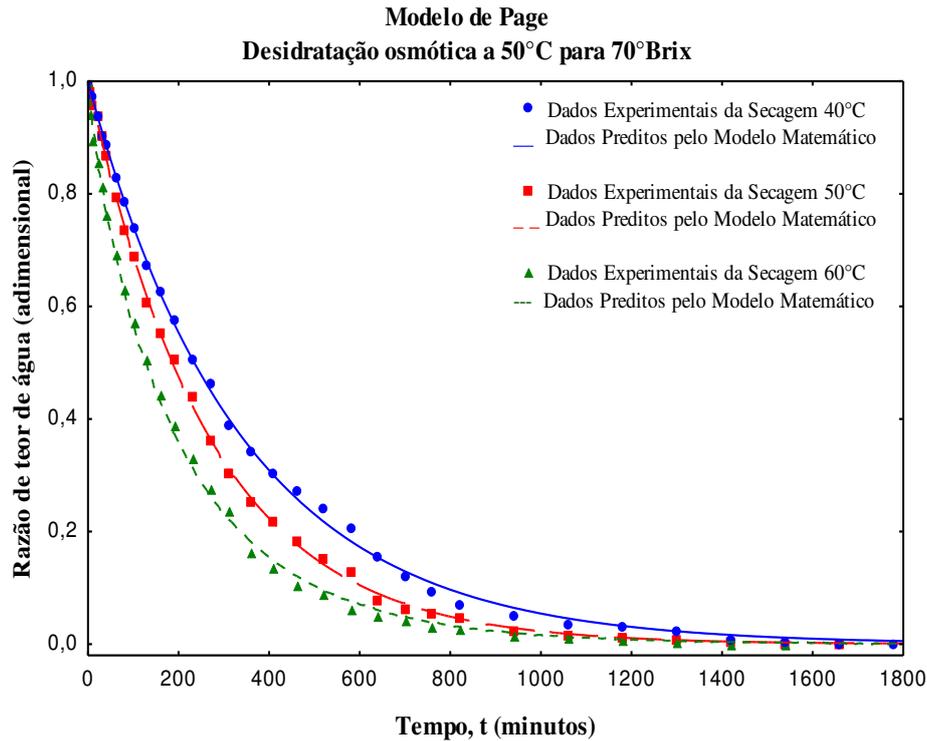


Figura 4.28- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Page da banana desidratada osmoticamente a 70°Brix na temperatura de 50°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

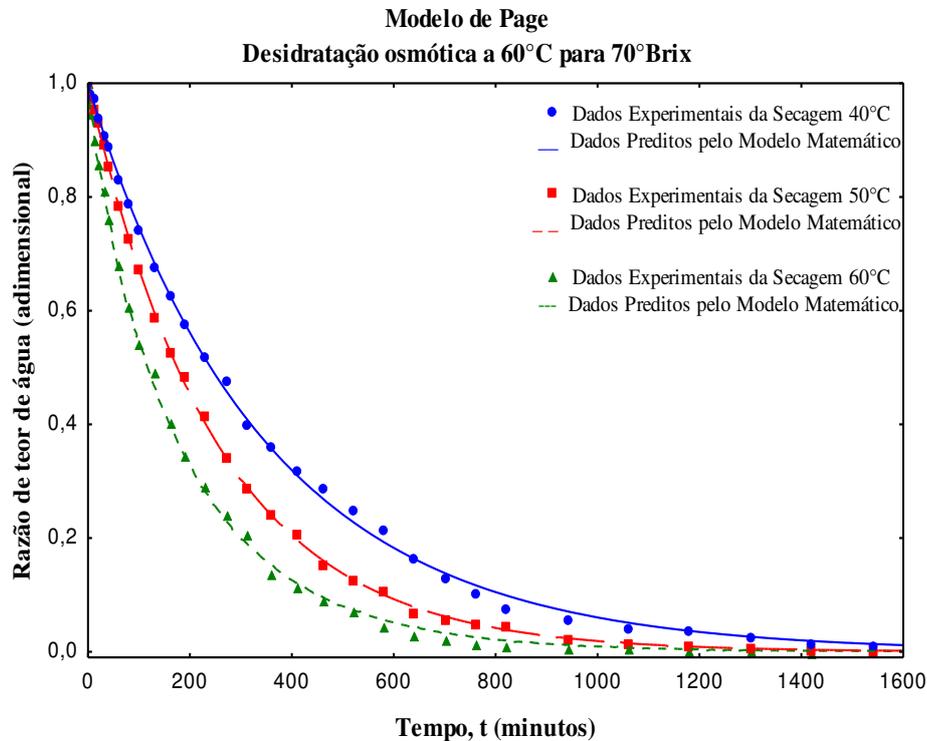


Figura 4.29- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Page da banana desidratada osmoticamente a 70°Brix na temperatura de 60°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

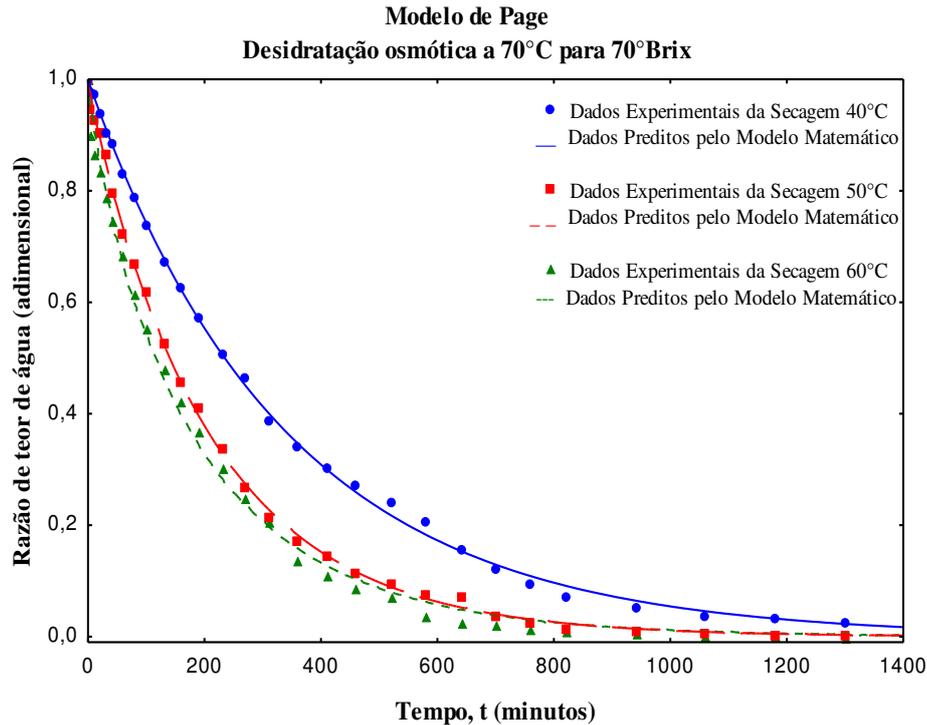


Figura 4.30- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Page da banana desidratada osmoticamente a 70°Brix na temperatura de 70°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

Na Tabela 4.14 estão os parâmetros estimados respectivamente para o modelo de Page e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) para as bananas submetidas à desidratação osmótica nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix nas temperaturas de 50, 60 e 70°C e posteriormente secadas nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.

Tabela 4.14- Coeficientes da equação de Page decorrentes do processo de secagem da banana nas temperaturas de 50 60 e 70°C, depois de ser desidratada osmoticamente em soluções de sacarose de 40, 55, 70°Brix nas temperaturas de 40, 50, 60°C

Equação de Page					
$RX = \exp(-Kt^n)$					
°Brix	T (°C) Desidratação osmótica	T (°C) Secagem	K	n	R² (%)
40	50	40	0,002880	0,991088	99,936
		50	0,003722	0,575553	94,462
		60	0,005956	0,941420	99,959
	60	40	0,003042	0,986886	99,887
		50	0,004730	0,961039	99,844
		60	0,009192	0,874160	99,953
	70	40	0,003091	0,986441	99,923
		50	0,005381	0,907673	99,575
		60	0,009380	0,840970	99,041
55	50	40	0,002999	0,984027	99,934
		50	0,003833	0,987215	99,918
		60	0,006848	0,946662	99,971
	60	40	0,003208	0,978126	99,929
		50	0,004234	0,964175	99,948
		60	0,010240	0,840283	99,798
	70	40	0,003372	0,974996	99,928
		50	0,005580	0,920177	99,123
		60	0,012852	0,790769	97,930
70	50	40	0,003291	0,971271	99,933
		50	0,003936	1,003481	99,937
		60	0,010463	0,865320	99,885
	60	40	0,003365	0,972348	99,917
		50	0,005921	0,928543	99,852
		60	0,012040	0,855383	99,885
	70	40	0,003503	0,970330	99,916
		50	0,006676	0,938658	99,906
		60	0,014423	0,822433	99,558

Observa-se, pela equação de Page, Figuras 4.22 a 4.30 que nos dados experimentais existe uma variação do tempo de secagem quando se analisa a redução da razão do teor de água das amostras em função da temperatura de secagem de 40, 50 e 60°C, sendo esta banana submetida a um prétratamento de desidratação osmótica a três diferentes concentrações de sacarose (40, 55 e 70°Brix), nas temperaturas de 50, 60 e 70°C e que os coeficientes de determinação (R^2) obtidos para o modelo foram satisfatórios osmoticamente para todos os tratamentos. Na literatura se constata que esses modelos são bastante utilizados visto que diversos autores, entre eles DANTAS et al. (2013) e HOFISKY et al. (2013) também constataram que este modelo expressa satisfatoriamente o fenômeno da secagem. SANTOS et al. (2010), também fizeram esta mesma afirmativa estudando a cinética de secagem de bananas da variedade terra, nas temperaturas de 60 e 80°C.

Para o modelo de Page o menor coeficiente de determinação foi de 94,46% obtido na secagem da banana a 50°C, desidratada osmoticamente a 40°Brix, na temperatura de 50°C; para os demais tratamentos apresentam os valores dos coeficientes de determinação superiores que 99%, exceto o tratamento de 55°Brix na desidratação osmótica a 70°C com secagem complementar a 60°C (97,93%). De acordo com os gráficos nas Figuras A.10 a A.18, em que se encontram plotados os dados dos resíduos em função dos dados preditos, percebe-se que os resíduos não se distribuem aleatoriamente em torno de zero, exceto para os tratamentos obtidos na secagem de 50°C da banana desidratada na concentração 70°Brix nas temperaturas 60 e 70°C. Portanto, para a maioria dos tratamentos os ajustes foram tendenciosos. Na Tabela 4.14 os parâmetros “K” e “n” da equação de Page variam, em sua maioria, de 0,00288 a 0,014423 e de 0,575553 a 1,003481, respectivamente. Os valores do parâmetro “K” tendem a se comportar de forma crescente com o aumento da temperatura de secagem.

Modelo de Cavalcanti Mata

As curvas de secagem ajustadas ao modelo de Cavalcanti Mata para bananas Pacovan desidratadas osmoticamente nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, com três diferentes concentrações de sacarose (40, 55 e 70°Brix) nas temperaturas de secagem de 40, 50 e 60°C, estão apresentadas nas Figuras 4.31 a 4.39.

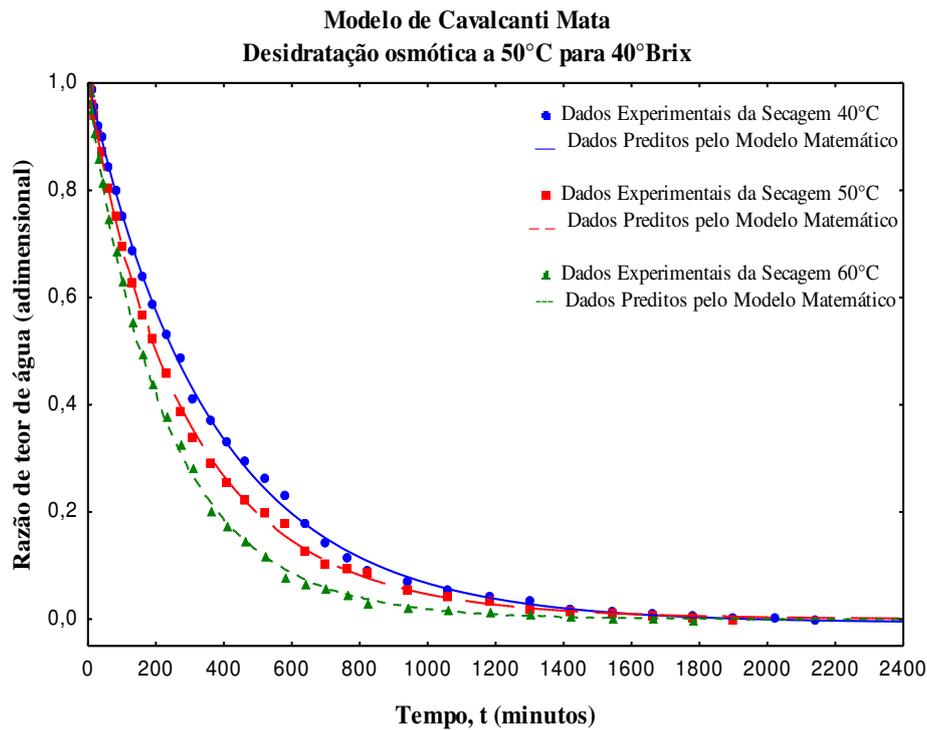


Figura 4.31- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Cavalcanti Mata da banana desidratada osmoticamente a 40°Brix na temperatura de 50°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

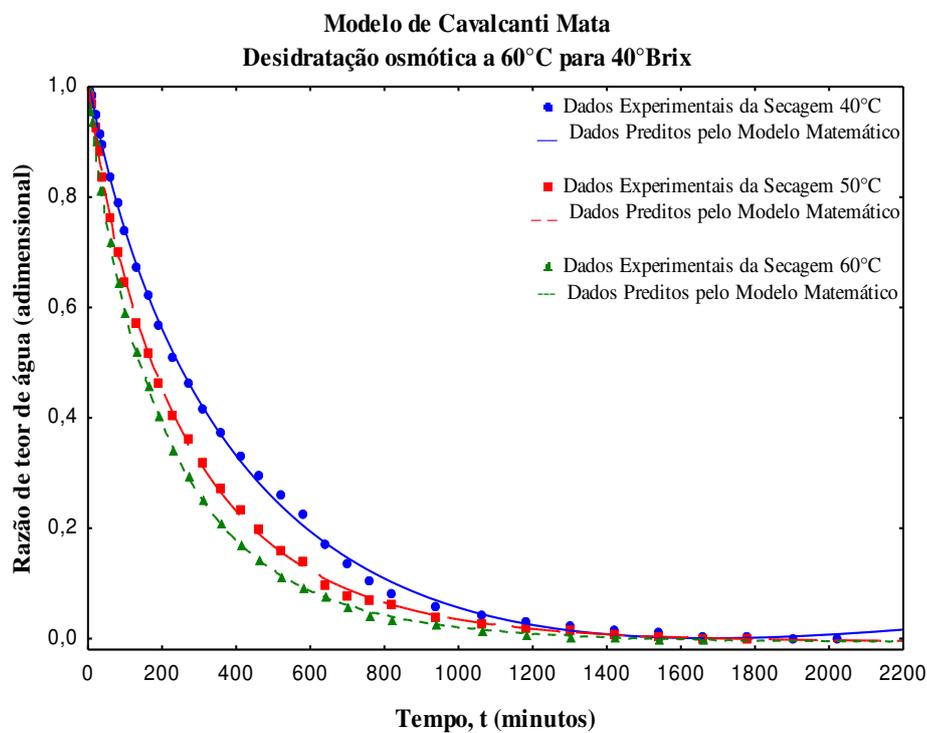


Figura 4.32- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Cavalcanti Mata da banana desidratada osmoticamente a 40°Brix na temperatura de 60°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

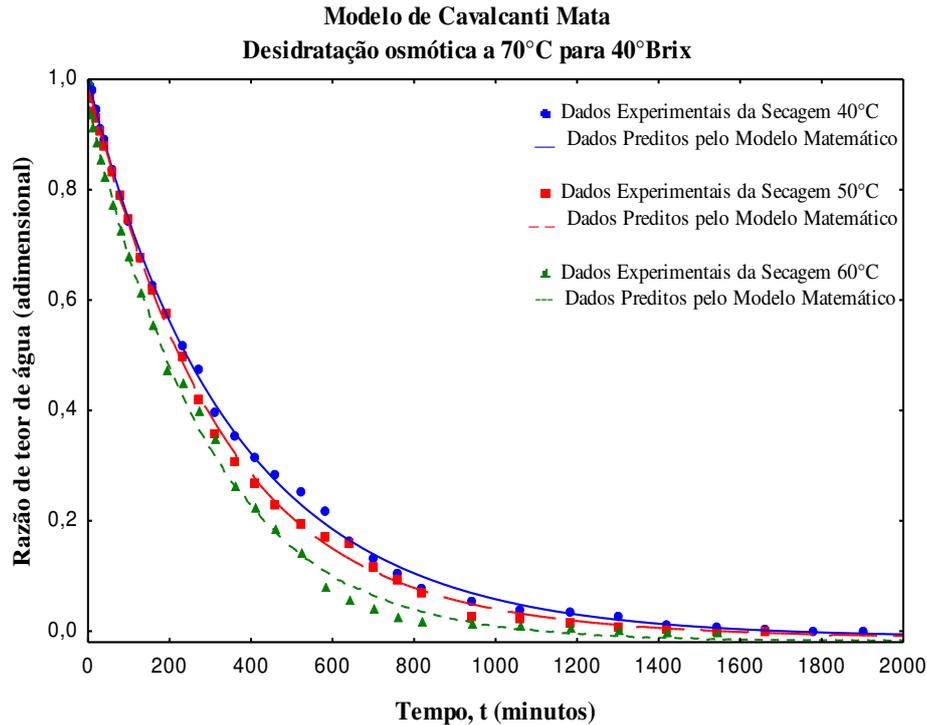


Figura 4.33- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Cavalcanti Mata da banana desidratada osmoticamente a 40°Brix na temperatura de 70°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

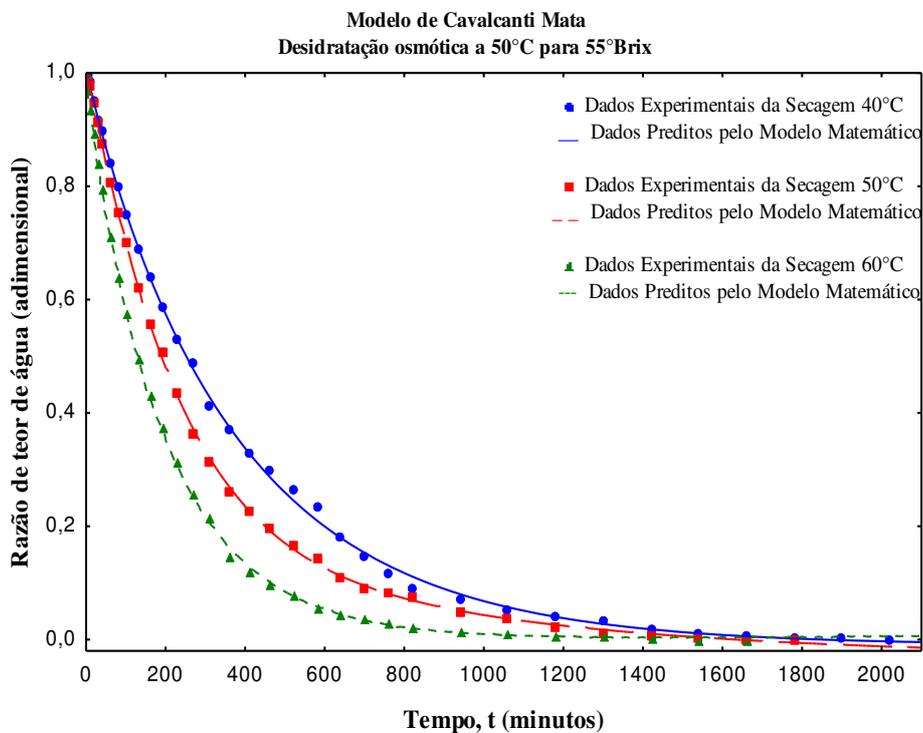


Figura 4.34- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Cavalcanti Mata da banana desidratada osmoticamente a 55°Brix na temperatura de 50°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

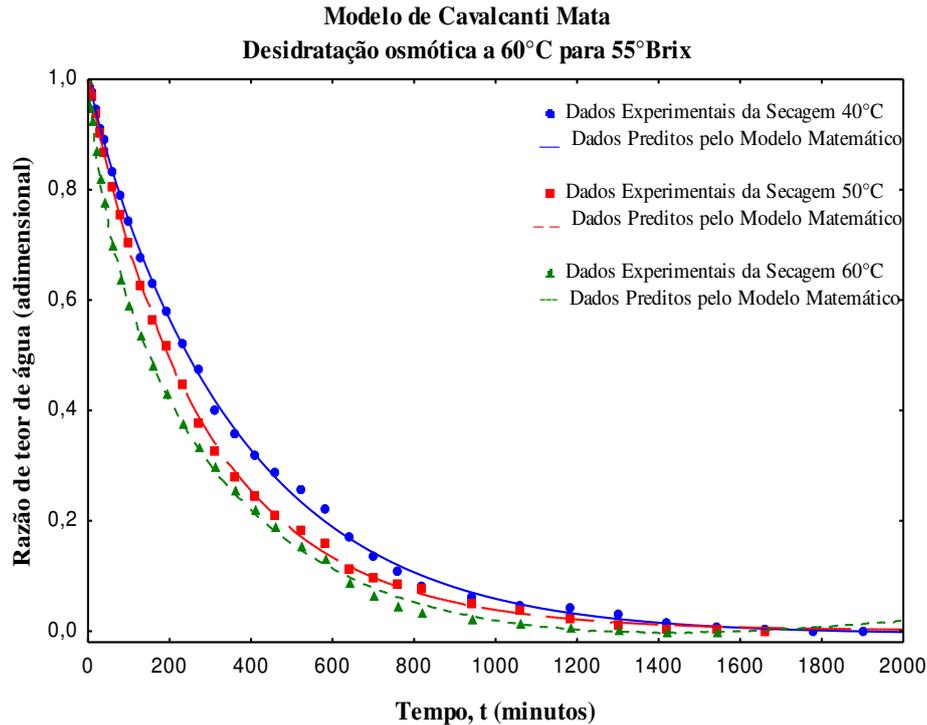


Figura 4.35- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Cavalcanti Mata da banana desidratada osmoticamente a 55°Brix na temperatura de 60°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

