

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

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E SECAGEM DE
BERINJELA**

**Autor: Alfredo Garcia de la Cruz
Orientadora: Profa. Dra. Florencia Cecilia Menegalli**

PARECER

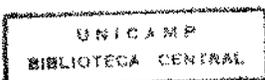
Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por Alfredo Garcia de la Cruz aprovada pela Comissão Julgadora em 28 de agosto de 1998.

Campinas, 28 de agosto de 1998.


Profa. Dra. FLORENCIA CECILIA
MENEGALLI
Presidente da Banca

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

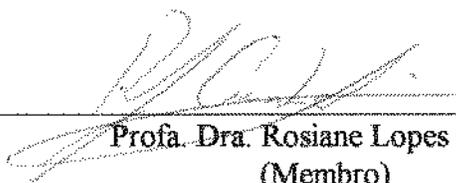
Campinas, agosto de 1998



BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Florencia Cecilia Menegalli
(Orientadora)



Profa. Dra. Rosiane Lopes Cunha
(Membro)



Prof. Dr. Fernando Cabral
(Membro)

Profa. Dra. Miriam Dupas Hubinger
(Membro)

Campinas, de agosto de 1998

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Nicolas e Maria Guadalupe

Aos meus irmãos Crispin, Alma, Yolanda, Esther e
Maria Guadalupe

Às minhas sobrinhas Yolis, Denise e Thaís

AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Florencia Cecilia Menegalli pela orientação, atenção e dedicação durante todo o trabalho.

Ao Instituto Politécnico Nacional e à Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas pelas facilidades otorgadas para a realização deste trabalho.

À Banca Examinadora pela atenção e disponibilidade.

Ao Doutor Newton Gusmão e a Dona Iraydes Craveiro pela amizade.

À CNPq pelo financiamento durante 10 meses.

Aos amigos mexicanos que estiveram dando-me força.

Aos amigos latinos que encontrei neste caminho.

Ao pessoal da UNICAMP.

Aos povos de México e Brasil

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL	v
ÍNDICE DE TABELAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
NOMENCLATURA	xiv
RESUMO	xvi
SUMMARY	xvii
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 - Berinjela.	4
2.1.1. - Origem e Características do vegetal.	4
2.1.2 - Valor Nutricional e composição	9
2.2 - Pré-tratamentos	11
2.2.1 - Inativação da Polifenil-oxidase	12
2.3 - Desidratação Osmótica	13
2.3.1 - Fundamento Teórico	13
2.3.2. - Variáveis do Processo	17
2.3.2.1. - Tipo de Agente Osmótico	17
2.3.2.2 - Concentração da Solução Osmótica	18
2.3.2.3. Temperatura	21
2.3.2.4 Agitação	22
2.3.3 Modelos Matemáticos de Difusão	23
2.4 Secagem de Berinjela	25
2.5 - Desidratação Osmótica e Secagem	26

2.6 Atividade de Água e Isotermas de Sorção.	28
2.6.1 - Modelos matemáticos para ajuste de isotermas	30
3. MATERIAIS E MÉTODOS.	35
3.1 - Matéria-Prima	35
3.2 Caracterização da matéria-prima	35
3.2.1 Composição centesimal	36
3.3 Caracterização do produto	37
3.4. Desidratação Osmótica	39
3.5 Determinação das condições de equilíbrio na desidratação osmótica.	40
3.6 Isotermas de sorção	40
3.7 Equipamento de Secagem	43
3.7.1 - Secador de bandeijas com aquecimento elétrico	43
3.8 Operação do secador	45
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS	46
4.1 Caracterização da Berinjela	46
4.2 Desidratação Osmótica	46
4.3 Equilíbrio	51
4.4 Coeficiente de Difusividade Aparente na Desidratação Osmótica.	58
4.5 Isotermas de sorção	68
4.6 Secagem	82
4.6.1 Comparação dos processos de obtenção de berinjela desidratada	100
5 - CONCLUSÕES	107
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
APÊNDICES	118

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 Valor nutricional da berinjela cozida.	10
Tabela 2.2. Composição centesimal aproximada.	11
Tabela 2.3 Frutas Osmo-desidratadas.	20
Tabela 2.4 Vegetais Osmo-desidratados.	21
Tabela 3.1 Valores de atividade de água à temperatura de 25 ° C.	39
Tabela 4.1 Composição da berinjela.	46
Tabela 4.2 Dados de equilíbrio durante o tratamento osmótico.	54
Tabela 4.3 Comparação entre as concentrações de equilíbrio (base massa total e base solução) e as concentrações das soluções desidratantes.	55
Tabela 4.4 Dados de equilíbrio do tratamento osmótico após 48 h.	56
Tabela 4.5 Coeficientes de partição para a berinjela.	57
Tabela 4.6 Coeficientes de partição para a batata.	57
Tabela 4.7 Valores do coeficiente de difusividade aparente de cloreto de sódio a diferentes condições de desidratação osmótica.	61
Tabela 4.8 Valores do coeficiente de difusividade aparente de água a diferentes condições de desidratação osmótica.	64
Tabela 4.9 Coeficientes de Difusão Aparente para Água e Cloreto de sódio.	66
Tabela 4.10 Coeficientes de Difusão Aparente para Cloreto de sódio a 25 ° C	67
Tabela 4. 11 Coeficientes de Difusão Aparente para Água e Cloreto de sódio de berinjela.	68
Tabela 4.12 Parâmetros da Equação de BET.	71
Tabela 4.13 Parâmetros da Equação de Henderson.	71
Tabela 4.14 Parâmetros da Equação de Oswin.	72
Tabela 4.15 Parâmetros da Equação de Halsey.	79
Tabela 4.16 Parâmetros da Equação de Henderson.	79
Tabela 4.17. Parâmetros da Equação 4.3.	89
Tabela 4.18 Parâmetros da Equação 4.4.	92

Tabela 4.19. Parâmetros da Equação 4.3.	95
Tabela 4.20 Parâmetros da Equação 4.4.	98
Tabela 4.21 Condições finais do processo de secagem com e sem desidratação osmótica.	101
Tabela 4.22 Valores obtidos de tempo de secagem para amostras com e sem tratamento osmótico.	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Transferência de massa durante a desidratação osmótica.	15
Figura 2. Isotherma de adsorção de berinjela liofilizada e seca a vácuo a 30 ° C antes da adsorção.	29
Figura 4.1 Cinética da desidratação osmótica a uma temperatura de 25 ° C e três concentrações de cloreto de sódio (5, 10 e 15 % p/p)	47
Figura 4.2 Cinética da desidratação osmótica a uma temperatura de 35 ° C e três concentrações cloreto de sódio (5, 10 e 15 % p/p)	48
Figura 4.3 Cinética da desidratação osmótica a uma temperatura de 45 ° C e três concentrações de cloreto de sódio (5, 10 e 15 % p/p)	48
Figura 4.4 Perda de água em função do tempo a uma temperatura de 25 ° C e a três concentrações de cloreto de sódio (5, 10 e 15 % p/p).	49
Figura 4.5 Perda de água em função do tempo a uma temperatura de 35 ° C e a três concentrações de cloreto de sódio (5, 10 e 15 % p/p).	50
Figura 4.6 Perda de água em função do tempo a uma temperatura de 45 ° C e a três concentrações de cloreto de sódio (5, 10 e 15 % p/p).	50
Figura 4.7 Cinética de equilíbrio da desidratação osmótica em função do tempo a uma temperatura de 25 ° C e três concentrações de cloreto de sódio (5, 10 e 15 % p/p).	52
Figura 4.8 Cinética de equilíbrio da desidratação osmótica em função do tempo a uma temperatura de 35 ° C e três concentrações de cloreto de sódio (5, 10 e 15 % p/p).	53
Figura 4.9 Cinética de equilíbrio da desidratação osmótica em função do tempo a uma temperatura de 45 ° C e três concentrações de cloreto de sódio (5, 10 e 15 % p/p).	53
Figura 4.10 Valores experimentais e preditos da cinética de desidratação osmótica em função do tempo, a uma temperatura de 25 ° C e soluções de cloreto de sódio a 5 e 15 p/p.	59
Figura 4.11 Valores experimentais e preditos da cinética de desidratação osmótica em função do tempo, a uma temperatura de 35 ° C e soluções de cloreto de sódio	

a 5 e 15 % p/p.	59
Figura 4.12 Valores experimentais e preditos da cinética de desidratação osmótica em função do tempo, a uma temperatura de 45 ° C e soluções de cloreto de sódio a 5 e 15% p/p.	60
Figura 4.13 Valores experimentais e preditos da perda de água em função do tempo a uma temperatura de 45 ° C e uma concentração de solução de cloreto de sódio a 5 % p/p.	62
Figura 4.14 Valores experimentais e preditos da perda de água em função do tempo a uma temperatura de 45 ° C e uma concentração de solução de cloreto de sódio ao 10 % p/p.	62
Figura 4.15 Valores experimentais e preditos da perda de água em função do tempo a uma temperatura de 45 ° C e uma concentração de solução de cloreto de sódio ao 15 % p/p.	63
Figura 4.16 Coeficiente de difusão aparente do sal em função do inverso da temperatura absoluta para as três concentrações da solução de cloreto de sódio (5, 10 e 15 % p/p).	65
Figura 4.17 Coeficiente de difusão aparente da água em função do inverso da temperatura absoluta para as três concentrações da solução de cloreto de sódio (5, 10 e 15 % p/p).	65
Figura 4.18 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 25 ° C.	69
Figura 4.19 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 25 ° C.	69
Figura 4.20 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 40 ° C.	70
Figura 4.21 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 40 ° C.	70
Figura 4.22 Isoterma de sorção com berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de Henderson.	72
Figura 4.23 Isoterma de sorção com berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de Henderson.	72
Figura 4.24 Isoterma de sorção com berinjela desidratada osmoticamente em solução	

2 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de Henderson.	73
Figura 4.25 Isoterma de sorção com berinjela desidratada osmoticamente em solução	
4 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de Henderson.	74
Figura 4.26 Isoterma de sorção com berinjela desidratada osmoticamente em solução	
2 % de NaCl e 25 ° C.	76
Figura 4.27 Isoterma de sorção com berinjela desidratada osmoticamente em solução	
4 % de NaCl e 25 ° C.	77
Figura 4.28 Isoterma de sorção com berinjela desidratada osmoticamente em solução	
2 % de NaCl e 40 ° C.	77
Figura 4.29 Isoterma de sorção com berinjela desidratada osmoticamente em solução	
4 % de NaCl e 40 ° C.	78
Figura 4.30 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução	
2 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de Halsey.	80
Figura 4.31 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução	
4 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de Halsey.	80
Figura 4.32 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução	
2 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de Halsey.	81
Figura 4.33 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução	
4 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de Halsey.	81
Figura 4.34 Resultado do experimento número 4, em leito estático, sob camada fina ($L = 1$ cm), $Y_{abs} = 0,013$ kg vapor água/kg de ar seco, $T = 70$ ° C, $v_{ar} = 1,5$ m/s, $X_0 = 10,35$ kga/kgss e $Y_0 = 0,013$ kga/kgas.	82
Figura 4.35 Taxa de secagem de berinjela em função da umidade, nas condições de $X_0 = 10,35$ kga/kgss; $v = 1,5$ m/s; $T = 70$ ° C, $L = 1$ cm; $Y_0 = 0,013$ kg vapor água/kg ar seco.	83
Figura 4.36 Cinética de secagem em função do tempo a quatro temperaturas (40, 50, 60 e 70 ° C) após o tratamento osmótico. Para $T = 40$ ° C ($X_0 = 7,6$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0129$), para $T = 50$ ° C ($X_0 = 9,58$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0176$), para $T = 60$ ° C ($X_0 = 9,85$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0156$), e para $T = 70$ ° C ($X_0 = 10,35$ kga/kgss, $Y_0 = 0,013$).	84
Figura 4.37 Cinética de secagem em função do tempo a quatro temperaturas	

(40, 50, 60 e 70 ° C) sem tratamento osmótico. Para T = 40 ° C ($X_0 = 12,59$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0156$), para T = 50 ° C ($X_0 = 13,67$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0165$), para T = 60 ° C ($X_0 = 12,33$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0153$), e para T = 70 ° C ($X_0 = 13,44$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0118$).	85
Figura 4.38 Cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 40 ° C, com e sem desidratação osmótica, com D. O. ($X_0 = 7,6$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0129$) e sem D. O. ($X_0 = 12,59$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0156$).	86
Figura 4.39 Cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 50 ° C, com e sem desidratação osmótica com D. O. ($X_0 = 9,58$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0176$) e sem D. O. ($X_0 = 13,66$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0165$).	87
Figura 4.40 Cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 60 ° C, com e sem desidratação osmótica com D. O. ($X_0 = 9,85$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0156$) e sem D. O. ($X_0 = 12,33$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0153$).	87
Figura 4.41 Cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 70 ° C, com e sem desidratação osmótica, com (D. O.) ($X_0 = 10,35$ kga/kgss, $Y_0 = 0,013$) e sem D. O. ($X_0 = 13,4$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0118$).	88
Figura 4.42 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 40 ° C após o tratamento osmótico, $X_0 = 7,6$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0129$.	89
Figura 4.43 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 50 ° C após o tratamento osmótico, $X_0 = 9,58$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0176$.	90
Figura 4.44 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 60 ° C após o tratamento osmótico, $X_0 = 9,85$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0156$.	90
Figura 4.45 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 70 ° C após o tratamento osmótico, $X_0 = 10,35$ kga/kgss, $Y_0 = 0,013$.	91
Figura 4.46 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 40 ° C após o tratamento osmótico, $X_0 = 7,6$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0129$.	92
Figura 4.47 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 50 ° C após o tratamento osmótico, $X_0 = 9,58$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0176$.	93
Figura 4.48 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 60 ° C após o tratamento osmótico, $X_0 = 9,85$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0156$.	93
Figura 4.49 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 70 ° C após o tratamento osmótico, $X_0 = 10,35$ kga/kgss, $Y_0 = 0,013$.	94

Figura 4.50 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 40 ° C, $X_0 = 12,59$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0156$ para berinjela sem desidratação osmótica.	95
Figura 4.51 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 50 ° C, $X_0 = 13,67$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0165$ para berinjela sem desidratação osmótica .	96
Figura 4.52 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 60 ° C, $X_0 = 12,33$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0153$ para berinjela sem desidratação osmótica.	96
Figura 4.53 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 70 ° C, $X_0 = 13,44$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0118$ para berinjela sem desidratação osmótica.	97
Figura 4.54 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 40 ° C, $X_0 = 12,59$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0156$ para berinjela sem desidratação osmótica.	98
Figura 4.55 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 50 ° C, $X_0 = 13,67$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0165$ para berinjela sem desidratação osmótica.	99
Figura 4.56 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 60 ° C, $X_0 = 12,33$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0153$ para berinjela sem desidratação osmótica.	99
Figura 4.57 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 70 ° C, $X_0 = 13,44$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0118$ para berinjela sem desidratação osmótica.	100
Figura 4.58 Fatia de berinjela seca a 60 e 70 ° C sem tratamento osmótico prévio.	104
Figura 4.59 Fatia de berinjela seca a 40 e 50 ° C com tratamento osmótico prévio.	105
Figura 4.60 Fatia de berinjela seca a 60 e 70 ° C com tratamento osmótico prévio.	106

NOMENCLATURA

α_w - atividade de água

C - concentração,

C = constante de Guggenheim

C^* - constante relacionada ao calor de sorção

C_0 - conteúdo inicial de cloreto de sódio na rodela de beringela a tempo 0

C_{eq} - conteúdo de cloreto de sódio no equilíbrio, na rodela de beringela

$C(t)$ - conteúdo final de cloreto de sódio na rodela de beringela a tempo t

D - coeficiente de difusão (m^2/s)

D_{ap} água - coeficiente de difusividade aparente da água (m^2/s)

D_{ap} sal - coeficiente de difusividade aparente do sal (m^2/s)

dX/dt - taxa de secagem (kg a/kg ss*min)

H_m - calor total de sorção da primeira camada

H_n - calor total de sorção das multicamadas

l - semiespessura da placa

n - número de termos da série

p - pressão de vapor de água

p_0 - pressão de vapor da água pura

R - constante universal dos gases ($R = 0.46188$ kJ/kg)

t - tempo

T - temperatura absoluta, expressa em Kelvin (K)

v - velocidade do ar (m/s)

w - massa de água que saiu do produto no tempo t

w_0 - massa inicial no produto

w_e - massa de água que deixou o produto no equilíbrio

x - distância

X - teor de umidade (base seca)

X_m - teor de umidade de monocamada

X_m - teor de umidade correspondente à saturação de todos os sítios de adsorção primários por molécula de água

X_0 - conteúdo inicial de umidade (base úmida) na rodela de berinjela a tempo 0

X_{eq} - conteúdo de umidade (base úmida) no equilíbrio na rodela de berinjela

$X(t)$ - conteúdo final de umidade (base úmida) na rodela de berinjela a tempo t

Y_{abs} - umidade absoluta (kg vapor/ kg ar seco)

Y_0 - umidade relativa do ar inicial

ρ - densidade

λ - calor de condensação da água pura

$A, B, C, K, k^2, k_0, k_1, k_2, m, n, n_1, n_2, r$ e S são constantes

RESUMO

Neste trabalho foram estudadas as cinéticas de desidratação osmótica de berinjela utilizando como agente desidratante uma solução de cloreto de sódio, e a de secagem com ar quente com e sem tratamento osmótico. Em relação à cinética da desidratação osmótica analisou-se o efeito das variáveis: concentração do agente desidratante e temperatura, para escolher as melhores condições deste processo prévio à secagem. No caso da secagem só o efeito da temperatura foi analisado. Estudou-se também a cinética da desidratação osmótica a tempos longos para determinar as condições de equilíbrio. Foram calculados com os dados obtidos da desidratação osmótica, os coeficientes de difusividade aparente para o sal e a água, obtendo-se para o sal um valor entre a faixa de $0,362$ a $1,363 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ e, para a água de $0,189$ a $0,351 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$. Para completar o trabalho, foi feita uma caracterização química da berinjela, assim como a obtenção das isotermas de sorção a duas temperaturas (25 e $40 \text{ }^\circ\text{C}$) e duas concentrações de cloreto de sódio (2 e 4 \% p/p) através do método direto (estático), baseando-se no Projeto COST 90 (Jowitt et al., 1983) e isotermas de dessorção, nas mesmas condições anteriores, através do método indireto, baseando-se no estudo de Capriste & Rotstein (1982). Os dados foram bem correlacionados pela Equação de Henderson (Isoterma de sorção) e a Equação de Halsey (Isoterma de dessorção). Foram correlacionados os dados obtidos na secagem, através dos métodos matemáticos, sendo que o Modelo Exponencial foi o que apresentou melhor ajuste. Demonstrou-se que o tempo de secagem para as amostras com tratamento osmótico prévio é menor que para aquelas sem tratamento, na obtenção de berinjela de umidade intermediária.

SUMMARY

The kinetics of aubergine osmotic dehydration was studied using sodium chloride solution as osmotic agent followed by a hot air drying with and without osmotic treatment. Regarding the kinetics of osmotic dehydration the effect of variables were analyzed; that is osmotic agent concentration and temperature, in order to choose the best conditions of this process before drying. For drying, only the effect of temperature was analyzed. The kinetics of osmotic dehydration was also studied for long periods in order to determine the equilibrium conditions. The apparent diffusion coefficients for salt and water were calculated using data obtained in osmotic dehydration; the values for salt were between $0,362$ to $1,363 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ and for water between $0,189$ to $0,351 \text{ } 363 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$. At the same time, a chemical characterization of aubergine was carried out as well as sorption isotherms were obtained at two temperatures (25 and 40° C) and two sodium chloride concentrations (2 and $4\% \text{ w/w}$) using the direct (static) method based on the COST 90 project (Jowitt, 1983) and desorption isotherms at the same conditions based on the Capriste & Rotstein (1982) study. Data were well correlated by the Henderson equation (Sorption isotherm) and Halsey equation (Desorption isotherm). Data obtained during drying were correlated, being the exponential model gives the better fitting. It was demonstrated that the drying time for osmotic pre-treated samples were less than those intermediate moisture aubergine.

1. INTRODUÇÃO

Em países de clima tropical, a produção de frutas e hortaliças é muito grande, e uma boa porcentagem perde-se durante a colheita e o transporte, rumo aos centros de distribuição, por falta de técnicas eficientes para sua conservação ou processamento. Algumas dessas técnicas são custosas, complexas ou não estão disponíveis. A vida de prateleira das hortaliças “in natura”, em geral, é curta.

A qualidade dos comestíveis e o custo de sua elaboração são os fatores mais importantes a serem considerados quando se escolhe um método de preservação de alimentos. Um desses métodos pode ser a refrigeração para conservar as hortaliças “in natura”. Estudos sobre o assunto indicam que as berinjelas podem ser armazenadas durante 10 dias a uma umidade relativa alta (85 a 90 %) e uma temperatura média baixa (10 a 13 ° C). Em temperaturas mais baixas, ocorre um distúrbio fisiológico, causado pelo frio “chilling injury” e a qualidade comestível do fruto diminui (Martin & Pollack, 1979).

Uma das conclusões a que chegou Monteiro (1984), em seu trabalho, é que as berinjelas armazenadas a 12,5 ° C, por períodos superiores a duas semanas, não apresentam qualquer sintoma visual de distúrbio fisiológico causado pelo frio, nem aumento nos níveis de produção de CO₂ e C₂H₄. Consequentemente, 12,5 ° C parece ser a temperatura mínima segura para armazená-las sem que ocorram efeitos daninhos decorrentes dos distúrbios fisiológicos causados pelo frio.

Vários métodos podem ser utilizados para aumentar a vida de prateleira. Nos últimos anos, tem-se estudado a combinação de métodos de desidratação osmótica e a secagem com ar convencional para obter frutas e vegetais secos.

A desidratação osmótica remove a água das frutas e vegetais quando submergidos em uma solução de alta pressão osmótica durante algum tempo e a uma temperatura específica. O gradiente de concentração entre a solução e o material atua como força motriz da água no meio osmótico. Vários agentes osmóticos, tais como sacarose, glucose, frutose, xarope de milho e cloreto de sódio etc., têm sido usados para a desidratação osmótica. Geralmente, soluções de açúcar são usadas para frutas e o sal para vegetais, determinado por seu uso final (Vijayanand et al., 1995).

A desidratação osmótica é um processo suave, comparado com a secagem com ar quente, e resulta em um produto com melhor cor, textura e sabor (Yang e Le Maguer, 1992). Inibe a ação da polifenil-oxidase e retarda a perda dos constituintes voláteis do sabor durante a desidratação. Pode ser usada em combinação com outros métodos de desidratação como: secagem com ar quente, liofilização, secagem a vácuo, etc. (Ponting, 1973). Comparada com a secagem com ar quente, resulta em um produto com melhor cor, textura e sabor (Yang e Le Maguer, 1992). A desidratação osmótica é afetada por vários fatores, tais como agente osmótico, concentração do soluto, temperatura, tempo, tamanho, forma e densidade do tecido do material (Torreggiani, 1993).

Uma questão muito complexa é a escolha do tipo e da concentração da substância osmótica. As mudanças dos valores nutritivos e as propriedades

organolépticas do produto final, em relação ao custo do processo, são os indicadores básicos para a seleção de cada substância osmótica.

Os objetivos deste trabalho foram estudar a cinética de desidratação osmótica de berinjela, utilizando como agente desidratante uma solução de cloreto de sódio, determinando o efeito da temperatura e da concentração da solução osmótica durante tal tratamento, obter dados das melhores condições da desidratação osmótica, assim como a cinética de secagem, utilizando um secador em leito estático, determinando o efeito da temperatura de entrada do ar no secador.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Berinjela.

2.1.1. Origem e Características do vegetal.

Os estudiosos que se aventuraram à pesquisa da origem desta espécie se perderam nos recantos do misterioso Oriente. Nenhum deles conseguiu encontrar a berinjela no estado original, o que serviria para indicar o lugar mais provável de origem desta espécie. Alguns botânicos parecem ter encontrados exemplares espontâneos de *Solanum insanum* que é considerada espécie afim ou variedade da mesma, em Madras (Índia) e na Birmânia (Forte, 1966).

Uma coisa é certa, na Índia e em outros países orientais o cultivo da berinjela é antigo e este fato pode indicar de que a berinjela se difundiu a partir de dois centros: a China e a Índia.

A berinjela já é mencionada nos escritos dos geórgicos latinos, e seguramente também foi conhecida pelos antigos gregos.

Dos países de origem atravessou a Ásia Menor, chegando no Egito no 1200 e no século posterior, à Europa, difundindo-se nos países da Bacia do Mediterrâneo (Península Ibérica, França, Itália), prevalecendo nas Regiões meridionais.

Na Itália foi introduzida perto do final de 1300 e difundiu-se no século seguinte.

Parece certo que na difusão da nova espécie tenham contribuído ativamente os Arabes na Espanha e os Padres Carmelitas na Itália.

O escritor Florentino Giovanvettorico Soderini (1526-1597), confunde a berinjela e o tomate no seu “Tratado da cultura dos hortos e jardins” esta última espécie introduzida na Europa durante a vida de Soderini e ele quando escreveu devia ter visto ou possuído algum exemplar. Descreve, uma berinjela branca que indica como: *Solanum insanum*; uma <berinjela> dita também <tomate>, atribuída à espécie *Solanum Lycopersicon*, que tem a planta e o fruto como o tomate e uma berinjela (*Solanum insanum fruto purpura*) que é a berinjela (da cor <roxo>, ele diz). Este botânico que viveu na Florencia na época da família dos Medici, tentando talvez contribuir à difusão desta nova espécie hortícola, não só fala das características da planta e dos frutos, como se interessa, pelas várias maneiras de cozinhar a berinjela.

A berinjela botanicamente é uma planta plurianual que pode ser enxertada em outra espécie desta família solanaceae. Estudiosos russos e de outros países tem cruzado a *Solanum lycopersicum* com a *S. Latifolium*. A. Pirovano tem obtido híbridos estáveis a partir do enxerto da berinjela com **Datura innoxia**: o fruto apresentou modificações de cor e sabor que se trasmiteram no plantio sucessivo por semente.

No cultivo comum da berinjela esta planta é de ciclo anual. Tem um talho rígido, ereto, sob o fruto, ramificado com uma altura de 50-80 cm. As folhas são inteiras, grandes, ovaladas-agudas, de disposição alternada, entumecidas (cobertas de velho), de cor verde escuro, com pecíolo curto. As flores são brevemente pendentes, solitárias, raramente se apresentam em pares; são hermafroditas (ou seja, contém elementos masculinos e femininos) . O cálice da flor é persistente, tomentoso, com espinhos e a corola tem forma de um pentago com até 5-7 pétalas unidas. de cor pálida; o ovário é sobreposto por um estilo longo que termina com um estigma papilhoso; a parte masculina da flor esta formada de 5-7 estambres, inseridos à base dos pétalas, filamento curto, portanto antera alargada. O fruto é carnoso, de notável volume, com a parte superior recoberta do cálice com espinhos que o envolve por alguns centímetros do sue comprimento. A forma, o tamanho e a cor variam com a cultura. A polpa do fruto é fibrosa, elástica, de sabor amargo, mas com a cocção adquire ótima qualidade e sabor.

A qualificação botânica da berinjela é a seguinte: Família *Solanacee* - Gênero *Solanum* - Espécie *Solanum melongena* L. Segundo a qualificação de acordo com o tipo de flores, a espécie se divide nas seguintes variedades botânicas: *esculentum* Dum, *insanum* L. e *ovigerum* Lam.

Provavelmente o nome comum mais antigo para a berinjela é *brinjal*, usado na Índia (Martin & Pollack, 1979). Em inglês, a planta chama-se “egg plant”, e o fruto, “jew’s apple”; em alemão “eierpfianze” e “eierfruchi”; em espanhol “berenjena” do Árabe *al berenjena*;; em francês “aubergine”. Na nomenclatura hortícola dos principais

países europeus (Inglaterra, Alemanha, França, Países Baixos), a berinjela é, denominada com o termo francês: “aubergine”.

Os diversos cultivares mais difundidos são os seguintes (Forte, 1966), enquadrados de acordo com a respectiva variedade botânica:

Solanum melongena L., variedade *esculentum* Dun:

- *Violeta longa de Nápoles*. É a mais difundida entre as grandes culturas das principais regiões produtoras na Itália: Campania e Sicília. A planta é alta, ereta, o fruto alongado, tem forma de bastão, de cor violeta intensa, polido, brilhante, longo com, normalmente, 25 - 30 cm podendo chegar a 40 -45 cm no cultivo de elite. É muito produtiva e pode dar 10 -12 frutos por planta.

- *Mostrousa ou redonda grossíssima ou gigante de Nova York*. Planta vigorosa, com o fruto muito grosso, arredondado ou quase arredondados, de cor violeta escura.

- *Violeta esférica*. Planta vigorosa, frutos ovalados ou redondos de cor violeta pálido, parte da base clara. Precocidade média, e não muito produtiva.

- *Violeta longa ou Precoce de Barbentane*. Frutos alongados, quase cilíndricos, violetas. Planta não muito produtiva, mas precoce.

- *Moustrousa ou gigante branca de Nova York*. Frutos brancos, volumosos, e arredondados.

- *Branca longa da China*. Frutos delgados brancos.

- *Berinjela esférica violeta pálida o Violeta pálida de Florência*. Fruto violeta sem cor celeste (azul claro), branco na zona do cálice, de forma e dimensões não estáveis, polpa compacta, não fibrosa, com pouquíssimas sementes, de fácil cocção

S. melongena L. variedade *inscanum* L. :

- *Violeta anã precoce ou preta precoce ou violeta precoce delicada*. Planta ramificada na base, fruto oval, de tamanho médio, de cor violeta escuro, rico em sementes, muito produtiva e precoce. Em napolitano é chamada <<schivuttella>>, <<fucarella>> ou <<quarantina>>.