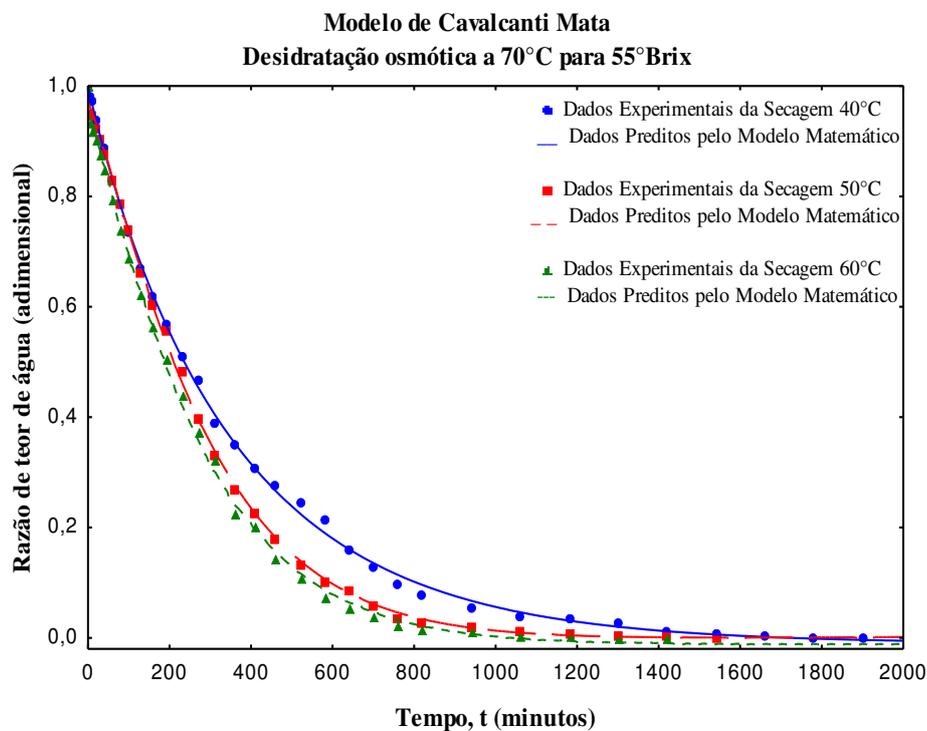


Figura 4.36- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Cavalcanti Mata da banana desidratada osmoticamente a 55°Brix na temperatura de 70°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

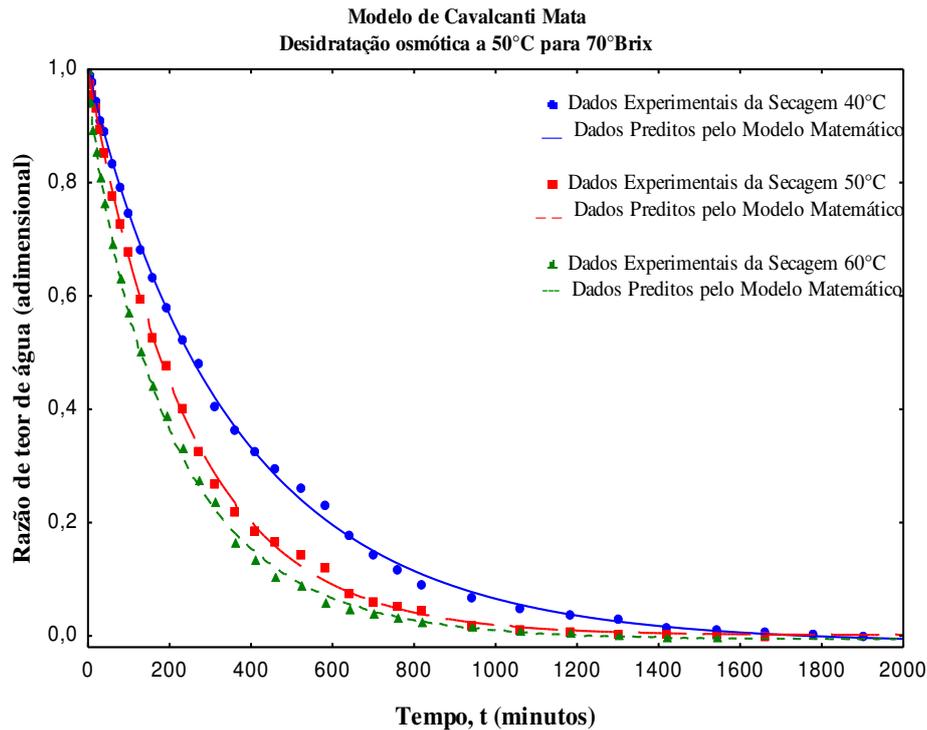


Figura 4.37- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Cavalcanti Mata da banana desidratada osmoticamente a 70°Brix na temperatura de 50°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

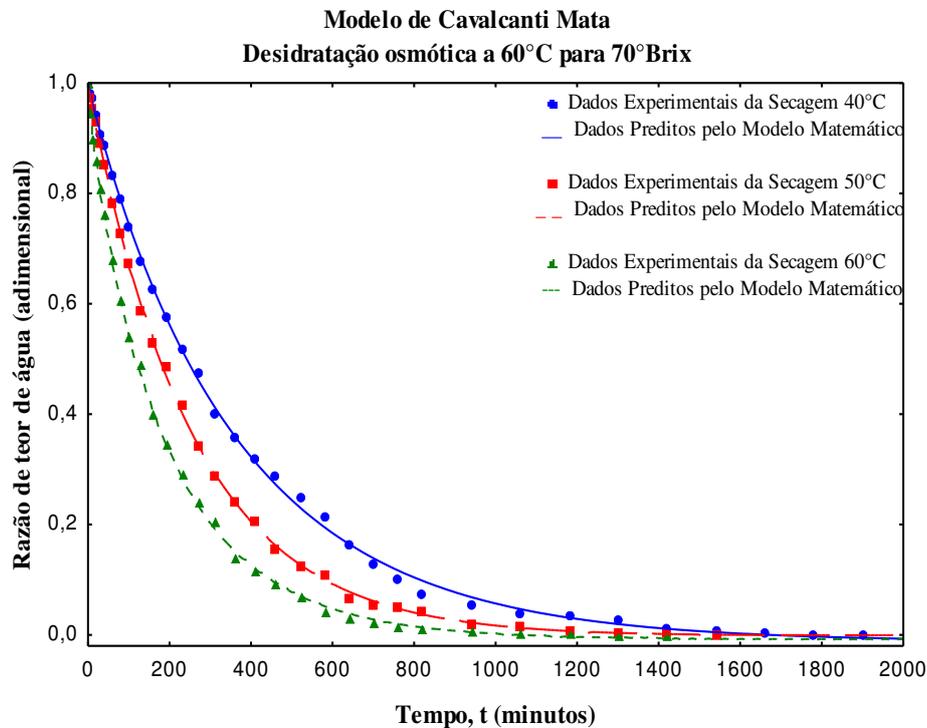


Figura 4.38- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Cavalcanti Mata da banana desidratada osmoticamente a 70°Brix na temperatura de 60°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

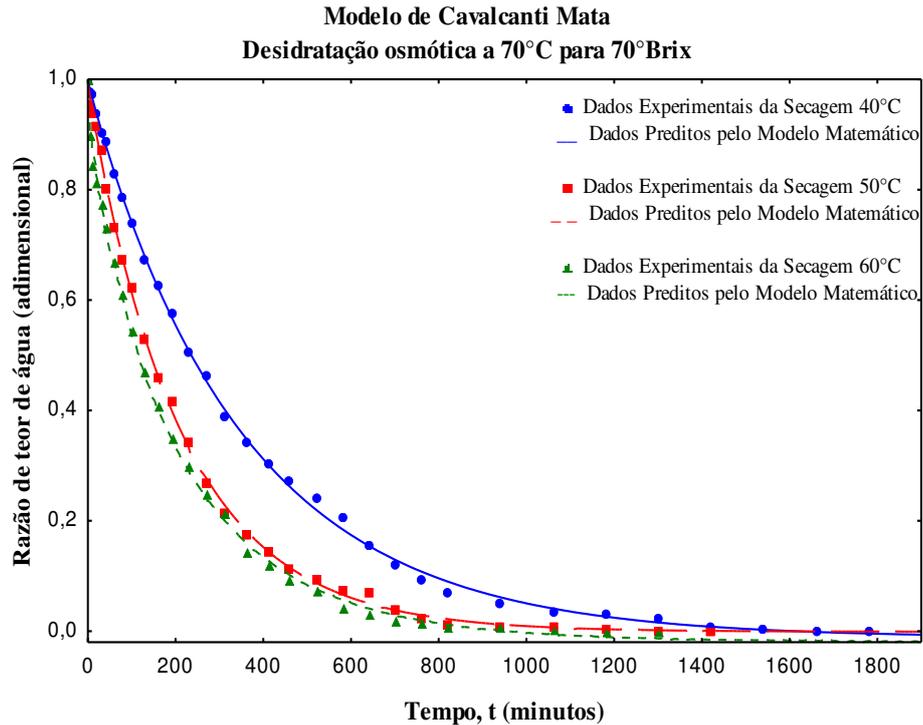


Figura 4.39- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados pelo modelo de Cavalcanti Mata da banana desidratada osmoticamente a 70°Brix na temperatura de 70°C e posteriormente secada nas temperaturas de 40, 50 e 60°C

Na Tabela 4.15 estão os parâmetros estimados respectivamente para o modelo de Cavalcanti Mata e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) para as bananas submetidas à desidratação osmótica nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix nas temperaturas de 50, 60 e 70°C e posteriormente secadas nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.

Tabela 4.15- Coeficientes da equação de Cavalcanti Mata decorrentes do processo de secagem da banana nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, depois de ser desidratada osmoticamente em soluções de sacarose de 40, 55, 70°Brix, nas temperaturas de 40, 50, 60°C

Equação de Cavalcanti Mata									
$RX = a_1 \exp(-a_2 t a_3) + a_4 \exp(-a_2 t a_5) + a_6$									
°Brix	T (°C) Desidratação osmótica	T (°C) Secagem	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	R ² (%)
40	50	40	0,3921	0,0034	0,1894	1,0131	0,9646	-0,3931	99,94
		50	1,0055	0,0053	0,9235	0,1119	0,3317	-0,1039	99,95
		60	0,4064	0,0061	0,9383	0,5952	0,9390	-0,0001	99,96
	60	40	1,8387	0,0035	0,7707	-2,6669	0,4834	1,8309	99,94
		50	0,5120	0,0062	0,8651	0,5123	0,8650	-0,0057	99,95
		60	0,8072	0,0073	0,8841	0,2030	0,8136	-0,0073	99,95
	70	40	0,4865	0,0035	0,9597	0,5300	0,9609	-0,0114	99,93
		50	0,4294	0,0071	1,0106	0,5682	1,1009	-0,0133	99,91
		60	0,5054	0,0087	0,1482	0,9695	1,0426	-0,5193	99,76
55	50	40	0,5096	0,0036	0,9517	0,5096	0,9517	-0,0100	99,94
		50	0,7460	0,0058	1,0872	0,2932	0,8966	-0,0341	99,98
		60	1,0220	0,0075	0,9297	-0,3095	0,3320	0,2870	99,98
	60	40	24,7993	0,0044	0,9657	-23,7858	0,9676	-0,0052	99,94
		50	0,5036	0,0066	0,9506	0,5036	0,9506	0,0012	99,95
		60	5,2620	0,0085	0,5863	-5,1030	0,5192	0,8377	99,95
	70	40	0,5056	0,0037	0,9576	0,5057	0,9576	-0,0103	99,94
		50	0,9847	0,0073	1,1713	-0,2485	0,5155	0,2347	99,94
		60	0,9731	0,0088	1,1254	-0,3475	0,2787	0,3311	99,86
70	50	40	0,5088	0,0038	0,9439	0,5091	0,9413	-0,0127	99,95
		50	0,4993	0,0060	0,9998	0,4993	0,9998	0,0013	99,94
		60	0,4970	0,0088	0,8895	0,4877	0,8897	-0,0065	99,93
	60	40	0,5075	0,0044	0,9678	0,5036	0,9671	-0,0123	99,93
		50	1,0112	0,0070	0,9956	-0,2357	0,3536	0,2212	99,97
		60	0,4969	0,0092	0,8992	0,4969	0,8992	-0,0081	99,95
	70	40	0,5065	0,0047	0,9772	0,5030	0,9771	-0,0119	99,94
		50	0,4970	0,0073	0,9790	0,4970	0,9790	-0,0010	99,93
		60	0,4857	0,0101	0,8688	0,4857	0,8688	-0,0191	99,80

Pela equação de Cavalcanti Mata expressas nas Figuras 4.31 a 4.39, observa-se comportamento semelhante aos dados experimentais de Page. Na tabelas 4.15 constata-se que os coeficientes de determinação (R^2) obtidos para o modelo de Cavalcanti Mata foram satisfatórios osmoticamente para todos os tratamentos.

Para o modelo de Cavalcanti Mata todos os coeficientes de determinação foram maiores que 99%. Em se tratando da análise dos resíduos percebe-se, pelas Figuras A.19 a A.27 no Apêndice A, que os resíduos não se distribuem aleatoriamente em torno de zero exceto para os seguintes tratamentos: secagem de 40°C da banana desidratada na concentração 70°Brix com temperatura 40°C; secagem de 50°C da banana desidratada na concentração 70°Brix com temperatura 50°C; secagem de 50°C da banana desidratada na concentração 40°Brix com temperatura 70°C e secagem de 60°C da banana desidratada na concentração 70°Brix com temperatura 50°C.

De acordo com a Tabela 4.15, no modelo de Cavalcanti Mata, os parâmetros da equação “ a_1 ”, “ a_2 ”, “ a_3 ”, “ a_4 ”, “ a_5 ” e “ a_6 ”, apresentam, de maneira geral, comportamento aleatório.

O maior valor encontrado para o parâmetro “ a_1 ” foi de 24,7993 e o menor de 0,3921 durante a secagem a 40°C a desidratação osmótica nas temperaturas de 60 e 40°C e nas concentrações de sacarose de 55 e 40°Brix. Considerando o intervalo do parâmetro “ a_2 ”, sendo o maior 0,0101 e o menor 0,0034 para os tratamentos durante a secagem a 60 e 40°C, desidratação osmótica a temperatura de 60 e 50°C e nas concentrações de sacarose de 70 e 40°Brix, comparando com o parâmetro “ a_1 ”, obteve-se uma variação menor.

Os parâmetros “ a_3 ” e “ a_5 ” indicam uma semelhança muito grande entre os valores obtidos, cujo maior valor é de 0,9979 durante a secagem a 50°C, desidratação osmótica a temperatura de 50°C e na concentração de sacarose de 55°Brix. Assim como o parâmetro “ a_1 ” o parâmetro “ a_4 ” apresentou um intervalo grande entre seus valores de -23,7858 a 1,0131 durante as secagens de 40 e 60°C para uma desidratação osmótica na temperaturas de 60 e 40°C e nas concentrações de sacarose de 55 e 70°Brix; por sua vez, o parâmetro “ a_6 ”, assim como o parâmetro “ k ” da equação de Page, é um coeficiente independente.

Percebe-se que os tratamentos das bananas desidratadas osmoticamente na temperatura de 50°C nas concentrações de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, submetidas ao processo de secagem a

40°C apresentaram o maior tempo com 2140, 2020 e 1900 minutos, respectivamente. Diferente dos tratamentos submetidos à desidratação osmótica a 70°C nas concentrações de sacarose a 40, 55 e 70°Brix e secas na temperatura de 60°C, que apresentaram um tempo menor de 1540, 1420 e 1300 minutos.

Portanto, os modelos de Fick, Page e Cavalcanti Mata se ajustam satisfatoriamente aos dados experimentais, e possuem comportamentos tendenciosos, porém o de Cavalcanti Mata se mostrou em alguns tratamentos, mais adequado.

MARQUES et al. (2007) também concluíram que o modelo de Cavalcanti Mata foi o que melhor representou a cinética de secagem do pseudofruto do caju nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, quando precedido de uma desidratação osmótica em xarope com concentração de 55°Brix em temperatura ambiente (23°C), em que o coeficiente de determinação obtido foi de 99,93%.

4.3- Avaliação físico-química e química

4.3.1- Avaliação físico-química das bananas semimaduras “in natura”

Na Tabela 4.16 estão as médias da caracterização físico-química das bananas semimaduras. Os resultados foram próximos dos encontrados por LIMA et al. (2012), ao estudarem a avaliação físico-química de bananas maduras “in natura”, obtendo as seguintes médias: teor de água 71,77%, acidez 0,38ml/100g, teor de cinzas 1,11% e sólidos solúveis 11,73°Brix. SOUSA et al. (2003) relatam o valor de atividade de água igual a 0,953 e teor de água de 67,60% para a banana prata “in natura”.

Tabela 4.16- Valores médios da caracterização físico-química da banana Pacovan semimadura “in natura”

Parâmetros	Valores
Teor de água (%)	72,00
Acidez (ml/100g)	0,441
Açúcares redutores (%)	13,31
pH	4,36
Sólidos solúveis (°Brix)	0,87
Cinzas (%)	0,799
Atividade de água (Aw)	0,978

Foram analisados cultivares de bananas maduras comuns no mercado brasileiro, por PESSOA & EL-AOUAR (2009); o teor de água encontrado para o cultivar Prata foi de 86,51%, o cultivar Pacovan de 87,87% e para o cultivar Maça 82,92%. Esses valores são maiores que os encontrados nesta pesquisa porém ANGELIS et al. (2009) encontraram, ao estudar a caracterização química de novas variedades de banana (*musa ssp.*) resistentes à sigatoka-negra, teor de água da banana Pacovan de 69%.

O valor de acidez da cultivar pacovan (0,441ml/100g) foi maior que o encontrado por NASCIMENTO JUNIOR et al. (2008), estudando os valores de acidez de cultivares Prata e Nanicão para frutos verdes (0,17 ml/100g) e maduros (0,27ml/100g), respectivamente.

A determinação do pH fornece dado valioso na apreciação do estado de conservação de um alimento. Observando o resultado da Tabela 4.16 verifica-se que o valor encontrado para o pH (4,363) foi consideravelmente menor que o valor (5,2) encontrado por LIMA et al. (2004), estudando a banana da cultivar Prata – Anã. NASCIMENTO JUNIOR et al. (2008), também constataram valores maiores ao estudar as diferenças entre bananas de cultivares Prata (4,6) e Nanicão (5,14) ao longo do amadurecimento.

Valores encontrados na literatura por PINHEIRO (2004) para sólidos solúveis em banana, oscilam entre 0,78 a 0,92°Brix para o fruto verde e 19,72%. Os valores aqui encontrados foram semelhantes para a banana Pacovan.

Em relação às cinzas a banana Pacovan apresentou o valor semelhante ao encontrado na literatura (0,8%), segundo NEPA (2011).

4.3.2- Avaliação físico-química das bananas desidratadas osmoticamente

Os resultados da análise de variância para as características físico-químicas quanto aos parâmetros avaliados, se encontram na Tabela 4.17 para as bananas desidratadas osmoticamente a 50, 60 e 70°C, em três diferentes soluções de sacarose, 40, 55 e 70°Brix.

Tabela 4.17- Valores da Análise de Variância (ANOVA) da caracterização físico-química para bananas desidratadas osmoticamente

Quadrado Médio								
F.V	G.L.	Teor de água	Acidez	Açúcares redutores	pH	Sólidos solúveis	Cinzas	Aw (25°C)
°Brix (B)	2	34,62978**	0,02509**	96,03158**	0,07303**	7,11111**	0,15564**	0,01216**
Desidratação Osmótica (DO)	2	36,41792**	0,00849**	8,66579**	0,32724**	4,08333**	1,44333**	0,00305**
B X DO	4	13,64810**	0,00297**	1,82953ns	0,07544**	1,02778**	0,04423**	0,00111**
Tratamentos	8	24,58597**	0,00988**	27,08911**	0,13779**	3,31250**	0,42186**	0,00436**
Resíduo	18	1,34464	0,00064	0,72777	0,00093	0,03704	0,00790	0,00019
C. V. (%)	-	2,09	6,60	4,16	0,74	2,53	5,34	1,50

** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns não significativo; CV % coeficiente de variação

Para todos os tratamentos estudados na desidratação osmótica observa-se, para as análises físico-químicas, que existem diferenças significativas a nível de 1% de probabilidade, pelo teste de Tukey, exceto para os valores médios de açúcares redutores na interação entre °Brix versus Desidratação Osmótica.

Os valores da comparação de medidas referentes às médias da caracterização físico-química das bananas desidratadas osmoticamente a 50, 60 e 70°C, em três diferentes soluções de sacarose, 40, 55 e 70°Brix, se encontram nas Tabelas 4.18 a 4.23.

Tabela 4.18- Médias do fator teor de água em banana Pacovan submetidas a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C

°Brix	Desidratação osmótica		
	Temperatura (°C)		
	50	60	70
40	56,00 abB	60,72 aA	56,42 aB
55	57,94 aA	56,37 bA	51,03 bB
70	54,43 bA	54,643 bA	52,55 bA

As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo Teste Tukey a nível de 1% de probabilidade; DMS para colunas = 2,4169, classificação com letras minúsculas DMS para linhas = 2,4169, classificação com letras maiúsculas, CV% = 2,09

Para o teor de água percebe-se, para todas as temperaturas de desidratação osmótica, análise nas colunas, quando as bananas são imersas em solução com maior concentração de sacarose, apresentam maior redução no teor de água. De acordo com os valores médios da Tabela 4.18, na concentração de sacarose a 55°Brix e temperatura de desidratação osmótica a 70°C, ocorreu a maior desidratação. Analisando o efeito da temperatura, análise nas linhas, percebe-se que na desidratação osmótica a 70°Brix não há influência da temperatura, ou seja, os teores de água finais são iguais.

Tabela 4.19- Médias do teor de acidez em banana Pacovan submetidas à desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C

°Brix	Desidratação osmótica		
	Temperatura (°C)		
	50	60	70
40	0,3630bA	0,3843bA	0,2827cB
55	0,3413bB	0,4030abA	0,3507bAB
70	0,4737aA	0,4410aAB	0,4163aB

As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo Teste Tukey a nível de 1% de probabilidade; DMS para colunas = 0,0528, classificação com letras minúsculas DMS para linhas = 0,0528, classificação com letras maiúsculas, CV% = 6,60

Pelos valores da Tabela 4.19 constata-se que a acidez aumenta de acordo com o aumento da concentração de sacarose. Conforme ALENCAR et al. (2010), as bananas maduras são mais ácidas que as no estágio semimaduro. Os valores de acidez observados para as bananas desidratadas foram semelhantes aos do trabalho de GODOY et al. (2009) que variaram de 0,40 a 1,20 %.

Tabela 4.20- Médias do fator pH em banana Pacovan submetidas à desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C

°Brix	Desidratação osmótica		
	Temperatura (°C)		
	50	60	70
40	4,2867bA	4,2367aA	3,8667aB
55	4,4400aA	4,1700bB	3,8800aC
70	3,933cB	4,1867abA	3,8800aB

As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo Teste Tukey a nível de 1% de probabilidade; DMS para colunas = 0,0635, classificação com letras minúsculas DMS para linhas = 0,635, classificação com letras maiúsculas, CV% = 0,74

Para o parâmetro pH observa-se, na Tabela 4.20, que os menores valores foram encontrados para a temperatura de 70°C, em todas as concentrações de sacarose, análise nas linhas, o que justifica a maior acidez da banana para este tratamento. Os valores médios de pH encontrados nesta pesquisa estão próximos aos encontrados por JESUS et al. (2004) com valor de pH 4,61 e CARVALHO et al. (2011) que encontraram pH 4,93, ambos em trabalhos com desidratação osmótica de banana de diferentes variedades.