S. melongena L. variedade *ovigerum* Lam, compreende as seguintes culturas, essencialmente ornamentais:

- *A berinjela branca redonda* dita <<planta dos ovos>> com numerosos frutos pequenos, de cor branco marfim, semelhante aos ovos de galinha. A polpa é tenra.

- *A berinjela Madras* que produz frutos periformes (em forma de pera) de cor violeta , amarelo, verde, e branco.

- *A berinjela rosa*, com frutos arredondados, de cor amarelo vivo brilhante, semelhantes à laranja.

As principais cultivares americanas, descritas em publicações e catálogos de *Ditte semenziere* são as seguintes: *Black Beauty* (violeta esférica, precoce e produtiva: é a mais difundida nos USA); *Improved large purple* (violeta ovalada, vigorosa sem espinhas); e *Fort Myers Market* (violeta longa-oval, precoce resistente).

Como pode-se observar, a nomenclatura das variedades de berinjela é muito incerta e confusa. Diversos nomes são atribuídos ao mesmo cultivar ou a mesma denominação e atribuída a diversas variedades.

Frequentemente, tipos análogos, mais ou menos precoces, são indicados como cultivares diferentes enquanto sua precocidade pode depender do ambiente ou do sistema de cultura.

2.1.2 Valor Nutricional e composição

O valor nutricional da berinjela é baixo como pode-se observar na Tabela 1. Cada 100 gramas de material cozido não contém 10 % das necessidades diárias de qualquer nutriente. No entanto é uma fonte rica em vitamina C e ferro e uma fonte pobre em vitaminas do complexo B.

Tabela 2.1 Valor nutricional da berinjela cozida

Componente	Unidades	Quantidade/ 100 g	Necessidade diária por adulto (NDA)	Porcentagem de NDA
Água	g	94,3		
Energia	cal	19	2.700	0,7
Nutrientes principais:				
Carboidratos	g	4,1		
Lipídeos	g	0,2		
Proteínas	g	1,0	56	1,8
Minerais:				
Cálcio	mg	11	800	1,4
Ferro	mg	0,6	10	6,0
Fósforo	mg	11	800	1,4
Potássio	mg	150		
Sódio	mg	1		
Vitaminas:				
A	IU	10	1.000	1,0
Ácido ascórbico	mg	3	45	6,7
Niacina	mg	0,5	18	2,8
Riboflavina	mg	0,04	1,6	2,5
Tiamina	mg	0,05	1,4	3,6

Fonte: Martin & Pollack, (1979)

A composição centesimal aproximada da berinjela mostra-se na Tabela 2.2

Tabela 2.2. Composição centesimal aproximada

Componente	g
Água	90 - 92
Carboidratos	3,90
Proteínas	1,00
Lipídios	0,0
	mg
Cálcio	17
Fósforo	29
Ferro	0,4
Sódio	38,2
Potássio	112,7
Magnésio	90
Enxofre	100
Niacina	0,6
Ácido Ascórbico	1,2
Purinas	1,6
	mcg
Retinol	5
Tiamina	60
Riboflavina	45

Fonte: Franco, Guilherme. (1992)

Os frutos da berinjela podem ficar amargos quando eles passam do ponto de consumo, e têm sementes maduras. Em geral, isso não acontece porque os plantadores tendem a colher os frutos antes desse ponto.

2.2 Pré-tratamentos

O branqueamento (blanching) é um processo térmico de curto tempo de aplicação, com características de pré-tratamento, pois precede a realização de outros processos de elaboração industrial, como o congelamento e desidratação de verduras. Comumente, o branqueamento é empregado para inativar enzimas contidas em frutas e hortaliças, antes de serem submetidas ao processo de conservação, já que este não é

suficiente, até certo ponto, para sustar a atividade enzimática. No caso da beringela é necessária a eliminação da polifenil-oxidase, responsável pelas reações de escurecimento enzimático.

2.2.1 Inativação da Polifenil-oxidase

Vámos-Vigyázó (1981) encontrou que, em muitos casos a destruição parcial ou total da atividade catalítica da PPO (Polifenil-oxidase) em frutas e vegetais é alcançada em um período curto de exposição a temperaturas de 70 °C até 90 °C.

Almeida & Nogueira (1995) estudaram as interações entre os inibidores químicos e entre estes inibidores e o tratamento calórico para o controle do escurecimento. A atividade da Polifenil-oxidase foi determinada nos extratos enzimáticos de cada fruta e vegetal após os seguintes tratamentos:

T1: 0.1 % de ácido ascórbico + 0.2 % de ácido cítrico,

T2: 0.1 % de ácido ascórbico + 0.2 % de ácido cítrico + calor (70 °C durante 2 min),

T3: 0.1 % de ácido ascórbico + 30 ppm EDTA,

T4: 0.1 % de ácido ascórbico + 30 ppm EDTA + calor (70 °C durante 2 min),

T5: 0.1 % de ácido ascórbico + 0.2 % de ácido cítrico + 30 ppm EDTA,

T6: 0.1 % de ácido ascórbico + 0.2 % de ácido cítrico + 30 ppm EDTA + calor (70 °C durante 2 min),

T7: 0.1 % de ácido ascórbico + 0.05 % de metabissulfito de sódio,

T8: 0.1 % de ácido ascórbico + 0.05 % de metabissulfito de sódio + calor (70 °C durante 2 min),

T9: 0.1 % de ácido ascórbico + 0.2 % de ácido cítrico + 0.05 % de metabissulfito de sódio,

T10: 0.1 % de ácido ascórbico + 0.2 % de ácido cítrico + 0.05 % de metabissulfito de sódio + calor (70 °C durante 2 min).

Entre os vegetais examinados, a Polifenil-oxidase da berinjela foi a mais resistente a os tratamentos examinados, com nenhum dos tratamentos foi capaz de inibir totalmente a atividade. Uma combinação de ácido ascórbico, ácido cítrico, metabissulfito de sódio e calor (T10) foi a combinação mais eficiente, resultando em 98,2 % de inibição, enquanto a menos eficiente foi a T3, sem produzir inibição.

2.3 Desidratação Osmótica

2.3.1 Fundamento Teórico

A desidratação osmótica é uma técnica útil para eliminação de água de frutas e vegetais, realizada pela colocação dos alimentos sólidos, inteiros ou em peças, em soluções açucaradas ou salgadas de pressão osmótica maior que a do produto.

Em uma situação osmótica ideal uma membrana semipermeável deixaria passar as moléculas do solvente, mas não as moléculas do soluto. Em frutas e vegetais, as membranas da parede celular são unidades biológicas vivas que podem estirar-se ou dilatar-se sob a influência do crescimento e a pressão gerada no interior das células. Estas membranas celulares estão compostas principalmente de células parênquimas, que livremente permitem a passagem das moléculas do solvente mas também em

menor grau a passagem de algumas moléculas do soluto. Esta difusão de soluto dependerá do peso molecular do mesmo. Este tipo de membrana poder ser classificada diferencialmente permeável ao invés de semipermeável. (Torreggiani, 1993).

A desidratação osmótica é considerada um método de conservação para a obtenção de produto de grande qualidade, por meio da remoção da água, sem mudança de fase. Este processo consiste da imersão do alimento com consistência sólida, por exemplo frutas e vegetais fatiados em soluções hipertônicas (sacarídeos, cloreto de sódio, sorbitol, glicerol, etc). Durante a desidratação osmótica uma troca de massa de multicorrentes, em ambas direções, tem lugar como mostra-se na figura 1.

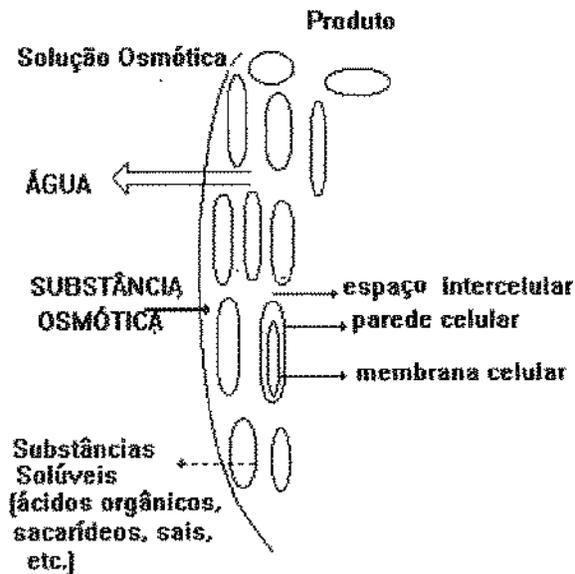


Figura 1. Transferência de massa durante a desidratação osmótica

Os principais fluxos de massa que acontecem são:

- O mais importante é um fluxo de água que difunde desde o interior da amostra até a solução.

- Na direção oposta se estabelece um fluxo da substância osmótica que difunde desde a solução para dentro do tecido desidratado.

O terceiro fluxo está ligado com a perda de substâncias de baixo peso molecular (sacarídeos, ácidos orgânicos, vitaminas, sais minerais) (Ponting et al., 1966; Lerici et al., 1985; Giangiacomo et al., 1987; Torreggiani, 1993; Raoult-Wack et al., 1992, Raoult-Wack, 1994). Esta corrente, ainda que não significativa na transferência de massa, pode ter uma influência essencial sobre os valores nutritivos finais e as propriedades organolépticas do alimento.

O resultado de tal transferência de massa complexa é uma diminuição do conteúdo de água com um incremento simultâneo de sólidos ganhos, além de uma troca da constituição química do alimento desidratado (Lenart, 1996).

A utilização do efeito de osmose no processamento de alimentos, para sua desidratação, tem como resultado o melhoramento da qualidade do produto e da economia do processo. Ainda que a osmose como fenômeno é conhecido desde a antiguidade, ultimamente o interesse neste processo tem aumentado.

Em geral, a desidratação osmótica eliminaria ao redor de um 50 % em peso devido à redução da umidade. A perda de água ocorre principalmente durante as duas primeiras horas e o ganho de sólidos é máximo durante os 30 minutos iniciais (Conway et al., 1983; Giangiacomo et al., 1987).

A desidratação prévia à secagem de alimentos, especialmente de vegetais, por meio de tratamento osmótico tem recebido recentemente um aumento de atenção (Hough et al., 1993).

O emprego da desidratação osmótica tem várias vantagens como:

- reduz a injúria térmica, evitando a influência negativa nas mudanças da cor e nas substâncias odoríferas.
- reduz o tempo de secagem.

- reduz o consumo de energia em uma porcentagem de 20-30 % quando comparada com a secagem por convecção.

A pré-concentração osmótica é usada não somente para diminuir o tempo de secagem com ar senão também para melhorar a qualidade do produto. Em geral verifica-se uma textura melhor, uma maior retenção de vitaminas, um aumento do sabor e a estabilização da cor, sem necessidade de adição de sulfito (Lericí et al., 1985; Beristain et al., 1990; Vial et al., 1991).

2.3.2. Variáveis do Processo

A influência das principais variáveis do processo (pré-tratamentos, temperatura, natureza e concentração das soluções de desidratação, agitação, aditivos, etc.,) na transferência de massa e na qualidade do produto tem sido revisadas por Ponting et al., (1966), e mais recentemente por Lericí et al., (1985), Le Maguer (1988) e Raoult-Wack & Guilbert (1990), citados por Raoult-Wack et al., (1992).

2.3.2.1. Tipo de Agente Osmótico

Os agentes osmóticos mais comumente usados são sacarose para frutas, e cloreto de sódio para vegetais. Outros agentes osmóticos tais como lactose, maltodextrinas, etanol, glicose, poliois, glicerina e xaropes de milho também têm sido usados (Biswal & Le Maguer, 1989; Lenart & Lewicki, 1988, Giangiacoimo et al., 1987; Hawkes & Flink, 1978). Os solutos usados não devem ser tóxicos, custosos ou insolúveis com a finalidade de obter-se soluções altamente concentradas, mas se é

possível, também não devem ser muito viscosas. Devido ao baixo peso molecular, o cloreto de sódio tem sido citado como um excelente agente osmótico (Biswal et al., 1992; Biswal & Bozorgmehr, 1991; Hawkes & Flink, 1978). O uso do cloreto de sódio é interessante na desidratação de vegetais, entretanto seu uso para a desidratação de frutas é limitado, devido aos efeitos adversos sobre a aceitabilidade organoléptica dos produtos. Estes agentes, são usualmente chamados agentes diminuidores da atividade de água (Raoult et al., 1989).

Soluções aquosas de mistura de agentes osmóticos também têm sido usadas para a desidratação de frutas e vegetais. Hawkes & Flink (1978) combinaram sacarose com lactose, maltodextrinas e cloreto de sódio para desidratar anéis de maçã. Lenart & Flink (1984 a,b) combinaram cloreto de sódio e sacarose para desidratar cubos de batata. Usaram soluções de cloreto de sódio e etanol em água para a desidratação osmótica de cubos de cenoura.

2.3.2.2 Concentração da Solução Osmótica

A taxa de remoção de água na desidratação osmótica depende fortemente da concentração da solução desidratante.

Um aumento da diferença de concentração entre as peças de fruta e a solução tem um efeito muito favorável sobre a perda de água (Hawkes & Flink, 1978; Islam & Flink, 1982 a,b; Conway et al., 1983; Lenart & Flink, 1984 a,b), e a redução de peso aumenta com a concentração da solução (Ponting et al., 1966; Farkas & Lazar, 1969).

O uso de xaropes fortemente concentrados pode também reduzir as perdas de solutos hidrosolúveis, tal como ácido ascórbico (Vial et al., 1991), o que é possível devido à criação de uma camada periférica concentrada de soluto, que age como barreira evitando a sua saída.

Nas Tabelas 2.3 & 2.4, se apresentam as formulações de soluções osmóticas mais apropriadas para diversos produtos alimentícios (Lenart, 1996).

Tabela 2.3 Frutas Osmo-desidratadas.

MATÉRIA	SUBSTÂNCIA OSMÓTICA
Abacaxi	Sacarose 65 %
Bananas	Sacarose 65%
	Sacarose 67-70 %
	Sacarose
Peras	Xarope glicose-frutose 60 %
	Xarope de amido/sacarose 70 %
Maçãs	Sacarose 59 %
	Frutose 60 %
	Glicose 51 %
	Xarope de amido 70 %
	Xarope de frutose 70 %
“Berries”	Sacarose 50 %
Mangas	Cloreto de sódio 25 %
Damasco	Xarope de amido/sacarose 70 %
Ameixas	Xarope de sacarose
Cerejas	Xarope de amido/sacarose 70 %
	Glicose/sacarose 70 %

Tabela 2.4 Vegetais Osmo-desidratados.

MATÉRIA	SUBSTÂNCIA OSMÓTICA
Cebola	Sacarose 54 % + NaCl 10 %
Cenoura	Cloreto de sódio 10 % Sacarose 5-60 % Cloreto de sódio 10 % Glicose 50 % Cloreto de sódio e etanol Sacarose/cloreto de sódio 45/15 Xarope de amido 70 %
Tomates	Cloreto de sódio 10 %
Batatas	Sacarose/cloreto de sódio 45/15
Gel de Ágar	Sacarose 60 %
Abóbora	Sacarose 60 % Xarope de amido

2.3.2.3. Temperatura

A influência da temperatura nos processos de desidratação osmótica dos tecidos vegetais foi revisada por Lenart & Lewicki(1990 a-b), citado por Raoult-Wack et al., 1992. Frequentemente uma temperatura de 20 a 40 ° C é considerada ótima (Lerici et al., 1977), e numerosas experiências são conduzidas a temperatura ambiente (Lerici et al., 1985). De fato, perto de 40 ° C, o aumento da velocidade das reações químicas e bioquímicas pode ter um efeito adverso sobre a qualidade do produto. Portanto, a temperatura crítica depende estreitamente da natureza da fruta. Por exemplo, temperaturas recomendadas para o processamento de damasco, pera ou

cereja, e banana ou mamão, foram de 20, 40 e 60 ° C respectivamente, segundo Lenart & Lewicki (1990 a) citado por Raoult-Wack et al., (1992). Para carnes e peixes, as temperaturas mais recomendadas não excederam de 10 ° C, mas temperaturas mais altas da ordem de 85 ° C também podem ser usadas, segundo Favetto et al., (1981).

A melhor temperatura do processo depende do alimento: por exemplo para a vagem (Biswal et al., 1991), 40 ° C é uma temperatura demasiado alta e a 20 ° C obtém-se melhores resultados.

2.3.2.4 Agitação

A agitação tem uma boa influência sobre a perda de peso (especialmente para as soluções concentradas) e sobre a velocidade de troca (Ponting et al., 1966; Flink, 1975; Hawkes & Flink, 1978). Raoult et al., (1989) encontraram que a imersão e agitação têm um efeito significativo sobre a perda de água, que aumenta, e sobre o ganho de soluto, que diminui. O efeito desfavorável, sobre a perda de água, da fase de contato sem agitação foi interpretada pela existência de uma camada limite diluída ao redor da partícula (Dalla Rosa et al., 1982; Raoult et al., 1989). A agitação garante que a solução concentrada é renovada ao redor da partícula e portanto, uma diferença favorável de concentração à transferência de massa é criada.

Em alguns casos, a agitação intermitente, ou tempos curtos de duração pode ser suficiente. Raoult et al., (1989) obtiveram velocidades de transferência de massa similares empregando um gel modelo (impregnado numa solução de sacarose de 60 %

p/p a 50 ° C) com agitação de uma hora de duração, três horas ou com agitação permanente. Eles mostraram que a agitação periódica no início do processo determinaria a evolução completa da transferência de massa adicional.

Por outro lado o contato das fases sólida (produto) e líquida (xarope concentrado) é também um importante limite para o desenvolvimento de processos industriais. Os produtos ($\rho = 800 \text{ kg. m}^{-3}$ em média) tendem a flutuar sobre a solução, pela diferença de densidade com a solução ($\rho = 1300 \text{ kg. m}^{-3}$ para uma solução de sacarose de 60 % p/p a 20 ° C). Também, a viscosidade da solução implica numa considerável resistência externa contra a transferência de massa, mas em geral a fragilidade das peças são uma barreira a uma agitação vigorosa.

2.3.3 Modelos Matemáticos de Difusão

A maioria dos modelos existentes estão baseados na suposição que a transferência de massa pode ser descrita por um modelo fickiano em estado não estacionário.

Para a difusão unidimensional da água desde o fruto até a solução osmótica, desprezando o fluxo global de massa, a equação diferencial resulta:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (2.1)$$

Onde:

C é a concentração,

t é o tempo,

D é o coeficiente de difusão,
x é a distância

Supondo uma distribuição uniforme da umidade inicial e em ausência de qualquer resistência externa, Crank (1975) deu a seguinte solução à equação (2.1) para uma placa plana infinita:

$$\frac{w - w_e}{w_o - w_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(- (2n+1)^2 \frac{D \pi^2 t}{4 l^2}\right) \quad (2.2)$$

Condições de contorno e inicial

$t = 0; 0 \leq x \leq l; w = w_o$

$t > 0; x = 0, l; w = w_e$

Onde:

w é a massa de água que saiu do produto no tempo t

w_o é a massa de água inicial no produto

w_e é a massa de água que deixou o produto no equilíbrio

D é o coeficiente de difusão

t é o tempo

l é a semiespessura da placa

n é o número de termos da série

Soluções para a equação de difusão para outras geometrias podem ser encontradas no Crank (1975).

2.4 Secagem de Berinjela

Não existem muitos antecedentes sobre a secagem de berinjela e somente encontrou-se um trabalho feito por Al-Hakim (1974). Este autor tentou estabelecer um ciclo apropriado de secagem para rodela de berinjela mosilli branqueadas com vapor, realizando 19 experiências de secagem em um secador de gabinete. Em seis delas usaram-se intervalos de tempo de meia hora de duração para cada uma das temperaturas, mudando-se desde a temperatura maior até a menor, e finalizando a secagem a 60 ° C até chegar à umidade final, como mostra-se em seguida. A primeira experiência foi 93-88-82-77-71-66-60 ° C, a segunda 88-82-77-71-66-60 ° C, a terceira 82-77-71-66-60 ° C, a quarta 77-71-66-60 ° C, a quinta 71-66-60 ° C, e a sexta 66-60 ° C. Nas seis experiências seguintes só foram alterados os intervalos de tempo para uma hora de duração, repetindo as mesmas condições anteriores. As últimas sete experiências foram realizadas, a temperaturas de 60-66-71-77-82-88-93 ° C respectivamente. As amostras foram consideradas desidratadas quando seu conteúdo de umidade (determinado por secagem em estufa a 105 ° C por 5 h) decresceu do valor de 92 % de umidade final até 5-7 %. A temperatura de secagem de 71 ° C foi estabelecida como a temperatura mais apropriada pelo painel sensorial após a avaliação das amostras pela cor e sabor, porém estas amostras apresentaram escurecimento quando armazenadas a 30 ° C.

2.5 - Desidratação Osmótica e Secagem

Geralmente o uso do processo de desidratação osmótica isoladamente não produz produtos estáveis. Tem sido usado como uma etapa de pré-processamento antes de um processo complementar, tal como a secagem com ar (Ponting et al., 1966).

A secagem com ar em seguida ao tratamento osmótico tem sido proposta por muitos autores (Ponting et al., 1966; Islam e Flink, 1982 a,b), e eles observaram, por exemplo, que a entrada de açúcar durante a osmose de frutos aumenta a estabilidade dos pigmentos da matéria-prima durante a secagem e armazenamento. A qualidade sensorial poderia ser melhorada também pelas mudanças na relação ° Brix/acidez na fruta. No entanto, comparando as frutas osmodesidratadas com as frescas, elas apresentam uma menor velocidade de remoção de água durante a etapa de secagem (Islam & Flink, 1982; Lerici et al., 1985; Rahman & Lamb, 1990; Torreggiani, 1993), o que pode ser explicado pela formação de uma camada de sólido na superfície.

Geralmente, a tendência de usar a desidratação osmótica como tratamento preliminar é dirigida principalmente ao melhoramento na qualidade do produto seco, e não na remoção de grandes quantidades de água (Lenart, 1996).

No entanto, um pré-estágio de desidratação osmótica pode diminuir o tempo de secagem por convecção necessário para a obtenção de alimentos de umidade intermediária com uma atividade de água entre 0,6 - 0,8 devido a uma menor quantidade de água a ser eliminada na etapa de secagem (Huxsoll, 1982), citado por

Raoult-Wack et al., (1992), provocando um aumento na capacidade de produção. Sob condições de produção industrial regular, uma redução do custo de energia de 40 a 50 % pode ser prevista (Lenart & Lewicki, 1988). Dependendo do projeto do processo, a redução de energia para um processo combinado de desidratação osmótica/secagem por convecção pode ser tão alto como 75 %, quando comparado com uma secagem regular por convecção (Lenart & Lewicki, 1988).

As características da secagem de alimentos pré-concentrados osmoticamente são muito importantes no projeto, operação e controle de secadores industriais. Na operação convencional da secagem com ar, a velocidade de secagem é usualmente controlada pelo transporte da umidade (difusão) dentro das peças de alimento (Saravacos, 1986). A difusividade efetiva da água, D_{eff} , é a principal propriedade de transporte, a qual é muito afetada pela estrutura física do material alimentício. Mudanças na difusividade da água são importantes também para a estabilidade no armazenamento das frutas desidratadas e a qualidade pode ser afetada pela mobilidade da água.

As amostras desidratadas osmoticamente previamente à secagem têm mostrado uma difusividade da água muito menor que a difusividade da água de materiais secos com ar diretamente, durante um processo de sorção (Bakalis et al., 1994 citado por Karathanos & Kostaropoulos, 1995). Isto poderia estender a vida de prateleira dos produtos (frutas e vegetais), comparado com materiais naturais secados com ar, durante o armazenamento em condições úmidas ou quando são usadas em combinação com outros alimentos.

2.6 Atividade de Água e Isotermas de Sorção.

A atividade de água é um tema bastante pesquisado, devido a sua importância na indústria de alimentos. É através desse parâmetro que pode-se diagnosticar o estado de conservação de um produto, pela sua relação direta com possíveis reações de deterioração (mudanças físicas, químicas e microbiológicas)

Segundo Rizvi (1986), o conhecimento das propriedades termodinâmicas envolvendo o comportamento de sorção da água em alimentos é importante para o processo de desidratação do mesmo, no que diz respeito à obtenção de dados sobre a concentração de equilíbrio da água em alimentos, e para analisar o transporte de massa e calor durante o processo. As relações envolvidas no equilíbrio água-alimento podem ser compreendidas supondo o alimento como um sistema em equilíbrio termodinâmico com o meio, à temperatura e umidade relativa constantes. Como está no equilíbrio, o potencial químico da água no alimento deve ser igual ao do vapor de água ao redor dele. A variação do potencial químico da água no alimento em relação à água pura, pode ser calculada em função da atividade de água (a_w), como:

$$a_w = \frac{P}{P_o} \quad (2.3)$$

onde p é a pressão de vapor de água no alimento, a uma determinada temperatura e p_o é a pressão da água pura na mesma temperatura.

Iglesias & Chirife (1982) apresentam as isotermas para berinjela determinadas por liofilização e secagem a vácuo através do método estático utilizando soluções de ácido sulfúrico. (figura 2).

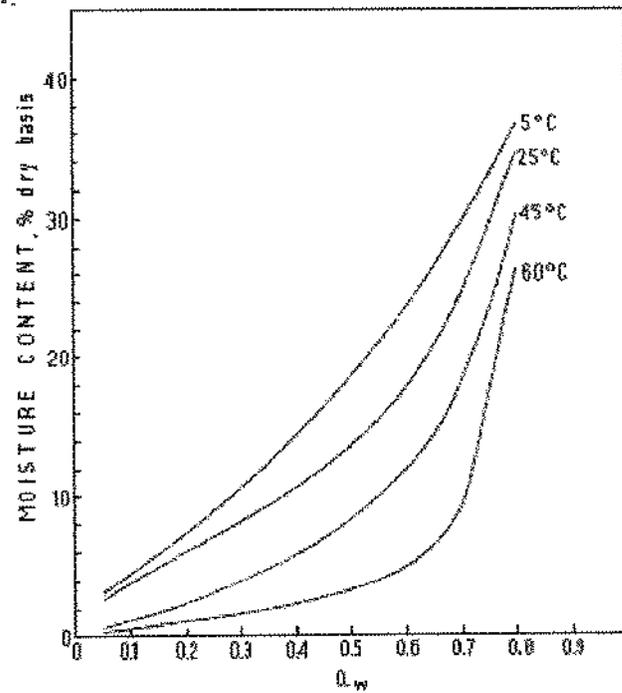


Figura 2. Isoterma de adsorção de berinjela liofilizada e seca a vácuo a 30° C antes da adsorção. (Iglesias & Chirife ,1982)

2.6.1 - Modelos matemáticos para ajuste de isotermas.

Existem inúmeras equações usadas para representar as curvas de sorção de alimentos, sendo que algumas delas são apresentadas a seguir (Brooker et al., 1974; Jowitt et al., 1983; Rizvi, 1986):

1. **Equação de BET** (Brunauer-Emmett-Teller, 1938): é uma equação com embasamento teórico e foi muito utilizada fornecendo um bom ajuste para uma variedade de alimentos na região de atividade de água entre 0,05 e 0,45; sendo expressa da seguinte forma:

$$\frac{a_w}{(1-a_w)} \frac{1}{X} = \frac{1}{X_m C} + \frac{a_w(C-1)}{X_m C} \quad (2.4)$$

onde a_w = atividade de água

X = teor de umidade (base seca)

X_m = teor de umidade de monocamada

C = constante relacionada ao calor de sorção, sendo,

$$C = k' \exp\left(\frac{\Delta H_{BET}}{RT}\right)$$

onde ΔH_{BET} é a entalpia de adsorção da monocamada e k' é uma constante da equação.

O conceito de teor de umidade da monocamada (X_m), tem sido bastante utilizado em alimentos, devido à sua relação com a estabilidade química e física de alimentos desidratados.

2. Equação de Halsey (1948): foi desenvolvida supondo-se que, a condensação ocorre em multicamadas, assumindo que o potencial de energia da molécula varia inversamente com uma distância (r) da superfície, resultando na seguinte equação:

$$a_w = \exp\left(\frac{-A}{RT\theta^r}\right) \quad (2.5)$$

onde A e r são parâmetros da equação

$$\theta = X_m / X$$

Para Halsey, o valor do parâmetro r está relacionado com a interação solvente-adsorvido.

Iglesias e Chirife (1976) reconheceram que o uso do termo RT não eliminava a dependência de A e r com a temperatura, simplificando a equação de Halsey, tornando-a:

$$a_w = \exp\left(\frac{-S}{X^r}\right)$$

onde S e r são parâmetros da equação.

3. Equação de Oswin (1946): este modelo é baseado na expansão de uma série matemática para curvas sigmoidais, aplicadas para isotermas:

$$X = m \left(\frac{a_w}{1-a_w} \right)^n \quad (2.6)$$

onde m e n são constantes da equação, sem nenhum significado físico.

4. Equação de Henderson (1952): trata-se de uma equação empírica, bastante aplicada para alimentos:

$$1-a_w = \exp(-BT(100X)^c) \quad (2.7)$$

onde B e c são constantes

T = temperatura absoluta, expressa em Kelvin (K)

5. Equação de GAB (Guggenheim-Anderson-De Boer): é um modelo de três parâmetros, fisicamente significativos, que tem sido sugerido como o modelo matemático mais versátil para a sorção de alimentos. É expressa da seguinte forma:

$$X = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)} \quad (2.8)$$

onde X_m = teor de umidade correspondente à saturação de todos os sítios de adsorção primários por uma molécula de água.