Tabela 4.21- Médias do fator sólidos solúveis (%) em banana Pacovan submetida a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C

°Brix	Desidratação osmótica		
	Temperatura (°C)		
	50	60	70
40	6,3333bB	6,8333bA	7,0000cA
55	7,1667aB	7,6667aA	8,0000bA
70	7,5000aC	8,0000aB	10,0000aA

As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo Teste Tukey a nível de 1% de probabilidade; DMS para colunas = 0,4011, classificação com letras minúsculas DMS para linhas = 0,4011, classificação com letras maiúsculas, CV% = 2,53

Observando os resultados da Tabela 4.21 verifica-se que o teor de sólidos solúveis aumenta sempre que ocorre o aumento da concentração de sólidos na solução osmótica. A maior média obtida foi de 10,00 para o tratamento submetido à solução de sacarose a 70°Brix e temperatura de desidratação osmótica a 70°C. Este fato foi observado por outros pesquisadores estudando diferentes variedades de banana. JESUS et al. (2005), encontraram valores maiores para banana madura com variação de 56,9°Brix (Caipira) a 67,6°Brix (Prata Anã) e por SALES et al. (2006), estudaram a banana Pacovan madura (20,83% a 23,26%).

Tabela 4.22- Médias do teor de cinzas (%) em banana Pacovan submetida a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C

°Brix	Desidratação osmótica		
	Temperatura (°C)		
	50	60	70
40	1,0767bC	1,5773aB	1,9547aA
55	1,1470bC	1,7337aB	2,0933aA
70	1,5510aB	1,7173aB	2,1287aA

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo Teste Tukey ao nível de 1% de probabilidade; DMS para colunas = 0,1853, classificação com letras minúsculas DMS para linhas = 0,1853, classificação com letras maiúsculas, CV% = 5,34

Ocorreu aumento do teor de cinzas com o aumento da temperatura, em todos os tratamentos, como esperado, visto o menor teor de água das amostras com o aumento da temperatura. Observa-se ainda que, de forma geral, não houve alteração de cinzas com o aumento da concentração de sacarose, exceção feita aos experimentos conduzidos a 50°C em que se observou um leve aumento para a concentração de 70°Brix (análise nas colunas). Valores próximos aos desta pesquisa foram encontrados por LIMA et al. (2012), estudando as características físico-químicas de bananas desidratadas (1,37%).

Tabela 4.23- Médias do fator atividade de água em banana Pacovan submetidas a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C

°Brix	Desidratação osmótica		
	Temperatura (°C)		
	50	60	70
40	0,9467aAB	0,9600aA	0,9200aB
55	0,9700aA	0,9100bB	0,9100aB
70	0,8867bA	0,8700cA	0,8633bA

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo Teste Tukey ao nível de 1% de probabilidade; DMS para colunas = 0,0286, classificação com letras minúsculas DMS para linhas = 0,0286, classificação com letras maiúsculas, CV% = 1,5

No parâmetro atividade de água ocorrem diferenças significativas entre os tratamentos, a qual diminui em função do aumento da concentração da solução sacarose. De acordo FRANCO & LANDGRAF (2008), as amostras submetidas à solução de sacarose a 70°Brix para as três temperaturas de desidratação osmótica se encontram dentro da faixa de atividade de água estabelecida para frutas secas, que deve ficar entre 0,51 a 0,89.

4.3.3- Avaliação físico-química das bananas submetidas à secagem

Os resultados da análise de variância para as características físico-químicas, quanto aos parâmetros avaliados para as bananas desidratadas osmoticamente a 50, 60 e 70°C, em três diferentes soluções de sacarose, 40, 55 e 70°Brix, e submetidas a um processo de secagem a 50 e 60°C, se encontram na Tabela 4.24.

Observam-se que existem diferenças significativas a nível de 1% de probabilidade pelo teste F, para todos os tratamentos, exceto na secagem para teor de cinzas, em todas as concentrações de sacarose estudadas e na interação entre desidratação osmótica versus secagem para as análises de teor de água (70°Brix), açúcares redutores (55 e 70°Brix) e teor cinzas (40, 55 e 70°Brix).

Tabela 4.24- Valores da Análise de Variância (ANOVA) da caracterização físico-química da banana-passa

F.V	°Brix	G.L	Quadrado Médio						
			Teor de água	Acidez	Açúcares redutores	pH	Sólidos solúveis	Cinzas	Aw (25°C)
Desidratação Osmótica (DO)	40	2	1,91620**	0,02236**	98,20191**	0,99241**	31,59722**	0,59971**	0,00046**
	55	2	28,65729**	0,003831**	260,83522**	0,80549**	56,09722**	0,39704**	0,00186**
	70	2	5,29781**	0,03352**	287,51915**	0,56471**	176,38889**	0,6823**	0,00275**
Secagem (S)	40	1	11,15793**	0,00916**	145,35125**	0,42627**	88,88889**	0,01736ns	0,00045**
	55	1	9,85280**	0,02546**	68,75736**	0,00889**	93,38889**	0,0012ns	0,00112**
	70	1	1,43346**	0,00353**	149,35681**	0,03125**	91,125**	0,02486ns	0,00544**
DO X S	40	2	1,06764*	0,03705**	41,20072**	0,14651**	2,18056*	0,00089ns	0,00031**
	55	2	1,69247**	0,00804**	5,07594ns	0,02962**	4,51389**	0,00521ns	0,0007**
	70	2	0,09907ns	0,01578**	5,60054ns	0,02282**	23,16667**	0,03123ns	0,00077**
Tratamentos	40	5	17,12561**	0,0256**	84,83130**	0,54082**	31,28889**	0,24371**	0,00039**
	55	5	14,11047**	0,02364**	120,11593**	0,33582**	42,92222**	0,16114**	0,00125**
	70	5	2,44544**	0,02043**	147,11924**	0,24126**	98,04722**	0,29038**	0,0025**
Resíduo	40	12	2,05933	0,00074	1,3604	0,00018	0,36111	0,00448	0,00001
	55	12	0,12763	0,00045	2,29944	0,00012	0,20833	0,00339	0,00000
	70	12	0,14278	0,00017	2,228366	0,00042	0,18056	0,00821	0,00001
C.V(%)	40	-	2,32	4,76	3,92	0,32	5,52	3,38	0,48
	55	-	2,62	3,85	4,67	0,25	3,72	2,82	0,29
	70	-	3,36	2,21	3,87	0,46	2,77	4,29	0,52

** significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F; *significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ns não significativo; CV % coeficiente de variação

Os valores médios da caracterização físico-química das bananas desidratadas osmoticamente a 50, 60 e 70°C, em três diferentes soluções de sacarose 40, 55 e 70°Brix, submetidas a um processo de secagem a 50 e 60°C, estão nas Tabelas 4.24 a 4.30.

Tabela 4.25- Médias do fator teor de água (%b.u.) em banana Pacovan submetidas a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C e secagem a 50 e 60°C

TEOR DE ÁGUA			
°Brix	Desidratação osmótica Temperatura (°C)	Secagem Temperatura (°C)	
		50	60
40	50	19,7166aA	17,1679aB
	60	18,2554bA	17,1559aB
	70	17,8695bA	16,7937aB
DMS	Colunas = 0,63759	Linhas = 0,42531	
55	50	16,0657aA	15,5646aA
	60	14,2633bA	12,9347bB
	70	12,7490cA	10,1397cB
DMS	Colunas = 0,54984	Linhas = 0,36678	

As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo Teste Tukey a nível de 1% de probabilidade; nas colunas, classificação com letras minúsculas e nas linhas com letras maiúsculas.

Observa-se na Tabela 4.25, das amostras de banana são influenciados pela temperatura de desidratação osmótica e pela temperatura de secagem, ou seja, à medida em que ocorre a elevação da temperatura de desidratação osmótica, temperatura de secagem e da concentração de sacarose ocorre uma remoção maior de água nas amostras. O maior teor de água foi de 19,7166% nas amostras submetidas à solução de sacarose a 40°Brix, desidratadas na temperatura de 50°C e secadas a 50°C. Valores maiores de teor de água das bananas Pacovan desidratadas foram encontrados por

PONTES et al. (2007) estudando a secagem e a avaliação sensorial de banana da terra (30,5 a 32,2%).

Tabela 4.26- Médias do fator acidez (%) em banana Pacovan submetidas a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C e secagem a 50 e 60°C

ACIDEZ			
°Brix	Desidratação osmótica Temperatura (°C)	Secagem	
		Temperatura (°C)	
		50	60
40	50	0,5917aA	0,4527bB
	60	0,5707aB	0,7070aA
	70	0,6157aA	0,4830bB
DMS	Coluna = 0,0483	Linha = 0,0591	
55	50	0,4367bB	0,5737bA
	60	0,6437aA	0,6380aA
	70	0,4527bB	0,5470bA
DMS	Coluna = 0,0375	Linha = 0,0459	
70	50	0,6043bA	0,5140cB
	60	0,6420aB	0,7247aA
	70	0,5033cB	0,5950bA
DMS	Coluna = 0,0234	Linha = 0,0287	

As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo Teste Tukey a nível de 1% de probabilidade; nas colunas, classificação com letras minúsculas e nas linhas com letras maiúsculas.

A acidez diminuiu com o aumento da temperatura de secagem de 50 e 60 e na temperatura de desidratação de 50 e 70°C na concentração de sacarose de 40°Brix. Com relação à concentração de 55 e 70°Brix, ocorreu o mesmo comportamento para a temperatura de desidratação osmótica de 60 e 50°C. PONTES et al. (2007) obtiveram,

ao estudar acidez da banana prata desidratada, os valores a 60°C e 70°C a de 2,70% e 3,76%, respectivamente, valores esses consideravelmente maiores que os deste estudo.

Tabela 4.27- Médias do fator açúcares redutores (%) em banana Pacovan submetida a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C e secagem a 50 e 60°C

AÇÚCARES REDUTORES			
°Brix	Desidratação osmótica Temperatura (°C)	Secagem	
		Temperatura (°C)	
		50	60
40	50	25,4667 bB	28,3400 bA
	60	26,7700 aB	29,2167 bA
	70	28,5267 aB	40,2567 aA
DMS	Coluna = 2,0739	Linha = 2,5386	

As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo Teste Tukey a nível de 1% de probabilidade; nas colunas, classificação com letras minúsculas e nas linhas com letras maiúsculas.

Os valores médios dos açúcares redutores indicados na Tabela 4.27, aumentaram com o aumento da temperatura de desidratação osmótica e de secagem para uma mesma concentração de sacarose. Além das bananas terem ganhado açúcar no processo de desidratação osmótica houve, também, uma concentração desses valores após a remoção da água durante o processo de secagem. A maior concentração do teor de açúcares redutores foi de 50,6067% para as bananas submetidas a solução de sacarose de 70°Brix, na desidratação osmótica de 70°C e secadas a 60°C. Verifica-se que o conteúdo dos açúcares redutores foi menor que os valores obtidos por JESUS et al (2005) no estudo de banana-passa de diferentes genótipos que variaram de 55,85% para a variedade PV03-44 a 62,88% para banana nanica.

Tabela 4.28- Médias do fator pH em banana Pacovan submetidas a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C e secagem a 50 e 60°C

pH			
°Brix	Desidratação osmótica Temperatura (°C)	Secagem	
		Temperatura (°C)	
		50	60
40	50	4,3633 aB	4,9500 aA
	60	3,9533 bB	4,3200 bA
	70	3,8700 cA	3,8400 cB
DMS	Coluna = 0,0237	Linha = 0,0290	
55	50	4,8167 aA	4,7433 aB
	60	4,0233 cB	4,2233 bA
	70	4,1667 bA	4,1733 cA
DMS	Coluna = 0,0192	Linha = 0,0235	
70	50	4,6667 aB	4,8733 aA
	60	4,2200 bA	4,1800 cB
	70	4,2467 bB	4,3300 bA
DMS	Coluna = 0,0363	Linha = 0,0444	

As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo Teste Tukey a nível de 1% de probabilidade; nas colunas, classificação com letras minúsculas e nas linhas com letras maiúsculas.

Analisando a Tabela 4.28, na qual se encontram os valores médios do pH das amostras, verifica-se o maior valor na amostra tratada com a solução de sacarose a 40°Brix, para a desidratação osmótica de 50°C e secada na temperatura de 60 °C, com o valor de 4,95; já o menor valor é observado na amostra tratada com a solução de sacarose a 40°Brix, para a desidratação osmótica de 70°C e secada na temperatura de 50°C, com o valor de 3,87, respectivamente. Observa-se, ainda, que não houve aumento significativo do pH com relação à incorporação devido à concentração de sacarose.

Numa análise geral, todos os valores se encontram entre 3,87 e 4,95 em conformidade com a literatura já citada neste trabalho (PONTES et al., 2007).

Tabela 4.29- Médias do fator sólidos solúveis (%) em banana Pacovan submetidas a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C e secagem a 50 e 60°C

SOLIDOS SOLÚVEIS			
°Brix	Desidratação osmótica Temperatura (°C)	Secagem	
		Temperatura (°C)	
		50	60
40	50	6,8333bB	10,5000cA
	60	7,8333bB	13,6667bA
	70	11,3333aB	15,1667aA
DMS	Coluna = 1,0686	Linha = 1,3080	
55	50	7,8333bB	11,0000cA
	60	8,6667bB	15,1667bA
	70	13,5000aB	17,5000aA
DMS	Coluna = 0,8117	Linha = 0,9935	
70	50	8,3333cB	11,8333cA
	60	10,6667bB	19,5000bA
	70	20,3333aB	21,5000aA
DMS	Coluna = 0,7556	Linha = 0,9249	

As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo Teste Tukey a nível de 1% de probabilidade; nas colunas, classificação com letras minúsculas e nas linhas com letras maiúsculas.

Percebe-se pelos valores médios dos teores de sólidos solúveis apresentados na Tabela 4,29 que as amostras, quando comparadas com a “in natura”, aumentaram após serem desidratadas osmoticamente e secadas. Verifica-se, para todas as concentrações de sacarose estudadas na desidratação osmótica a 70°C e secagem a 60°C, que essas médias são maiores. De acordo com VILAS BOAS et al. (2004), os sólidos solúveis são

usados como indicadores de maturidade na fruta “in natura” e também determinam a qualidade da fruta exercendo importante papel no sabor. Valores próximos aos encontrados para a banana Pacovan nas condições em que foram estudadas, foram descritos por CARVALHO et al. (2011) no estudo com banana maçã no estágio maduro, em que o maior valor para os sólidos solúveis foi de 23,67°Brix. JESUS et al. (2004) observaram, estudando diferentes genótipos de bananeira, teores de sólidos solúveis variando de 19,8 a 27,4°Brix no fruto maduro.

Tabela 4.30- Médias do fator atividade de água em banana Pacovan submetidas a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C e secagem a 50 e 60°C

ATIVIDADE DE ÁGUA			
°Brix	Desidratação osmótica Temperatura (°C)	Secagem Temperatura (°C)	
		50	60
40	50	0,6117 aA	0,5853 aB
	60	0,5837 bA	0,5837 aA
	70	0,5850 bA	0,5813 aA
DMS	Coluna = 0,0050	Linha 0,0061	
55	50	0,5820 aA	0,5800 aA
	60	0,5713 bA	0,5667 bB
	70	0,5667 cA	0,5260 cB
DMS	Coluna = 0,0029	Linha 0,0036	
70	50	0,5520 aA	0,5040 aB
	60	0,5397 bA	0,4920 bB
	70	0,4907 cA	0,4820 cB
DMS	Coluna = 0,0047	Linha 0,0057	

As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo Teste Tukey a nível de 1% de probabilidade; nas colunas, classificação com letras minúsculas e nas linhas com letras maiúsculas.

De acordo com a Tabela 4.30, ocorreu uma redução significativa da atividade de água das bananas em função do aumento da temperatura de desidratação osmótica e de secagem. As maiores médias foram para as concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix na desidratação osmótica a 50°C com secagem a 50°C, valor de 0,6117; 0,5820 e 0,5520, respectivamente.

4.3.4- Avaliação química - Espectrometria por raios-x

Os valores em porcentagem referentes ao estudo de análise de minerais para as bananas “in natura”, desidratadas osmoticamente e secas se encontram na Tabela 4.31.

Tabela 4.31- Valores das análises de minerais (mg/100g) para as bananas “in natura”

Tratamentos	Minerais (mg/100g) presentes em banana Pacovan				
	K	Ca	P	Mg	Fe
In natura	658,80	32,26	18,41	2,81	1,90
Desidratação Osmótica 50°C	1025,82	70,41	30,55	5,12	4,30
Desidratação Osmótica 60°C	1379,55	82,11	44,00	4,32	2,93
Desidratação Osmótica 70°C	1707,09	99,44	47,58	5,76	3,29
Desidratação Osmótica 50°C Secagem 50°C	1358,93	110,83	55,33	5,12	4,29
Desidratação Osmótica 60°C Secagem 50°C	1725,46	114,25	61,30	7,80	5,61
Desidratação Osmótica 70°C Secagem 50°C	1866,09	162,33	40,04	13,97	4,04
Desidratação Osmótica 60°C Secagem 60°C	1459,22	92,72	34,87	3,17	4,05
Desidratação Osmótica 60°C Secagem 60°C	1810,08	122,76	52,60	5,14	6,18
Desidratação Osmótica 70°C Secagem 60°C	1861,70	108,57	52,45	8,57	3,64

Praticamente, não há alterações dos minerais com os processos de desidratação osmótica ou secagem visto que os minerais não sofrem alterações em temperaturas como as utilizadas nesta pesquisa mesmo porque, para sua determinação, a mostra é submetida à incineração, em mufla, em temperaturas acima de 500°C. Algumas alterações observadas são típicas de diferenças na amostragem como o grau de maturação, época de colheita e condições edafoclimáticas, entre outras, uma vez que foram utilizadas bananas de diferentes colheitas em função da duração da pesquisa. Deve-se, também, ter atenção especial às falsas alterações, ou seja, aumentos devido à concentração ou desidratação da amostra. Não se descarta, porém, a hipótese de alterações sofridas em virtude das trocas osmóticas durante a desidratação em solução de sacarose.

Percebe-se, pela análise, da Tabela 4.31, que o mineral presente em maior quantidade em banana Pacovan é Potássio, 658 mg.100.g⁻¹. Em quantidades menores mais significativas se encontram também cálcio, 32 mg.100.g⁻¹; fósforo, 18,41 mg.100.g⁻¹; magnésio, 2,81 mg.100.g⁻¹ e Ferro, 1,90 mg.100.g⁻¹. WALL (2006) encontrou, para bananas de diferentes procedências, valores para K, Ca, P e Mg valores mínimos de 288,5; 3,8; 19,2 mg.100.g⁻¹ e máximos de 485; 9,71; 29,80 e 45,1 mg.100.g⁻¹, respectivamente, para o fruto fresco. Percebe-se que os valores para cálcio e potássio estão aquém dos encontrados nesta pesquisa com banana Pacovan. O valor encontrado pelo autor para fósforo, de 19,2 a 29,7 mg.100.g⁻¹, também da fruta in natura, está próximo ao encontrado nesta pesquisa, que foi 18,41 mg.100.g⁻¹.

HARDISSON et al. (2001) trabalhando com banana (*Musa acuminata*) fazem referências a trabalhos com diferentes variedades de bananas e locais de colheita que levam a concluir que esses valores podem variar substancialmente com o grau maturação, época de colheita, condições edafoclimáticas e variedades, entre outras. Esses autores citam trabalhos nos quais foram encontrados valores mínimos para K, Ca, P e Mg, iguais a 143, 4, 13 e 3 mg.100.g⁻¹, respectivamente, até valores máximos de 637; 50; 63,4 e 64 mg.100.g⁻¹, respectivamente. HARDISSON et al. (2001) constataram valores para bananas (*Musa acuminata*) colhidas na ilha do Tenerife, arquipélago das Canárias - Espanha, entre 59 e 733 mg.100.g⁻¹. Com base nessas referências pode-se afirmar que a banana Pacovam analisada nesta pesquisa possui elevado teor de Potássio.

Ainda com relação ao potássio, elemento com maior significado em banana, os valores podem chegar a $4320 \text{ mg.100.g}^{-1}$ no produto fresco (HIROCE et al., 1977).

Ainda analisando a Tabela 4.31, percebe-se um aumento do teor de potássio com o aumento da temperatura de secagem o que, na realidade, se trata de uma concentração pela remoção de água; assim, em 100 gramas do produto desidratado quanto menor for o teor de água maior o teor de potássio. Nesta pesquisa este valor passa de $658,80 \text{ mg.100.g}^{-1}$ no produto fresco para um valor máximo de $1866,09 \text{ mg.100.g}^{-1}$ para o produto desidratado a 70°Brix e secado a 50°C .

Como destacado, anteriormente, deve-se dar especial atenção às falsas alterações, ou seja, aumentos relativos à concentração ou desidratação da amostra. É certo que o produto desidratado pode conter valores muito elevados de potássio, em razão da perda de água visto que os minerais não se alteram quando submetidos à temperatura de processos, geralmente utilizadas em alimentos. Este valor em cem gramas do produto seco é tanto maior quanto menor for o teor de água final.

Os demais componentes minerais apresentaram comportamento semelhante ao potássio, em função da desidratação osmótica e secagem.

A análise de minerais após o processamento serve de constatação de conteúdos minerais e para atestar a qualidade do produto processado. KAMSONLIAN et al. (2011) estudaram a análise EDX nas cascas de banana e laranja e a percentagem peso de composições químicas disponíveis na superfície da casca de banana e laranja foram, respectivamente como se segue:

Tabela 4.32- Componentes minerais em cascas de banana e laranja

Componentes	Casca de banana	Casca de laranja
Enxofre	41,81	44,12
Potássio	15,60	13,02
Silício	1,32	1,12
Cálcio	0,32	0,4
Sódio	2,03	1,30
Alumínio	0,8	1,34
Magnésio	2,33	3,34

Fonte: KAMSONLIAN et al. (2011)

4.4- Textura

4.4.1- Avaliação instrumental de resistência à compressão e ruptura de fibra da banana

Nas Figuras de 4.40 a 4.42 estão representadas as curvas de comportamento de ruptura de fibras (penetração) para as bananas desidratadas osmoticamente nas três temperaturas 50, 60 e 70°C em concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix.