C = constante de Guggenheim pode-se calcular como:

$$C = c \exp\left(\frac{(H_m - H_n)}{RT}\right) \quad (2.9)$$

onde H_m = calor total de sorção da primeira camada

H_n = calor total de sorção das multicamadas

c = constante da equação

R = constante universal dos gases

T = temperatura

A constante K da equação 2.8 é definida como:

$$K = k_0 \exp\left(\frac{(\lambda - H_n)}{RT}\right) \quad (2.10)$$

onde λ = calor de condensação da água pura

k_0 = constante da equação

As vantagens encontradas para esta equação são o significado teórico da mesma; a descrição da sorção abrangendo uma faixa de atividade de água entre 0,1 e 0,9; a forma matemática simples, com parâmetros que possuem significado físico; e a capacidade de descrever alguns efeitos da temperatura.

O modelo GAB pode ser considerado uma extensão da equação de BET multimolecular para produtos de adsorção homogênea (Jowitt et al., 1983).

6. Equação de Peleg (1993) trata-se de uma equação empírica:

$$X = k_1 a_w^{n_1} + k_2 a_w^{n_2} \quad (2.11)$$

onde k_1 , k_2 , n_1 e n_2 são constantes.

a_w é a atividade de água.

3. MATERIAIS E MÉTODOS.

3.1 - Matéria-Prima

A matéria-prima utilizada foi berinjela da variedade “Long Market” obtida em um mercado local.

O preparo da matéria-prima foi feito com o seguinte procedimento: as berinjelas foram lavadas sucessivamente com água corrente, uma solução de detergente e depois novamente com água corrente, secas com papel absorvente para tirar a água da superfície e depois foram cortadas transversalmente ao eixo maior obtendo rodela de 10 mm de espessura.

Para a inativação da polifenil-oxidase escolheu-se o tratamento do item 2.2.1, T10: 0.1 % de ácido ascórbico + 0.2 % de ácido cítrico + 0.05 % de metabissulfito de sódio + calor (70 ° C durante 2 min). A solução anterior era aquecida e mantida a 70 ° C, depois colocavam-se as rodela de berinjela dentro dela por um período de 2 minutos, o material era retirado e resfriado à temperatura ambiente, para ser desidratado osmoticamente a “posteriori”.

3.2 Caracterização da matéria-prima

Uma série de análises químicas foram realizadas, a fim de avaliar a composição e características da matéria-prima.

Determinou-se a composição centesimal dos principais constituintes da berinjela como: umidade, cinzas, proteínas e açúcares redutores. As metodologias empregadas estão descritas a seguir:

3.2.1 Composição centesimal:

Açúcares Redutores

Método A.O.A.C. (13^o ed., 1978) - Método de Lane e Eynon.

Consiste em reduzir o cobre, presente na solução de Fehling, a solução cúprica, através de substâncias redutoras, constituídas principalmente por glicose e frutose, sendo, então quantificadas e calculadas como açúcares invertidos. A quantidade de açúcares redutores é expressa como porcentagem de glicose.

Proteínas:

Método Kjeldahl - Método A.O.A.C. (13^o ed., 1978)

As proteínas são determinadas pela quantidade de nitrogênio total da amostra. O método baseia-se no princípio que proteínas e compostos nitrogenados são descompostos na presença de H₂SO₄ concentrado a quente, produzindo sulfato de amônia. Este, em presença de solução de hidróxido de sódio libera NH₃, que é recebido na solução de ácido bórico. Da titulação desta última solução com HCl (normalidade conhecida) determina-se o teor de nitrogênio da amostra. Para cálculo da proteína bruta, basta multiplicar o resultado pelo fator geral (6.25) ou específico.

Cinzas:

Método A.O.A.C. (13^o ed., 1978): Em alimentos, as cinzas são os resíduos inorgânicos remanescentes da queima de matéria orgânica, sem resíduos de carvão. O perfil da cinza pode ser considerado como medida geral de qualidade e frequentemente é utilizado como critério na identificação de alimentos. O método fundamenta-se na perda de peso que ocorre quando o produto é incinerado, em uma mufla, a 525 ° C, com destruição da matéria orgânica, sem apreciável decomposição dos constituintes do resíduo mineral ou perda por volatilização.

Umidade:

Método A.O.A.C. (13^o ed., 1978): Consiste em pesar as amostras (aproximadamente 3 gramas) em pesa-filtros e secá-las em estufa de convecção forçada por 24 horas, à temperatura de 60 ° C. Em seguida são colocadas em estufa a vácuo por 12 horas à temperatura de 70 ° C.

3.3 Caracterização do produto

No produto processado foi determinado o conteúdo de sal , água e em alguns ensaios a atividade de água.

O teor de cloreto de sódio das amostras, com e sem desidratação osmótica, foi determinado pelo método de titulação direta recomendado por Mohr (Ranganna, 1986), que se descreve a seguir: uma amostras é colocada em um erlenmeyer, previamente tarado, e determina-se seu peso. Adiciona-se 100 ml de água destilada e coloca-se o erlenmeyer em um banho agitado durante 30 minutos. Filtra-se em um funil utilizando

papel filtro Whatman No. 41, recolhendo o filtrado em um balão de 250 ml, lava-se com água destilada o erlenmeyer que contém a amostra e filtra-se novamente. Esta última operação repete-se até completar o volume do balão. Retira-se uma alíquota (25 ou 50 ml), com pipeta volumétrica, da solução obtida, e coloca-se em um erlenmeyer para ajustar seu pH com uma solução de NaOH 0,1 N na faixa 6,5 - 11,5. Adiciona-se 0,5 ml de solução de K_2CrO_4 a 5 % p/p como indicador e titula-se com uma solução de $AgNO_3$ 0,1 N.

A atividade de água é determinada no equipamento medidor de atividade de água AquaLab model CX2, na temperatura de 25 ° C, segundo o seguinte procedimento.

Os potes com as amostras processadas eram colocados na geladeira, por um período de 1 dia, a fim de equilibrar a umidade. Então os potes eram retirados da geladeira para atingir a temperatura ambiente e poder medir a atividade de água.

O equipamento utilizado para esta determinação deve ser calibrado previamente utilizando diferentes soluções salinas ($LiCl$, $MgCl_2$, K_2CO_3 , $Mg(NO_3)_2$, $NaCl$ e KCl) saturadas e água (H_2O), colocadas em potes que possuem atividade de água conhecida à temperatura de 25 ° C. Cada uma das soluções era colocada no interior do equipamento para efetuar sua leitura e os valores que devem ser obtidos são (Tabela 3.1):

Tabela 3.1 Valores da atividade de água à temperatura de 25 ° C.

Solução Salina Saturada	a_w
LiCl	$0,113 \pm 0,003$
MgCl ₂	$0,328 \pm 0,002$
K ₂ CO ₃	$0,432 \pm 0,004$
Mg(NO ₃) ₂	$0,529 \pm 0,002$
NaCl	$0,753 \pm 0,001$
KCl	$0,843 \pm 0,003$
H ₂ O	$1,000 \pm 0,003$

O conteúdo de umidade antes e após o processo era determinado pelo método da A.O.A.C. (13^o ed., 1978), já descrito no item 3.2.

3.4. Desidratação Osmótica

A matéria prima devidamente limpa, cortada e inativada era colocada em béqueres de 600 ml que eram pesados juntamente com a salmoura aquecida à temperatura previamente selecionada para cada experimento, com uma relação produto/salmoura de 1:10, no caso, a temperatura foi variada de 25 até 45 ° C e a concentração de salmoura de 5 até 15 % p/p. A salmoura era preparada pela dissolução da quantidade requerida de NaCl (p/p) em água destilada. Os béqueres eram então colocados em banho termostático agitado, por tempos pré-determinados. Após o processo, a berinjela era drenada e colocada sobre papel absorvente para a remoção de solução em excesso.

As seguintes determinações eram realizadas em cada amostra: conteúdo de cloreto de sódio e umidade segundo os métodos descritos no item 3.2 e 3.3.

3.5 Determinação das condições de equilíbrio na desidratação osmótica.

As condições de equilíbrio foram determinadas realizando os processos de desidratação osmótica a tempos longos que asseguraram o alcance do equilíbrio.

As experiências foram feitas de maneira semelhante ao item anterior, só alterando os tempos de processo das amostras, sendo estes: 0, 6, 12, 24, 36 e 48 h.

As seguintes determinações eram realizadas em cada amostra: conteúdo de cloreto de sódio e umidade segundo os métodos descritos no item 3.2 e 3.3., e também a atividade de água utilizando o equipamento AquaLab model CX2, à temperatura de 25 ° C, segundo método descrito no item 3.3.

3.6 Isotermas de sorção

As isotermas de sorção foram determinadas através de dois métodos:

O método estático e o método utilizado por Crapiste e Rotstein (1982).

Método Estático-Direto: é baseado no método padronizado no projeto COST 90 (Jowitt et al., 1983). Neste caso, as amostras são equilibradas em soluções de

atividade de água conhecidas a uma dada temperatura e posteriormente, quando o equilíbrio é atingido, determina-se a umidade de equilíbrio. As isotermas foram realizadas por adsorção. As rodela de berinjela previamente inativadas foram desidratadas osmoticamente numa solução salina a 2 e 4 % p/p durante 20 min a 35 ° C. Foram cortadas em pedaços pequenos, para sua posterior liofilização, a fim de obter um sólido seco sem danificar a sua estrutura. Utilizou-se para isto o equipamento Hetosicc Freeze Dryer FD3, por um período de 12 horas, à temperatura de - 54 ° C. A seguir, conservaram-se as amostras em dessecador contendo P₂O₅ por 7 dias, com o objetivo de garantir a retirada máxima de umidade.

As amostras foram distribuídas em 10 potes contendo soluções salinas saturadas com diferentes umidade relativas, pesando em média 0,3 a 0,4 g. Os potes foram acondicionados em estufa de convecção forçada para garantir a temperatura constante de trabalho, no caso, às temperaturas de 25 e 40 ° C. Uma vez atingido o equilíbrio, num período de aproximadamente 30 dias, determinou-se o teor de umidade das amostras em uma estufa de convecção forçada (60 ° C, por 24 horas) e a seguir em estufa a vácuo (70 ° C, por 12 horas).

A seleção das soluções salinas utilizadas foi baseada em estudos anteriores de determinação de isotermas de sorção de alimentos, visando abranger o maior intervalo de umidade relativa, sendo que são elas: hidróxido de sódio (NaOH), cloreto de lítio (LiCl), cloreto de magnésio (MgCl₂), carbonato de potássio (K₂CO₃), nitrato de magnésio Mg(NO₃)₂, brometo de sódio (NaBr), nitrato de sódio (NaNO₃), cloreto de sódio (NaCl), cloreto de potássio (KCl) e cloreto de bário (BaCl₂)

Método Estático-Indireto, baseado no estudo por Crapiste e Rotstein (1982):

Este se baseia na preparação das amostras por secagem em períodos de tempo determinados. As amostras de umidades variadas são armazenadas para que sua umidade se nivele e posteriormente são determinadas simultaneamente a umidade e atividade de água de cada amostra.

As rodela de berinjela previamente inativadas e desidratadas osmoticamente numa solução salina a 2 e 4 % p/p foram cortadas em quatro partes cada uma, e foram submetidas a um processo de secagem em condições suaves. O equipamento utilizado foi um secador de bandejas com aquecimento elétrico, nas condições de temperatura do ar igual a 60 ° C, velocidade de 1.5 m/s e umidade relativa do ar ambiente de 75 %. O período do processo foi pré-determinado, totalizando 7 horas.

Com o objetivo de obter amostras com diferentes teores de umidade foram retiradas em intervalos previamente fixados (inicialmente 30 minutos, seguido de 15 minutos), e então foram acondicionadas em potes hermeticamente fechados.

Os potes eram colocados a temperatura ambiente, num período de 1 dia, a fim de equilibrar a umidade e temperatura das amostras. Posteriormente, mediram-se os valores da atividade de água, através de um sensor apropriado, no nosso caso, utilizou-se o equipamento AquaLab model CX2, nas temperaturas de 25 e 40 ° C, e paralelamente, determinou-se o teor de umidade das amostras, através do método padronizado para a berinjela, tal como citado anteriormente.

3.7 Equipamento de Secagem

3.7.1 - Secador de bandeijas com aquecimento elétrico

Utilizou-se um secador de bandeijas, projetado e construído no Departamento de Engenharia de Alimentos, Unicamp. Este equipamento já foi utilizado em várias pesquisas anteriores, tais como a desidratação de cebola (Hubinger, 1984), secagem de fatias de cebola (Silva, 1985), secagem de proteína texturizada de soja (Romero, 1988). Este secador possui as seguintes características físicas:

a) Cabine de secagem: consta de um corpo vertical de madeira compensada de 2 cm de espessura, de seção quadrada de 441 cm², de 2.2 m de altura, com oito compartimentos individuais para encaixe das bandeijas. Cada compartimento tem uma porta de acesso à bandeija.

b) Bandeijas: feitas em alumínio, bitola 18, com 400 cm² de área e 10 cm de altura, com rebarbas de 1 cm nas extremidades superior e inferior, permitindo a sustentação no secador e garantindo a passagem do ar exclusivamente através do leito. O fundo da tela é confeccionado em aço inoxidável, com malha quadrada, com 1,2 mm de abertura.

c) Ventilador: A alimentação do ar atmosférico é efetuada através do ventilador centrífugo de marca Asten, que está ligado a um motor trifásico assíncrono de 0,7 HP, 3400 rpm e 60 Hz. A ligação do mesmo é feita através de tubos PVC com 10 cm de

diâmetro interno e 2,5 m de comprimento. Na saída do ventilador há um controlador de vazão de gás. A tubulação da cabine, está ligada a um cone invertido para suavizar a expansão de ar.

d) Sistema de aquecimento: o ar ambiente é aquecido eletricamente através de um sistema de resistências de fio Ni-Cr de resistividade 2,122 Ω/m de 30 m de comprimento, cada uma delas enrolada em suportes de amianto. Três estão colocadas em paralelo em conexões independentes, e uma ligada em série com um transformador variável do tipo Variac, para efetuar o controle da temperatura do ar por um ajuste fino.

A cabine de madeira possui orifícios, permitindo a instalação de termopares antes e depois de cada bandeija, possibilitando a medida da temperatura do ar de entrada e saída de secagem.

3.8 Operação do secador

As amostras desidratadas osmoticamente durante 20 minutos, à temperatura de 35 ° C e uma concentração salina de 10 % p/p, eram colocadas em uma bandeija de peso conhecido e eram pesadas conjuntamente para conhecer seu peso por diferença. O secador era aquecido previamente à temperatura selecionada (40, 50, 60 e 70 ° C) e quando esta era alcançada colocava-se a bandeija com as amostras, pesando-a cada a

15 minutos até um tempo de 5 horas. Com os dados obtidos determinou-se a cinética de secagem. Tal procedimento, também foi feito para amostras sem desidratação osmótica.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Caracterização da Berinjela

A caracterização química da berinjela foi feita sob a forma *in natura* utilizando técnicas padronizadas descritas no item 3.2. Na tabela 4.1, pode-se observar os resultados das análises

Tabela 4.1 Composição da berinjela

Componente	% peso
Umidade	92,74
Proteínas	1,31
Sólidos totais	7,26
Cinzas	0,41
Açúcares Redutores	2,01

Os resultados obtidos são semelhantes aos encontrados na literatura, item 2.1.2.

4.2 Desidratação Osmótica

Estudou-se a cinética da desidratação osmótica da beringela, avaliando-se o efeito das principais variáveis do processo, como a temperatura e a concentração da solução osmótica (NaCl). A temperatura variou de 25 a 45 ° C e a concentração de sal de 5 a 15 %.

As figuras 4.1, 4.2 e 4.3 mostram a cinética de desidratação osmótica a três concentrações de solução salina (5, 10 e 15 % p/p) e a três temperaturas (25, 35 e 45

° C). O ganho de cloreto de sódio é mostrado nas figuras, tendo lugar principalmente na primeira hora e depois o aumento é muito menor com o passar do tempo. À maior concentração e temperatura, o ganho de cloreto de sódio aumenta. A uma temperatura de 45 ° C constatou-se que a textura do tecido celular amolece; este fato impossibilitaria o manuseio do produto durante a secagem. Ao mesmo tempo, não é recomendável o uso de longos tempos de desidratação osmótica, pelo custo do processamento, para obter ganhos de soluto desprezíveis.

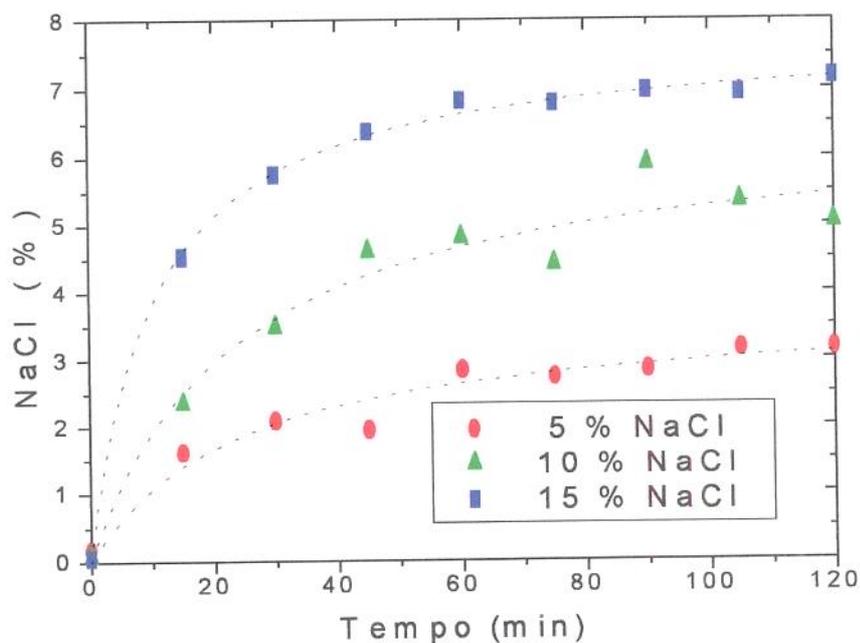


Figura 4.1 Cinética da desidratação osmótica a uma temperatura de 25 °C e três concentrações de cloreto de sódio (5, 10 e 15 % p/p)

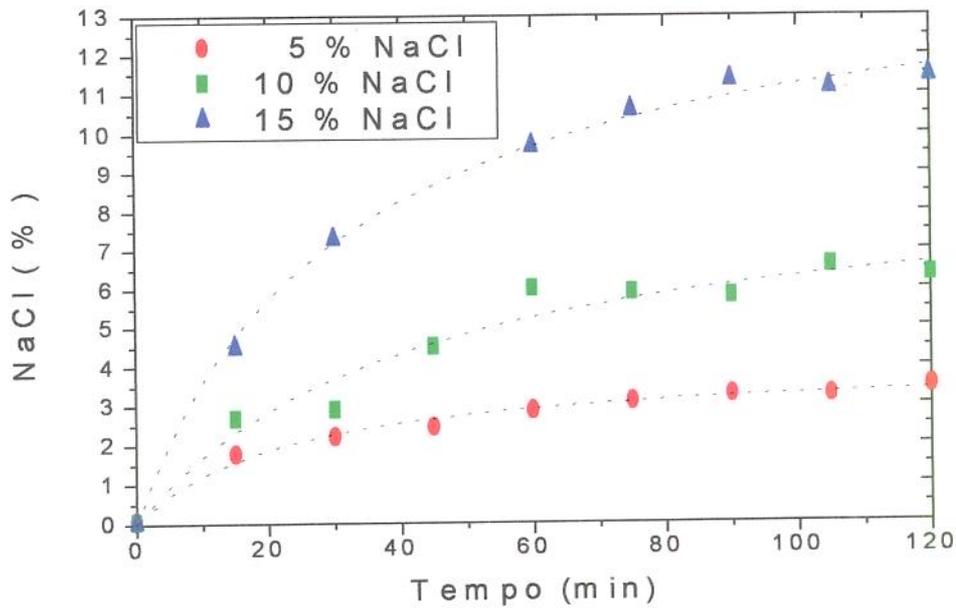


Figura 4.2 Cinética da desidratação osmótica a uma temperatura de 35 °C e três concentrações de cloreto de sódio (5, 10 e 15 % p/p).

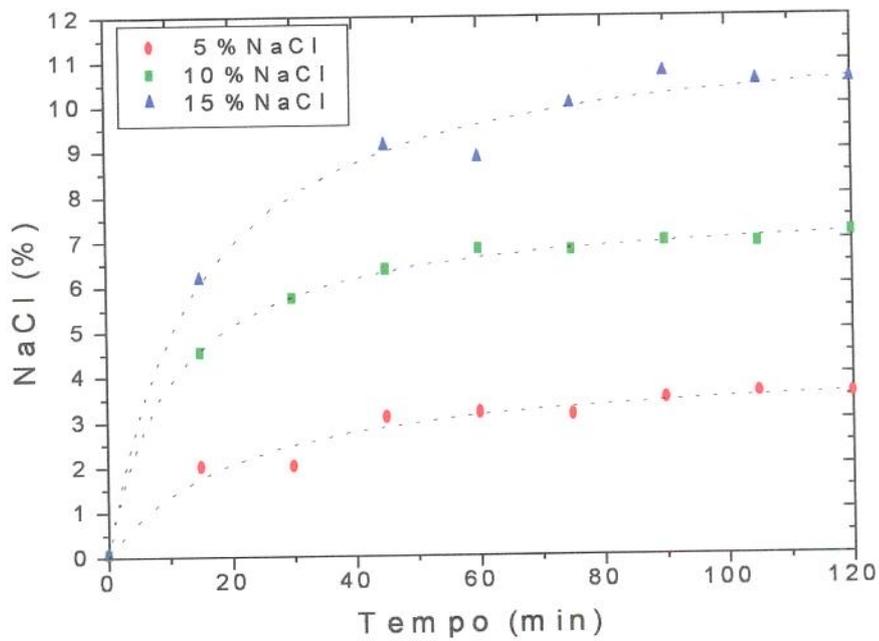


Figura 4.3 Cinética da desidratação osmótica a uma temperatura de 45 °C e três concentrações de cloreto de sódio (5, 10 e 15 % p/p).

As figuras 4.4, 4.5 e 4.6 mostram o conteúdo de umidade ao longo do processo de desidratação osmótica a 25, 35 e 45 ° C, para concentrações de solução osmótica de 5, 10 e 15 %, de cloreto de sódio, respectivamente. Pode-se observar uma forte influência da concentração da solução osmótica sobre a perda de água e uma influência um pouco menor da temperatura. Constatou-se um aumento no conteúdo de umidade após 90 minutos do processamento a 35 e 45 ° C, isto talvez possa ser explicado por danos na estrutura do tecido celular que provoca a reidratação dos sólidos.

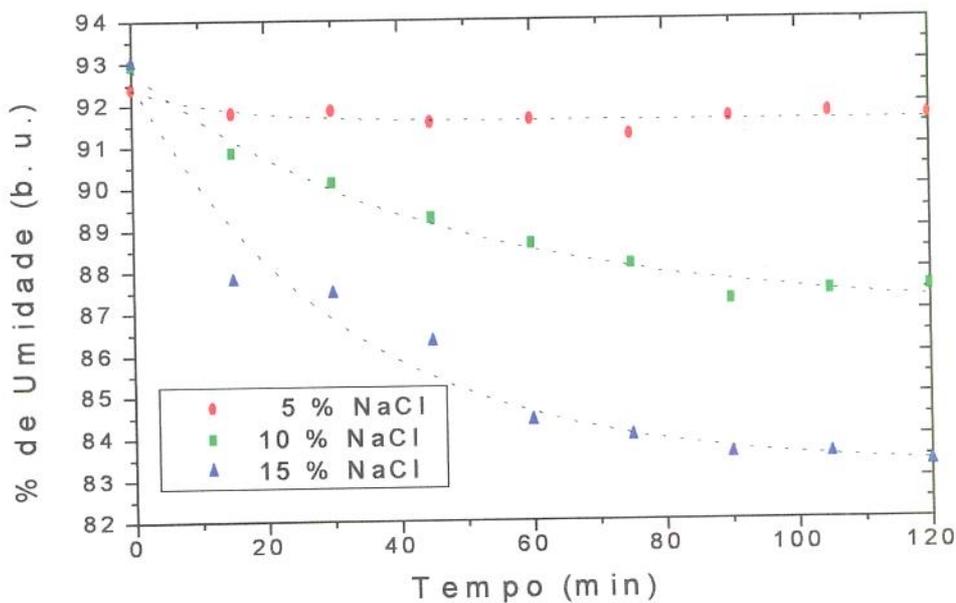


Figura 4.4 Perda de água em função do tempo a uma temperatura de 25 ° C e a três concentrações de cloreto de sódio (5, 10 e 15 % p/p).

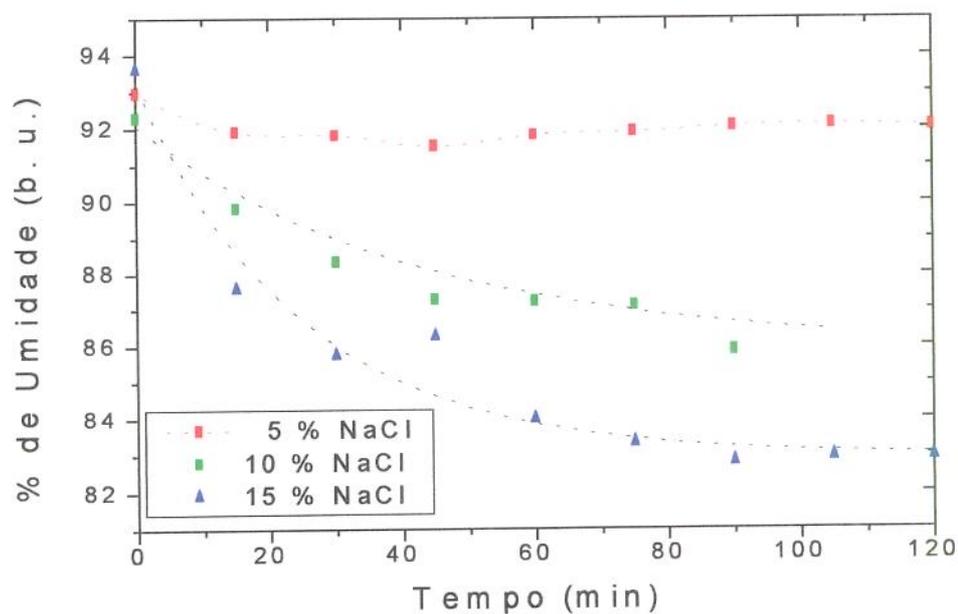


Figura 4.5 Perda de água em função do tempo a uma temperatura de 35 ° C e a três concentrações de cloreto de sódio (5, 10 e 15 % p/p).

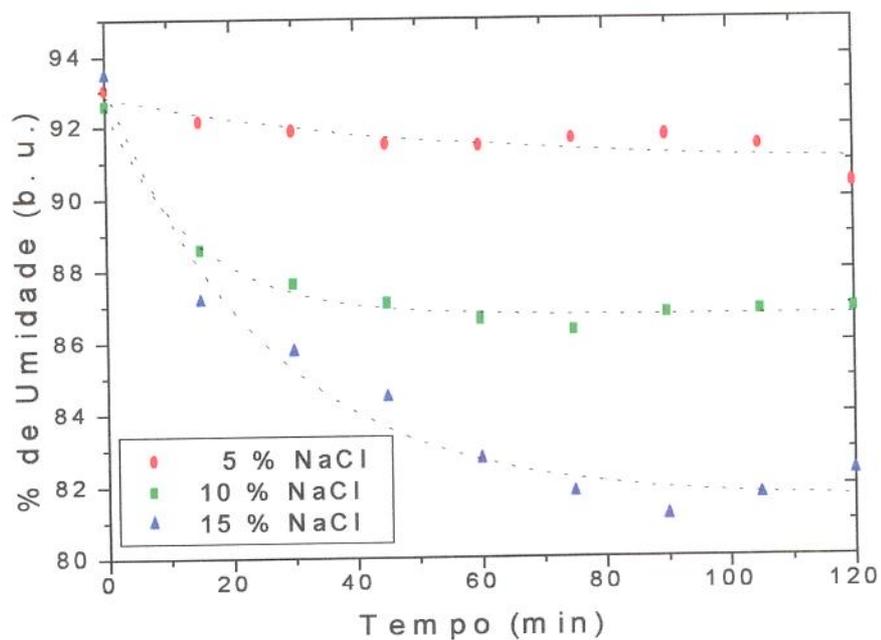


Figura 4.6 Perda de água em função do tempo a uma temperatura de 45 ° C e a três concentrações de cloreto de sódio (5, 10 e 15 % p/p).

A cinética da perda de água e o ganho de soluto depende das propriedades do tecido vegetal (possivelmente afetado pelos pré-tratamentos como calor ou agentes químicos, ou congelamento). Também depende das variáveis de operação, tais como a área superficial dos pedaços de alimento, temperatura, tempo de tratamento, concentração e composição da solução (por exemplo peso molecular do soluto e presença de ions), e tipo de contato (sólido/liquido, sólido/sólido).

A perda de água ocorre no interior de todo o produto, ainda que o soluto pode estar localizado em uns 2 ou 3 mm de profundidade, em uma camada superficial, (Hawkes & Flink, 1978; Islam & Flink, 1982 a,b; Bolin et al., 1983). De acordo com alguns autores, a entrada de soluto está limitada a espaços extracelulares (Hawkes & Flink, 1978; Bolin et al., 1983). No entanto Mauro & Menegalli (1995), trabalhando na desidratação osmótica de banana com sacarose, demonstraram que a operação de branqueamento danifica as membranas celulares, provocando uma perda de seletividade e uma entrada de sólidos nos espaços intercelulares. O cloreto de sódio pode difundir-se muito mais que outros solutos no produto, devido a seu peso molecular menor. No tecido de batata, a profundidade da penetração chega de 4 a 18 mm para o intervalo de temperatura entre 20 e 40 ° C, quando tempo de duração varia de 1 - 21 horas segundo Lewicki et al., (1984 b) citado por Raoult-Wack et al., (1992).