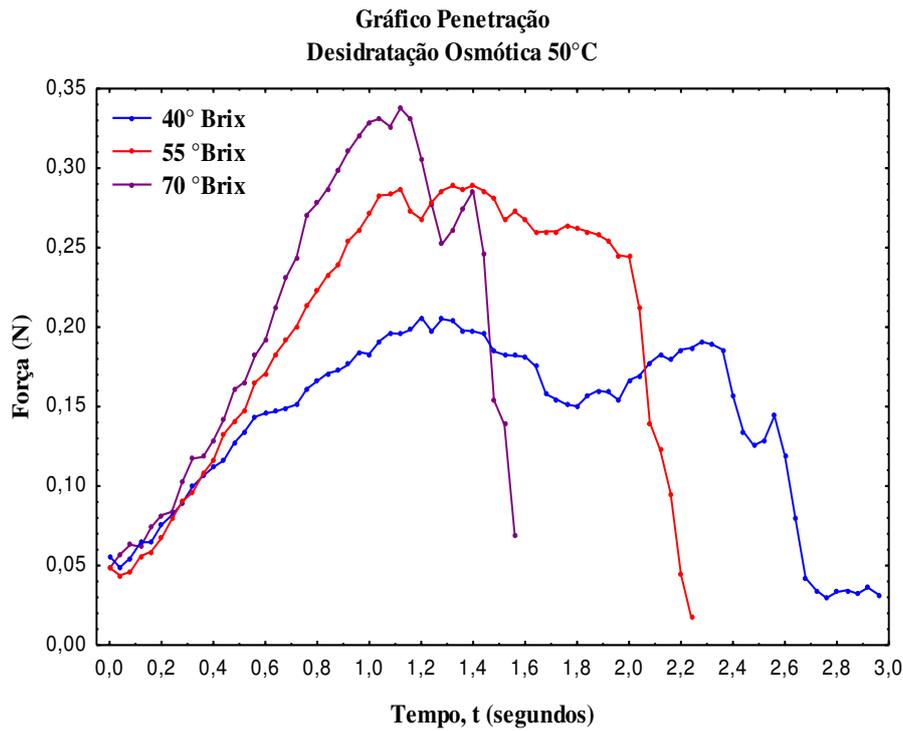


Figura 4.40- Gráfico de força requerida para ruptura de fibras em função do tempo das amostras desidratadas osmoticamente a 50°C, nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix

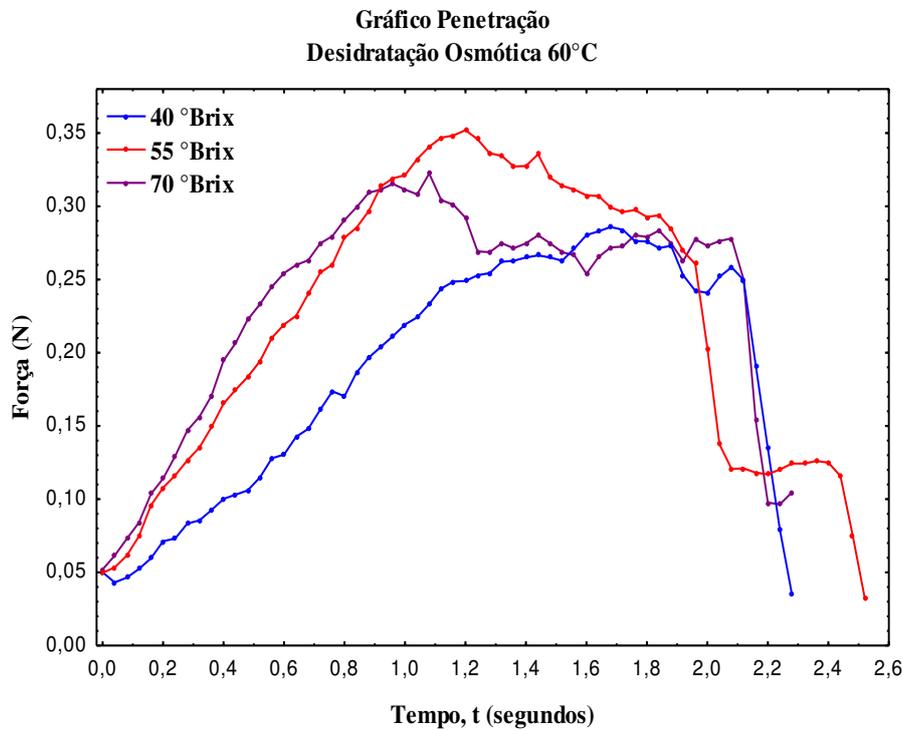


Figura 4.41- Gráfico de força requerida para ruptura de fibras em função do tempo das amostras desidratadas osmoticamente a 60°C, nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix

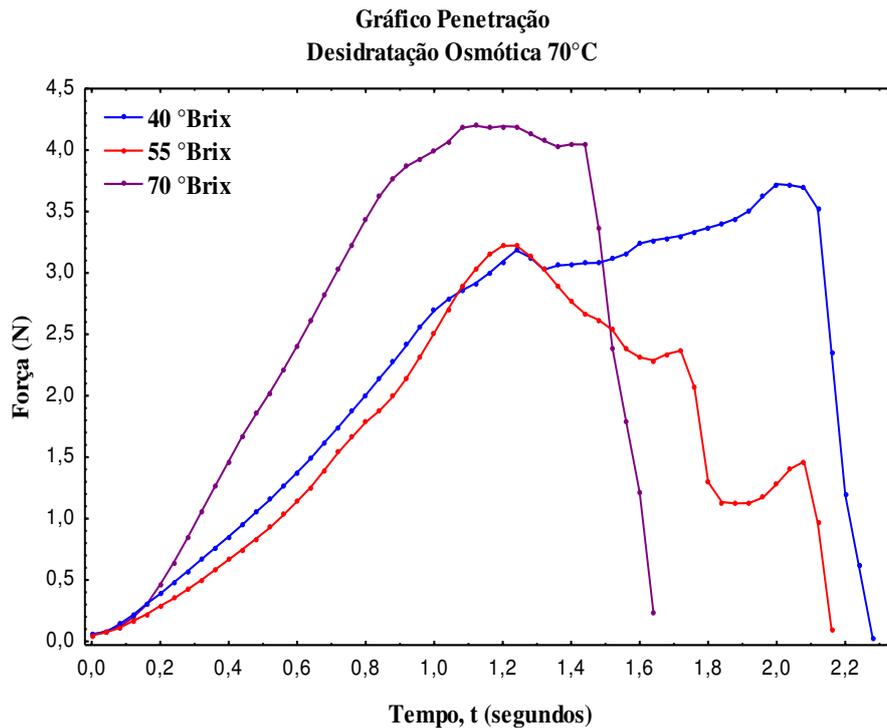


Figura 4.42- Gráfico de força requerida para ruptura de fibras em função do Tempo das amostras desidratadas osmoticamente a 70°C, nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix

Os valores médios referentes ao estudo da avaliação instrumental de força máxima de ruptura de fibras das bananas desidratadas osmoticamente e secas, se encontram na Tabela 4.33.

Tabela 4.33- Médias da avaliação instrumental de força máxima (N) de ruptura de fibra das bananas Pacovan submetidas a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C e secagem a 50 e 60°C

°Brix	Desidratação osmótica		
	Temperatura (°C)		
	50	60	70
40	0,2346aB	0,3282aB	3,7709bA
55	0,3396aB	0,3714aB	3,3007cA
70	0,3439aB	0,3238aB	4,7135aA
DMS	Coluna = 0,4452	Linha = 0,4452	

As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo Teste Tukey a nível de 1% de probabilidade; nas colunas, classificação com letras minúsculas e nas linhas, com letras maiúsculas.

Analisando essas figuras percebe-se que as forças máximas de ruptura requeridas para perfurar 80% das amostras foi maior na banana desidratada osmoticamente a 50 e 70°C e submetidas à concentração de sacarose a 70°Brix; o mesmo não ocorreu com as amostras conduzidas a desidratação osmótica na temperatura de 60°C; a amostra submetida à concentração de 55°Brix requereu a maior força.

Observa-se, na Tabela 4.32, um aumento da força, de acordo com o aumento do teor de sólidos da solução desidratante na desidratação osmótica a 50°C; a menor força de ruptura média (0,2346 N) foi requerida para perfurar a banana submetida à solução de sacarose de 40°Brix, a uma temperatura de desidratação osmótica de 50°C e a maior média foi de 4,7135 N, para a banana desidratada osmoticamente na temperatura de 70°C na concentração de sacarose de 70°Brix.

Nas Figuras de 4.43 a 4.48 estão representadas as curvas de comportamento das forças de ruptura de fibras para as bananas desidratadas osmoticamente nas temperaturas de 50, 60 e 70°C e concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix, submetidas a secagem a 50 e 60°C.

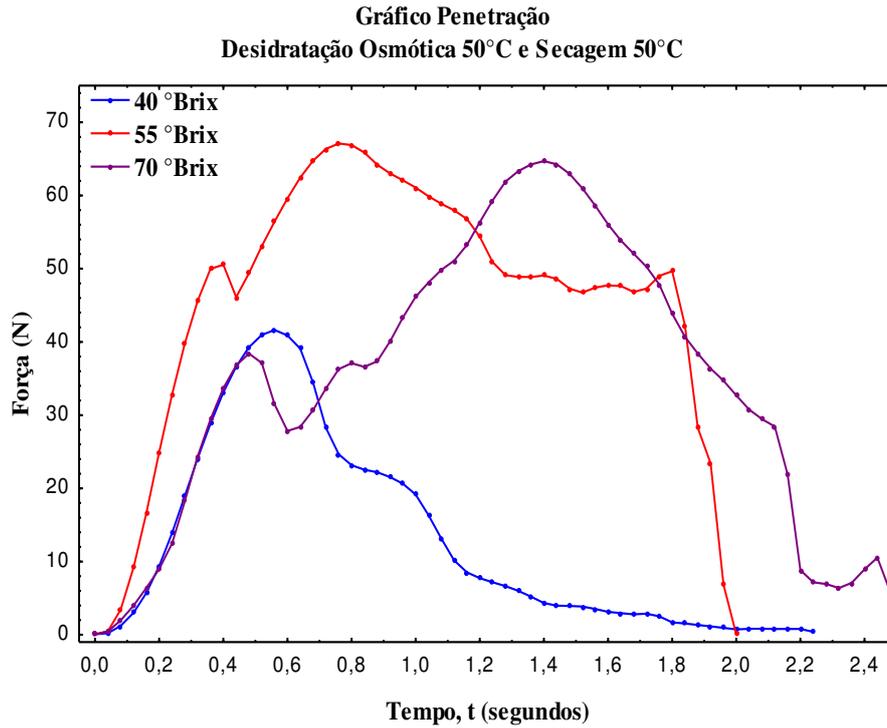


Figura 4.43- Gráfico de força requerida para ruptura de fibras em função do tempo das amostras desidratadas osmoticamente a 50°C, nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix e submetidas a secagem a 50°C

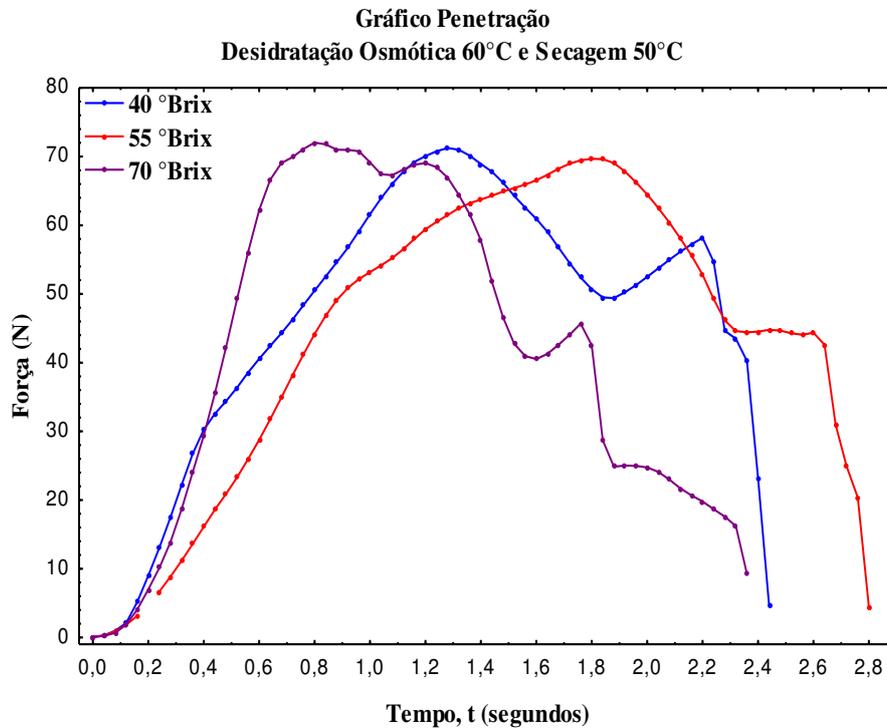


Figura 4.44- Gráfico de Força requerida para ruptura de fibras em função do Tempo das amostras desidratadas osmoticamente a 60°C, nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix e submetidas a secagem a 50°C

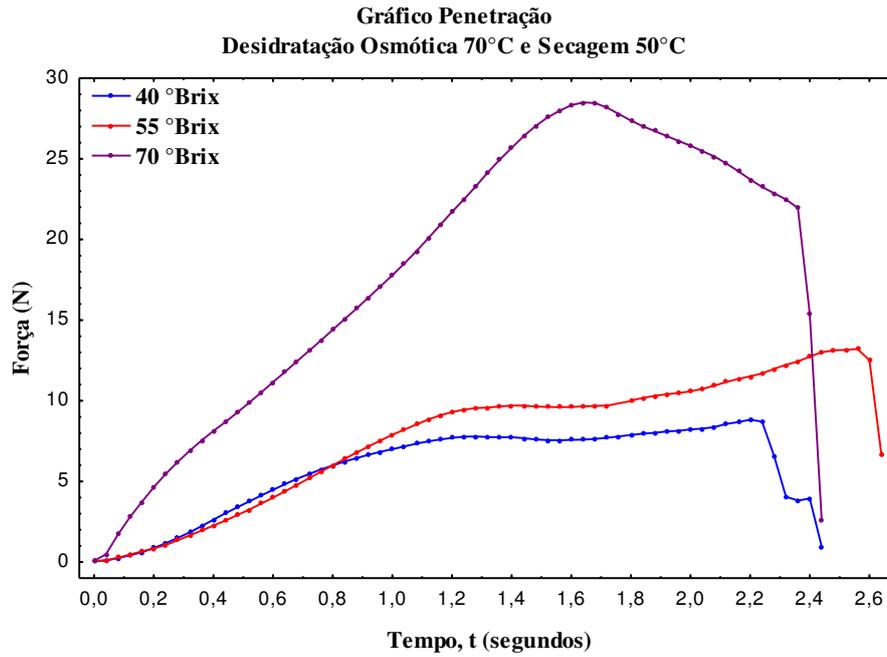


Figura 4.45- Gráfico de Força requerida para ruptura de fibras em função do tempo das amostras desidratadas osmoticamente a 70°C, nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix e submetidas a secagem a 50°C

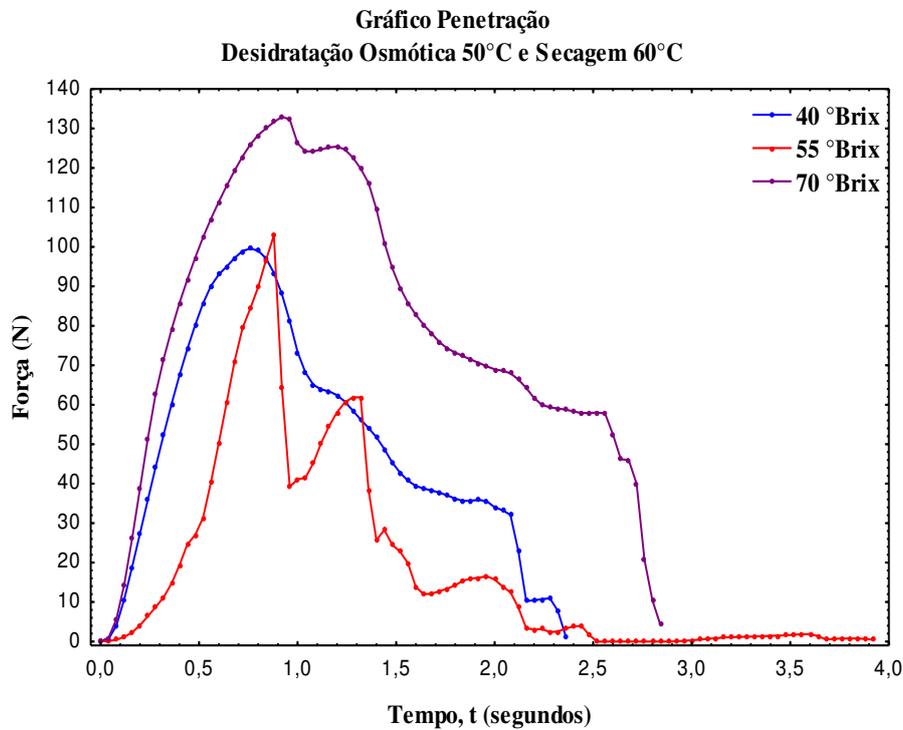


Figura 4.46- Gráfico de Força requerida para ruptura de fibras em função do tempo das amostras desidratadas osmoticamente a 50°C, nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix e submetidas a secagem a 60°C

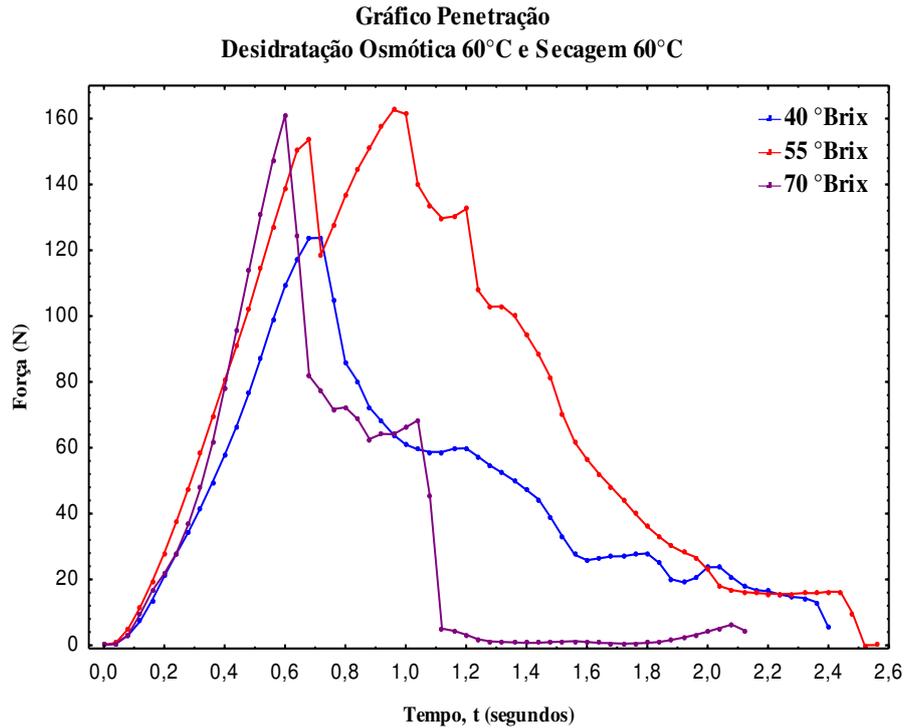


Figura 4.47- Gráfico de Força requerida para ruptura de fibras em função do tempo das amostras desidratadas osmoticamente a 60°C, nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix e submetidas a secagem a 60°C

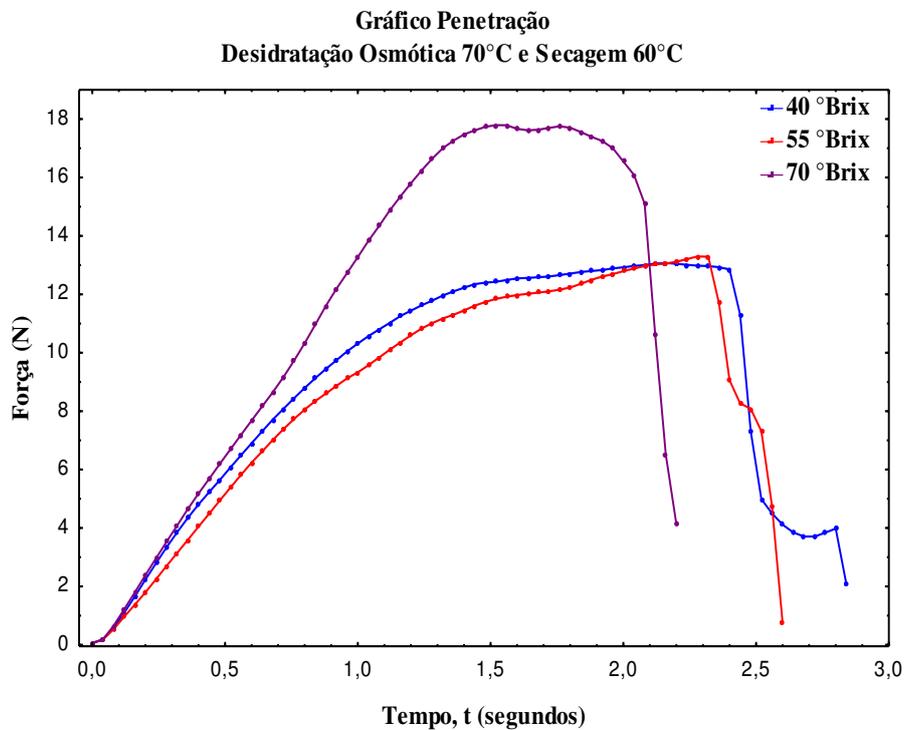


Figura 4.48- Gráfico de Força requerida para ruptura de fibras em função do tempo das amostras desidratadas osmoticamente a 70°C, nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix e submetidas a secagem a 60°C

Nota-se, nas Figuras 4.43 a 4.48, que ocorreu um aumento da força requerida para ruptura, de acordo com o aumento do teor de sólidos da solução desidratante e com o aumento da temperatura, para todos os tratamentos, exceto para a desidratação osmótica a 50°C com secagem a 50°C. ALMEIDA et al. (2007) observaram que a temperatura de secagem de 70 °C exigiu a maior força de ruptura em caju passas à medida em que se aumentou o °Brix das soluções osmóticas.

Os valores médios referentes ao estudo da avaliação instrumental de ruptura de fibras das bananas desidratadas osmoticamente e secas, se encontram na Tabela 4.34.

Tabela 4.34- Médias da avaliação instrumental de força máxima (N) de ruptura de fibra das bananas submetidas a desidratação em soluções de sacarose a 40, 55 e 70°Brix, em temperaturas de desidratação osmótica de 50, 60 e 70°C e secagem a 50 e 60°C

TEXTURA PENETRAÇÃO			
°Brix	Desidratação osmótica Temperatura (°C)	Secagem	
		Temperatura (°C)	
		50	60
40	50	43,6565bB	99,5567bA
	60	74,5217aA	135,6883aA
	70	9,1607cA	13,3653cA
DMS	Coluna = 14,1542	Linha = 17,3250	
55	50	67,4395aB	115,2187bA
	60	70,6123aB	164,3473aA
	70	13,2393bA	13,4987cA
DMS	Coluna = 10,8225	Linha = 13,2470	
70	50	74,5869aB	137,4590bA
	60	82,4787aB	186,5827aA
	70	29,0617bA	17,9220cA
DMS	Coluna = 22,8370	Linha = 27,9530	

As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo Teste Tukey a nível de 1% de probabilidade; nas colunas, classificação com letras minúsculas e nas linhas com letras maiúsculas.

Percebe-se que na avaliação instrumental não houve comportamento específico para as condições estudadas. Nota-se, para as bananas submetidas à solução de sacarose com 40°Brix, que a menor média foi de 9,1607 para a desidratação osmótica de 70°C e a temperatura de secagem de 50°C. A maior média foi de 186,5827 para a desidratação osmótica de 60°C a temperatura de secagem de 60°C, a concentração de sacarose de 70°Brix, que representa a maior força de penetração.

Nas figuras a seguir estão representadas as curvas de comportamento do parâmetro firmeza para as bananas desidratadas osmoticamente nas três temperaturas estudadas (50, 60 e 70°C) nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix.

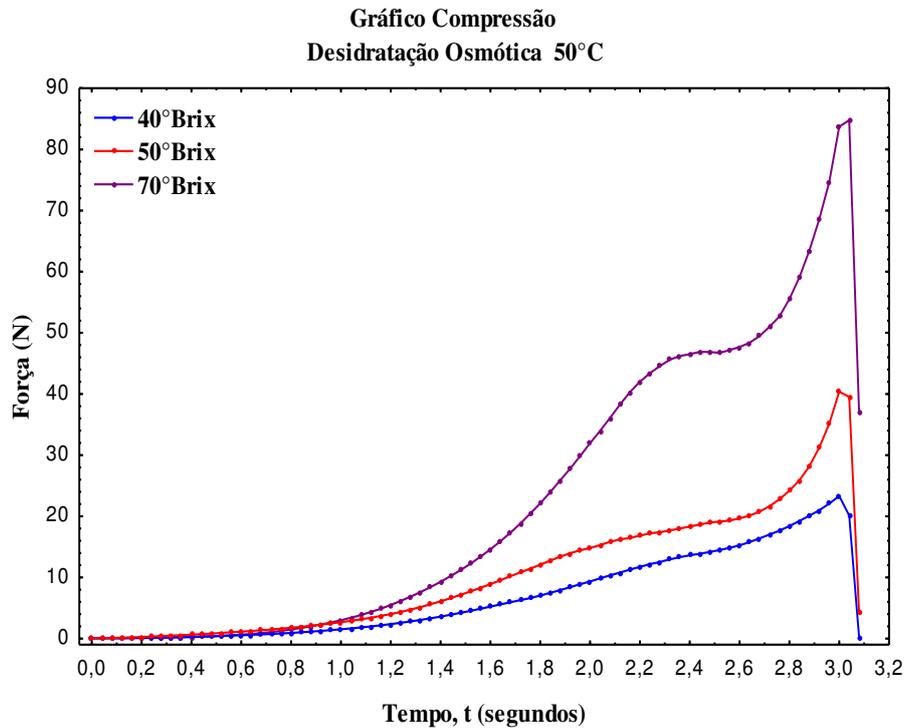


Figura 4.49- Gráfico da força de compressão sobre amostras desidratadas osmoticamente a 50°C nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix

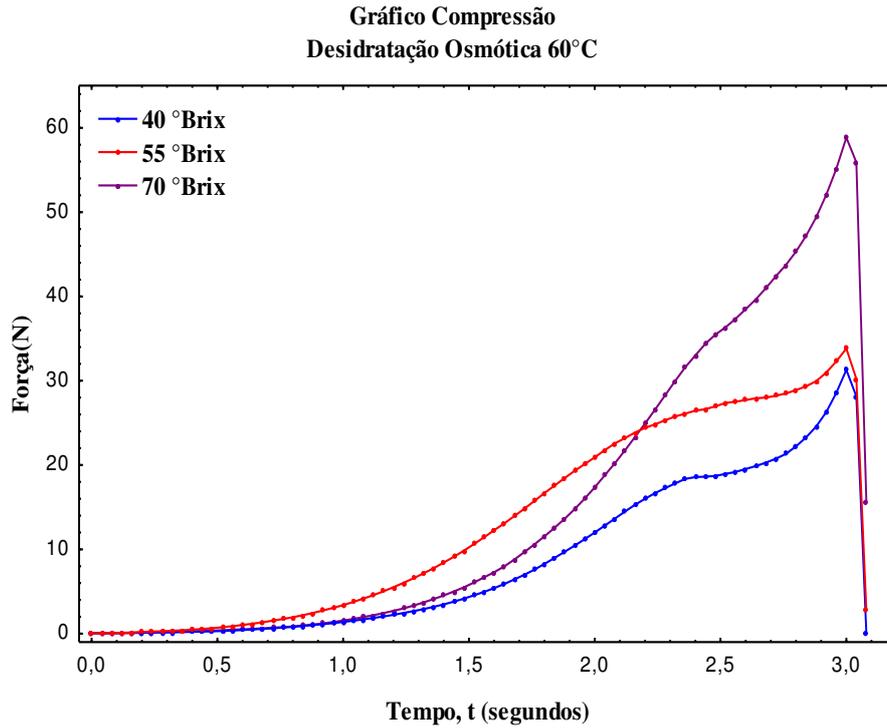


Figura 4.50- Gráfico da força de compressão sobre amostras desidratadas osmoticamente a 60°C nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix

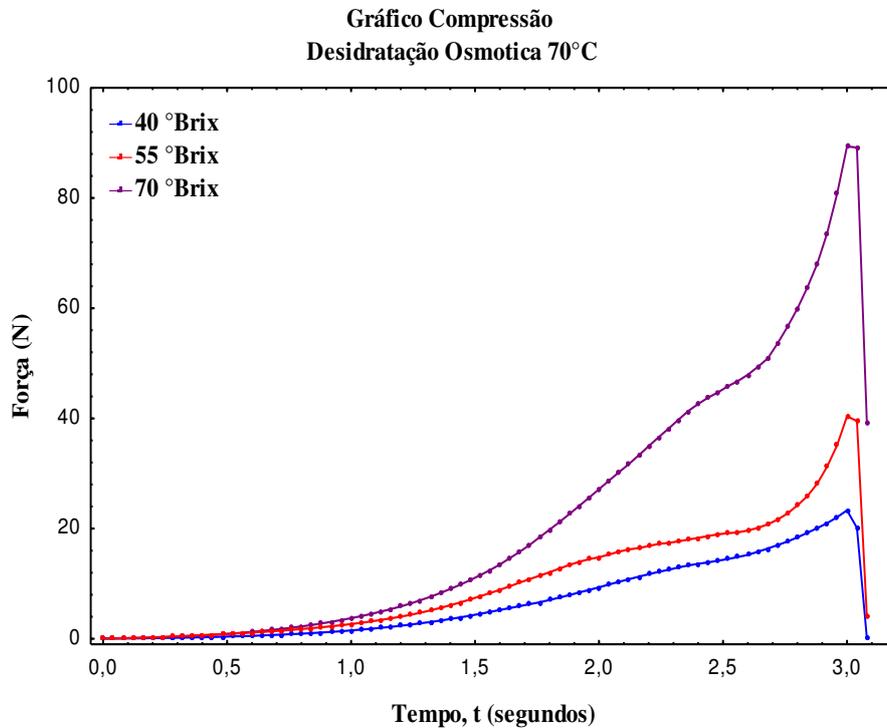


Figura 4.51- Gráfico da força de compressão sobre amostras desidratadas osmoticamente a 70°C nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix

Para a análise de firmeza observou-se, nas Figuras de 4.49 a 4.51, que com a elevação da concentração de sacarose ocorre um aumento da força necessária para comprimir 80% da amostra; este mesmo fato foi observado por NÓBREGA et al. (2013) estudando os parâmetros de textura e força necessária para comprimir 50% da passa de mamão formosa. ALMEIDA et al. (2007) a maciez das passas de caju sofre influência do teor de açúcar por promover uma porosidade maior e, por conseguinte, uma aeração também maior; com isto a força de esmagamento é menor.

5.0- CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos com a secagem da banana elaborada a partir de uma desidratação osmótica com solução de sacarose a 40, 55 e 70°Brix para as caracterizações físico-químicas e químicas, análises de textura, de minerais e para as curvas de desidratação osmótica e de secagem usando-se os modelos matemáticos de Fick, Page e Cavalcanti Mata, conclui-se que:

Desidratação osmótica

- De forma geral, a concentração de sacarose da solução osmótica utilizando-se diferentes temperaturas de processo, tal como a interação entre esses dois fatores são significativos e, portanto, exercem influência sobre a perda de água no processo de desidratação osmótica de banana Pacovan;
- Maiores temperaturas da solução de sacarose resultaram em também maiores perdas de água do produto;
- A maior combinação da concentração de sacarose com maior temperatura de processo, nem sempre resulta na maior perda de água; portanto, existe uma combinação que favorece a perda de água que, para banana Pacovan, foi 50°C e 70°Brix;
- A velocidade de perda de água na desidratação osmótica é maior nas duas primeiras horas de processo;
- A concentração de sacarose da solução osmótica, a temperatura de processo e a interação entre esses dois fatores, são significativos e, portanto, exercem influência sobre a incorporação de sólidos no processo de desidratação osmótica de banana Pacovan;
- A incorporação de sólidos pelo produto diminui com o aumento da temperatura de processo;

- A concentração de sacarose favorece a incorporação de sólidos do produto até certo valor, 55°Brix e valores maiores dificultam a incorporação de sólidos em banana Pacovan;
- O modelo matemático que melhor representa os dados experimentais de desidratação osmótica de banana Pacovan, é o de Page, com coeficientes de determinação maiores que 90%;
- A difusividade efetiva está calculada pelo modelo de Fick na desidratação osmótica, entre $1,692 \times 10^{-11}$ e $8,692 \times 10^{-11}$ para bananas desidratadas a 50°C em solução de 40°Brix e 70°C em solução de 70°Brix, respectivamente.

Secagem

- Os modelos de Fick, Page e Cavalcanti Mata se ajustam satisfatoriamente aos dados experimentais de secagem de banana Pacovan previamente desidratadas, embora todos possuam comportamentos tendenciosos porém em alguns tratamentos o de Cavalcanti Mata, mostrou-se mais adequado;
- Os coeficientes de difusão calculados pelo modelo de Fick para secagem complementar, ficaram entre $3,49 \times 10^{-10}$, para banana desidratada a 40°Brix na temperatura de 50°C com secagem complementar a 40°C e $4,38 \times 10^{-8}$ para banana desidratada a 70°Brix na temperatura de 70°C com secagem complementar a 60°C;
- O teor de água das bananas desidratadas osmoticamente e secadas, diminui à medida em que aumenta a concentração de sacarose aumenta nas soluções osmóticas e com o aumento da temperatura de secagem.

Análises químicas e físico químicas

- A acidez das bananas desidratadas aumenta de acordo com o aumento da concentração de sacarose para as temperaturas de 60 e 70°C; já para as submetidas ao processo de secagem a acidez diminuiu com o aumento da temperatura de secagem;

- Os açúcares redutores aumentaram com a elevação da concentração da solução de sacarose no processo de desidratação osmótica e de secagem;
- As amostras com a menor concentração de sacarose 40°Brix apresentam o menor valor do pH durante a desidratação osmótica e secagem;
- Os sólidos solúveis das amostras aumentaram sempre que os teores de água das bananas diminuíram, ou seja, ocorreu uma concentração desses sólidos, independente da concentração de sacarose;
- O teor de cinzas para o produto desidratado nas concentrações de sacarose de 40, 55 e 70°Brix aumenta à medida em que a temperatura de desidratação osmótica também aumenta nas temperaturas de secagem, de 50 e 60°C;
- Para a atividade de água ocorreu redução de seus valores em consequência da elevação da concentração de sacarose, elevação da temperatura de desidratação osmótica e de secagem. O comportamento da atividade de água nas amostras se encontram dentro da faixa estabelecida para frutas secas, que é entre 0,51 a 0,89, este valor é considerado microbiologicamente estável.

Textura

- Em relação à ruptura de fibras, as bananas tratadas osmoticamente obtiveram um aumento da força, de acordo com o aumento do teor de sólidos da solução desidratante na desidratação osmótica;
- As amostras tratadas em solução de sacarose a 70°Brix, desidratadas osmoticamente a 60°C e submetidas à secagem a 60°C, obtiveram a maior média 186,5827 N para a força na ruptura de fibras.
- Com relação ao atributo de firmeza a maior força de compressão foi para as bananas com maior concentração de sacarose e na maior temperatura de desidratação osmótica.

Minerais

- Os minerais presentes em maior quantidade em banana processada foram potássio, cálcio, fósforo, magnésio e ferro.

6.0- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHRNÉ, L. **Combi dry first annual report**. European INCO-DEV project reference ICA4-CT-2002-10034. 2005.

AKPINAR, E.K., Y. BICER AND C. YILDIZ, Thin layer drying of red pepper. **Journal of Food Engineering**, v. 59, p.99-104, 2003.

ALENCAR, F. M. A.; SILVA, M. M.; LIMA, M. A. C.; SILVA, G. G. B.; CASTRO, F **Evolução da maturação e determinação do ponto de colheita de banana nas condições de cultivo da região do submédio do vale do São Francisco**. 2010. Disponível em: <[http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/CPATSA/34351/1/OPB1015 .pdf](http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/CPATSA/34351/1/OPB1015.pdf)>. Acesso em: 25 jan. 2011.

ALMEIDA, F. A. C.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. **Tecnologia de armazenamento em sementes**. Campina Grande, Área de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Universidade Federal de Campina Grande, 402 p. 2006.

ALMEIDA, R. D.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; BRAGA, D. D.; COSTA, P. B. S. Medidas instrumentais de atributos de textura de passa de caju em função dos tratamentos de secagem. **Revista Pesquisa**, Campina Grande, v.1, n.1, p. 65-76, jan/fev. 2007.

ALMEIDA, C. O.; SOUZA, J. S.; CORDEIRO, Z. J. M.; INÁCIO, E. S. B. Mercado Mundial. **Banana pós-colheita**. Embrapa Informação Tecnológica (Ed.), Brasília (DF), Brasil, 2001, p. 9-12.

ALVES, E. J. **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. 2ª edição. Embrapa-SPI: Brasília, p. 27-3, 1999.

AMENDOLA, M.; QUEIROZ, M. R. Mathematical methodologies for calculating the mass diffusion coefficient of bananas during drying. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 6, pp. 623-627. 2007.

ANGELIS, B. S. **Caracterização química, perfil sensorial e aceitabilidade de novos varietais de banana (*musa ssp*) resistentes á sigatoka-negra**. 2009. 147f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual de Campinas-SP.

ANGELIS R. C., CTENAS M. L. B. Biodisponibilidade de ferro na alimentação infantil. **Temas de Pediatria** n. 52, 1993.

AGRIANUAL - ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA. **Informa economics South America**. São Paulo: AGRIANUAL/FNP, p. 183-188, 2012.

AZEVEDO, M. A. A.; AZEVEDO, L. C.; SOARES, J. C. A. Determinação de potássio em méis após precipitação com tetrafenilborato de sódio e separação em coluna de troca-iônica. **Química Nova**, Serapédica, v. 21, n. 5, p. 651-654, 1998.

AZZOUZ, S. et al. Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes. **Journal of Food Engineering**, v. 55,n .4, p. 323-330, 2002.

BOTTONI A, CIOLETTE A, SCHIMITZ BAS, CAMPANARO CM, ACCIOLY E, CUVELLO LCF. Anemia ferropriva. **Rev Paul Pediatr.**, n. 15, p. 127-34, 1997.

BOURNE, M. Relation between texture and mastication. **Journal of Texture Studies**. v.35, n. 2, p.125-143, 2004.

BUZINARO, E. F, ALMEIDA, R. N. A, MAZETO, G. M. F. S. Biodisponibilidade do cálcio dietético. **Arq Bras Endocrinol Metab**, v. 50, p. 852-861, 2006.

CARVALHO, A. V.; SECCADIO, L. L.; JÚNIOR MOURÃO, M.; NASCIMENTO, W. M. O. Qualidade pós-colheita de cultivares de bananeira do grupo “maçã”, na região de Belém-PA. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jabotical, v. 33, n.4, p. 1095-1102, Dezembro 2011.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. Oxford: Clarendon Press, 2ed. 1975. 414 p.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de Frutas e Hortaliças: Fisiologia e Manuseio**. 2. ed. UFLA., 785p. ISBN 8587692275. 2005.

CORRÊA, J.L.G.; BATISTA, M.B.; COSTA, A.R.S.; BELO, F.A.; FIOREZE, R., Analysis of osmotic dehydration variables influences on tomato (*Lycopersicon esculentum*) drying. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, v.25, n.2, p. 315-328, 2007.

CORZO, O.; GOMEZ, E. R. Optimization of osmotic dehydration of cantaloupe using desired function methodology. **Journal of Food Engineering**, v.64, n.2, p.213-219, 2004.

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de nutrientes**. São Paulo, p. 67-175, 2007.

DANTAS, R. L.; PÊ P. R.; ROCHA, A. P. T. Comportamento da secagem da hortelã da folha miúda. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v. 18, n. 2, p. 23-27. 2013.

DIEESE. DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTÁTISTICA E ESTUDOS SOCIECONÔMICOS. **Estatística no meio rural 2010-2011**. Ministério do desenvolvimento agrário, 4 ed., Brasília, 2011.

DIONELLO, R.G.; BERBERT, P A.; MOLINA, M.A. B.; PEREIRA, R, C.; VIANA, A. P.; CARLESSO, V. O. Desidratação osmótica de frutos de duas cultivares de abacaxi em xarope de açúcar invertido. **R. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.5, p.596–605, 2009.

DISILVESTRO, R. A. **Handbook of Minerals as Nutritional Supplements**. CRC Press, 2005.

DOYMAZ, I. Drying behaviour of green beans. **Journal of Food Engineering**, Essex, v.69, n.2, p.161-165, 2005.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2008**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia40/AG01/Abertura.html>>. Acesso em: 10 nov. 2012.

EI-AQUAR, A. A.; MURR, F. E. X. Estudo e modelagem de cinética de desidratação osmótica do mamão formosa (*Carica papaya* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 23, n. 1, p. 67-75 jan./abr. 2003.

ESTEVES EA, RODRIGUES CAA, PAULINO EJ. Ingestão dietética de cálcio e adiposidade em mulheres adultas. **Rev Nutr**. v. 23, p. 543-552, 2010.

FALADE, K. O.; OGUNWOLU, O. S., Modeling of drying patterns os fresh and osmotically pretreated cooking banana and plantain slices. **Journal of Food Processing and Preservation**. Ibadan, Nigeria, v. 37, 6 ed., p. 14. Agosto 2012.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITES NATIONS **Data base**. United States: FAO/FAOSTAT, 2013. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 20 abr. 2013.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Food and Agricultural commodities production**. Disponível em:<http://faostat.fao.org>. Acesso em: 09 nov. 2009.

FASOLIN, L. H.; ALMEIDA, G. C.; CASTANHO, P. S.; NETTO-OLIVEIRA, E. R. Biscoitos produzidos com farinha de banana: avaliação química, física e sensorial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 27, n.3, p. 524-529, 2007.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e práticas**. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 602 p. 2006.

FIDÉLES, T. B. **Filmes reticulados de quitosana para aplicação como biomaterial**. 2010. 72f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciência e Tecnologia. Campina Grande, 2010.

FIGUEIREDO, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos**. João Pessoa: Editora universitária - UFPB, 229 p. ISBN 85-237-0454-0. 2004.

FANCELLI, M. Cultivo da banana para o estado do Amazonas – Importância Econômica. **Revista eletrônica Embrapa Mandioca e Fruticultura**. Sistema de Produção, 6. Versão eletrônica 2003.

FRANCO, M. B. D. G.; LANDGRAF, M.; **Microbiologia dos alimentos**. ed. Editora Atheneu. São Paulo.182p. 2008.

FURTADO, G. de F.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; SANTOS, P. dos. Secagem de polpa de seriguela pelo método de camada de espuma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.12, n.1, p.9-14. 2010.

GARCIA, B. A., BUSBY, S. A., BARBER, C. M., SHABANOWITZ, J., ALLIS, C. D., HUNT, D. F. Characterization of phosphorylation sites on histone H1 isoforms by tandem mass spectrometry. **J. Proteome Res.** n. 3, p. 1219-1227, 2004.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. **Tecnologia de alimentos: Princípios e aplicações**. São Paulo-SP: Nobel. 511p. ISBN 9788521313823. 2008.

GIRALDO-ZUNIGA, A.; ARÉVALO-PINEDO ARODO.; REZENDE, J. R.; MONTEIRO, J.A. Drying kinetics for murici (*Byrsonima crassifolia*) Fruit. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 30, p. 699–705, 2006.

GODOY, R. C. B.; SANTOS, E. L. S.; SANTOS, D. V.; AMORIM, T. S.; WASZCZYNSKJ N.; NETO, M. A. S. Estudo da composição físico-química e aceitação de bananadas comerciais por meio de análise multivariada. **Rev Inst Adolfo Lutz**. São Paulo. v. 6, n.1, p.373, 2009.

GOMES, A. T.; CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. Desidratação osmótica: uma tecnologia de baixo custo para o desenvolvimento da agricultura familiar. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional** v.3, n.3, p. 212-226, 1997.

GRIZOTTO, R. K.; MENEZES, H. C. Avaliação da aceitação de “chips” de mandioca. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23 p. 79-86, dez. 2003.

HARDISSON, A.; RUBIO, C. BAEZ, A. MARTIN, M. ALVAREZ, R. DIAZ, E. Mineral composition of the banana (*Musa acuminata*) from the island of Tenerife. **Food Chemistry**, Tenerife / Spain, v.73, p.153-161, 2001.

HIROCE, R.; CARVALHO, A. M. de; BATAGLIA, O. C.; FURLANI, P. R.; FURLANI, A. M. C.; SANTOS, R. R. dos; GALLO, J. R. Composição mineral de frutos tropicais na colheita. **Bragantia**, v. 36, n. 14, p. 155-164, 1977.

HOFKY, V. A.; SILVA, F. L. H.; GOMES, J. P.; SILVA, O. S.; CARVALHO, J. P. D.; LIMA, E. E., Cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.6, p.640-646. Junho 2013.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 2006**. Disponível em: www.sidra.ibge.gov.br. Acesso em novembro de 2012.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 4.ed. Normas analíticas do instituto Adolfo Lutz. São Paulo. v.1. 1020 p. 2008.

ISLAM, M. S.; HAQUE, M. A. Effects of Drying Parameters on Dehydration of Green Banana (*Musa sapientum*) and its Use in Potato (*Solanum tuberosum*) Chips Formulation. **A Scientific Journal of Krishi Foundation**, v.10 p. 87-97, 2012.

JAIN, D.; PATHARE, P.B. Selection and evaluation of thin layer drying, odels for infrared radiative and convective of onion slices. **Biosystems Engineering**, London, v.89, n.3, p.289-296, 2004.

JESUS, S. C.; FOLEGATTI, M. I. S.; MATSUURA, F. C. A. U.; CARDOSO, R. L. Caracterização física e química de frutos de diferentes genótipos de bananeira. **Bragantia**, Campinas, v.63, n.3, p.315-323, 2004.

JESUS, S. C.; MATSUURA, F. C. A. U.; FOLEGATTI, M. I. S.; CARDOSO, R. L. Avaliação de banana-passa obtida de frutos de diferentes genótipos de bananeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.6, p.573-579, 2005.

KAMSONLIAN, S., SURESH, S., MAJUMDER, C. B., CHAND, S. Characterization of banana and Orange peels: Biosorption mechanism, **Int. J. Science Technol. Manag.** v.2, p. 1-7, 2011.

KAYA, A.; AYDIN, O.; DINCER, I. Experimental and numerical investigation of heat and mass transfer during drying of Hayward kiwi fruits (*Actinidia Deliciosa Planch*). **Journal of Food Engineering**, v. 88, p. 323–330, 2008.

KAYMAK-ERTEKIN, F. Drying and rehydrationzkinetics of green and red pepper. **J. Food Sci.**, v.67, p. 168-175, 2002..