4.3 Equilíbrio

As figuras 4.7, 4.8 e 4.9, mostram as experiências a tempos de desidratação longos, às mesmas temperaturas e às mesmas concentrações anteriormente

mencionadas para obtenção dos valores de conteúdo de sal, água e atividade de água no equilíbrio. Foi observado que o ganho de cloreto de sódio é mantido constante após 6 horas de tratamento alcançando a condição de equilíbrio.

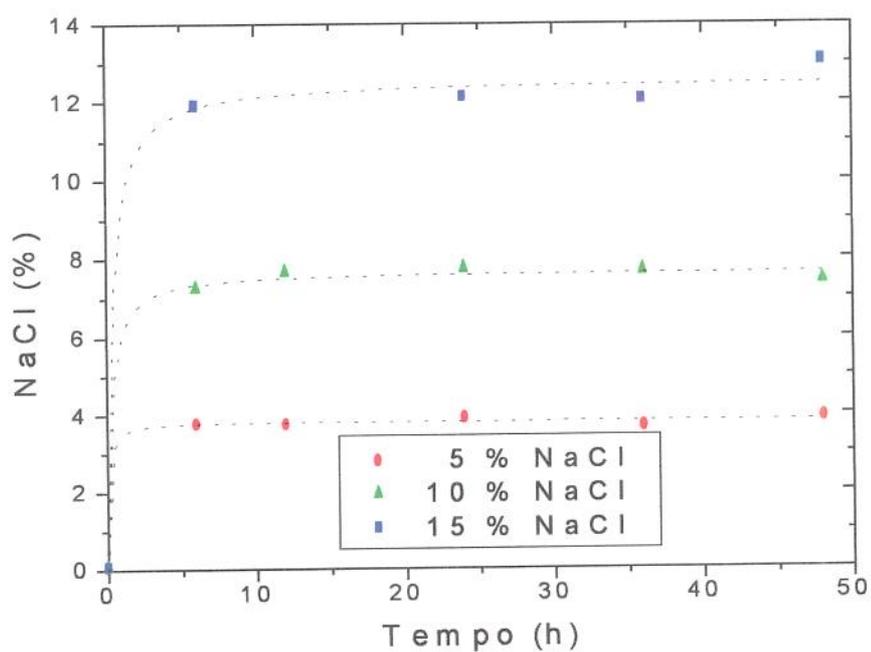


Figura 4.7 Cinética de equilíbrio da desidratação osmótica em função do tempo a uma temperatura de 25 ° C e três concentrações de cloreto de sódio (5, 10 e 15 % p/p).

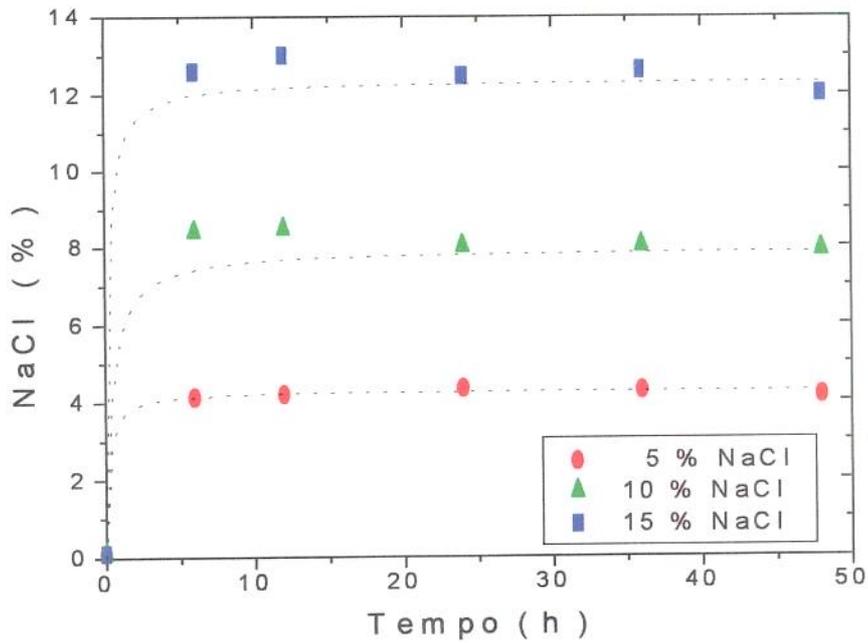


Figura 4.8 Cinética de equilíbrio da desidratação osmótica em função do tempo a uma temperatura de 35 ° C e três concentrações de cloreto de sódio (5, 10 e 15 % p/p).

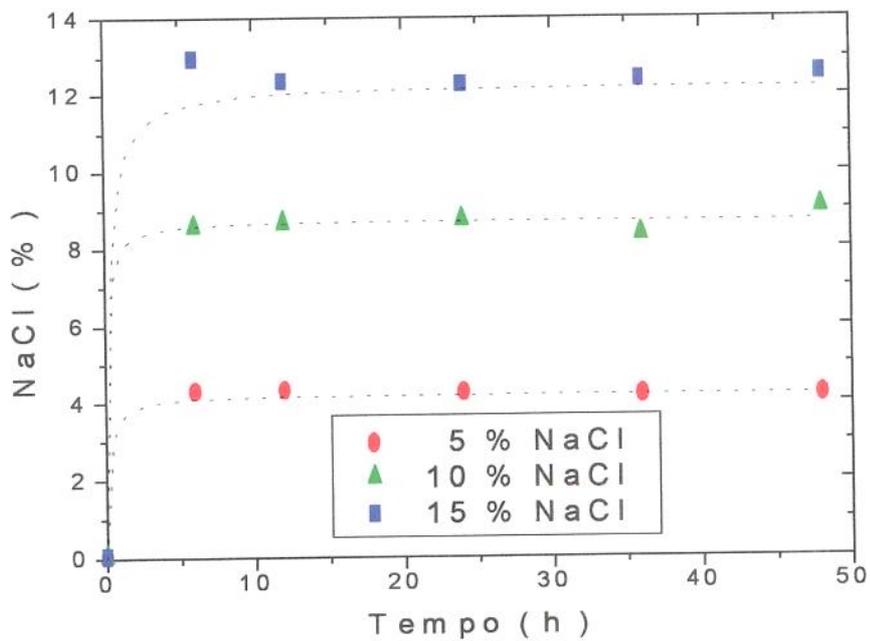


Figura 4.9 Cinética de equilíbrio da desidratação osmótica em função do tempo a uma temperatura de 45 ° C e três concentrações de cloreto de sódio (5, 10 e 15 % p/p).

Determinou-se também a atividade de água ao longo da desidratação osmótica e os resultados são mostrados nas Tabelas 4.2 e 4.3. Na Tabela 4.3 são apresentados os dados de equilíbrio calculados também sobre a base solução, ou seja, a composição da solução intercelular. Pode observar-se que a solução tem concentração só um pouco menor que a do meio externo. Isto poderia interpretar-se como que praticamente todo o sólido está disponível para o cloreto de sódio a exceção de uma fração, da ordem de 20 %.

Tabela 4.2 Dados de equilíbrio durante o tratamento osmótico.

Temperatura (° C)	Tempo (h)	Concentração da solução salina(%)	Concentração (g de NaCl/g de solução salina)	a_w
25	0	5	0,001066	0,991
25	6	5	0,04301	0,971
25	12	5	0,04368	0,971
25	24	5	0,04465	0,970
25	36	5	0,04465	0,970
25	48	5	0,04282	0,971
35	0	10	0,001066	0,991
35	6	10	0,08752	0,946
35	12	10	0,08843	0,941
35	24	10	0,08454	0,941
35	36	10	0,08451	0,940
35	48	10	0,08295	0,940
45	0	15	0,001066	0,991
45	6	15	0,13203	0,904
45	12	15	0,13587	0,899
45	24	15	0,13068	0,902
45	36	15	0,13319	0,896
45	48	15	0,12571	0,902

Tabela 4.3 Comparação entre as concentrações de equilíbrio (base massa total e base solução) e as concentrações das soluções desidratantes.

Condições de operação	Concentração de equilíbrio no fruto base massa total	Concentração de equilíbrio no fruto base solução	Concentração da solução desidratante
Cloreto de sódio	3,89	4,03	5
Água 25 ° C	92,57	95,97	95
Cloreto de sódio	4,13	4,29	5
Água 35 ° C	92,20	95,71	95
Cloreto de sódio	4,19	4,38	5
Água 45 ° C	91,48	95,62	95
Cloreto de sódio	7,40	7,77	10
Água 25 ° C	87,80	92,23	90
Cloreto de sódio	7,89	8,30	10
Água 35 ° C	87,21	91,70	90
Cloreto de sódio	9,02	9,27	10
Água 45 ° C	88,26	90,73	90
Cloreto de sódio	13,02	13,64	15
Água 25 ° C	82,40	86,86	85
Cloreto de sódio	11,99	12,57	15
Água 35 ° C	83,42	87,43	85
Cloreto de sódio	12,56	13,08	15
Água 45 ° C	83,49	86,92	85

Tabela 4.4 Dados de equilíbrio do tratamento osmótico após 48 h.

Temperatura (° C)	Concentração da solução salina(%)	NaCl (%)	Umidade (%) (b.u.)	a_w
25	5	3,89	92,57	0,972
35	5	4,13	92,20	0,971
45	5	4,19	91,48	0,969
25	10	7,40	87,80	0,939
35	10	7,89	87,21	0,941
45	10	9,02	88,26	0,941
25	15	13,02	82,40	0,901
35	15	11,99	83,42	0,902
45	15	12,56	83,49	0,901

Pode ser visto que as atividades de água finais depois do tratamento osmótico são ainda altas cerca de $a_w = 0.9$, sendo um dos tratamentos mais efetivos a 45°C e uma solução ao 15 % p/p de cloreto de sódio. Consequentemente será necessária uma diminuição adicional no conteúdo de água, para a preservação do alimento.

Nas Tabelas 4.5 e 4.6 mostram-se os coeficientes de partição calculados para berinjela com branqueamento e para batata sem branqueamento (Wang & Sastry, 1993). Este coeficiente resulta da razão entre a concentração de equilíbrio do sólido e a concentração da solução desidratante. Pode observar-se que embora as condições operacionais e a faixa de concentração utilizada sejam diferentes (no caso da batata, não tem-se branqueamento inicial), os valores determinados por Wang & Sastry tenderiam aos determinados neste trabalho com o aumento da concentração. Verifica-se

portanto um aumento rápido do coeficiente de partição com a concentração. Isto poderia ser explicado por uma progressiva desnaturação do tecido pela solução salina.

Não existendo uma influência muito clara em relação à temperatura.

Tabela 4.5 Coeficientes de partição para a berinjela

Condição de operação	Coeficiente de partição
25 °C, 5 % NaCl	0,778
25 °C, 10 % NaCl	0,740
25 °C, 15 % NaCl	0,868
35 °C, 5 % NaCl	0,826
35 °C, 10 % NaCl	0,789
35 °C, 15 % NaCl	0,799
45 °C, 5 % NaCl	0,838
45 °C, 10 % NaCl	0,902
45 °C, 15 % NaCl	0,837

Tabela 4.6 Coeficientes de partição para a batata (Wang & Sastry, 1993) a 25 ° C

Concentração salina (%)	Coeficiente de partição
1,0	0,4946
1,5	0,5467
2,0	0,7072
2,5	0,7124
3,0	0,7333

4.4 Coeficiente de Difusividade Aparente na Desidratação Osmótica.

Os dados do conteúdo de água e sal em função do tempo foram correlacionados através da equação de Fick, considerando que as rodela de beringela se comportam como placas planas de semiespessura igual a 0,5 cm, dado que a casca é considerada impermeável. Será desconsiderado o fluxo global de massa e a contração ao longo da desidratação osmótica.

Para o cálculo da difusividade aparente do cloreto de sódio, foram correlacionados os dados do conteúdo de sal em função do tempo através da seguinte equação, equivalente à equação 2.2 para água:

$$\frac{C_0 - C(t)}{C_0 - C_{eq}} = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(\frac{-D(2n+1)^2 \pi^2 t}{4L^2}\right) \quad (4.1)$$

Onde utilizaram-se os dados de equilíbrio da tabela 4.2 e concentração inicial (C_0) de cloreto de sódio na berinjela. A série se mostrou convergente a partir de 4 termos, não apresentando variação nos valores dos coeficientes obtidos para um número maior de termos. Para o cálculo da difusividade aparente, utilizou-se o programa Statística 5.0.

Nas figuras 4.10 a 4.12 podemos observar os ajustes para a concentração de cloreto de sódio em função do tempo para 5 % e 15 % de cloreto de sódio, na solução desidratante, para as três temperaturas (No Apêndice I se apresentam as figuras para a

concentração de 10 % de cloreto de sódio, na solução desidratante, para as três temperaturas).

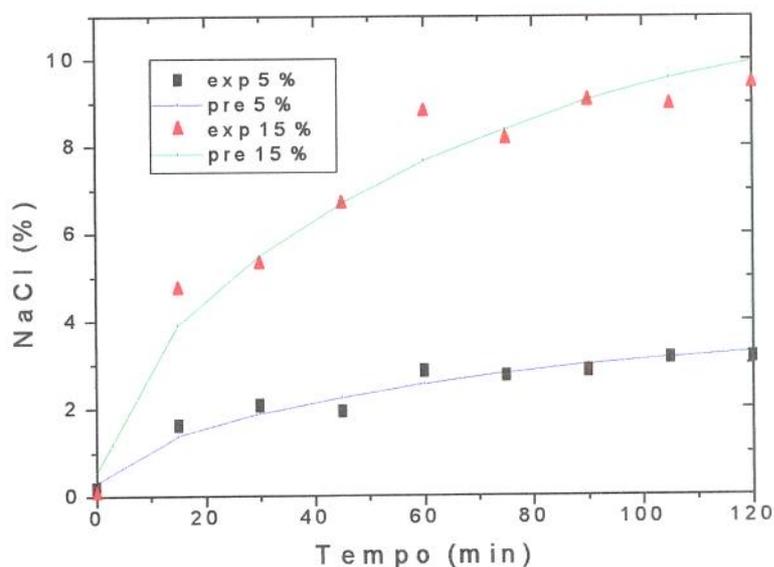


Figura 4.10 Valores experimentais e preditos da cinética de desidratação osmótica em função do tempo, a uma temperatura de 25 ° C e soluções de cloreto de sódio a 5 e 15 % p/p

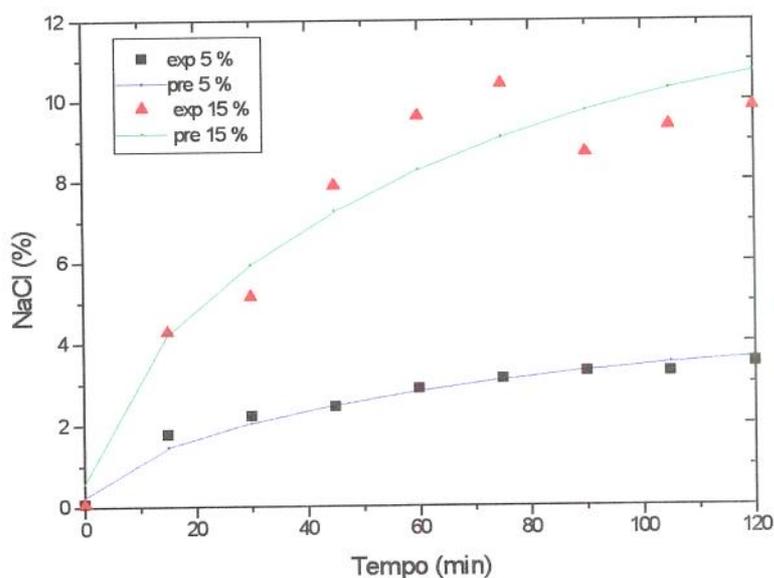


Figura 4.11 Valores experimentais e preditos da cinética de desidratação osmótica em função do tempo, a uma temperatura de 35 ° C e soluções de cloreto de sódio a 5 e 15 % p/p

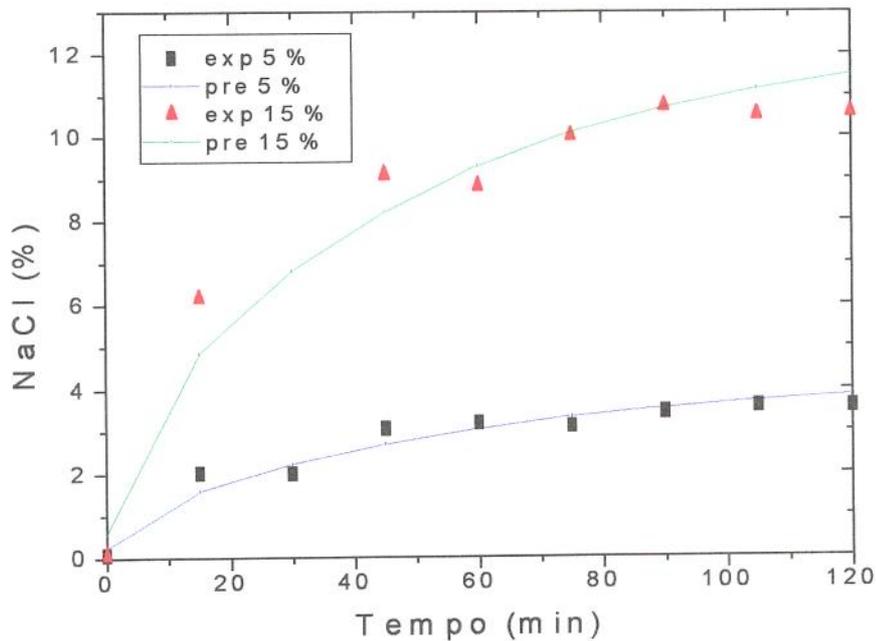


Figura 4.12 Valores experimentais e preditos da cinética de desidratação osmótica em função do tempo, a uma temperatura de 45°C e soluções de cloreto de sódio a 5 e 15 % p/p

Pode observar-se um bom ajuste para os dados de 25°C (iguais tendências se verificam para 35°C). A 45°C , parece que os dados de equilíbrio obtidos nas experiências de tempos longos, não representam bem o equilíbrio a tempos curtos. Ou seja, que a tempos de 90 a 120 minutos, obtém-se uma pseudo-concentração de equilíbrio menor que a obtida nos ensaios de equilíbrio. Como já foi mencionado, isto pode ser devido à mudança da estrutura do tecido por injúria térmica.

Os valores obtidos de difusividade, para cloreto de sódio usando quatro termos da equação anterior para as nove condições de operação mostram-se na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 Valores do coeficiente de difusividade aparente de cloreto de sódio a diferentes condições de desidratação osmótica.

Condição de operação	$D_{ap} \text{ sal (m}^2/\text{s. } 10^{10} \text{)}$	R^2	R
25 °C, 5 % NaCl	0,242	0,95434	0,97690
25 °C, 10 % NaCl	0,189	0,90655	0,95213
25 °C, 15 % NaCl	0,239	0,96022	0,97991
35 °C, 5 % NaCl	0,246	0,97477	0,98730
35 °C, 10 % NaCl	0,218	0,95518	0,97733
35 °C, 15 % NaCl	0,242	0,91809	0,95817
45 °C, 5 % NaCl	0,293	0,94761	0,97345
45 °C, 10 % NaCl	0,351	0,89223	0,94458
45 °C, 15 % NaCl	0,321	0,95453	0,97700

Analisando os valores para a difusividade de cloreto de sódio, pode observar-se uma tendência ligeira de aumento com a temperatura e um efeito não muito conclusivo com relação à concentração.

Os dados de conteúdo de água em função do tempo foram correlacionados através da seguinte equação:

$$\frac{X(t) - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(\frac{-D(2n+1)^2 \pi^2 t}{4L^2}\right) \quad (4.2)$$

A equação resultou convergente quando se consideram quatro termos dela.

Nas figuras 4.13 a 4.15 pode observar-se o ajuste para as diferentes concentrações para $T = 45 \text{ }^\circ\text{C}$. (No Apêndice II se apresentam os gráficos para as mesmas concentrações e a outras temperaturas)

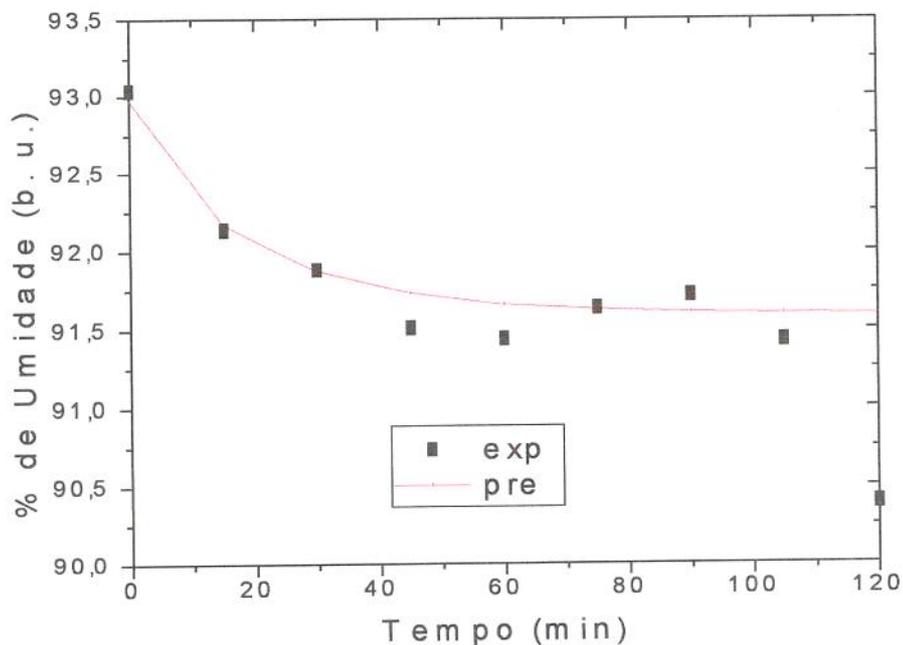


Figura 4.13 Valores experimentais e preditos da perda de água em função do tempo a uma temperatura de 45 ° C e uma concentração de solução de cloreto de sódio de 5 % p/p.

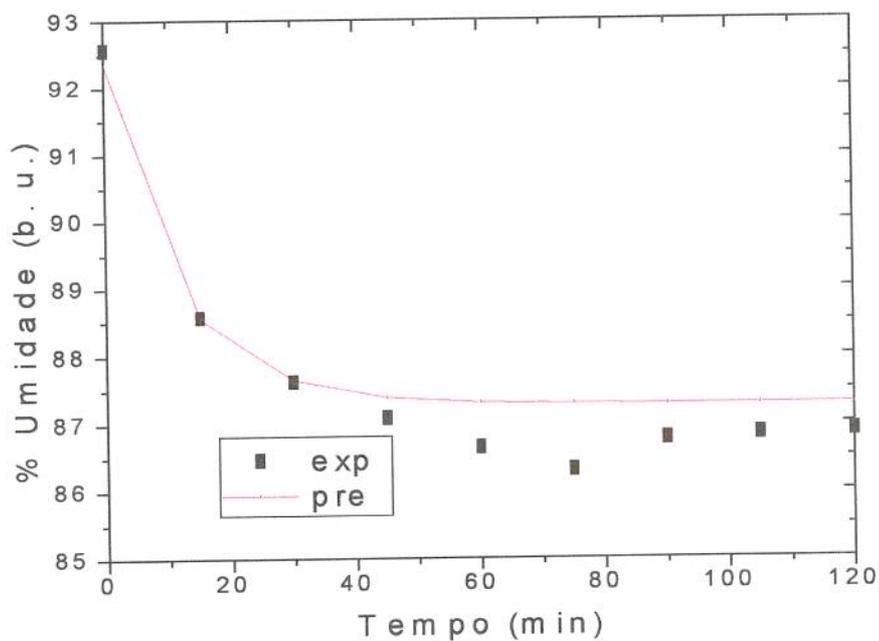


Figura 4.14 Valores experimentais e preditos da perda de água em função do tempo a uma temperatura de 45 ° C e uma concentração de solução de cloreto de sódio de 10 % p/p.

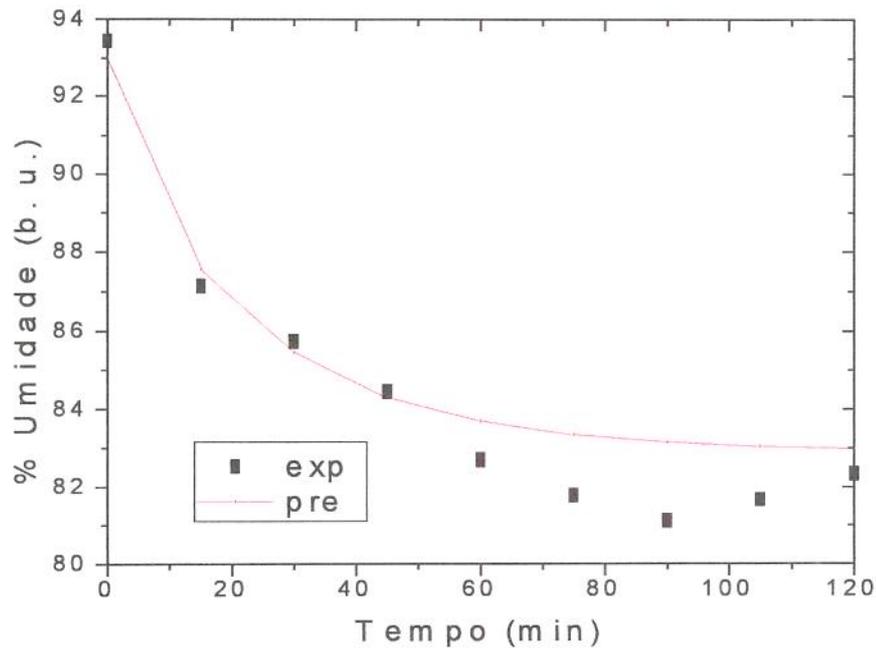


Figura 4.15 Valores experimentais e preditos da perda de água em função do tempo a uma temperatura de 45 ° C e uma concentração de solução de cloreto de sódio de 15 % p/p.

O mesmo efeito de afastamento do ajuste a tempos longos se verifica.

Os coeficientes determinados absorvem este erro, sendo que as difusividades reais para a água nos primeiros 60 minutos foram maiores que as medias determinadas.

Os valores obtidos da difusividade usando quatro termos da equação (4.2) para as nove condições de operação mostram-se na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 Valores do coeficiente de difusividade aparente da água a diferentes condições de desidratação osmótica.

Condição de operação	D_{ap} água ($m^2/s \cdot 10^{10}$)	R^2	R
25 °C, 5 % NaCl	Não converge	----	-----
25 °C, 10 % NaCl	0,362	0,95958	0,97958
25 °C, 15 % NaCl	0,401	0,97576	0,98780
35 °C, 5 % NaCl	0,372	0,99211	0,99605
35 °C, 10 % NaCl	0,466	0,91037	0,95413
35 °C, 15 % NaCl	0,446	0,95574	0,97762
45 °C, 5 % NaCl	0,791	0,98731	0,99364
45 °C, 10 % NaCl	1,363	0,99656	0,99828
45 °C, 15 % NaCl	0,681	0,99005	0,99501

Tendências similares às apresentadas pela difusividade do cloreto de sódio podem ser encontradas para as difusividades da água (Tabela 4.8). Nas figuras 4.16 e 4.17 se apresentam as difusividades em função do inverso da temperatura. Pode observar-se que a dispersão dos dados não permite assegurar que se cumpra uma função do tipo Arrhenius.

$$D = D_0 e^{-\frac{EA}{RT}}$$

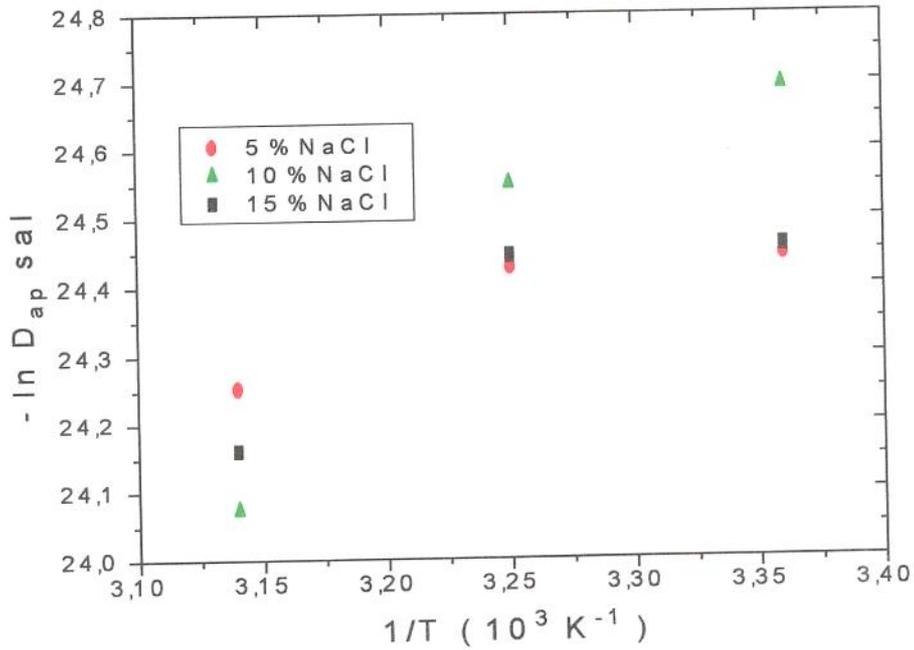


Figura 4.16 Coeficiente de difusão aparente do sal em função do inverso da temperatura absoluta para as três concentrações da solução de cloreto de sódio (5, 10 e 15 % p/p).

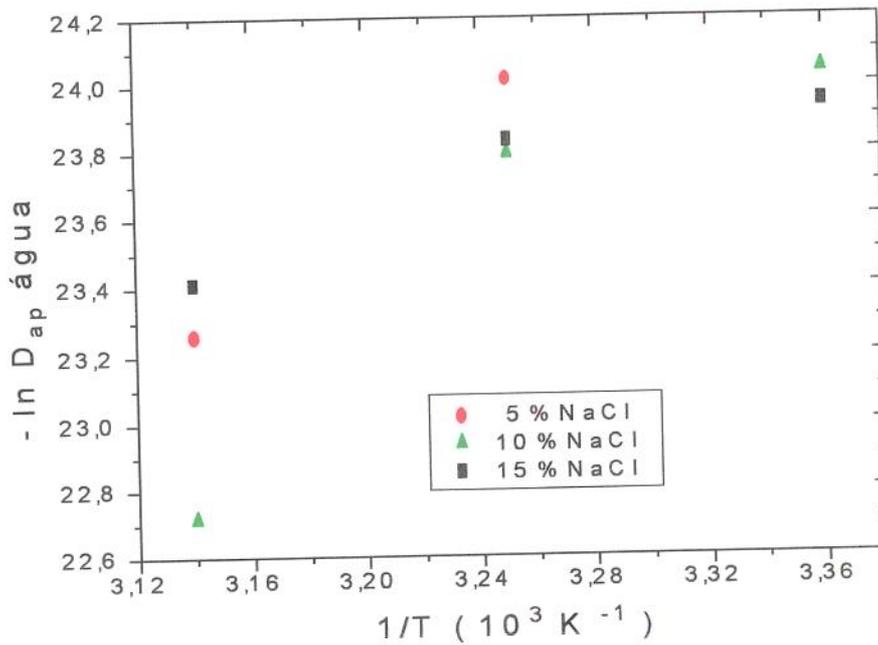


Figura 4.17 Coeficiente de difusão aparente do água em função do inverso da temperatura absoluta para as três concentrações da solução de cloreto de sódio (5, 10 e 15 % p/p).

Os valores obtidos para as difusividades de água e cloreto de sódio na berinjela são da ordem de dez vezes menor que os relatados por Baroni (1997) para a cebola, e que se encontram na tabela 4.9. Por outro lado, são da mesma ordem de grandeza que os relatados por Neves (1998) na salga úmida de carne bovina. Neste caso, os valores de difusividade da água (D_{ap} água) foram de 0,056 e $0,181 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ a 10 e 20 ° C, respectivamente, e a difusividade do sal (D_{ap} sal) de $0,247$ e $0,262 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ a 10 e 20 ° C, respectivamente. Na salga seca de carne bovina, os valores de D_{ap} água foram de $4,09$ e $8,63 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ a 10 e 20 ° C, respectivamente e a D_{ap} do sal de 17,21 e $19,37 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ a 10 e 20 ° C, respectivamente.

Tabela 4.9 Coeficientes de Difusão Aparente para Água e Cloreto de sódio.

NaCl (%)	Temp (° C)	D_{ap} água ($\text{m}^2/\text{s} \cdot 10^{10}$)	R^2	D_{ap} sal ($\text{m}^2/\text{s} \cdot 10^{10}$)	R^2
5	22	3,26	0,94	1,43	0,94
5	30	7,23	0,96	1,57	0,94
5	40	8,97	0,96	3,44	0,93
10	22	4,54	0,96	2,12	0,95
10	30	7,71	0,97	2,87	0,93
10	40	10,45	0,97	4,82	0,93
15	22	4,62	0,97	2,86	0,97
15	30	7,76	0,97	3,40	0,93
15	40	12,73	0,96	5,04	0,93

Fonte: Baroni, A. (1997)

Os dados obtidos por Baroni (1997), foram calculados considerando a difusão por todos os lados do cubo da cebola, além disso a cebola não foi branqueada.

Quando comparamos os valores com as experiências de Wang & Sastry (1993) para difusão de cloreto de sódio em batata em fluxo unidireccional (Tabela 4.10), pode observar-se que os valores obtidos por estes autores são dez vezes maiores que os obtidos neste trabalho.

Tabela 4.10 Coeficientes de Difusão Aparente para Cloreto de sódio a 25 ° C.

Concentração de NaCl (%)	$D_{ap} \text{ sal (m}^2/\text{s. } 10^{10} \text{)}$
1,0	3,6
2,0	4,1
3,0	4,6

Estes autores detectam amolecimento e destruição do tecido durante as experiências de desidratação osmótica a 25 ° C, o que aparentemente não teria acontecido nas experiências de equilíbrio. Estes resultados são diferentes aos encontrados aqui e em outros trabalhos (Mauro, 1998).

Na tabela 4.11 se apresentam todos os dados de difusividade e a relação entre a difusividade do cloreto de sódio e da água. Pode observar-se que a difusividade do cloreto de sódio é sempre menor que a da água, em uma proporção que vai de

aproximadamente 60 % a 25 %, onde as menores proporções se obtêm quando se aumenta a temperatura.

Tabela 4.11 Coeficientes de Difusão Aparente para Água e Cloreto de sódio da berinjela.

Condição de operação	$D_{ap} \text{ água (m}^2/\text{s. } 10^{10})$	R^2	$D_{ap} \text{ sal (m}^2/\text{s. } 10^{10})$	R^2	$D_{ap} \text{ sal / } D_{ap} \text{ água}$
25 °C, 5 % NaCl	Não converge	---	0,242	0,95434	-----
25 °C, 10 % NaCl	0,362	0,95958	0,189	0,90655	0,522
25 °C, 15 % NaCl	0,401	0,97576	0,239	0,96022	0,596
35 °C, 5 % NaCl	0,372	0,99211	0,246	0,97477	0,661
35 °C, 10 % NaCl	0,466	0,91037	0,218	0,95518	0,468
35 °C, 15 % NaCl	0,446	0,95574	0,242	0,91809	0,543
45 °C, 5 % NaCl	0,791	0,98731	0,293	0,94761	0,370
45 °C, 10 % NaCl	1,363	0,99656	0,351	0,89223	0,258
45 °C, 15 % NaCl	0,681	0,99005	0,321	0,95453	0,471

4.5 Isotermas de sorção

Como já foi citado antes no item 3.6, as isotermas de sorção foram feitas pelo Método Estático e o Método utilizado por Crapiste e Rotstein (1982), para berinjela desidratada osmoticamente com solução salina a 2 e 4 % de concentração, para as temperaturas de 25 e 40 °C.

Valores obtidos nas isotermas de sorção feitas pelo Método Estático mostram-se nas figuras 4.18 a 4.21. Os dados tabelados encontram-se no Apêndice III.

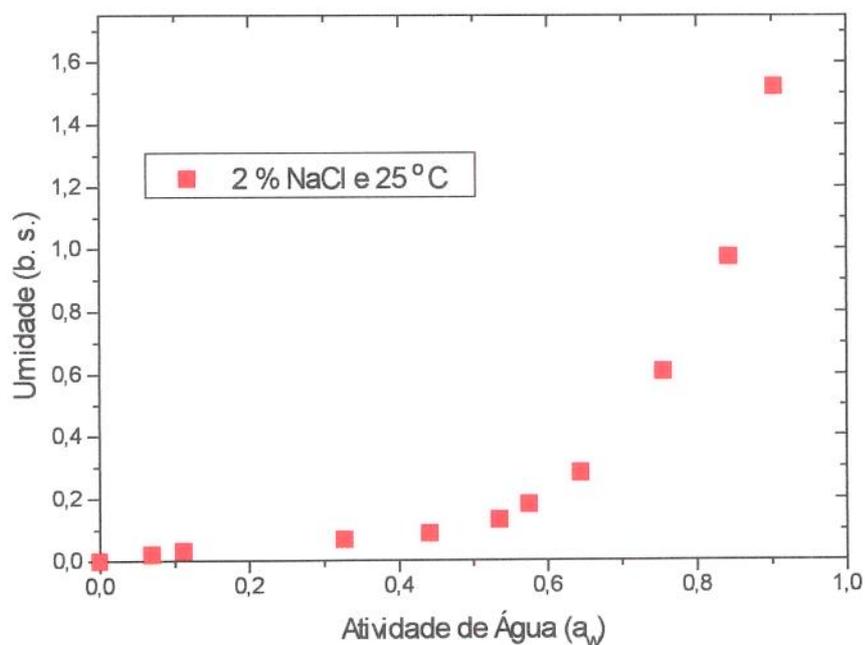


Figura 4.18 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 25 ° C.

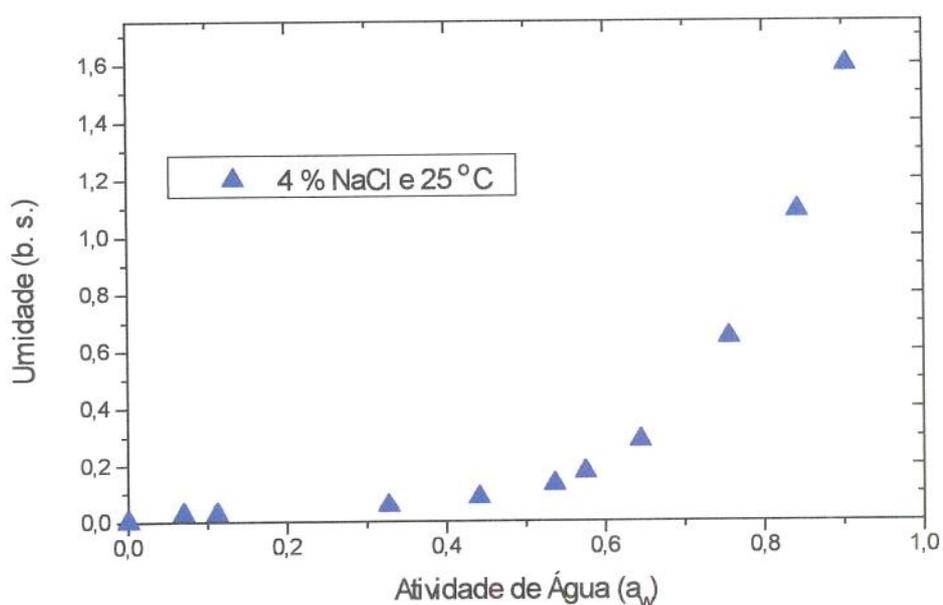


Figura 4.19 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 25 ° C.

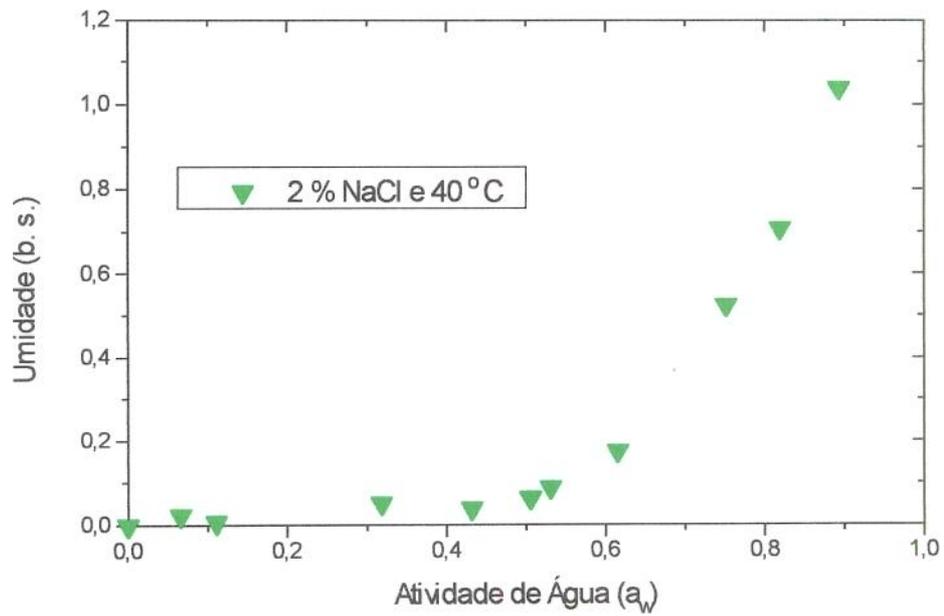


Figura 4.20 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 40 ° C.

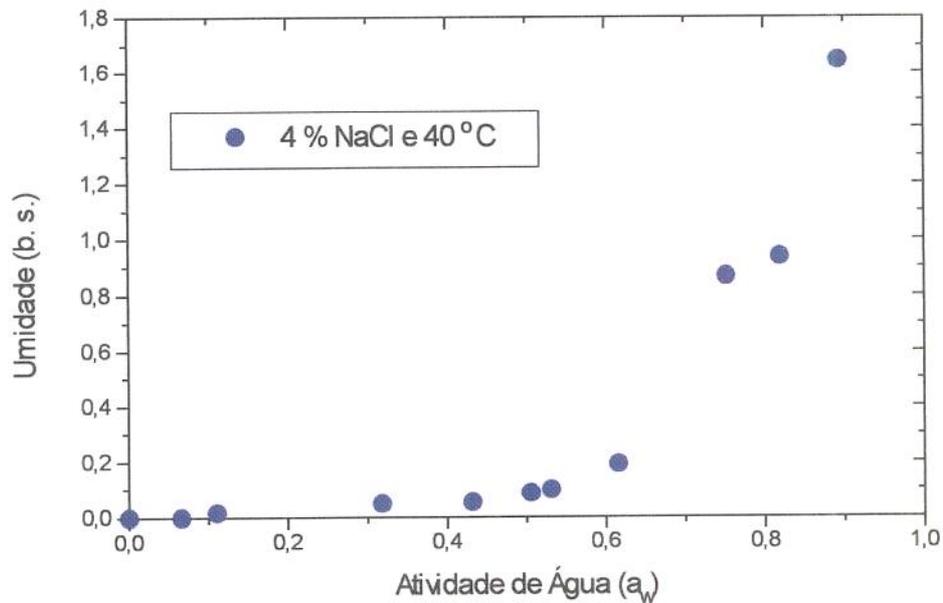


Figura 4.21 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 40 ° C.

Os dados foram ajustados pelas equações de BET, GAB, Halsey, Henderson, Oswin e Peleg.

Os melhores ajustes foram conseguidos utilizando a Equação de BET, Henderson e Oswin. Utilizou-se o programa gráfico Origin 3.5 para efetuar ditos ajustes, bem como para as outras equações citadas anteriormente. Os gráficos e os valores dos parâmetros para as outras equações mostram-se no Apêndice III.

Os valores das constantes para as diversas equações, como os erros das mesmas, coeficientes de correlação (R), e porcentagem de confiança (P), a diferentes temperaturas e concentrações de NaCl, são apresentados nas Tabelas 4.12 a 4.14.

Tabela 4.12 Parâmetros da Equação de BET

Conc. (%) e Temp (° C)	X_m	C	Erro de X_m (%)	Erro de C (%)	R	P(%)
2 % NaCl e 25	0,1662	1,04925	5,54	37,34	0,9906	99,021
4 % NaCl e 25	0,17736	1,01669	7,31	48,28	0,9918	98,363
2 % NaCl e 40	0,13162	1,08617	10,70	66,72	0,9828	96,589
4 % NaCl e 40	0,20979	0,80507	12,91	67,21	0,9811	96,262

Tabela 4.13 Parâmetros da equação de Henderson

Conc. (%) e Temp (° C)	B	C	Erro de B (%)	Erro de C (%)	R	P(%)
2 % NaCl e 25	0,00061	0,50855	8,20	2,69	0,9988	99,754
4 % NaCl e 25	0,00059	0,51004	11,86	4,56	0,9976	99,514
2 % NaCl e 40	0,00057	0,54052	19,30	8,10	0,9922	98,45
4 % NaCl e 40	0,00055	0,50179	25,45	10,50	0,9875	97,513

Tabela 4.14 Parâmetros da equação de Oswin

Conc. (%) e Temp (° C)	M	N	Erro de M (%)	Erro de N (%)	R	P(%)
2 % NaCl e 25	0,17889	0,96559	10,77	5,53	0,9953	99,069
4 % NaCl e 25	0,19127	0,96253	14,06	7,24	0,9921	98,423
2 % NaCl e 40	0,14819	0,94153	18,40	10,38	0,9836	96,736
4 % NaCl e 40	0,19941	1,00857	22,02	11,45	0,9808	96,198

Pode observar-se que os coeficientes de correlação para estas equações, são da mesma ordem, embora ligeiramente maiores para equação de Henderson. O ajuste sempre foi maior para a temperatura de 25 ° C que para a de 40 ° C.

Analisando os erros das constantes da equação de Henderson verifica-se que são menores que os da equação de Oswin.

A equação de BET ajusta razoavelmente bem, muito além do intervalo recomendado que é no máximo até $a_w \leq 0,6$. Pode observar-se que os valores X_m determinados são elevados e portanto com um significado físico discutível, no entanto o erro de determinação deste parâmetro é baixo. Não acontece o mesmo com o erro do parâmetro C que é muito elevado.

Nas figuras 4.22 a 4.25 são apresentados os ajustes para equação de Henderson.

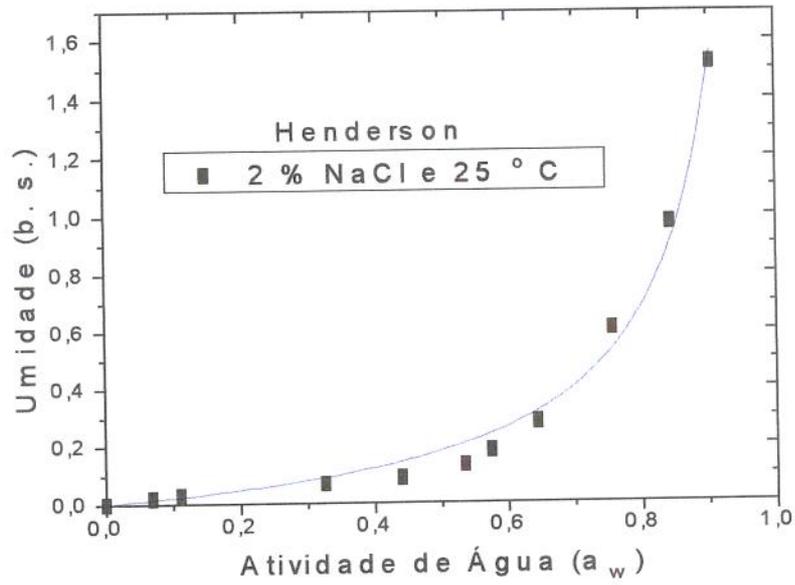


Figura 4.22 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de Henderson.

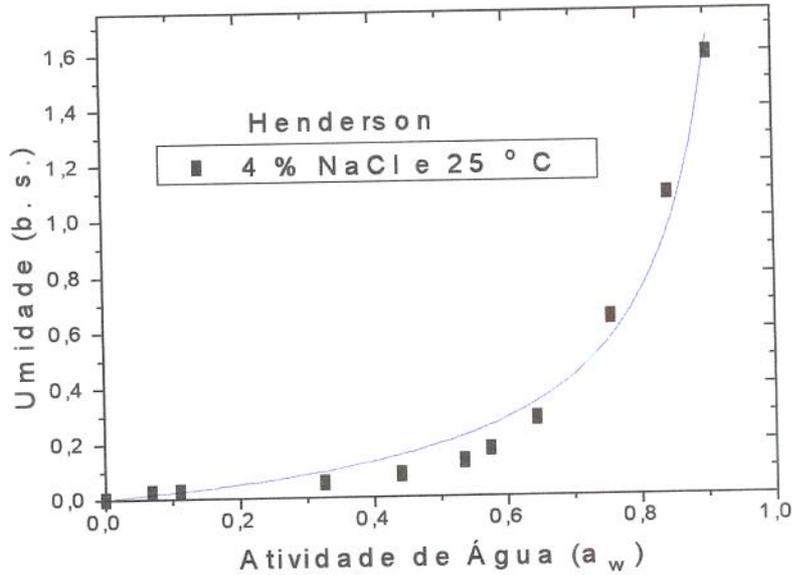


Figura 4.23 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de Henderson.

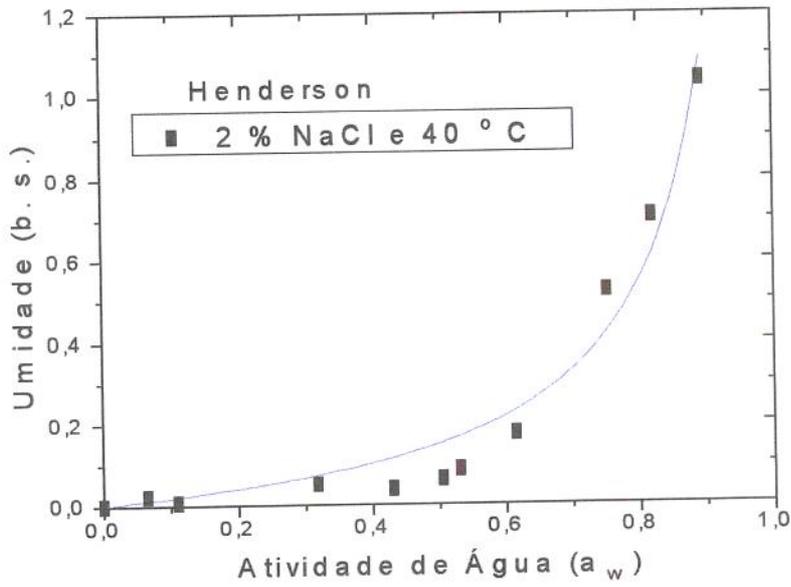


Figura 4.24 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de Henderson.

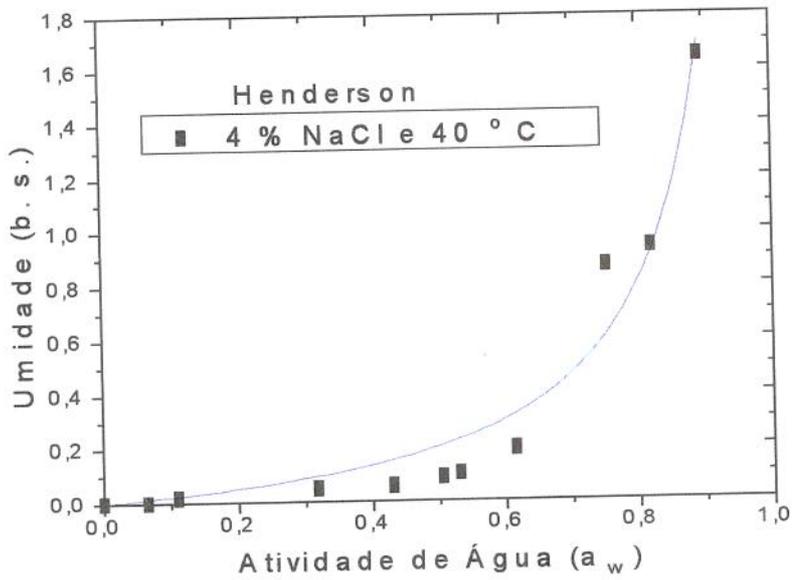


Figura 4.25 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de Henderson.

A equação de Halsey (Apêndice III) apresentou valores menores de porcentagem de confiança que as equações anteriores. Em relação a equação de GAB, ainda que os valores dos coeficientes de correlação sejam elevados, os valores de umidade de monocamada (X_m) e C adotam valores sem nenhum significado físico. Ainda os erros de determinação de todos os parâmetros são elevadíssimos e inaceitáveis.

Em relação a equação de Peleg, esta é uma equação empírica que tenta representar a forma da maioria das equações de sorção.

Pode verificar-se (Apêndice III) um bom ajuste neste caso, mas as constantes obtidas para 40 ° C são muito elevadas (K) e de sinal contrário, os valores de n_1 e n_2 da mesma ordem, configurando uma correlação não muito adequada dado o alto grau de correlação entre os parâmetros.

Em geral, podemos observar também, que a maioria das equações não ajusta bem os dados entre 0,4 e 0,7, significando que deveriam-se desenvolver equações que representem melhor a situação física um sólido impregnado por uma solução salina.

Valores obtidos nas isotermas de sorção feitas pelo Método de Crapiste & Rotstein, mostram-se nas Figuras 4.26 a 4.29, para as mesmas condições do método anterior.

Este método permite a obtenção de dados a atividades de água maiores que 0,9 com bastante precisão. Porém os dados a baixas teores de umidade mostram bastante dispersão. Isto pode ser atribuído a que as diversas amostras obtidas no secador poderiam ter conteúdo variável de sal. No método estático se trabalhou com só um lote bem homogeneizado de matéria-prima.

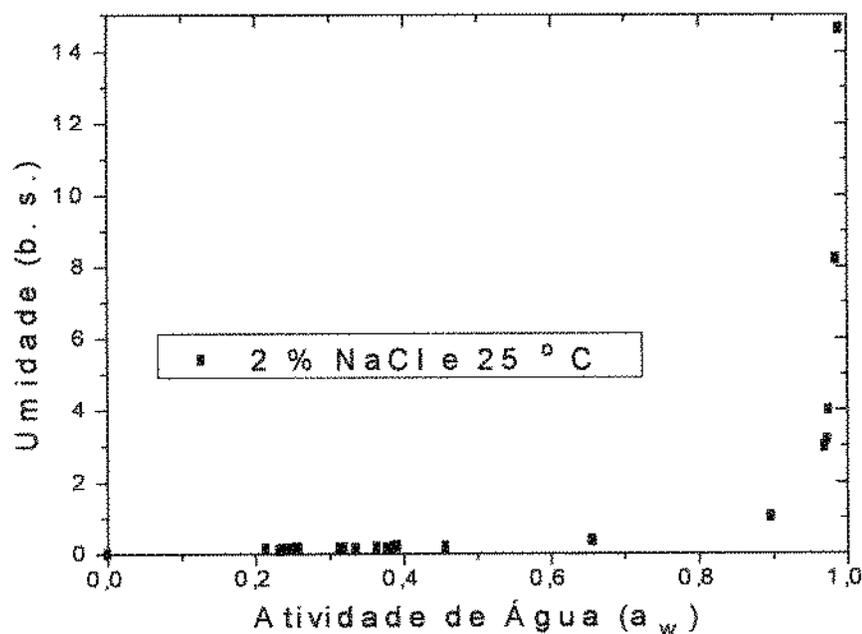


Figura 4.26 Isoterma de sorção com berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 25 ° C

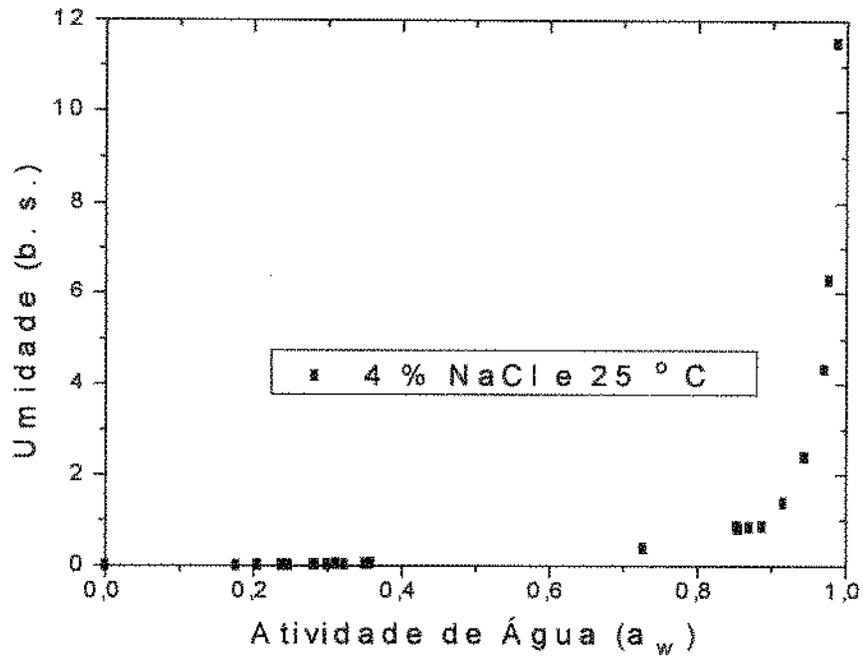


Figura 4.27 Isotherma de sorção com berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 25 ° C

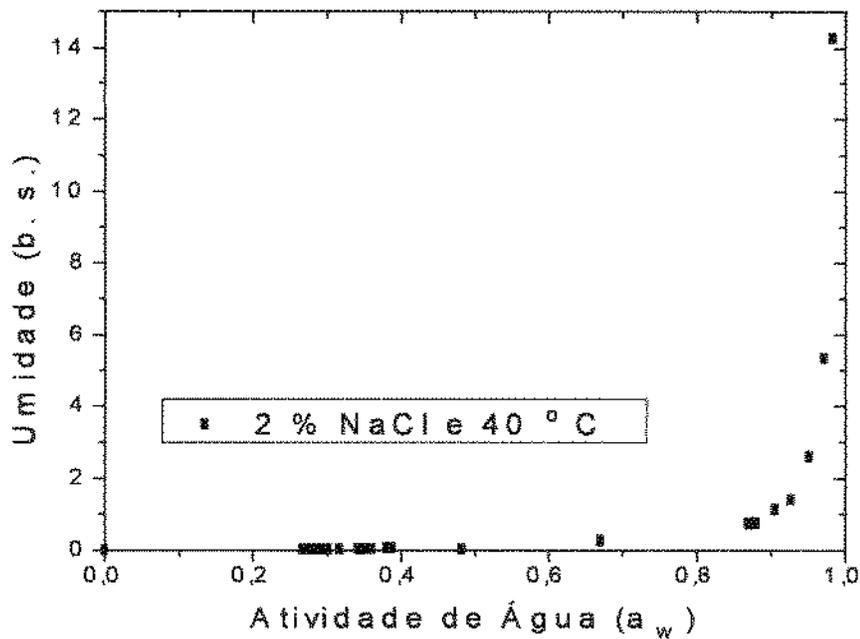


Figura 4.28 Isotherma de sorção com berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 40 ° C

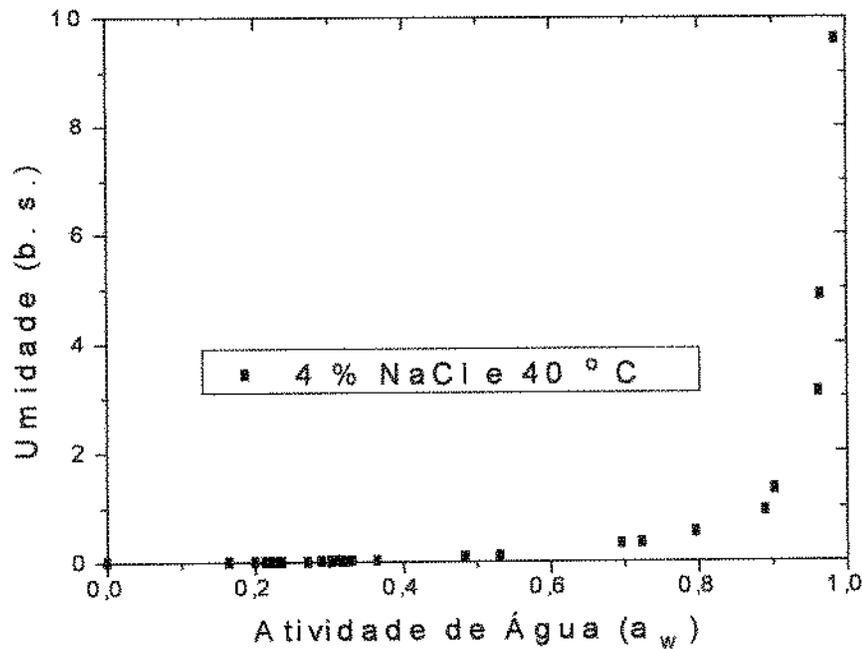


Figura 4.29 Isoterma de sorção com berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 40 ° C

Os valores dos coeficientes de correlação e porcentagem de confiança das diversas equações são da mesma ordem (Tabela 4.15 e 4.16 e Apêndice III). Os maiores valores foram obtidos para a Equação de Peleg.