KAYNE, L. H.; D'ARGENIO, D. Z.; MEYER, J. H.; HU, M. S.; JAMGOTCHIAN, N.; LEE, D. B. N. Analysis of segmental phosphate absorption in intact rats. A comportmental analysis approach. **J. Clin. Invest.**, v. 91, p. 915-922, 1993.

KROKIDA, M.K.; FOUNDOUKIDIS, E.; MAROULIS, Z. Drying constant: literature data compilation for foodstuffs. **Journal of Food Engineering**, London, v.61, n.3, p.321-30, 2004.

LAHSASNI, S. et al. Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*) **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 173-179, 2004.

LEITE, J. B. V.; **Banana**. Jornal CEPLAC Notícias 2001. Disponível em: <<http://www.ceplac.gov.br/radar/banana.htm>>. Acesso em novembro de 2012.

LIMA, S. G. Estudo da estabilidade de melões desidratados obtidos por desidratação osmótica seguida de secagem convencional. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.26, n.1, p.107-109, 2004.

LIMA, A. P. B.; ALVES, A. M. P.; ALMEIDA, F. G.; SOUZA P. A.; SOUZA, J. P. C.; BARBOSA, M. C. F. Avaliação das características físico-químicas de bananas desidratadas. In: VII Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. **Anais...** Palmas, Tocantis, 2012.

LIMA, L. M. R.; ROCHA, S. C. S.; ALSINA, O. L. S.; JERÔNIMO, C. E. M.; MATA, A. L.M. Influência da composição química dos materiais no desempenho do processo de secagem de polpas de frutas em leito de jorro. In: XIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química (COBEQ), **Anais em CD-ROM do XIV COBEQ**. Águas de São Pedro, São Paulo, 2000.

LOGHMAN-ADHAM, M. Renal and intestinal Pi transport adaptation to low phosphorus diet in uremic rats. **J. Am. Soc. Nephrol.**, v. 3, p. 1930-1937, 1993.

LOTSCHER, M.; WILSON, P.; NGUYEN, S.; KAISLING, B.; BIBER, J.; MURER, H.; LEVI, M. New aspects of adaptation of rat renal Na/Pi cotransporter to alterations in dietary phosphate. **Kidney Int.**, v. 49, p. 1012-1018, 1996.

MAEDA. M.; LORETO. R. L. Desidratação osmótica de bananas. **Semina: Ciência Agrícola**. v.1, n.1, p. 60-67, mar.1998.

MARQUES, L. F.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; NUNES, L. S.; COSTA, T. L.; COSTA, P. B. S.; DUARTE, S. T. G. Secagem precedida de desidratação osmótica de pseudofruto de caju: comparação entre modelos matemáticos aplicados. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.9, n.2, p.161-170, 2007.

MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MELO, E. de C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.3, p.301–306. 2007.

MARTINAZZO A. P.; MELO E. C.; CORRÊA P. C.; SANTOS R. H. S. Modelagem matemática e parâmetros qualitativos da secagem de folhas de capim limão

(*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v.12, n.4, p.488-498, 2010.

MARTÍNEZ, V. Y.; NIETO, A. B.; Castro, M. A.; SALVATORI, D.; ALZAMORA, S. M. Viscoelastic characteristics of Granny Smith apple during glucose osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v.83, n.3, p. 394-403, 2007.

MASSUCHETI L, CORSO ACT, MOREIRA EAM. Prevalência de anemia em gestantes atendidas na rede pública de saúde do município de Florianópolis (SC). **Cad Saúde Coletiva**, v. 10, p. 417-431, 2009.

MASTRANGELO, M. M.; ROJAS, A. M.; CASTRO, M. A.; GERSCHENSON, L.N.; ALZAMORA, S. M. Texture and structure of glucose-infused melon. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Chichester, v.80, p.769-776, 2000.

MATSUURA, F. C. A. V.; CARDOSO, R. L.; RIBEIRO, D. E. Qualidade sensorial de frutos de bananeira cultivar pacovan. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v. 24, n.1, p. 263-266, abr. 2002.

MAURO, M. A., MENEGALLI, F. C. Evaluation of diffusion coefficients in osmotic concentration of bananas (*Musa Cavendish Lambert*). **International Journal of Food Science and technology**, v.30, p.199-213, 1995.

MAZUMDER, P.; ROOPA, B., S., BHATTACHARYA, S. Textural attributes of a model snack food at different moisture contents. **Journal of Food Engineering**. v.79, n.2 p. 511-516, 2007.

MEDEIROS, C. D; CAVALCANTE, J.de A.; ALSINA, O.L.S. de. Estudo da desidratação osmótica da fruta da palma (Figo da Índia). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.8, n.2, p.153-162, 2006.

MEDINA, V. M.; PEREIRA, M. E. C. Pós-colheita. In: BORGES, A. L.; SOUZA, L.S. **O cultivo da bananeira**. Cruz das Almas: EMBRAPA, , cap.12, p.219 2004.

MERCALI, G. D. **Estudo da transferência de massa na desidratação osmótica de banana (*Musa sapientum*, shum).** 163f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)-Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2009.

MERCALI, G. D.; MARCZAK, L. D. F.; TESSARO, I. C. ; NOREÑA, C. P. Z . Osmotic dehydration of bananas (*Musa sapientum*, shum.) In ternary aqueous solutions of sucrose and sodium chloride. **Journal of Food Process Engineering**, v. 35, p. 149-165, 2012.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v.66, p.513-18, 2005.

MOREIRA, R. S. **Banana: teoria e prática de cultivo.** Campinas: Fundação Cargill, 335p.Brasil, 1987.

MOTA, R.V. Avaliação da qualidade de banana passa elaborada a partir de seis cultivares. **Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos.** Campinas, v.25, n.3, p.560-563, jul.-set. 2005.

NASCIMENTO JUNIOR, B. B.; OZORIO, L. P.; REZENDE, C. M.; SOARES, A. G.; FONSECA, M. J. O. Diferenças entre bananas de cultivares Prata e Nanicao ao longo do amadurecimento: características físico-químicas e compostos voláteis. **Ciências e Tecnologia de Alimentos.** v. 28, n.3, p. 649-658, 2008.

NAGLE, M.; GONZÁLEZ-AZCÁRRAGA, J. C.; PHUPAICHITKUN, S.; MAHAYOTHEE, B.; HAEWSUNGCHARERN M.; JANJAI, S. LEIS, H.; MULLER, J. Effects of operating practices on performance of a fixed-bed convection dryer and quality of dried longan. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 43, p. 1979-1987, 2008.

NEPA - Núcleo de Estudos e Pesquisa em Alimentação. Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. TACO - **Tabela de Composição de Alimentos.** ed. Campinas, SP: NEPA-UNICAMP, 2011.

NGUYEN, M.H.; PRICE, W.E. Air-drying of banana: Influence of experimental parameters, slab thickness, banana maturity and harvesting season. **Journal of Food Engineering**, v.79, n.1, p.200-207, 2007.

NÓBREGA, A.M.M.C.; ANDRÉ, S. R.; ALMEIDA, D. R.; PEREIRA, K. B.; DUARTE, M. E. M.; BRITO, K. Q. D. Atributos de textura da passa de mamão formosa em função da secagem em diversas temperaturas. In: XXXVI Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados (Enemp), **Anais...** Maceió, Alagoas. 2013.

PARK, K. J.; YADO, M. K.; BROD, F. P. R. Estudo da secagem de pera Bartlett (*Pyrus sp.*) em fatias. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.21, n.3, p.288-292, 2001.

PARK, K. J.; TUBONI, C. T.; OLIVEIRA, R. A.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. Estudo da secagem de caqui giombo com encolhimento e sem encolhimento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.6, n.1, p.71-86, 2004.

PARK, K. J.; VOHNIKOZA, Z.; BROD, F. P. R. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa L.*). **Journal of Food Engineering**, Davis, v.51, n.3, p.193-199, 2002.

PAIVA AA, RONDO PHC, LATORRE MRDO, CARDOSO MAA, GONDIM SSR. Relationship between the iron status of pregnant women and their newborns. **Revista Saúde Pública**, n. 41, p. 321-327, 2007.

PEREIRA, F. A.; CARNEIRO, M. R.; ANDRADE, L. M. **Banana** (3rd ed.). Embrapa Informação Tecnológica. Brasília/DF 2006.

PEREIRA. N. R. **Estudo da aplicação de microondas na secagem de bananas tratadas osmoticamente**. 2007. 165f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas. SP.

PESSOA, T. R. B.; EL-AOUAR, A. A.; **Avaliação do processo de obtenção de farinha da casca de banana (*musa sapientum*) das variedades Prata, Pacovan e Maça.** 2009. Dissertação. Universidade Federal da Paraíba, p. 121.

PINHEIRO, A. C. M. **Qualidade pós-colheita de banana maçã**”. 2004. Dissertação - (Mestrado em Ciência de Alimentos), Departamento de Ciência dos alimentos, Universidade Federal de Lavras, p. 60.

PONTES, S. F. O.; BONOMO, R. C. F.; PONTES, L. V.; RIBEIRO, A. C.; CARNEIRO, J. C. S., Secagem e avaliação sensorial de banana da terra. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.9, n.2, p.143-148, 2007.

QUEIROZ, V. A. V; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B.; GRAVINA, G. A.; QUEIROZ, L. R.; Mecanismos de transferência de massa na desidratação osmótica de goiaba em soluções de sacarose, sucralose e açúcar invertido. **Engenharia Agrícola** v. 30, n. 4, p. 715-725, 2010.

RAMOS, I.N.; BRANDÃO, T.R.S.; SILVA, C.L.M. Integrated approach on solar drying, pilot convective drying and microstructural changes. **Journal of Food Engineering**, London, v.67, n.1-2, p.195-203, 2005.

RAMOS, I.N.; SILVA, C.L.M.; SERENO A.M.; AGUILERA, J.M. Quantification of microstructural changes during first stage air drying of grape tissue. **Journal of Food Engineering**, London, v.62, n.2, p.159-64, 2004.

RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering Fickian diffusion in cubical configuration. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v.37, n.1, p.43-47, 2004.

RAOULT-WACK, A.L.; LENART, A.; GUILBERT, S. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science e Technology**. v. 1 n. 5, p. 255-260, 1994.

- RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. ed. São Paulo: Edgard Blücher, Instituto Mauá de Tecnologia, 2007 2. 184 p.
- ROMERO-PEÑA, L. M.; KIECKBUSCH, T. G. Influência de condições de secagem na qualidade de fatias de tomate. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 6, n. 1, p. 69-76, 2003.
- ROSA, J. G. **Secagem de cenoura (*Daucus carota L.*) em microondas**. 2010. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo.
- SALLES, J. R. J.; MENDES NETO, J. A.; GUSMÃO, L. L. Qualidade da banana “Pacovan” comercializada no período maio – outubro de 2003 em São Luís – MA. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**. Uruguaiana, v.13, n.2, p. 190-196, 2006.
- SANTOS, C. J. R. dos. **Secagem de sementes de girassol via radiação infravermelho e convecção forçada de ar aquecido**. 2009. 75 f. Dissertação (Engenharia de Processos) – Universidade Tiradentes, Aracajú.
- SANTOS, P.; SILVA, F. S., PORTO, A. G.; SILVA, F. T. C. FURTADO, G. F. Influência de pré-tratamentos na cinética de secagem em diferentes temperaturas de banana da variedade terra (*Musa Sapientum, Linneo*). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Paraná, v. 4, n. 2, p. 218–234. 2010.
- SANTOS, C. T.; BONOMO, R. F.; CHAVES, M. A.; FONTAN, R. da C. I.; BONOMO, P. Cinética e modelagem da secagem de carambola (*Averrhoa carambola L.*) em secador de bandeja. **Acta Scientiarum Technolog**, Maringá, v. 32, n. 3, p. 309-313. 2010.
- SHARMA, S., K.; MULVANEY, S., J.; RIZVI, S., S., H. **Food process engineering – theory and laboratory experiments**. John Wiley & Sons Publication, INC., Cornell University, Ithaca, NY, EUA, p. 216-218, 2000.

SILVA, F. de A. S. e. AZEVEDO, C. A. V. de. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: **WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE**, 7, Reno-NV-USA: America Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA, A. S.; MELO, K. dos S.; ALVES, N. M. C.; GOMES, J. P. Cinética de secagem em camada fina da banana maçã em secador de leito fixo. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 107-115. 2009.

SMELTZER, S. C.; BARE, B. G. Brunner & Suddarth **Tratado de Enfermagem médico-Cirúrgica**. ed. 10. v.3. Rio de Janeiro. 2006.

SOARES JÚNIOR, M.; CALIARI, M.; SENNE, C.; CERQUEIA, D.; GOMES, I.V. Predição da perda de água por desidratação osmótica como pré-tratamento do congelamento da mandioca. **Revista Ceres**, v.53, n.309, p.559-567, 2006.

SOARES, L. M. V.; SHISHIDO, K.; MORAES, A. M. M.; MOREIRA, V. A. Composição mineral de sucos concentrados de frutas brasileiras. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v, 24, n. 2, p. 202-206, 2004.

SOUSA, P., H., M., Avaliação de produtos obtidos pela desidratação osmótica de banana seguida de secagem. **B. CEPPA**, Curitiba, v.21, n.1, p109-120, jan./jun.2003.

SOUZA NETO, M. A.; MAIA, G. A.; LIMA, J. R.; FIGUEIREDO, R. W.; SOUZA FILHO, M. S. M.; LIMA, A. S. Desidratação osmótica de manga seguida de secagem convencional: Avaliação das variáveis de processo. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n. 5, p.1021-1028, Lavras, set./out., 2005.

SOUZA NETO, M. A.; MAIA, G. A.; LIMA, J. R.; FIGUEIREDO, R.W; SOUZA FILHO, M. S. M.; LIMA, A. S. Cinética de desidratação da manga. Publ. UEPG Exact Soil Sci., **Agr. Sci. Eng.**, Ponta Grossa, v.10, n. 2, p. 37-44, 2004.

SOUSA, P. H. M. de; MAIA, G. A.; SOUZA FILHO, M. de S. M. de; FIGUEIREDO, R. W. de; NASSU, R. T.; SOUZA NETO, M. A. de. Influência da concentração e da

proporção fruto: xarope na desidratação osmótica de bananas processadas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 23, p. 126-130. 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612003000400024&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 01 dez. 2013.

STATSOFT, **STATISTICA for Windows version 8.0**. Computer program manual. Tulsa: Statsoft, Inc., 2008.

TORREGGIANI, D.; BERTOLO, G. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 49, p. 247-253, 2001.

UNCATD. Info Comm Market Information in the Commodities Area. **United Nations Conference on Trade and Development**, 2007. Disponível em <<http://www.unctad.org/infocomm/anglais/banana/characteristics.htm#descript>>. Acesso em: novembro de 2012.

VALENTE, P. P. S. S. **Desidratação osmótica e secagem de abacaxi (*Ananás Comosus (L.) Merrill*), variedade pérola**. 2007. 124f. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Campinas, Campinas, 2007.

VILAS BOAS, B. M.; NUNES, E. E.; FIORINI, F. V. A.; LIMA, L. C. de O.; VILAS BOAS, E. V. de B.; COELHO, A. H. R. Avaliação da qualidade de mangas ‘Tommy Atkins’ minimamente processadas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.26, n.3, p. 540-543, 2004.

VON LOESECKE, H. W. **Bananas**. 2nd ed. New York: Interscience Publishers 1950, p. 52-66.

YALDIZ, O.; ERTEKIN, C.; UZUN, H.I. Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. **Energy**, London, v.26, n.5, p.457-65, 2001.

WALL, M. M. Ascorbic acid, vitamin A, and mineral composition of banana (*Musa sp.*) and papaya (*Carica papaya*) cultivars grown in Hawaii. **Journal of Food Composition and Analysis**. v. 19, 5 ed., p. 434–445. Agosto 2006.

APÊNDICE A

**(Gráficos referentes aos valores residuais e preditos dos modelos de
Fick, Page e Cavalcanti Mata)**

A.1- Modelo de Fick

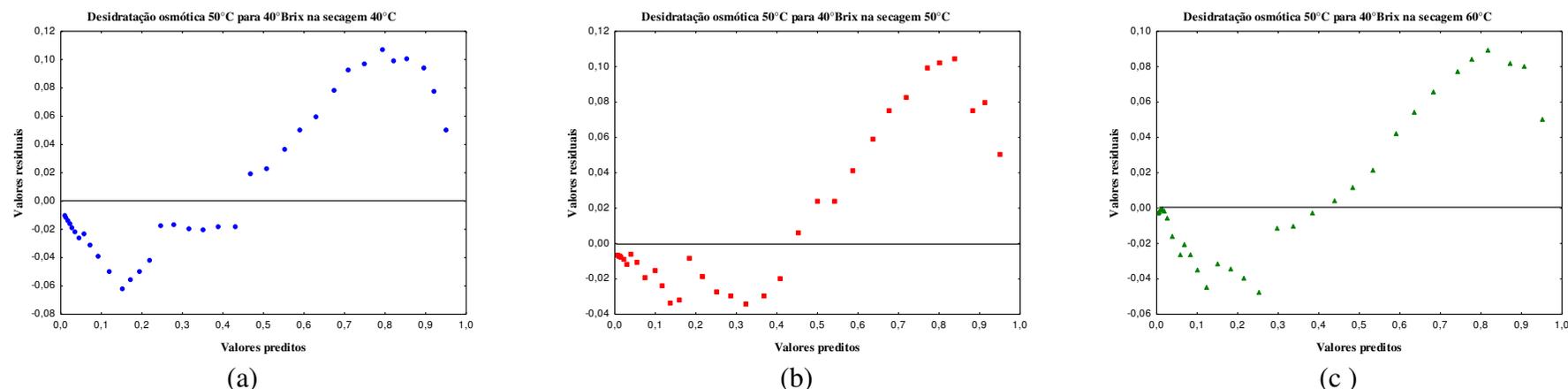


Figura A.1- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 40°Brix a desidratação osmótica de 50°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

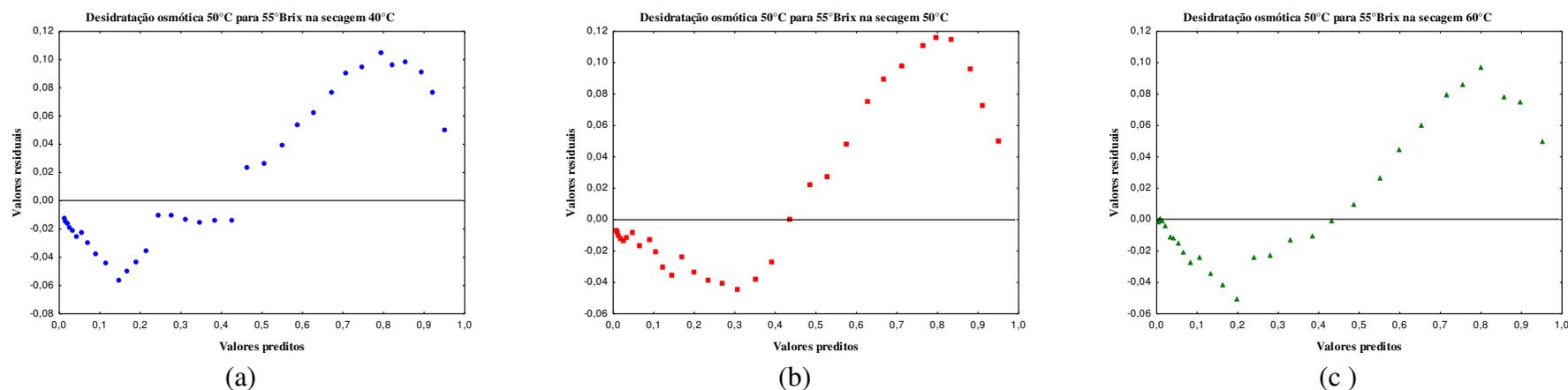


Figura A.2- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 55°Brix a desidratação osmótica de 50°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

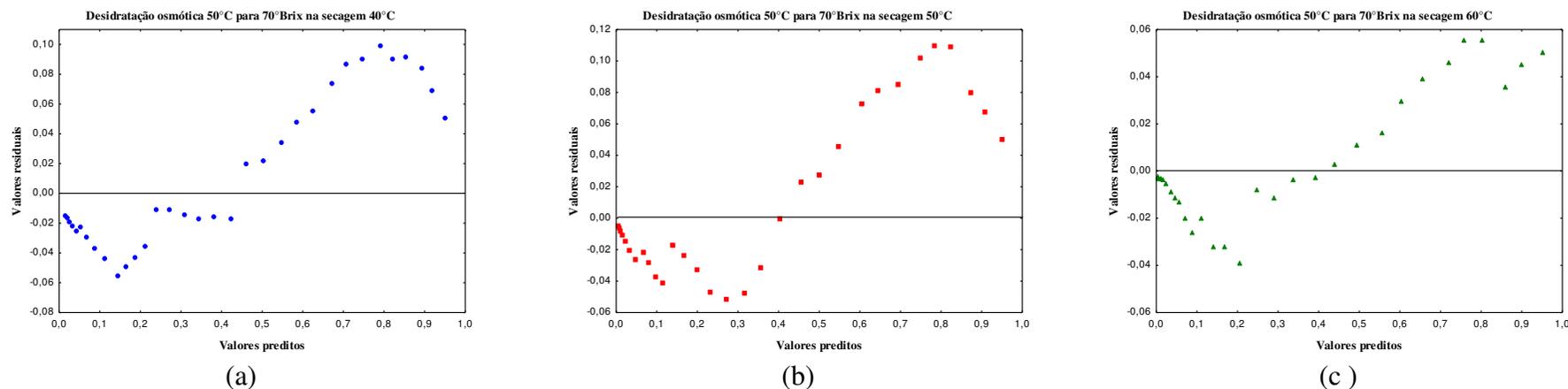


Figura A.3- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 70°Brix a desidratação osmótica de 50°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

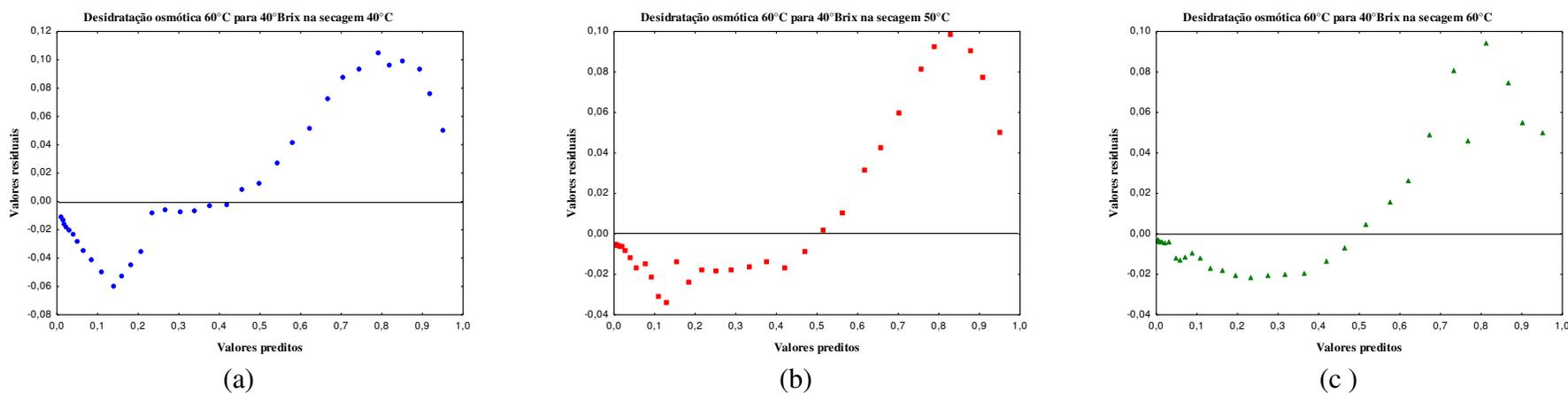


Figura A.4- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 40°Brix a desidratação osmótica de 60°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