No obstante, quando se analisam os valores dos erros dos parâmetros estes são menores para as equações de Halsey e Henderson (Tabela 4.15 e 4.16), considerando todas as condições de processo.

Tabela 4.15 Parâmetros da equação de Halsey

Conc. (%) e Temp (° C)	B	C	Erro de B (%)	Erro de C (%)	R	P(%)
2 % NaCl e 25	146,2974	0,6284	4,95	3,27	0,9973	99,459
4 % NaCl e 25	295,7884	0,9038	2,25	1,14	0,9995	99,897
2 % NaCl e 40	225,7735	0,61192	3,30	2,18	0,9986	99,722
4 % NaCl e 40	359,2513	1,0014	8,36	4,08	0,9933	98,656

Tabela 4.16 Parâmetros da equação de Henderson

Conc. (%) e Temp (° C)	B	C	Erro de B (%)	Erro de C (%)	R	P(%)
2 % NaCl e 25	0,00023	0,00646	4,59	4,25	0,9957	99,142
4 % NaCl e 25	0,00012	0,00733	4,88	2,89	0,9975	99,498
2 % NaCl e 40	0,00018	0,00679	4,70	4,03	0,9960	99,202
4 % NaCl e 40	0,00015	0,01261	8,29	4,28	0,9947	98,938

Concluimos por tanto que a equação de Halsey seria a mais adequada quando se considera a faixa de atividade de água maior.

Utilizou-se o programa gráfico Origin 3.5, para efetuar ditos ajustes, assim como também para as outras equações citadas no item 2.6.1, os gráficos e os valores dos parâmetros mostram-se no Apêndice III.

Nas figuras 4.30 a 4.33 são apresentados os ajustes para equação de Halsey.

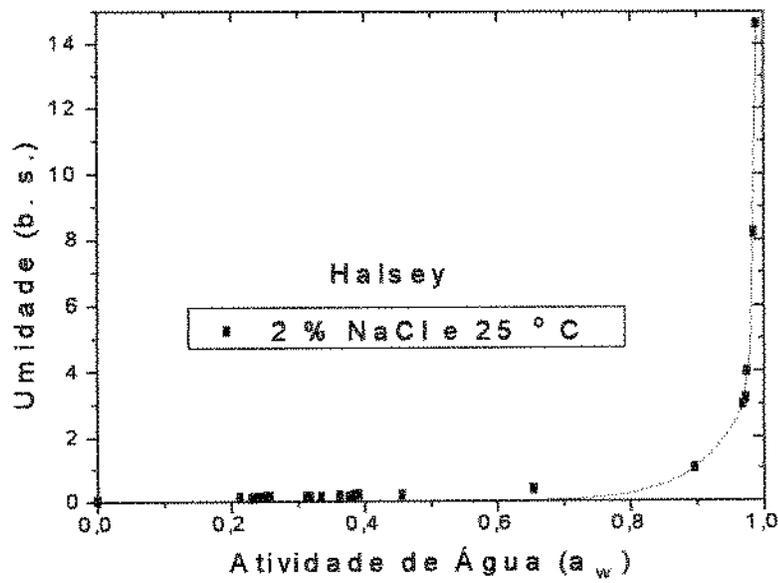


Figura 4.30 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de Halsey.

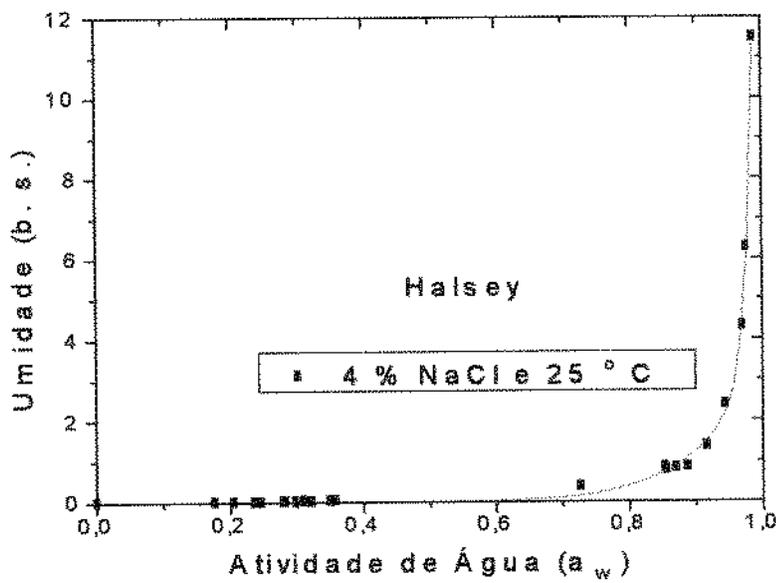


Figura 4.31 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de Halsey.

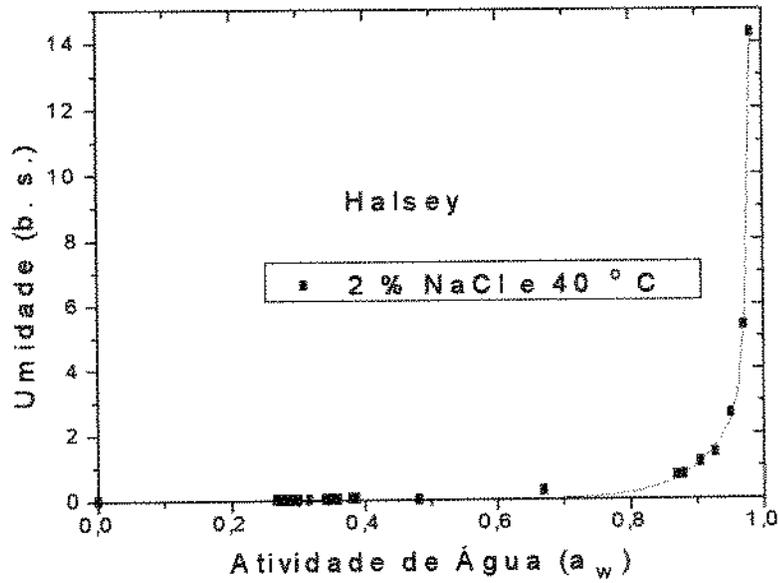


Figura 4.32 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de Halsey.

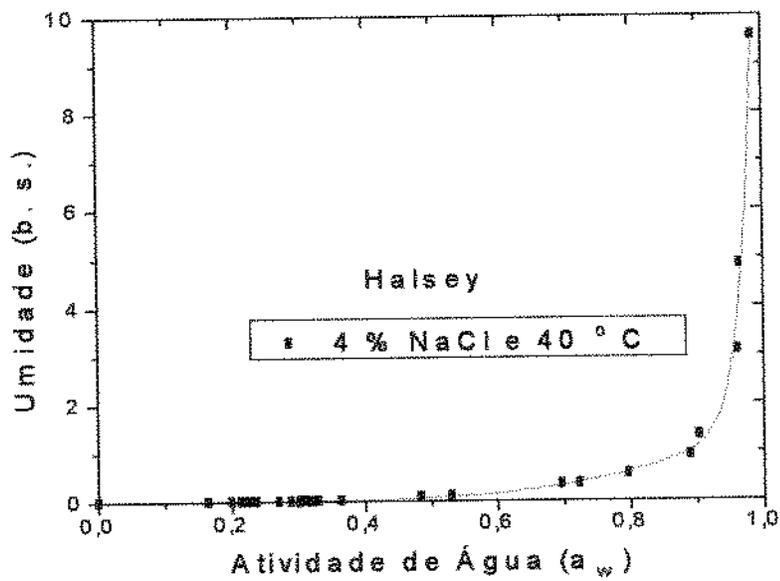


Figura 4.33 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de Halsey.

4.6 Secagem

Baseados no comportamento da desidratação osmótica e no ganho de sólidos mostrados nas figuras 4.1 a 4.6, escolheu-se como a melhor condição do processo de desidratação osmótica: um tempo de tratamento osmótico de 20 minutos, uma temperatura de 35 ° C e uma concentração salina de 10 % p/p.

Estudou-se a cinética de secagem da berinjela, em camada fina, avaliando-se o efeito da temperatura (40 - 70 ° C) e mantendo a velocidade do ar constante ($v = 1,5 \text{ m/s}$).

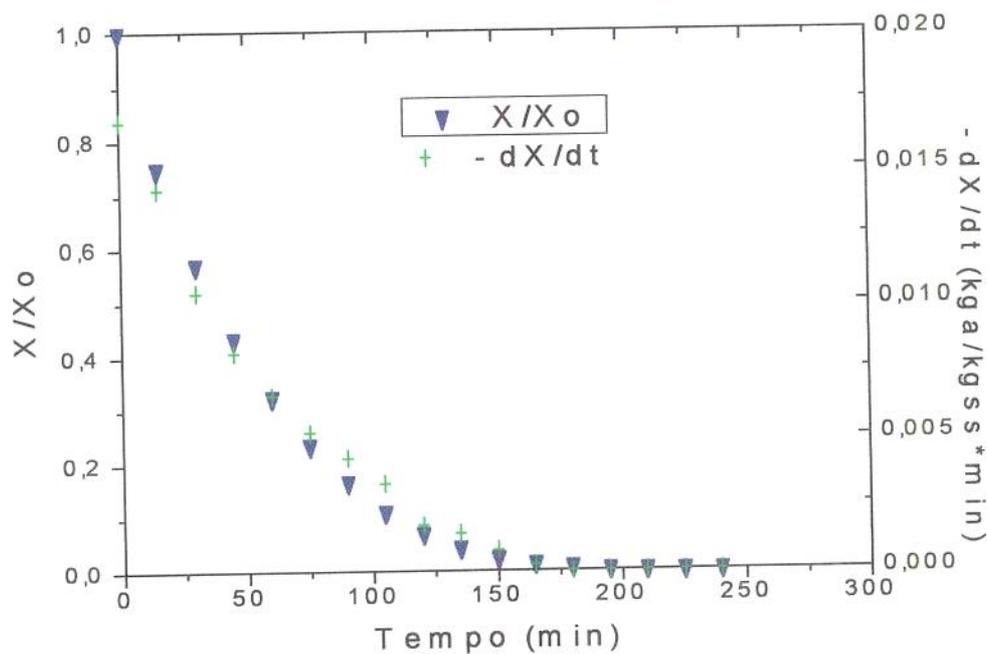


Figura 4.34 Resultado do experimento número 4, em leito estático, sob camada fina ($L = 1 \text{ cm}$), $Y_{\text{abs}} = 0,013 \text{ kg vapor água/kg de ar seco}$, $T = 70 \text{ ° C}$, $v_{\text{ar}} = 1,5 \text{ m/s}$, $X_0 = 10,35 \text{ kga/kgss}$ e $Y_0 = 0,013 \text{ kga/kgas}$.

A Figura 4.34 apresenta as curvas de secagem para uma experiência característica, onde se mostram as variações do teor de umidade e taxa de secagem com o tempo de processo, ocorridas durante um ensaio de secagem, à temperatura de

70 ° C, velocidade do ar igual a 1,5 m/s e umidade relativa do ar ambiente de 58 %. Calculou-se a taxa de secagem ($-dX/dt$) através da rotina matemática do programa gráfico Origin 3.5.

Analisando-se as curvas de X/X_0 versus tempo e taxa de secagem, pode-se observar que o processo de secagem ocorre no período de taxa decrescente.

Isto também pode ser verificado a partir das curvas da taxa de secagem construídas em função do teor de umidade apresentadas na Figura 4.35, nas condições de temperatura igual a 70 ° C, velocidade de 1,5 m/s e umidade relativa do ar ambiente de 58 %. A partir dessa curva pode-se concluir que a secagem da berinjela ocorre no período à taxa decrescente não apresentando período a taxa constante, e a queda da taxa é aproximadamente linear com a umidade do sólido até 0,1.

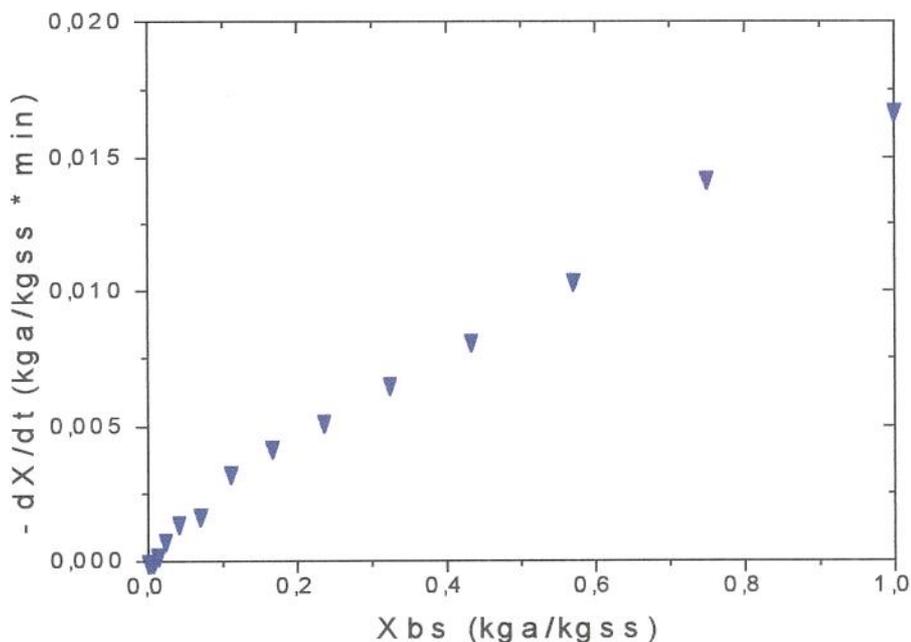


Figura 4.35 Taxa de secagem de berinjela em função da umidade, nas condições de $X_0 = 10,35$ kg a/kg s s; $v = 1,5$ m/s; $T = 70$ ° C, $L = 1$ cm; $Y_0 = 0,013$ kg vapor água/kg ar seco.

A figura 4.36 mostra o comportamento da cinética de secagem para a amostra que foi primeiro tratada osmoticamente durante 20 minutos a 35 ° C e uma solução salina a 10 % p/p, a quatro diferentes temperaturas e uma velocidade de ar igual a 1,5 m/s. Os melhores resultados são a 60 e 70 ° C, devido a seu conteúdo final de umidade 0,1204 e 0,0124 b. u. respectivamente.

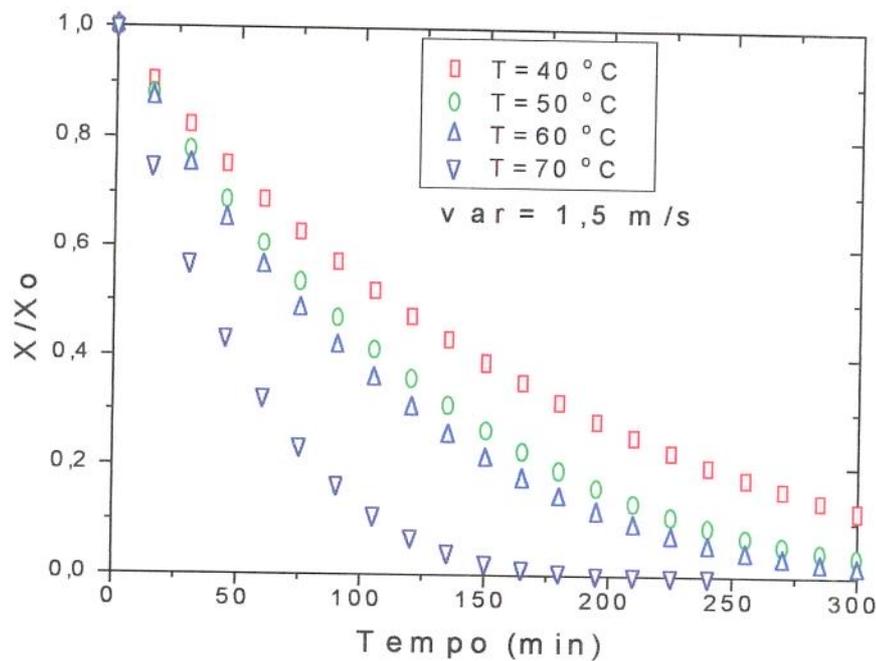


Figura 4.36 Cinética de secagem em função do tempo a quatro temperaturas (40, 50, 60 e 70 ° C) após o tratamento osmótico. Para T = 40 ° C ($X_0 = 7,6$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0129$), para T = 50 ° C ($X_0 = 9,58$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0176$), para T = 60 ° C ($X_0 = 9,85$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0156$), e para T = 70 ° C ($X_0 = 10,35$ kga/kgss, $Y_0 = 0,013$).

Na Figura 4.37 mostra-se o comportamento da cinética de secagem para a amostra sem tratamento osmótico a quatro diferentes temperaturas e uma velocidade de ar igual a 1,5 m/s.

Pode-se observar tanto na figura 4.36 como o 4.37, o aumento esperado na taxa de secagem com a temperatura a velocidade de ar constante.

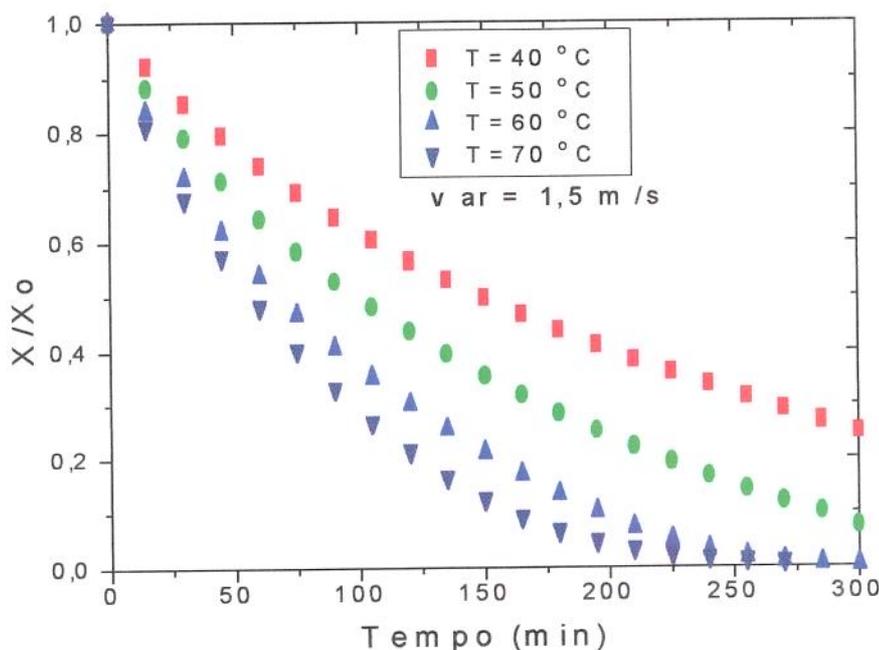


Figura 4.37 Cinética de secagem em função do tempo a quatro temperaturas (40, 50, 60 e 70 ° C) sem tratamento osmótico. Para T = 40 ° C ($X_0 = 12,59 \text{ kga/kgss}$, $Y_0 = 0,0156$), para T = 50 ° C ($X_0 = 13,67 \text{ kga/kgss}$, $Y_0 = 0,0165$), para T = 60 ° C ($X_0 = 12,33 \text{ kga/kgss}$, $Y_0 = 0,0153$), e para T = 70 ° C ($X_0 = 13,44 \text{ kga/kgss}$, $Y_0 = 0,0118$).

Nas Figuras 4.38 a 4.41 mostram-se as cinéticas de secagem em função do tempo, para amostras secas com e sem tratamento osmótico prévio, observando-se menores valores de X para as amostras com tratamento osmótico ao final do tempo de processo, exceto à temperatura de 60 ° C quando obtém-se valores semelhantes. Analisando as curvas pode verificar-se que as taxas de secagem são da mesma ordem quando se comparam à umidade constante. Este fato é diferente ao encontrado na desidratação osmótica de manga com solução de sacarose (Borges & Menegalli, 1994

), onde as taxas de secagem com desidratação osmótica. eram menores a tempos longos. Este fato se atribui à formação de uma camada de açúcares na superfície.

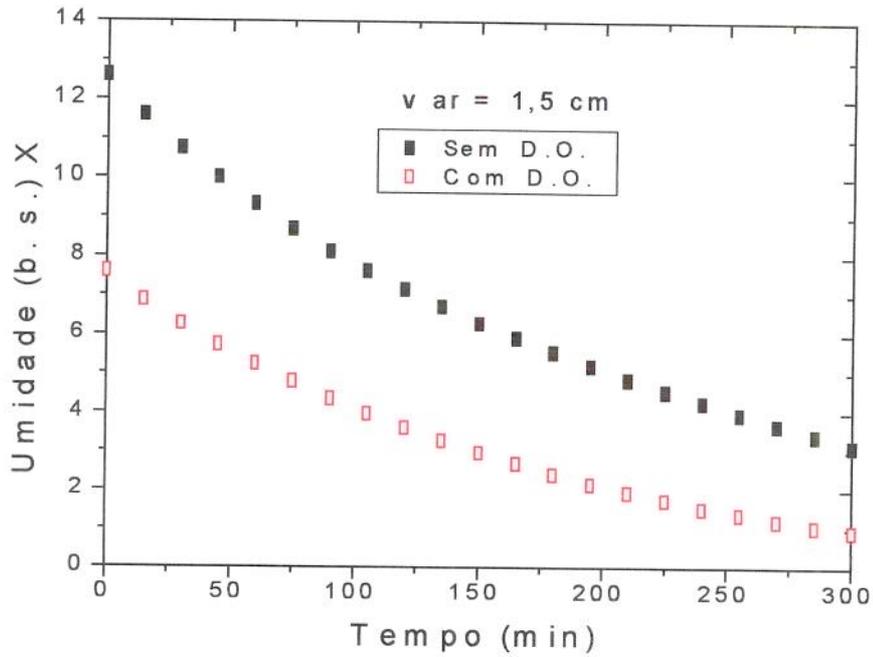


Figura 4.38 Cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 40°C , com e sem desidratação osmótica, com D. O. ($X_0 = 7,6 \text{ kga/kgss}$, $Y_0 = 0,0129$) e sem D. O. ($X_0 = 12,59 \text{ kga/kgss}$, $Y_0 = 0,0156$).

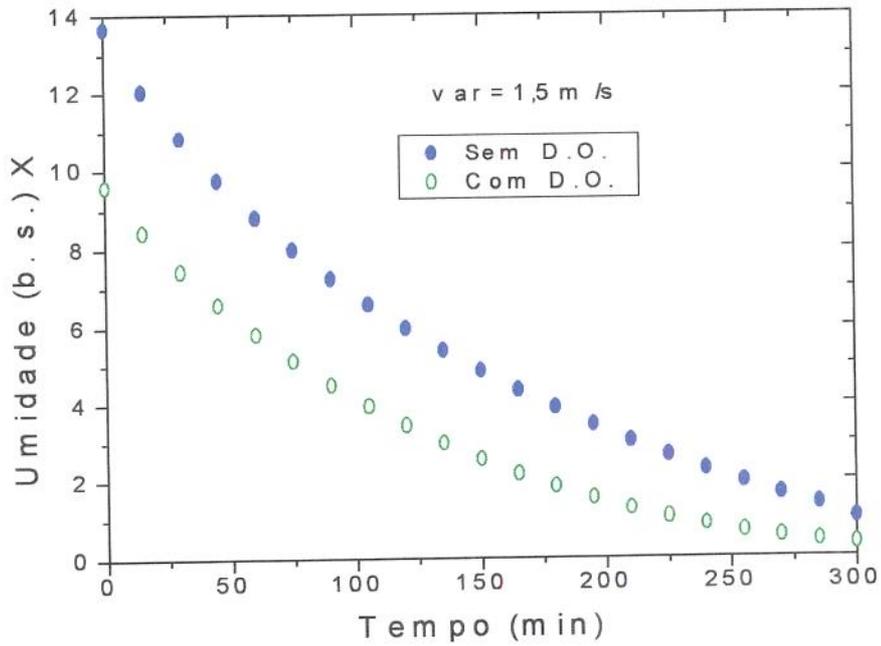


Figura 4.39 Cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 50 ° C, com e sem desidratação osmótica com D. O. ($X_0 = 9,58$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0176$) e sem D. O. ($X_0 = 13,66$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0165$).

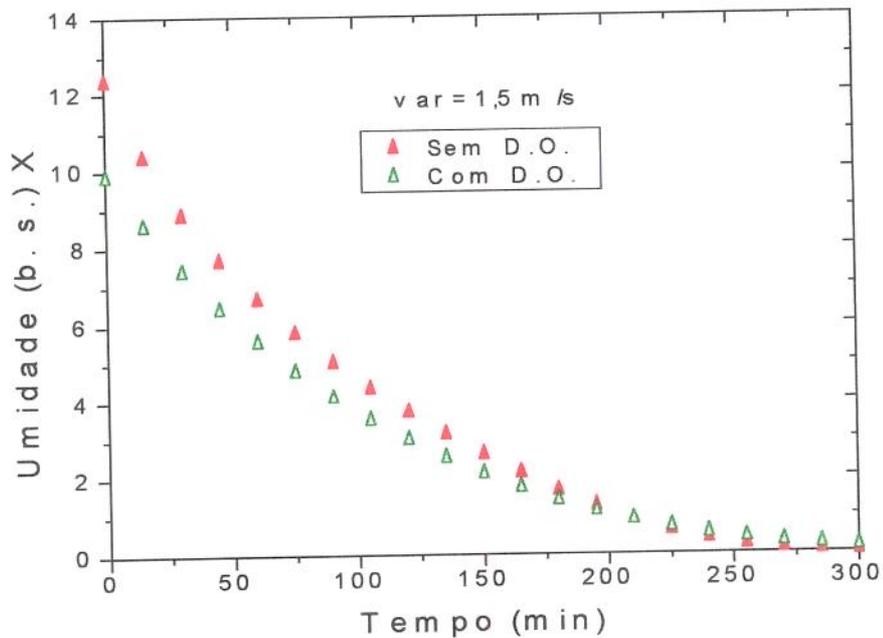


Figura 4.40 Cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 60 ° C, com e sem desidratação osmótica com D. O. ($X_0 = 9,85$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0156$) e sem D. O. ($X_0 = 12,33$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0153$).

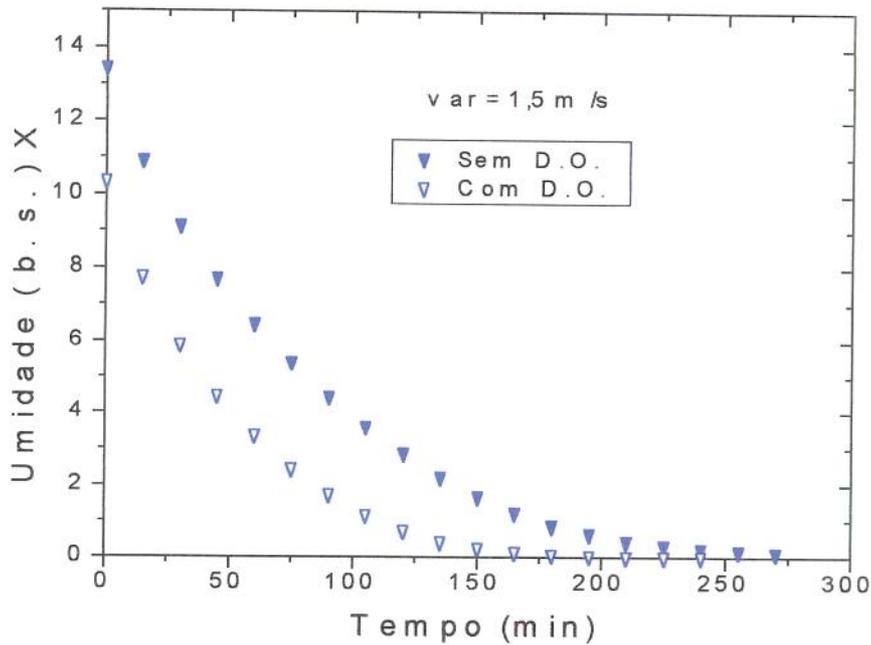


Figura 4.41 Cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 70 ° C, com e sem desidratação osmótica, com (D. O.) ($X_0 = 10,35 \text{ kga/kgss}$, $Y_0 = 0,013$) e sem D. O. ($X_0 = 13,4 \text{ kga/kgss}$, $Y_0 = 0,0118$).

Foram feitos ajustes das curvas da cinética de secagem das amostras previamente desidratadas e secas a quatro temperaturas (40, 50 , 60 e 70 ° C), utilizando a seguinte equação:

$$\frac{X}{X_o} = A \exp(-Kt) \quad (4.3)$$

Na equação 4.3 não foi incluída a condição de equilíbrio X_{eq} , devido a não contar-se com dados nesta faixa de temperatura e as correlações obtidas para as curvas de sorção não serem confiáveis para extrapolação em função da temperatura, para um intervalo tão amplo de temperatura.

Os valores obtidos dos parâmetros (A e K), coeficiente de correlação (R), e porcentagem de confiança (P), mostram-se na Tabela 4.17.

Tabela 4.17. Parâmetros da Equação 4.3.

Temperatura (° C)	A	K (min ⁻¹)	R	P(%)
40	1,00896	0,00653	0,99912	99,824
50	1,02501	0,00918	0,99774	99,584
60	1,02816	0,01064	0,99758	99,517
70	1,01578	0,02099	0,99828	99,656

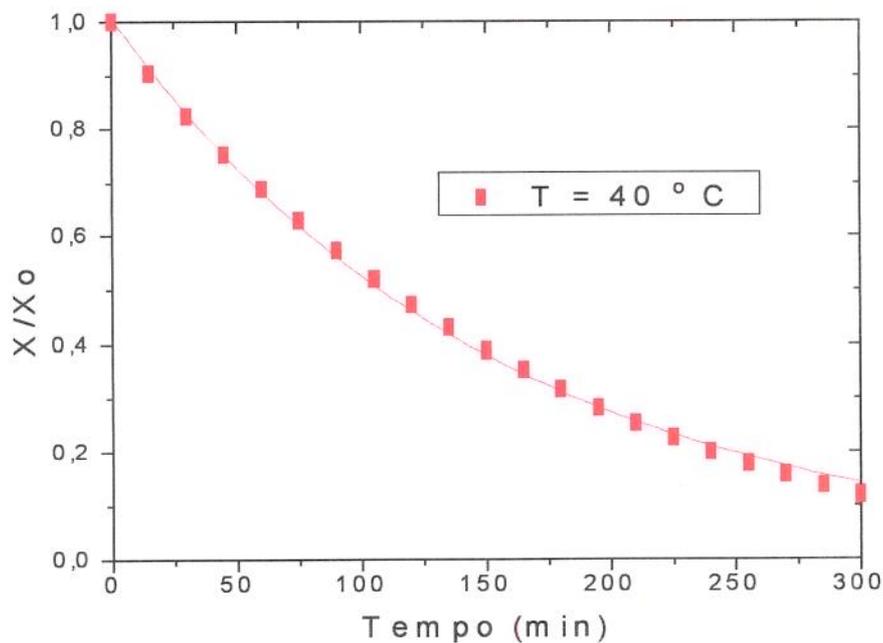


Figura 4.42 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 40 °

C após o tratamento osmótico, $X_0 = 7,6 \text{ kga/kgss}$, $Y_0 = 0,0129$.

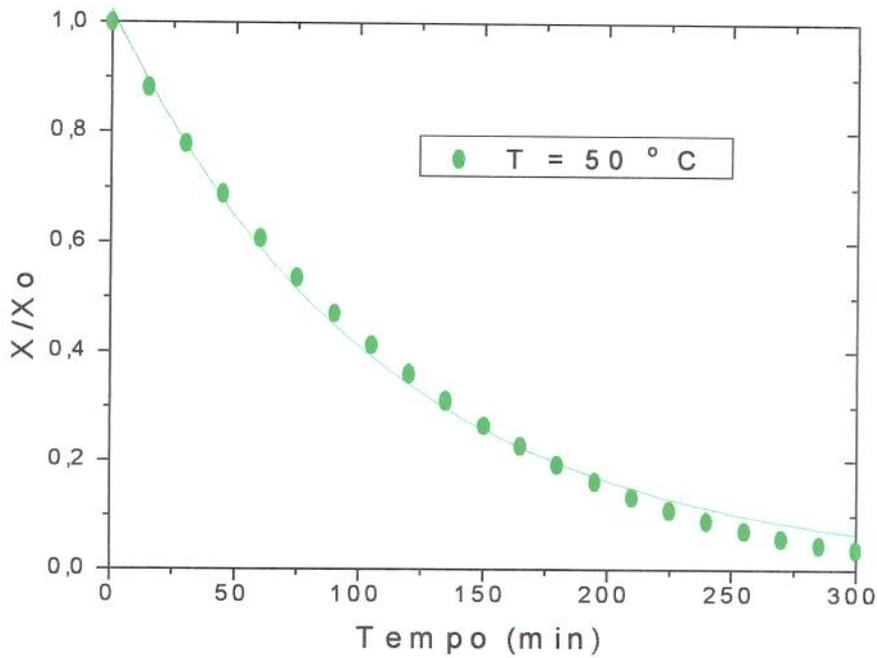


Figura 4.43 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 50 °C após o tratamento osmótico, $X_0 = 9,58 \text{ kga/kgss}$, $Y_0 = 0,0176$.

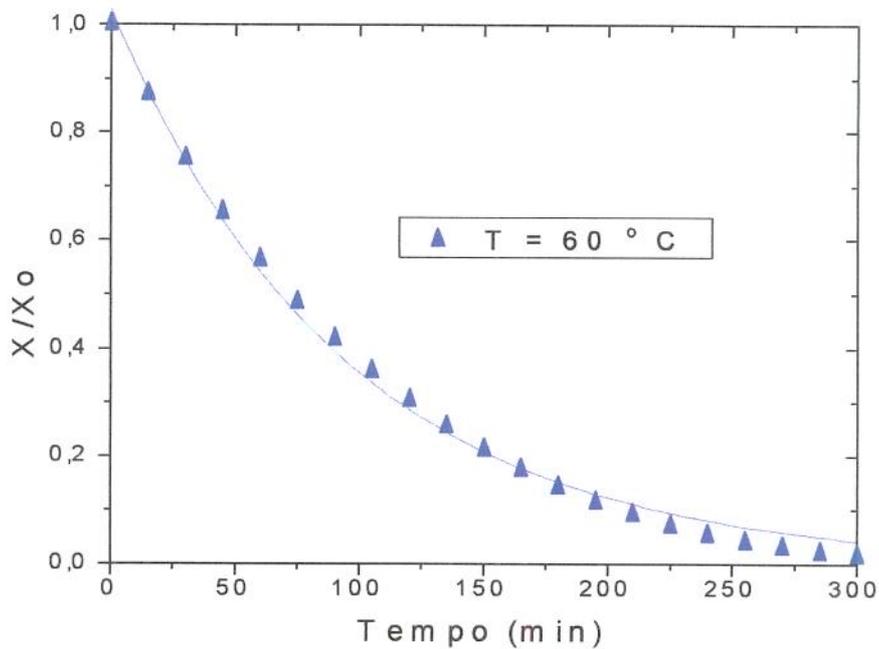


Figura 4.44 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 60 °C após o tratamento osmótico, $X_0 = 9,85 \text{ kga/kgss}$, $Y_0 = 0,0156$.

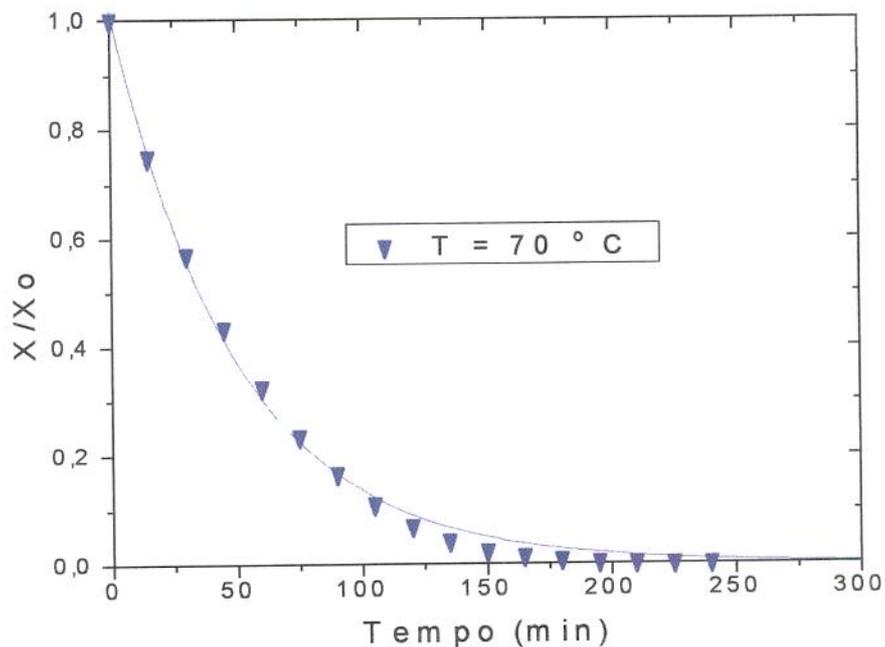


Figura 4.45 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 70 ° C após o tratamento osmótico, $X_0 = 10,35 \text{ kga/kgss}$, $Y_0 = 0,013$.

Os dados também foram correlacionados com a equação de Page, fazendo a mesma consideração com respeito a X_{cq} :

$$\frac{X}{X_o} = A \exp(-K t^N) \quad (4.4)$$

Os valores obtidos dos parâmetros (A, K e N), coeficiente de correlação (R), e porcentagem de confiança (P), mostram-se na Tabela 4.18.

Tabela 4.18 Parâmetros da Equação 4.4.

Temperatura (° C)	A	K (min ⁻¹)	N	R	P(%)
40	0,98636	0,00432	1,07652	0,99963	99,926
50	0,98232	0,00443	1,14055	0,99931	99,861
60	0,98457	0,00513	1,14391	0,99923	99,846
70	0,98877	0,0121	1,11538	0,99922	99,844

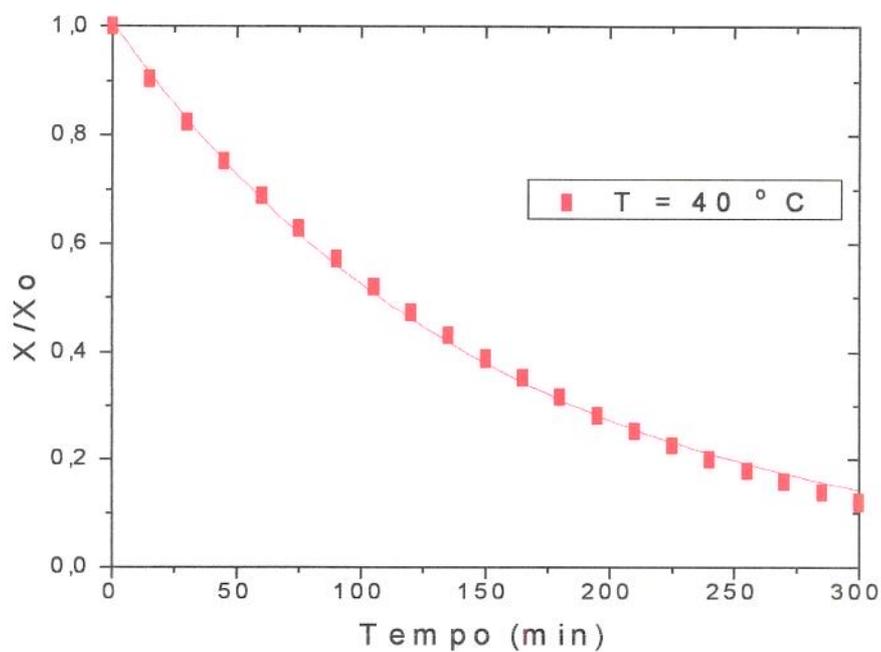


Figura 4.46 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 40 °

C após o tratamento osmótico, $X_0 = 7,6 \text{ kga/kgss}$, $Y_0 = 0,0129$.

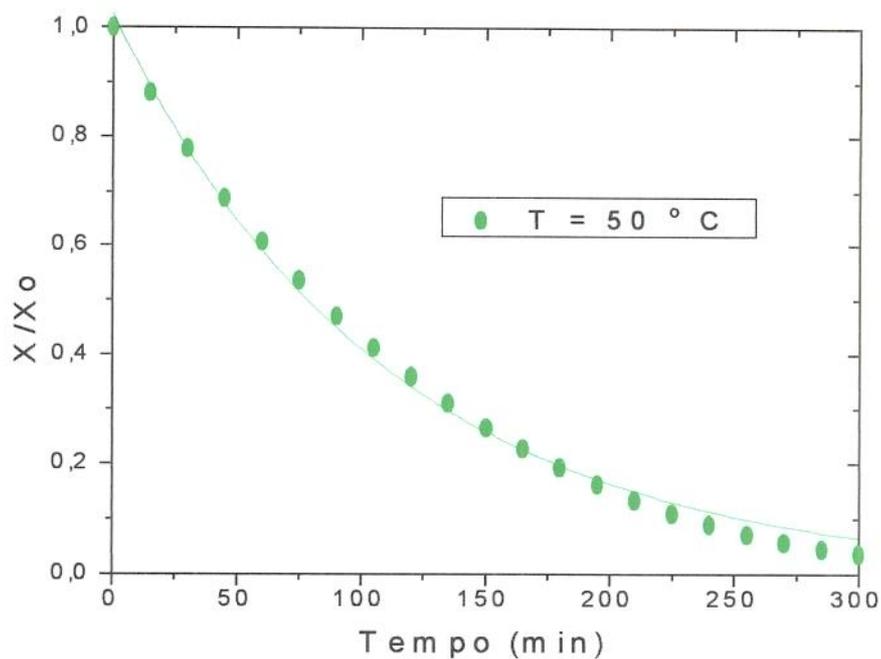


Figura 4.47 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de $50 \text{ }^\circ\text{C}$ após o tratamento osmótico, $X_0 = 9,58 \text{ kga/kgss}$, $Y_0 = 0,0176$.

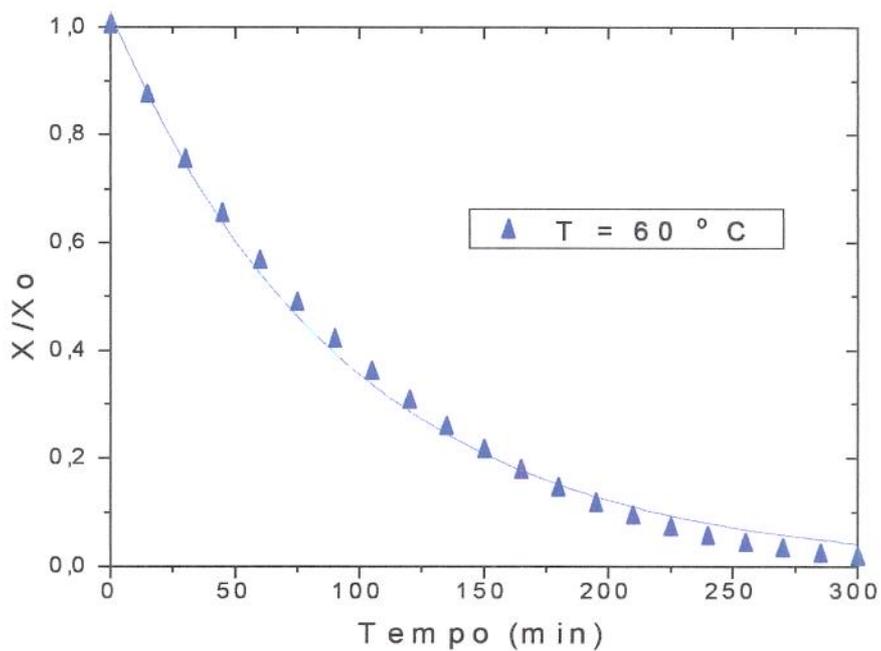


Figura 4.48 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$ após o tratamento osmótico, $X_0 = 9,85 \text{ kga/kgss}$, $Y_0 = 0,0156$.

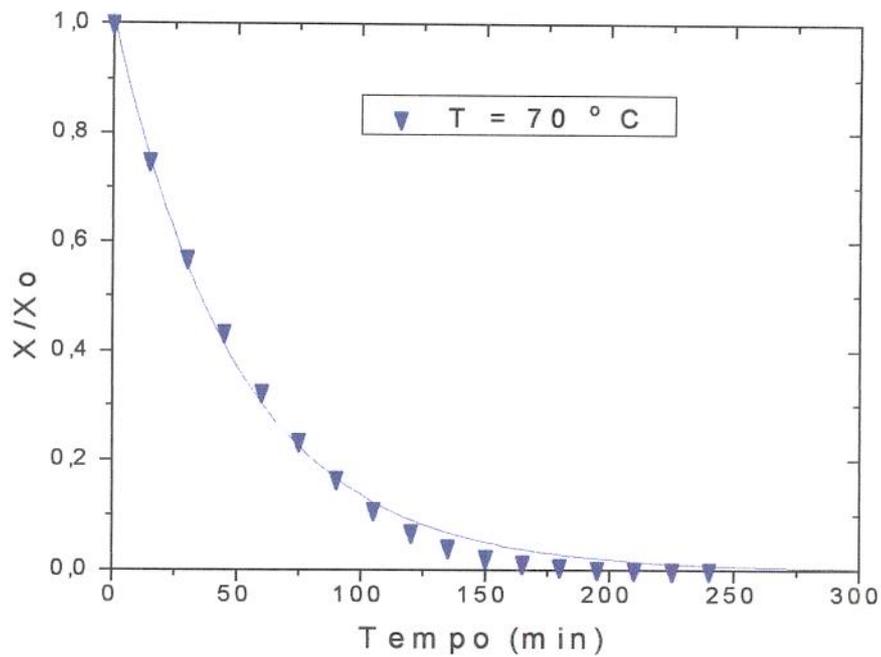


Figura 4.49 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 70 ° C após o tratamento osmótico, $X_0 = 10,35 \text{ kga/kgss}$, $Y_0 = 0,013$.

Os melhores ajustes foram utilizando a equação 4.3, já que a porcentagem de erro nos parâmetros da equação é baixo como se mostra no Apêndice IV, assim como os valores de R e P são bons.

Foram feitos ajustes das curvas da cinética de secagem das amostras sem desidratação osmótica prévia secas a quatro temperaturas (40, 50 , 60 e 70 ° C), utilizando a equação 4.3.

Os valores obtidos dos parâmetros (A e K), coeficiente de correlação (R), e porcentagem de confiança (P), são mostrados na Tabela 4.19

Tabela 4.19. Parâmetros da Equação 4.3.

Temperatura (° C)	A	K (min ⁻¹)	R	P(%)
40	0,98258	0,00453	0,99962	99,924
50	0,99637	0,00719	0,99826	99,651
60	1,01048	0,01095	0,99539	99,08
70	1,01325	0,01328	0,99736	99,473

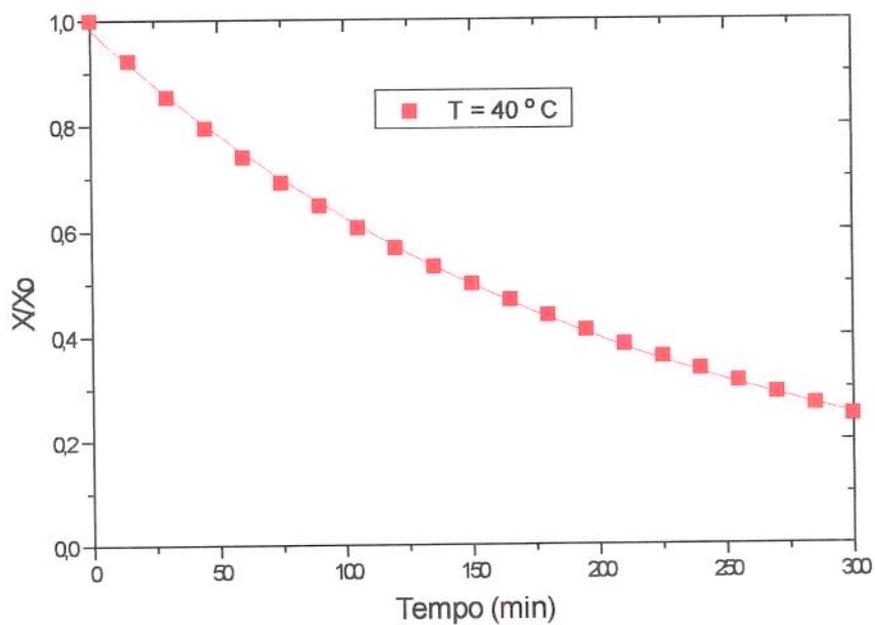


Figura 4.50 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 40 ° C, $X_0 = 12,59\text{ kga/kgss}$, $Y_0 = 0,0156$ para berinjela sem desidratação osmótica

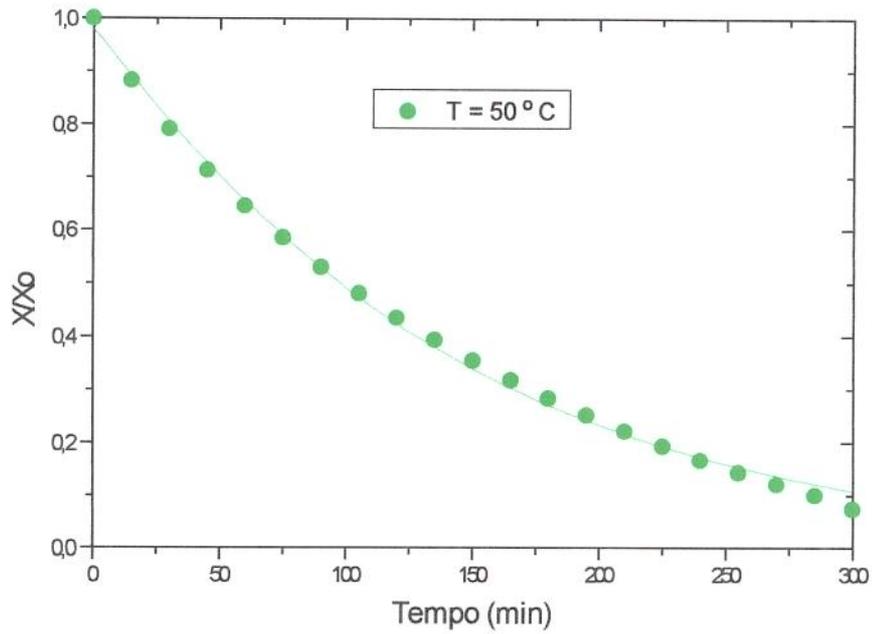


Figura 4.51 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 50 ° C, $X_0 = 13,67$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0165$ para berinjela sem desidratação osmótica

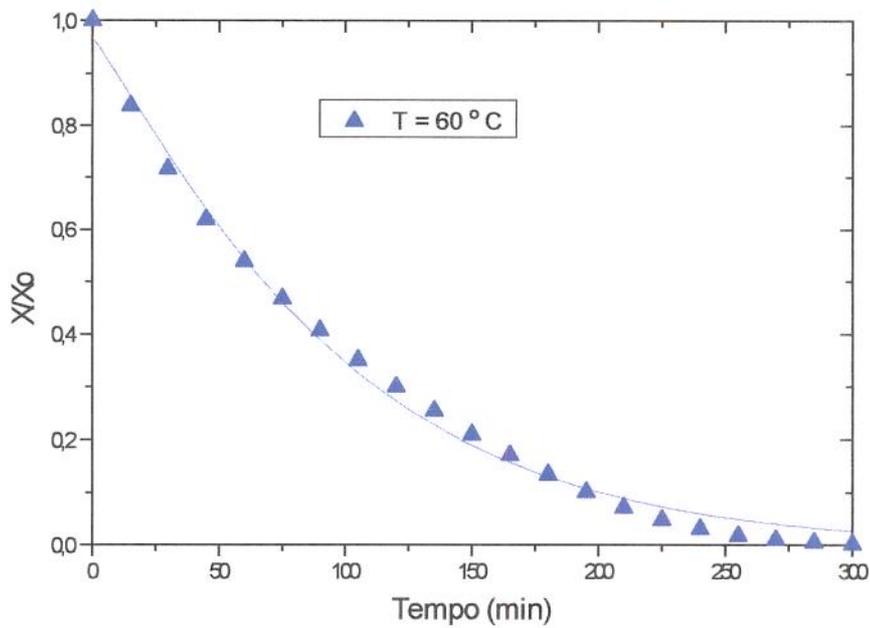


Figura 4.52 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 60 ° C, $X_0 = 12,33$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0153$ para berinjela sem desidratação osmótica

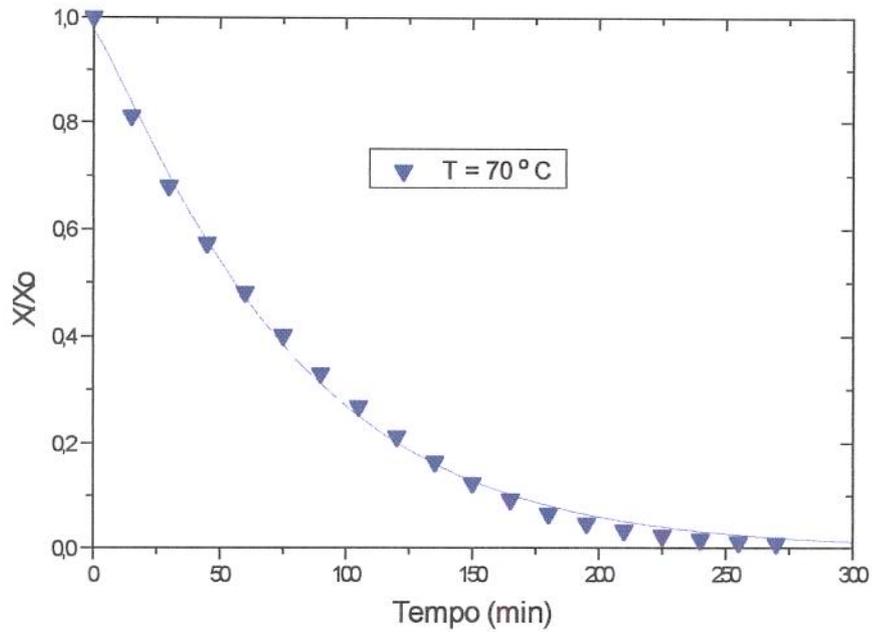


Figura 4.53 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 70 ° C, $X_0 = 13,44\text{ kga/kgss}$, $Y_0 = 0,0118$ para berinjela sem desidratação osmótica.

Os dados também foram correlacionados com a equação de Page, fazendo a mesma consideração com respeito a X_{eq} .

Os valores obtidos dos parâmetros (A, K e N), coeficiente de correlação (R), e porcentagem de confiança (P), aparecem na Tabela 4.20.

Tabela 4.20 Parâmetros da Equação 4.4.

Temperatura (° C)	A	K(min ⁻¹)	N	R	P(%)
40	0,99665	0,00601	0,94917	0,99986	99,971
50	0,97905	0,00533	1,05597	0,99855	99,709
60	0,96712	0,00583	1,14023	0,99687	99,375
70	0,97746	0,00727	1,12414	0,99858	99,716

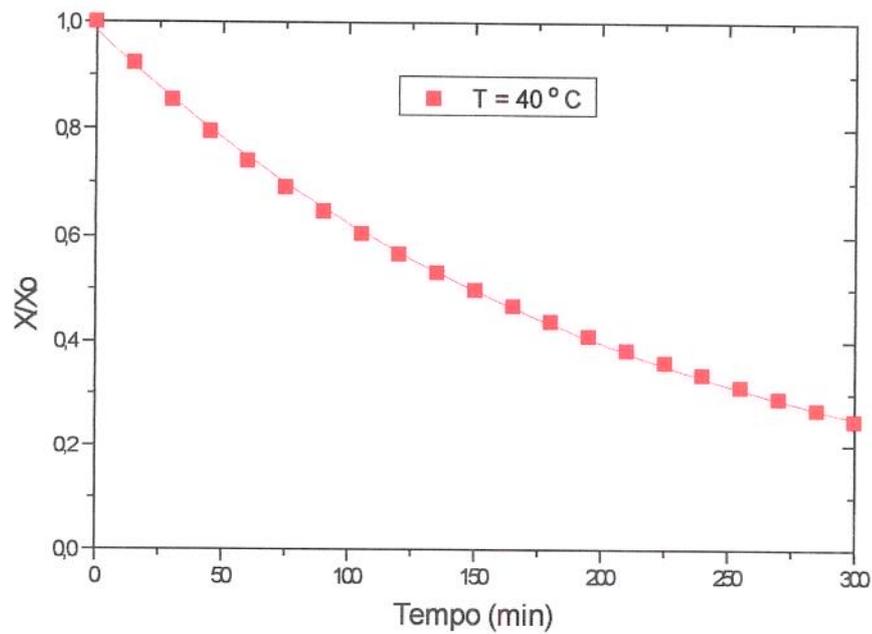


Figura 4.54 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 40 °C, $X_0 = 12,59 \text{ kga/kgss}$, $Y_0 = 0,0156$ para berinjela sem desidratação osmótica.