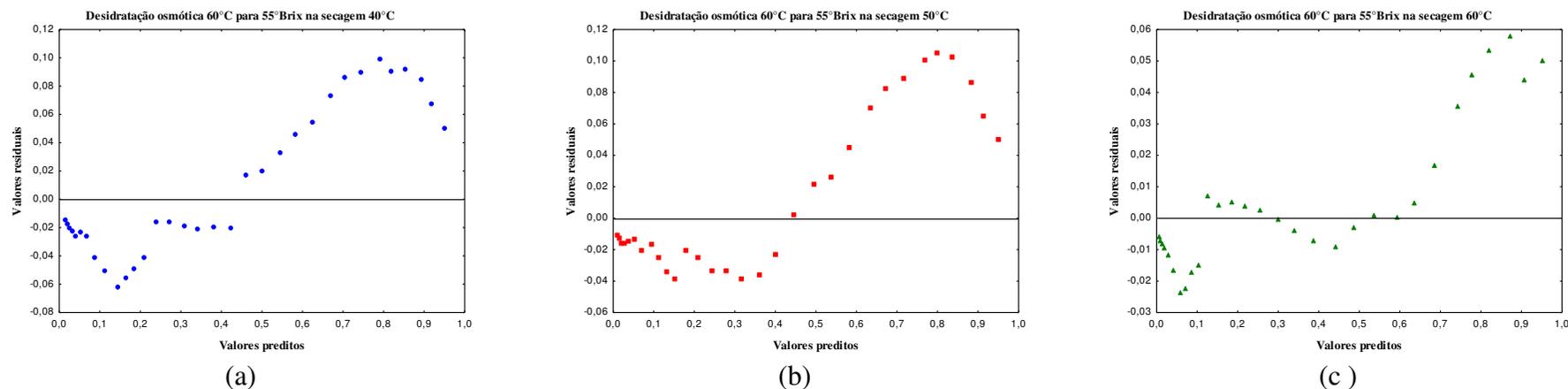


Figura A.5- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 55°Brix a desidratação osmótica de 60°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

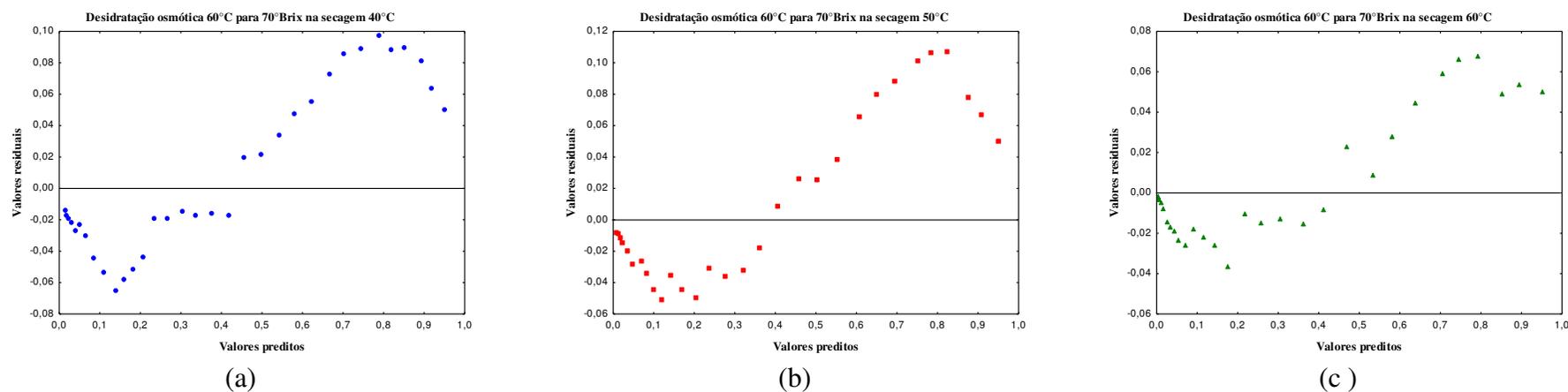


Figura A.6- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 70°Brix a desidratação osmótica de 60°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

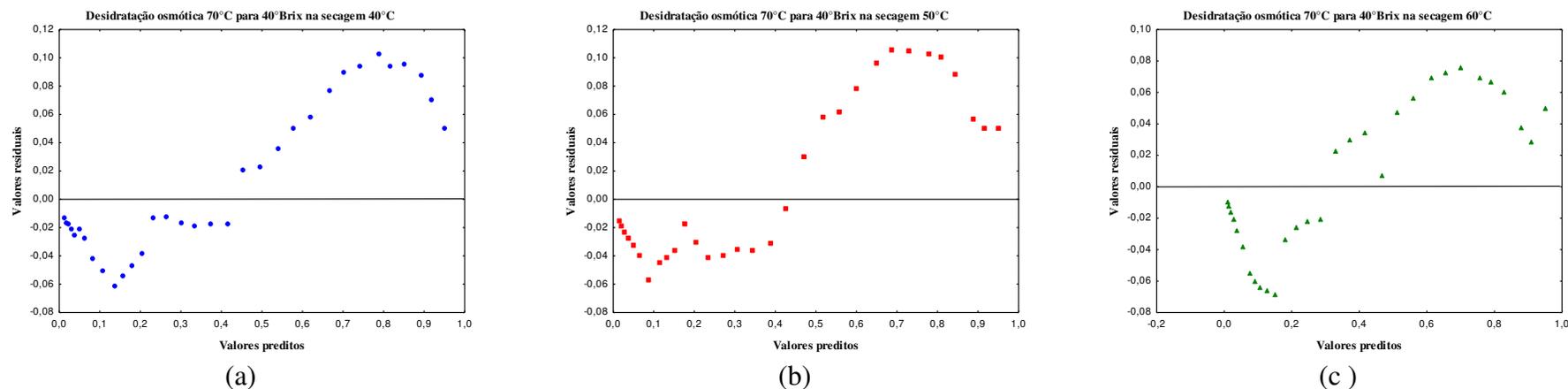


Figura A.7- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 40°Brix a desidratação osmótica de 70°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

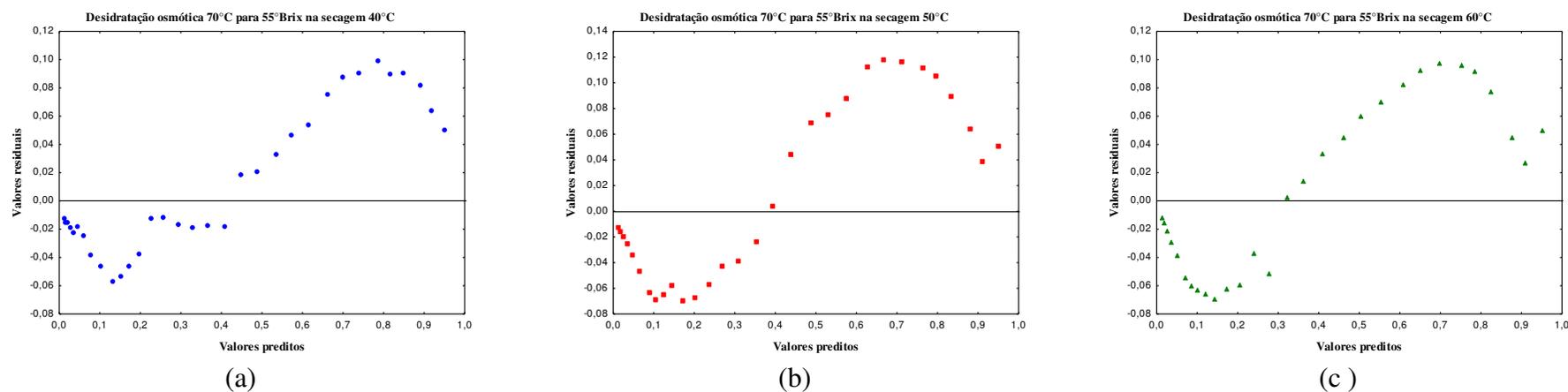


Figura A.8- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 55°Brix a desidratação osmótica de 70°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

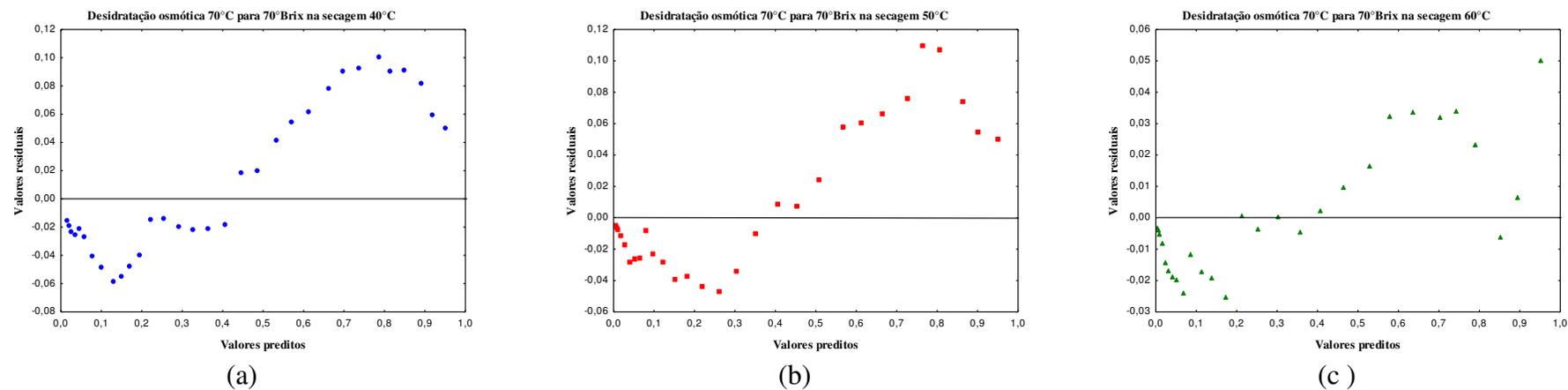


Figura A.9- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 70°Brix a desidratação osmótica de 70°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

A.2- Modelo de Page

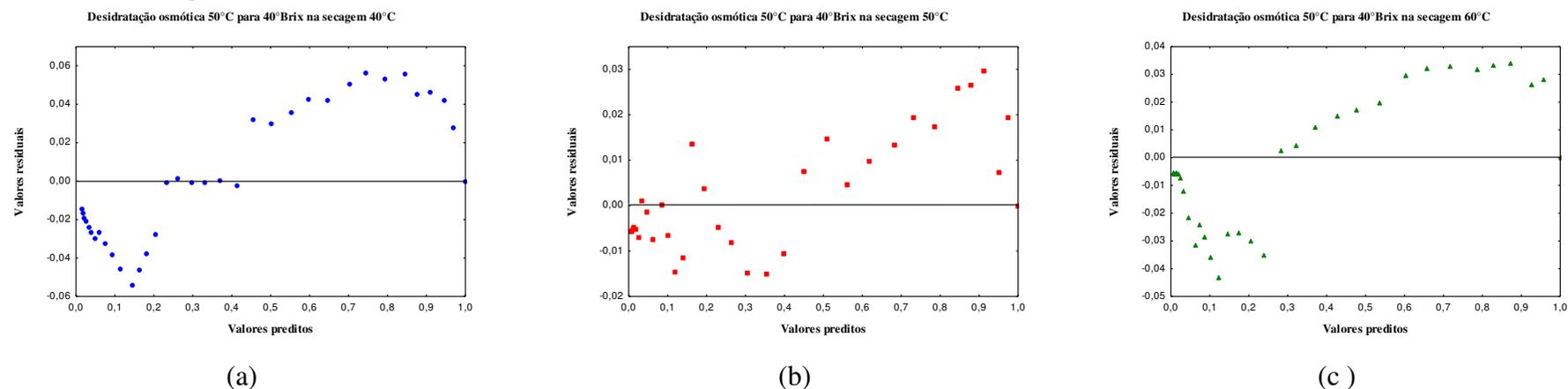


Figura A.10- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 40°Brix a desidratação osmótica de 50°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

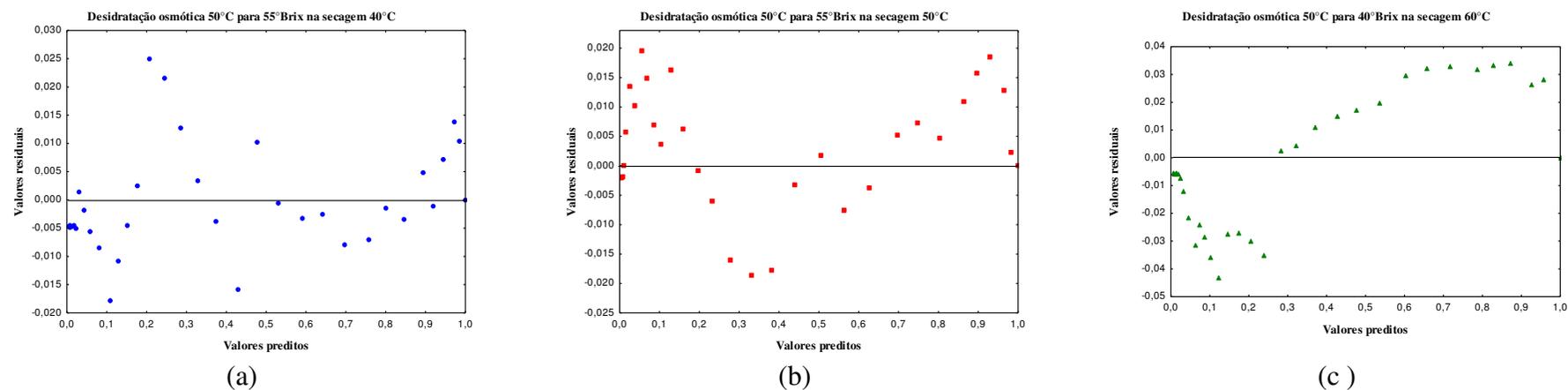


Figura A.11-- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 55°Brix a desidratação osmótica de 50°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

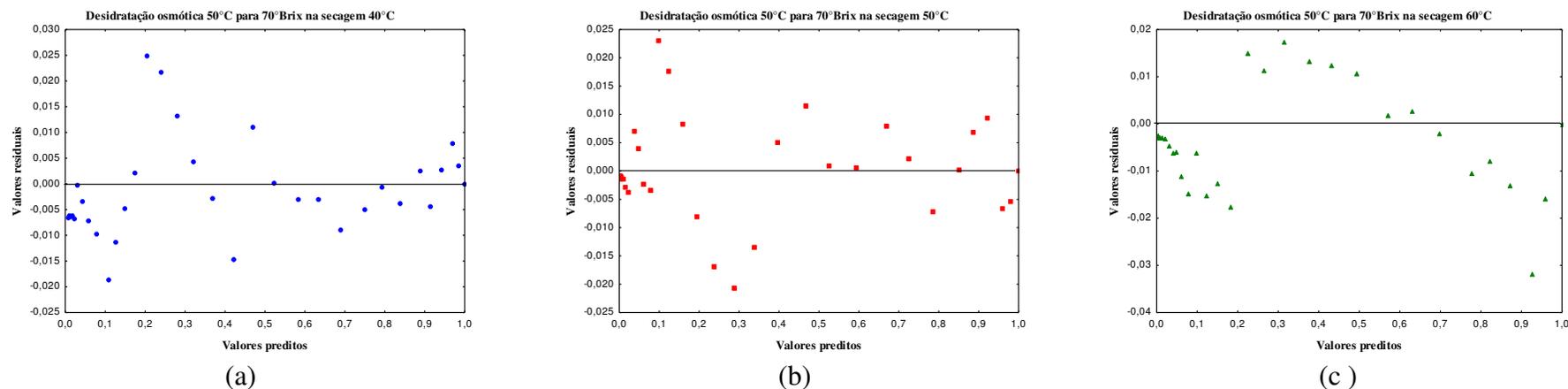


Figura A.12- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 70°Brix a desidratação osmótica de 50°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

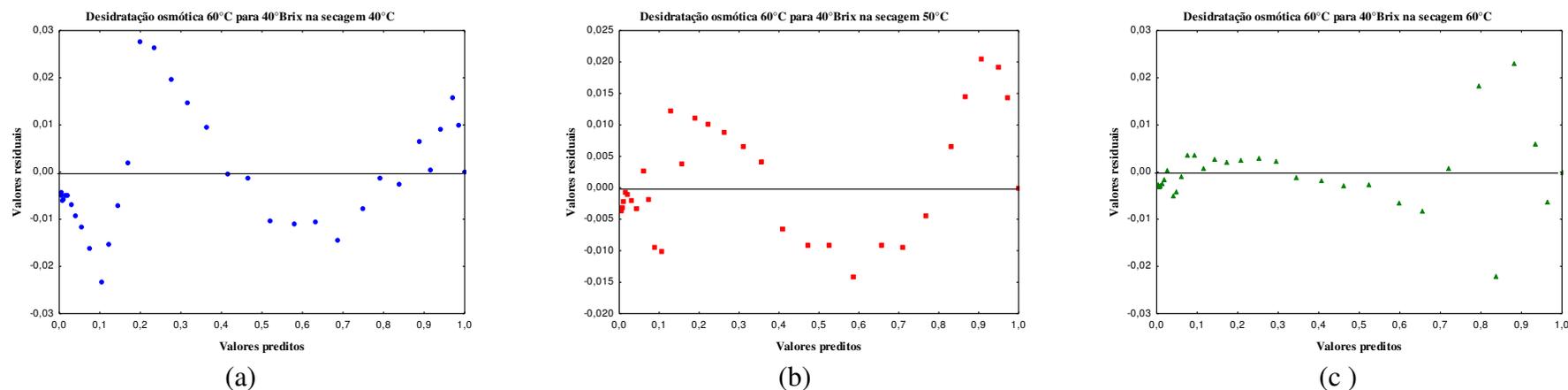


Figura A.13- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 40°Brix a desidratação osmótica de 60°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

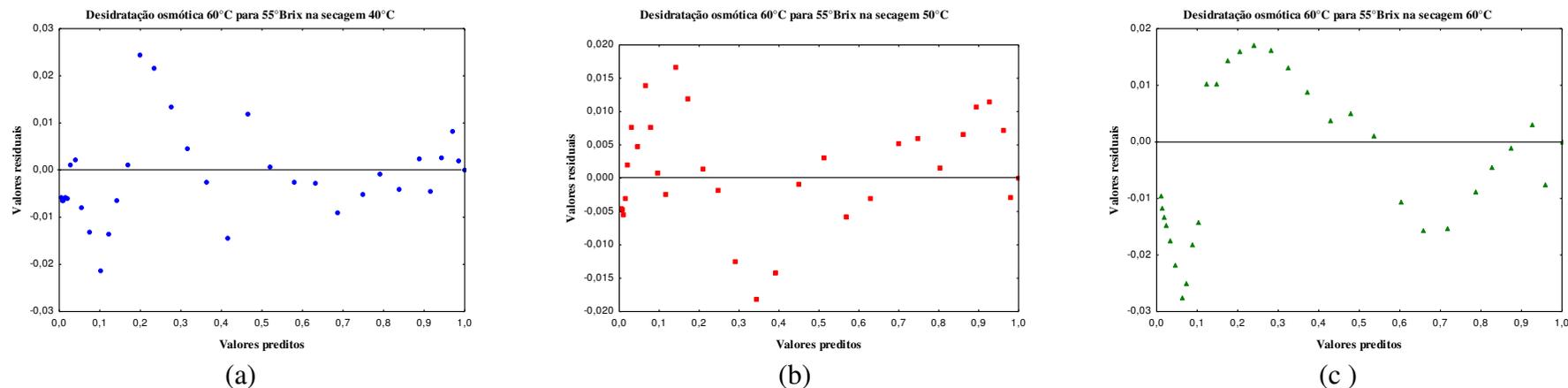


Figura A.14- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 55°Brix a desidratação osmótica de 60°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

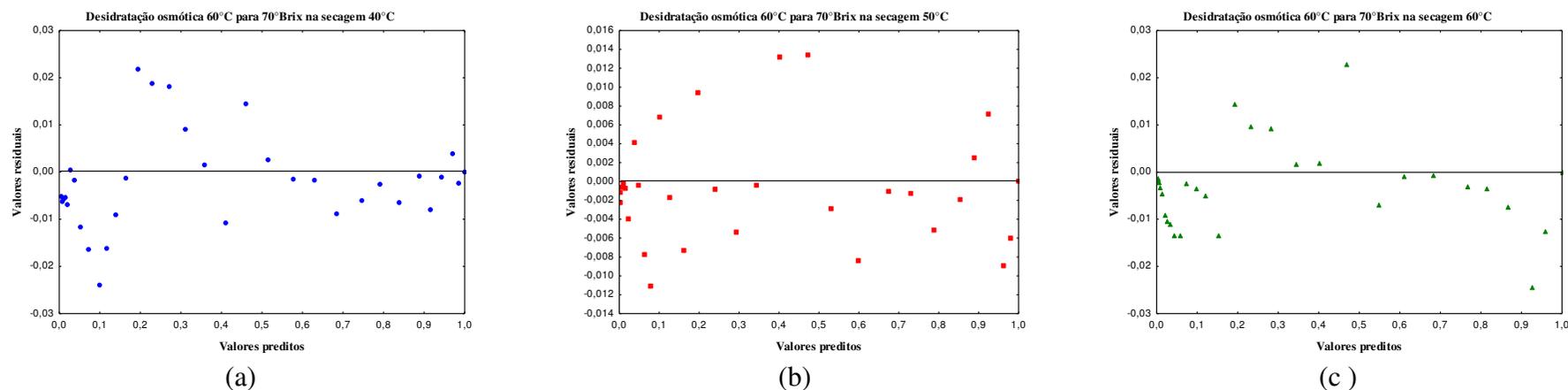


Figura A.15- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 70°Brix a desidratação osmótica de 60°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

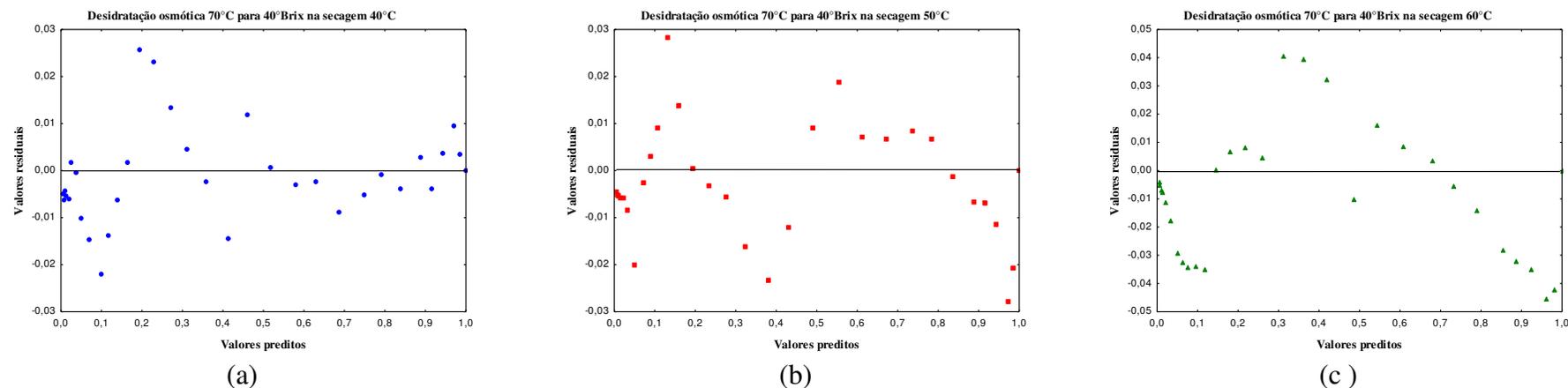


Figura A.16- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 40°Brix a desidratação osmótica de 70°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

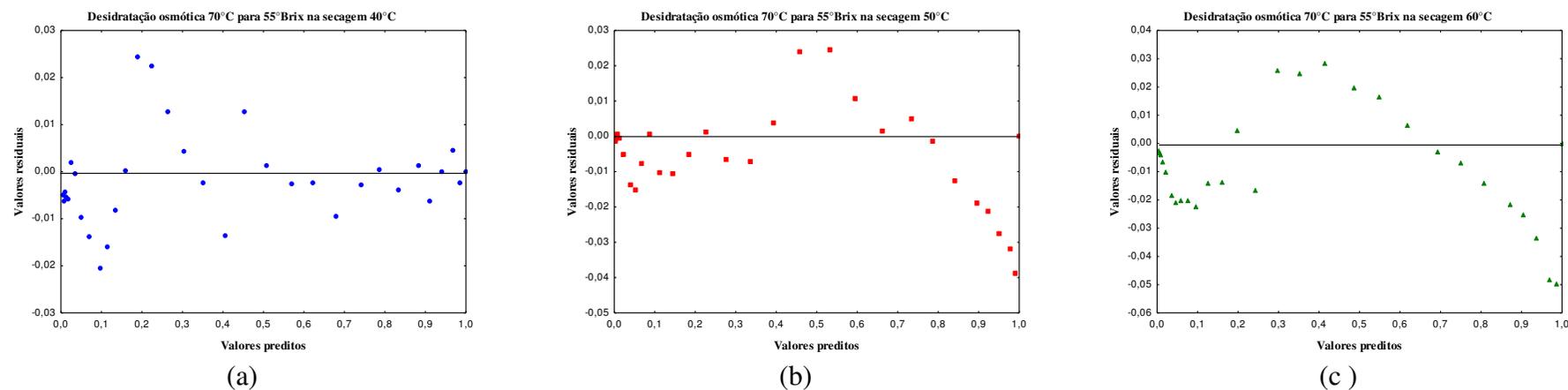


Figura A.17- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 55°Brix a desidratação osmótica de 70°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

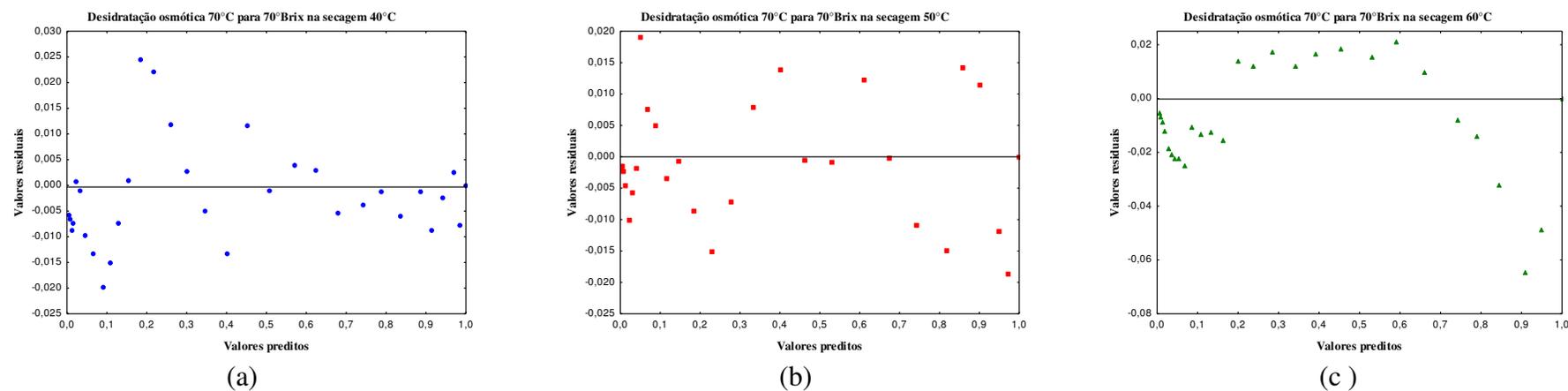


Figura A.18- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 70°Brix a desidratação osmótica de 70°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

A.3- Modelo de Cavalcanti Mata

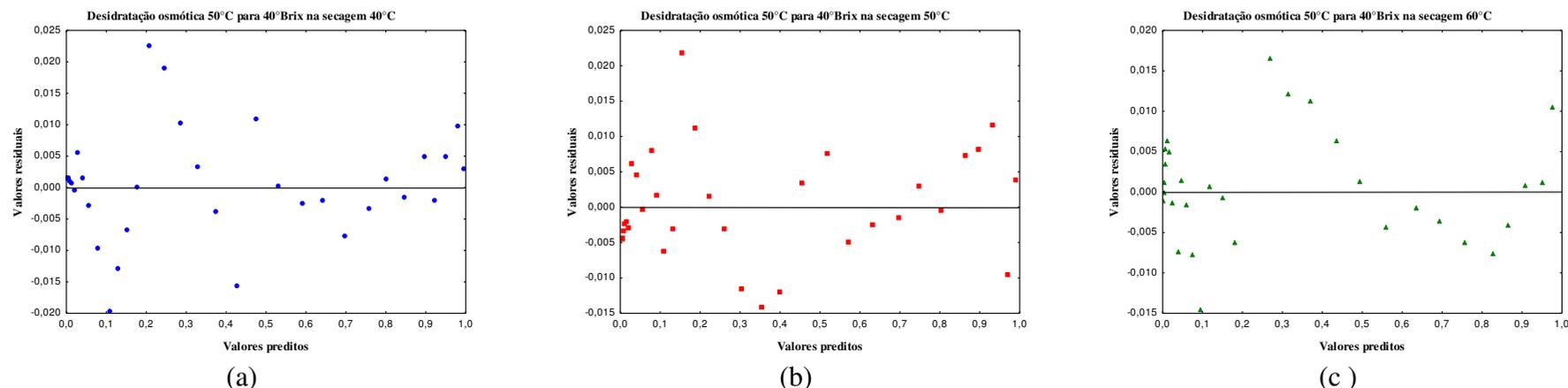


Figura A.19- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 40°Brix a desidratação osmótica de 50°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

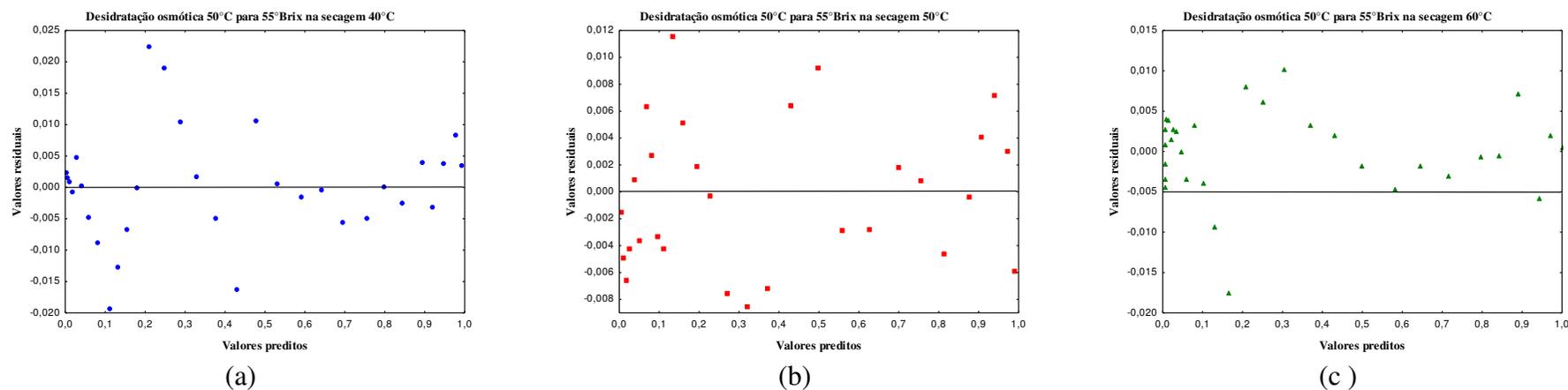


Figura A.20- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 55°Brix a desidratação osmótica de 50°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

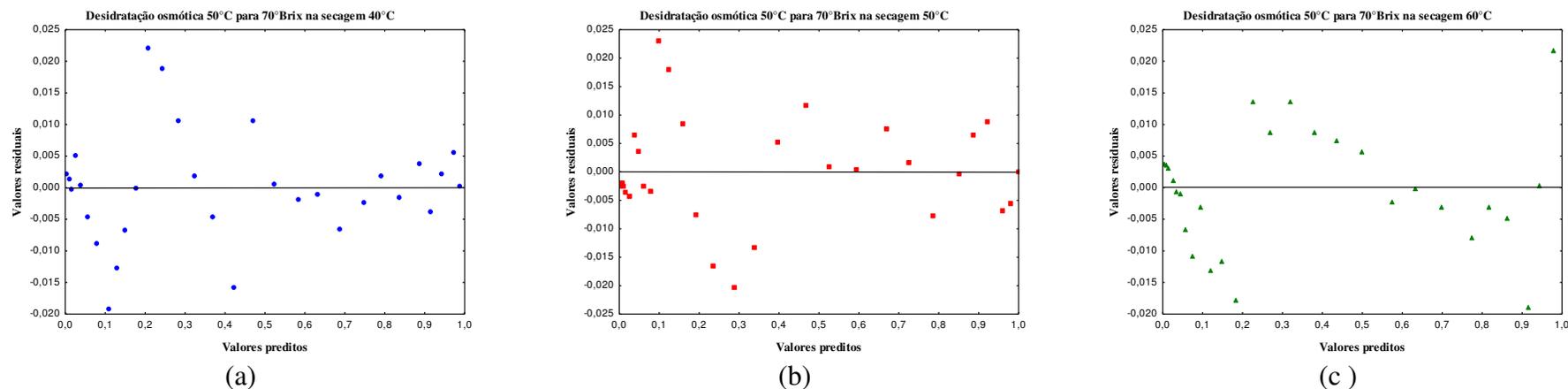


Figura A.21- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 70°Brix a desidratação osmótica de 50°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

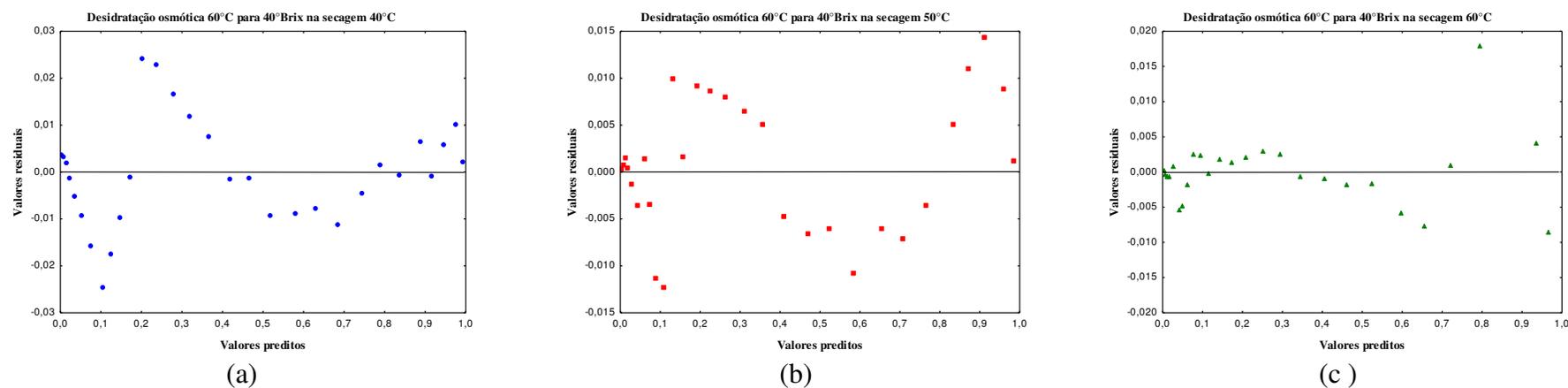


Figura A.22- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 40°Brix a desidratação osmótica de 60°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

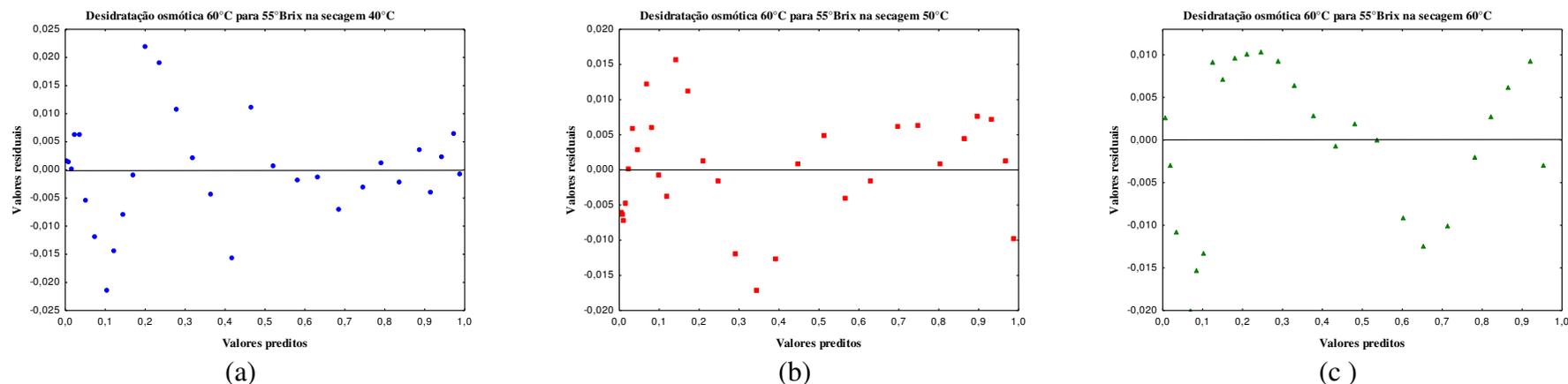


Figura A.23- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 55°Brix a desidratação osmótica de 60°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

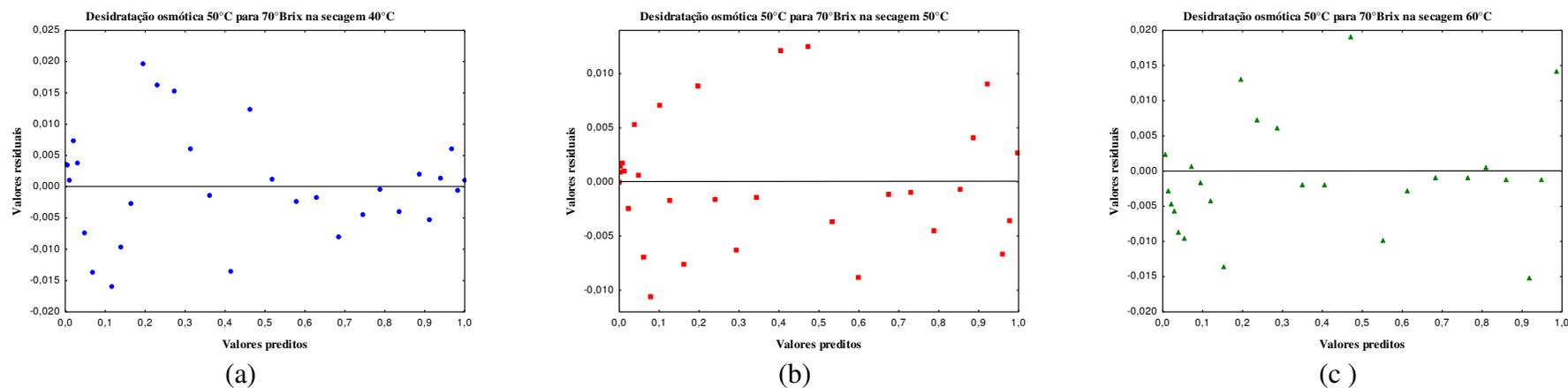


Figura A.24- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 70°Brix a desidratação osmótica de 60°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

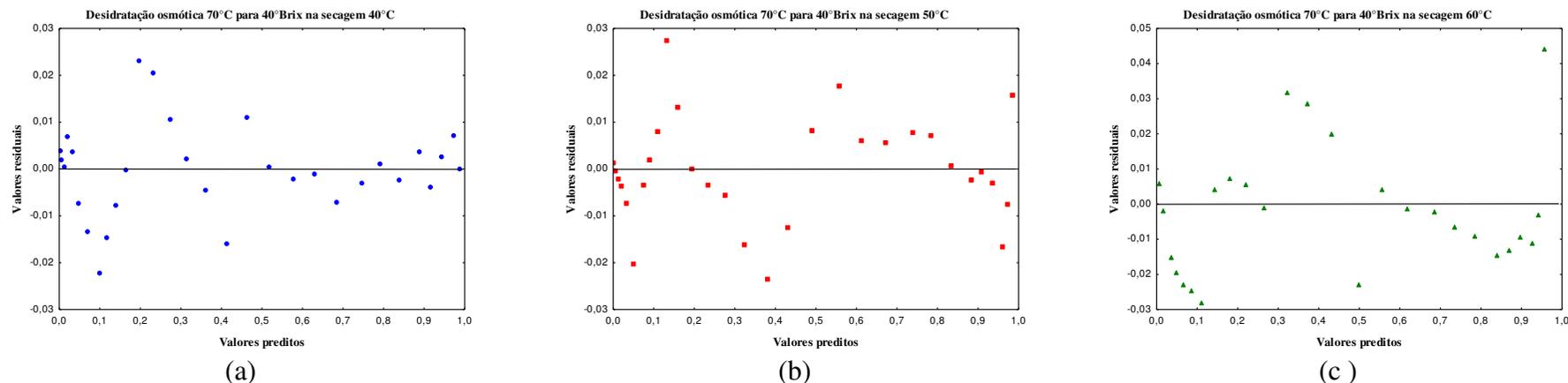


Figura A.25- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 40°Brix a desidratação osmótica de 70°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

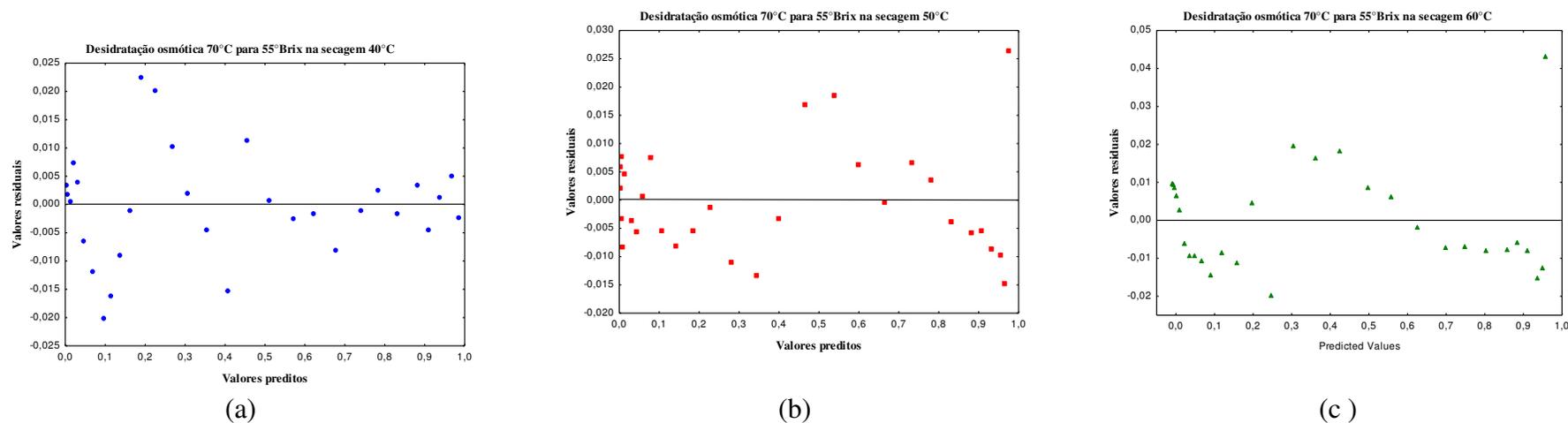


Figura A.26- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 55°Brix a desidratação osmótica de 70°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

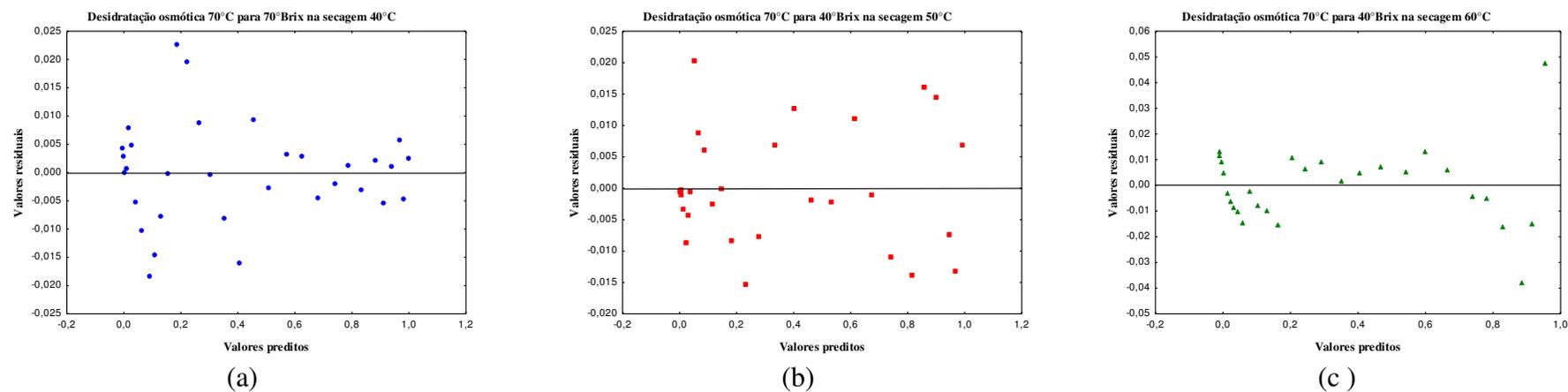


Figura A.27- Gráficos dos valores residuais versus valores preditos para a concentração de 70°Brix a desidratação osmótica de 70°C e secagem de (a) 40°C, (b) 50°C, (c) 60°C