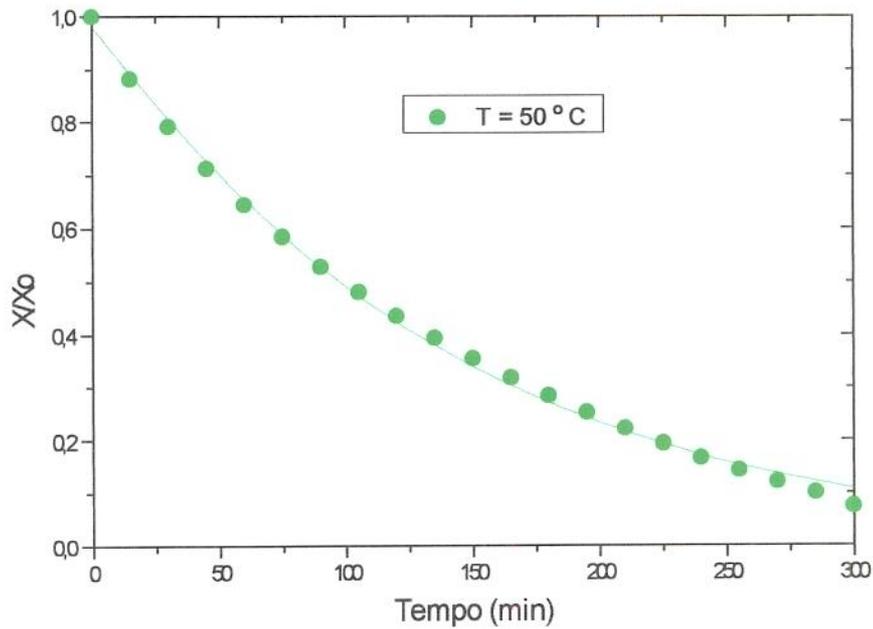


Figura 4.55 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 50 ° C, $X_0 = 13,67 \text{ kga/kgss}$, $Y_0 = 0,0165$ para berinjela sem desidratação osmótica.

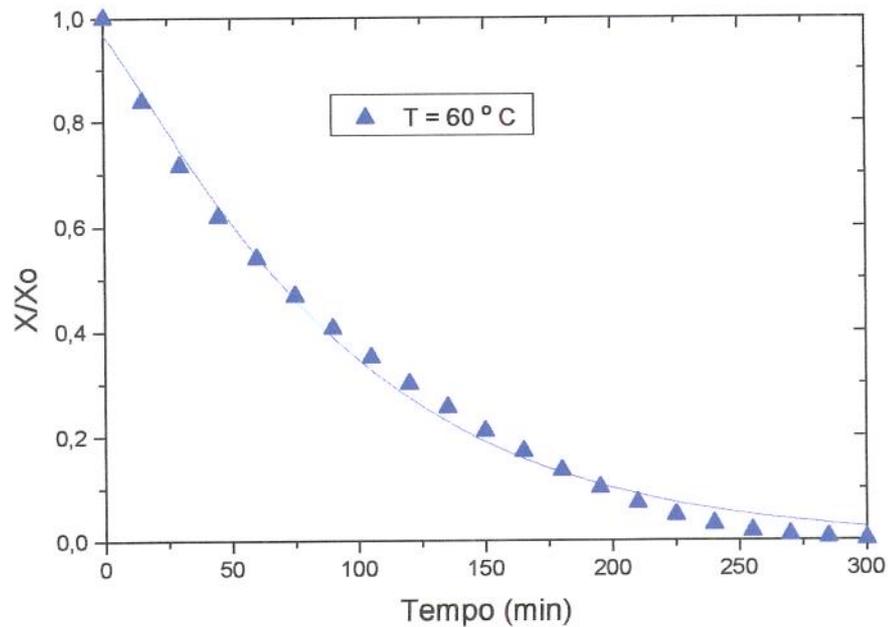


Figura 4.56 Ajuste da cinética de secagem em função do tempo à temperatura de 60 ° C, $X_0 = 12,33 \text{ kga/kgss}$, $Y_0 = 0,0153$ para berinjela sem desidratação osmótica

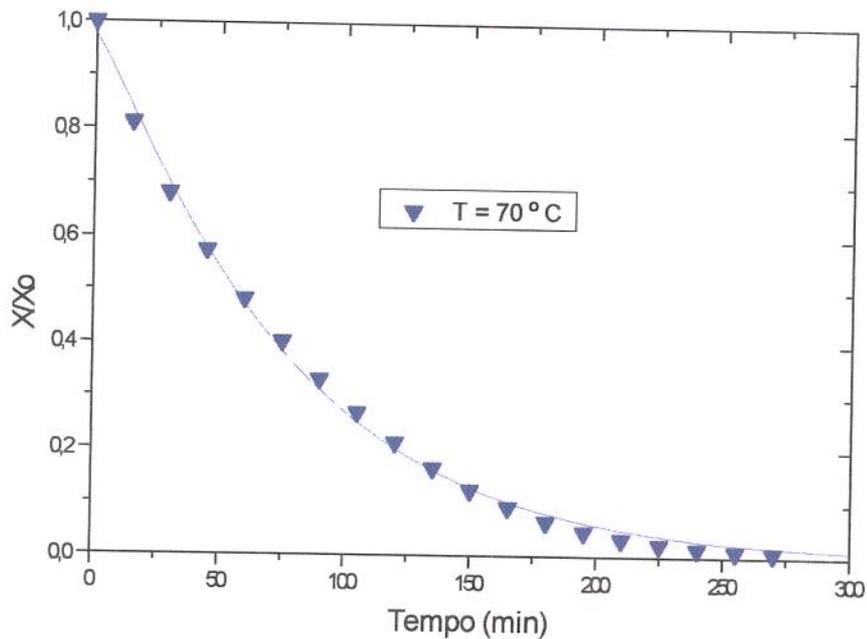


Figura 4.57 Ajuste da cinética de secagem como uma função do tempo à temperatura de 70 ° C, $X_0 = 13,44$ kga/kgss, $Y_0 = 0,0118$, para berinjela sem desidratação osmótica.

Obteve-se bons ajustes utilizando a equação 4.3, já que a porcentagem de erro nos parâmetros da equação é baixa como se mostra no Apêndice IV, assim como os valores de R e P são bons, porém a adição de mais uma constante não compensaria.

4.6.1 Comparação dos processos de obtenção de berinjela desidratada.

A vantagem de um processo em relação ao outro estará dada pelo tempo de processo, gasto de energia e qualidade final do produto obtido.

Tabela 4.21 Condições finais do processo de secagem com e sem desidratação osmótica.

Temperatura (° C)	Tempo (min)	Xo (kga/kgss)	Conteúdo final de umidade(b.u.)	a _w
Com Desidratação osmótica (D. O.)				
40	300	7,6	0,4789	0,821
50	300	9,58	0,2531	0,599
60	300	9,85	0,1204	0,512
70	240	10,35	0,0124	0,393
Sem D. O.				
40	300	12,59	0,7572	0,953
50	300	13,67	0,2918	0,664
60	300	12,33	0,1462	0,532
70	270	13,44	0,0856	0,481

A tabela 4.21 mostra o conteúdo de umidade final, atividade de água final e tempo de secagem da berinjela desidratada previamente a 35 ° C com solução a 10 % de cloreto de sódio, durante 20 minutos e da berinjela somente branqueada. Foi observado que a atividade de água final e o conteúdo de umidade sem desidratação osmótica são sempre maiores. Nenhum dano térmico foi verificado nas amostras após o tratamento de secagem. A qualidade da berinjela do teste a 70 ° C foi muito similar à obtida a temperaturas menores.

Devido ao alto conteúdo final de água nas amostras secas a 40 e 50 ° C, sem desidratação osmótica, a vida de prateleira é curta porque após 6 semanas estocadas a temperatura ambiente, aparece o crescimento de fungos. No restante das amostras não se verificou mudanças visuais de coloração, pois elas permaneceram claras após 6 meses de estocagem a temperatura ambiente em vidros fechados. Isto difere do

verificado por Al-Hakim (1974) que constatou escurecimento nas amostras, inativadas com vapor durante 3 minutos e secas a 71 ° C após de 5 meses de estocagem.

Quando comparamos os tempos necessários para a secagem em ambos os processos devem-se realizar esta comparação a condições constantes. Na tabela 4.22 são apresentados os tempos de secagem com a atividade final do produto $a_w = 0,6$, fixa a qual é normalmente considerada um bom limite para conservação. Foi calculada a umidade final para ambos os processos, a partir das curvas de dessorção de equilíbrio a temperatura de 25 ° C (Figura 4.19) e dados da bibliografia (Figura 2). Os tempos necessários de secagem foram estimados através das equações de tipo exponencial (Equação 4.3), com as constantes determinadas no item 4.6.

A umidade inicial da amostra desidratada osmoticamente foi calculada a partir dos dados obtidos para o processo a 35 ° C, com uma solução a 10 % de cloreto de sódio e 20 minutos de tratamento osmótico, resultando em $X_0 = 9,0$ (b. s.). Para a amostra sem tratamento foi adotado o valor determinado no item 4.1 ($X_0 = 12,8$ b. s.).

Analisando a Tabela 4.22 pode verificar-se que em todas as condições os tempos de secagem das amostras tratadas são bem menores.

Tabela 4.22 Valores obtidos do tempo de secagem para amostras com e sem tratamento osmótico.

Temperatura (° C)	a_w a 25 ° C	$X_o^{(1)}$	$X_f^{(2)}$	Tempo ⁽³⁾ de secagem (min)
Com Desidratação osmótica (D. O.)				
40	0,6	9	0,23	560
50	0,6	9	0,23	396
60	0,6	9	0,23	341
70	0,6	9	0,23	173
Sem D. O.				
40	0,6	12,8	0,18	937
50	0,6	12,8	0,18	593
60	0,6	12,8	0,18	390
70	0,6	12,8	0,18	322

⁽¹⁾ Calculada através dos dados de desidratação osmótica

⁽²⁾ Calculada através das isotermas de sorção para $a_w = 0,6$ fixa

⁽³⁾ Calculado através da equação da cinética 4.3, e as constantes das tabelas 4.17 e 4.19, respectivamente para ambas com e sem desidratação osmótica.

É interessante sublinhar que não se constataram mudanças visuais nas amostras secas a 40 ° C, com desidratação osmótica, apesar da atividade de água que é da ordem de 0,8.

Nas Figuras 4.58 a 4.60 se apresentam o as fotografias de fatias de berinjela após 8 meses de estocagem, para os diversos tratamentos.



Figura 4.58 Fatia de berinjela seca a 60 e 70 ° C sem tratamento osmótico prévio

As amostras secas a 60 e 70 ° C sem tratamento osmótico prévio, apresentam cor branca e ao redor das sementes possuem cor marrom devido à descoloração delas. Poderia pensar-se que se trata de escurecimento enzimático, porém isso não aconteceu.



Figura 4.59 Fatia de berinjela seca a 40 e 50 ° C com tratamento osmótico prévio

As amostras secas a 40 e 50 ° C, com tratamento osmótico prévio, apresentam uma coloração branca e marrom. A descoloração da casca e sementes produz essa cor marrom já após o processamento. Nestas amostras (40 e 50 ° C) apresentam um maior conteúdo de sementes, devido ao maior grau de maturação da berinjela, após a colheita.

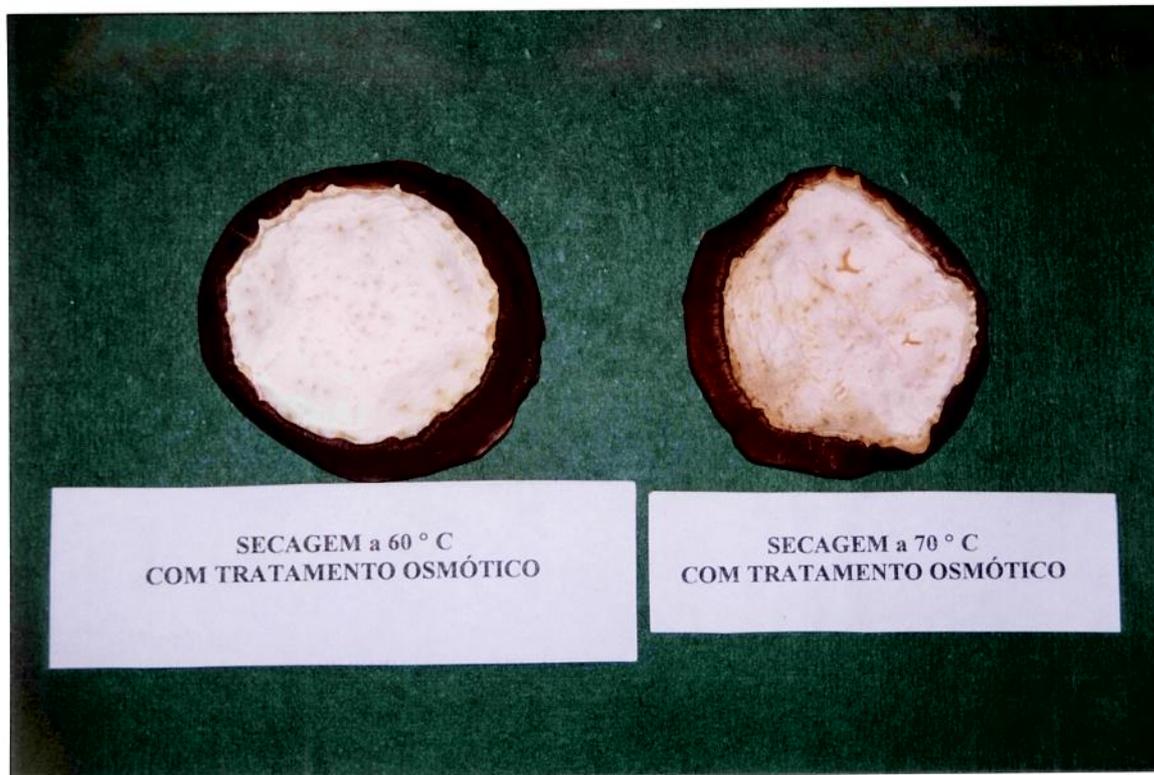


Figura 4.60 Fatia de berinjela seca a 60 e 70 ° C com tratamento osmótico prévio

As amostras secas a 60 e 70 ° C com tratamento osmótico prévio, apresentam uma coloração branca. Essa coloração marrom no extremo da amostra seca a 70 ° C se deve à descoloração da casca. Estas amostras (Figura 4.60) como as amostras (Figura 4.58) correspondem à parte com a menor proporção de sementes e tecido mais homogêneo. O conteúdo de sementes aumenta em toda a berinjela na medida que aumenta a maturação.

5. CONCLUSÕES

1. A temperatura de 35 ° C e a concentração da solução de cloreto de sódio de 10 % p/p, são as melhores condições a serem utilizadas na desidratação osmótica, para obter uma concentração de cloreto de sódio na amostra na faixa de 2 a 3 %, num período de 20 minutos de tratamento, já que uma temperatura ou um tempo maior amolecem o tecido da berinjela. Qualquer destes fatos impossibilitaria o manuseio do produto durante a secagem.

2. A difusividade do cloreto de sódio foi sempre menor que da água em todas as condições de desidratação osmótica.

3. A Equação de Henderson foi a que melhor descreveu os dados da isoterma de sorção (Métodos Estático) e a Equação de Halsey para a isoterma de dessorção (Método de Capriste & Rotstein, 1982).

4. As temperaturas de secagem de 60 e 70 ° C para as amostras com e sem tratamento osmótico foram as melhores para obter uma atividade de água no produto final menor que 0,6, evitando com isto o crescimento de microrganismos quando estocadas a temperatura ambiente.

5. O Método Exponencial ajustou melhor os dados da cinética de secagem com e sem tratamento osmótico.

6. Os tempos de secagem foram maiores para as amostras sem desidratação osmótica que com ela.

7. Nas amostras secas a 40 e 50 ° C sem tratamento osmótico, após 6 semanas de estocagem a temperatura ambiente, começam a crescer fungos, devido a seu alto teor de umidade.

8. A utilização de desidratação osmótica prévia à secagem se mostrou promissora na obtenção de berinjela a umidade intermediária resultando em tempos mais curtos de processo e um produto de relativa boa conservação e aparência. Estudos mais completos de armazenamento, reidratação do produto e análise sensorial são sugeridos para trabalhos futuros.

• **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

A. O . A. C. Official Methods of Analysis, 13 th ed., Association of Official Analytical Chemists , Washington, 1978.

AL-HAKIM-SH. Some studies on the dehydration and rehydration of local mosilli eggplant. Mesopotamia-Journal-of Agriculture; 9 (1/2), p. 33-40, 1974

ALMEIDA, M. E. M. & NOGUEIRA, J. N. The control of polyphenil oxidase activity in fruits and vegetables. A study of the interactions between the chemical compounds used and heat treatment. Plant Foods for Human Nutrition. v. 47, p. 245-256, 1995.

BARONI, A. F., Semi-desidratação congelamento e semi-desidratação secagem de cebola (*Allium cepa L.*). Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos. Tese (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, 1997.

BERISTAIN, C. I.; AZUARA, E.; CORTÉS, R. & GARCIA, H. S. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings. International Journal of Food Science and Technology, 25, p. 576-582, 1990.

BISWAL, R. N. & BOZORGMEHR, K. Mass Transfer in mixed solute osmotic dehydration of apple rings. American Society of Agricultural Engineers, v. 35 (1), p. 257-262, 1992.

BISWAL, R. N. & LE MAGUER M. Mass transfer in plant materials in contact with aqueous solutions of ethanol and sodium chloride: Equilibrium data. Journal of Food Process Engineering, 11, p. 159-176, 1989.

BISWAL, R. N.; BOZORGMEHR, K.; TOMPKINS, F. D. & LIU, X. Osmotic concentration of green beans prior to freezing. Journal of Food Science v. 56, No. 4, p.1008-1012, 1991.

BOLIN, H.R.; HUXSOLL, C. C.; JACKSON, R. & NG, K. C., Effect of Osmotic and Concentration on Fruit Quality. Journal of Food Science v. 48, p. 202-205, 1983.

BORGES, V. S. & MENEGALLI, F. C. Influência da Desidratação Osmótica sobre a Cinética de Secagem de Manga. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, v. 29, n. 4, p. 637-642, 1994.

BROOKER, D. B., BAKKER-ARKEMA, F. W. & HALL, C. W., Drying cereal grain. Westport, Connecticut, 1974.

CRAPISTE, G. H. & ROTSTEIN E. Prediction of sorptional equilibrium data for starch-containing foodstuffs. Journal of Food Science., 47, p. 1501-1507, 1982.

CONWAY, J.; CASTAIGNE, G. & VOVAN X. Mass transfer considerations in the osmotic dehydration of apples. Can. Inst. Food Sc. Technol. J.v. 16 No. 1, p. 25-29, 1983.

CRANK, J. The Mathematics of Diffusion, 2 ed. S. I. Clarendon Press Oxford, 414 p., 1975.

DALLA ROSA, M.; PINNAVAIA, G., & LERICI C. R., La desidratazione della frutta mediante osmosi diretta, Nota II. Esperienze di laboratorio su alcuni generi di frutta. Industrie Conserve., v. 57, p. 3-7, 1982.

FARKAS, D. F. & LAZAR, M. E. Osmotic dehydration of apple pieces: effect of temperature and syrup concentration on rates. Fd Technol., 23:688, 1969.

FAVETO, G., CHIRIFE, J., BARTHOLAMAI, G. B., A study of water activity lowering in meat during immersion-cooking in sodium chloride-glycerol solution. I Equilibrium considerations and diffusional analysis of solute uptake. Journal of Food Technology, (16), p.609-619, 1981.

FLINK, J. M. Process Conditions for improved flavor quality of freeze dried foods. J. Agr. Food Chem., v. 23, p. 1019-1026, 1975.

FORTE, V. La melanzana, 2a. edizione, Edizione Agricola, 62p., Bologna Italia, 1966.

FRANCO, G. Tabela de Composição Química dos Alimentos, 9a ed., Edições Atheneu, 1992.

GIANGIACOMO, R., TORREGGIANI, D., ABBO E. Osmotic dehydration of fruit pp. Part I. Sugars exchange between fruit and extracting syrups. J. Food Proc. Pres.,(11) 9. 183-195, 1987.

HAWKES, J. & FLINK, J. M. Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. Journal of Food Processing and Preservation, 2, p. 265-284, 1978.

HOUGH, G.; CHIRIFE, J. & MARINI, C. A Simple model of osmotic Dehydration of apples. Lebensm. Wiss. u. Technol., v. 26, p. 151-156, 1993.

HUBINGER, M. D. Avaliação técnica e econômica de um processo de desidratação de cebolas pela combinação de prensagem e secagem com ar aquecido. Campinas,

Faculdade de Engenharia de Alimentos. Tese (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, 1984.

IGLESIAS, H. A., CHIRIFE J. Equilibrium moisture contents of air dried beef dependence on drying temperature. Journal of Food Technology., 11, p. 565-573, 1976.

IGLESIAS, H. A., CHIRIFE J. Handbook of isotherms: water sorption parameters for food and food components. New York, Academic Press, p. , 1982.

ISLAM, M. N. & FLINK, J. M. Dehydration of potato. I. Osmotic concentration and its on air drying behaviour. J. Fd Technol., 17, p. 387-403, 1982a.

ISLAM, M. N. & FLINK, J. M. Dehydration of potato. II. Air and solar drying at low air velocities. J. Fd Technol., 17, p. 373-385, 1982b.

JOWITT, R., ESCHER, F., HALLSTÖM, B., MEFFERT, H. F. T., SPIESS, W. E. L., VOS, G. Physical properties of food. Applied Science Publishers, London and New York, 1983.

KARATHANOS, V.T.& KOSTAROPOULOS, A.E. Air-drying kinetics of osmotically dehydrated fruits. Drying Technology, 13 (5 - 7), p. 1503-1521, 1995.

LENART, A. & FLINK, J. M. Osmotic concentration of potato. I. Criteria for the end-point of the osmosis process. J. Food. Technol., 19, p. 45-63, 1984a.

LENART, A. & FLINK, J. M. Osmotic concentration of potato. II. Spatial distribution of the osmotic Effect. J. Food. Technol., 19, p. 65-89, 1984b.

LENART, A. & LEWICKI, P. P. Energy consumption during osmotic and convective drying of plant tissue. Acta Alimentaria Polonica, v. XIV, No. 1, p.65-72, 1988.

LENART, A. Osmo-Convective drying of fruits and vegetables: Technology and application. Drying Technology, 14 (2), p.391-413, 1996.

LERICI, C. R.; PEPE, M. & PINNAVAIA, G. La disidratazione della frutta mediante osmosi. Industria Conserve., (52), p. 125-129, 1977.

LERICI, C. R.; PINNAVAIA, G.; DALLA ROSA, M. & BARTOLUCCI, L. Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. Journal of Food Science, v. 50, p. 1217-1226, 1985.

MARTIN, F. W. & POLLACK, B. L. Vegetables for the hot, humid tropic. Part. 5. Eggplants *Solanum melongena*. Agricultural Research (Southern Region), Science and Education Administration, U. S. Department of Agricultura., p. 1-18, New Orleans, March 1979.

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

MAURO, M., A. Difusão multicomponente em sistemas biológicos, modelagem e simulação numérica. Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, 1998.

MONTEIRO, J. M. Distúrbio pelo frio em berinjelas (*Solanum melongena L.*): II Efeitos da exposição a temperaturas que causam o distúrbio e da subsequente

transferência à temperatura ambiente (20 ° C) nas taxas de deterioração, respiração e produção de etileno dos frutos. Col. ITAL, Campinas, 14; p. 151-164, 1984.

NEVES, E. S. Estudo da transferência de massa em carne bovina salgada desidratada. Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos. Tese (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, 1998.

PELEG, M., Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. Journal of Food Process Engineering, (16), p. 21-27, 1993.

PONTING, J. D.; WATTERS, G. G.; FORREY, R. R.; JACKSON, R. & STANLEY, W. L. Osmotic dehydration of fruits. Food Technology, p. 125-128, 1966.

PONTING, J. D., Osmotic dehydration of fruits - Recent modifications and applications. Process Biochemistry, 8 p.18-20, 1973.

RAHMAN, M. S. & LAMB J. Osmotic Dehydration of Pineapple. J. Fd. Sci. Technol., v.27, No. 3, p. 150-152, 1990.

RANGANNA, S. Handbook of Analysis and Quality Control for Fruit and Vegetable Products. Tata McGraw Hill, New Delhi, p.1986.

RAOULT, A. L.; LAFONT, F.; RIOS, G. & GUILBERT, S. Osmotic dehydration: Study of mass transfer in terms of engineering properties. In: 'Drying 89', Hemisphere Publishing Corporation, N. Y., A. S. Mujumdar and M. Roques ed. p. 487-495, 1989.

RAOULT-WACK, A. L.; GUILBERT, S.; LE MAGUER M. & RIOS G.

Simultaneous water and solute transport in shrinking media - Part 1. Application to dewatering and impregnation soaking process analysis (Osmotic Dehydration).

Drying Technology, 9 (3), p. 589-612, 1991a.

RAOULT-WACK, A. L.; PETITDEMANGE, F.; GIROUX, F.; GUILBERT, S.;

RIOS G. & LEBERT A . Simultaneous water and solute transport in shrinking media

- Part 2. A compartmental model for dewatering and impregnation soaking processes.

Drying Technology, 9 (3), p. 613-630, 1991b.

RAOULT-WACK, A. L.; BOTZ, O.; GUILBERT, S.& RIOS G. Simultaneous

water and solute transport in shrinking media - Part 3. A tentative analysis of spatial

distribution of impregnating solute in model gel. Drying Technology, 9 (3), p. 631-

642, 1991c.

RAOULT-WACK, A. L.; LENART, A. & GUILBERT, S. Recent Advances in

Dewatering Trough in Concentrated Solutions (“Osmotic dehydration”).In Drying of

Solids, A. S. Mujumdar ed., International Science Publisher, New. Yok., p. 21-51,

1992.

RAOULT-WACK, A. L. Recent Advances in the Osmotic Dehydration of Food,

Trends in Food Science & Technology, v. 5, p. 255-260, 1994.

RIZVI, S. S. H. Thermodynamic Properties of Foods in Dehydration. Engineering

Properties of Foods, (M. A. Rao e S. S. H. Rizvi, eds.), pp. 133-214, Academic Press,

New York, 1986.

ROMERO, J. T. Secagem de proteína texturizada de soja em leite estático e deslizante. Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos. Tese (mestrado) - Universidade estadual de Campinas, 1988.

SARAVACOS, D. G. Mass Transfer Properties of Foods. Engineering Properties of Foods, (M. A. Rao e S. S. H. Rizvi, eds.), pp. 89-132, Academic Press, New York, 1986.

SILVA, R. Z. V. Avaliação de condições de armazenamento na deterioração da qualidade de fatias de cebolas desidratadas. Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, 1985. Tese (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas

TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetables Processing. Food Research International 26, p. 59-68, 1993.

VÁMOS-VIGYÁZÓ, L., Polyphenil oxidase and Peroxidase in Fruits and Vegetables. CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition., (11), p. 49-127, 1981.

VIAL, C., GUILBERT, S., & CUQ, J., Osmotic Dehydration of Kiwi-fruits: Influence of process variables on the color and ascorbic acid content. Sciences des Aliments., (11), p. 63-84, 1991.

VIJAYANAD, P.; NAGIN CHAD & EIPESON, W. E. Optimization of osmotic dehydration of coulliflower. Journal of Food Processing and Preservation 19, p. 229-242, 1995.

WANG, W. C. & SASTRY, S. K. Salt diffusion into vegetable tissue as a pretreatment for ohmic Determination of parameters and mathematical model verification. Journal of Food Engineering , 20, p. 311-323, 1993.

YANG, D. C. & LE MAGUER, M. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of mushrooms. Journal of Food Processing and Preservation 16, p. 215-231, 1992.

APÊNDICE I

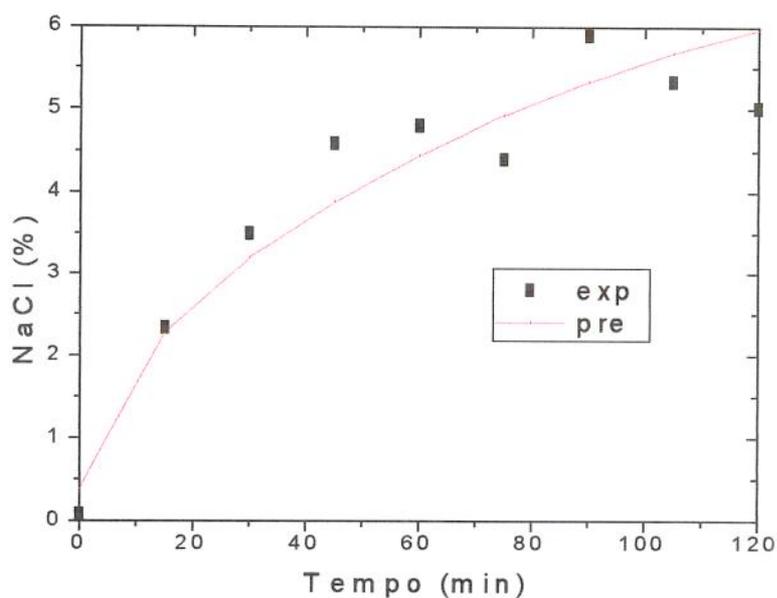


Figura I.1 Valores experimentais e preditos da cinética de desidratação osmótica em função do tempo, a uma temperatura de 25 ° C e uma solução de cloreto de sódio a 10 % p/p.

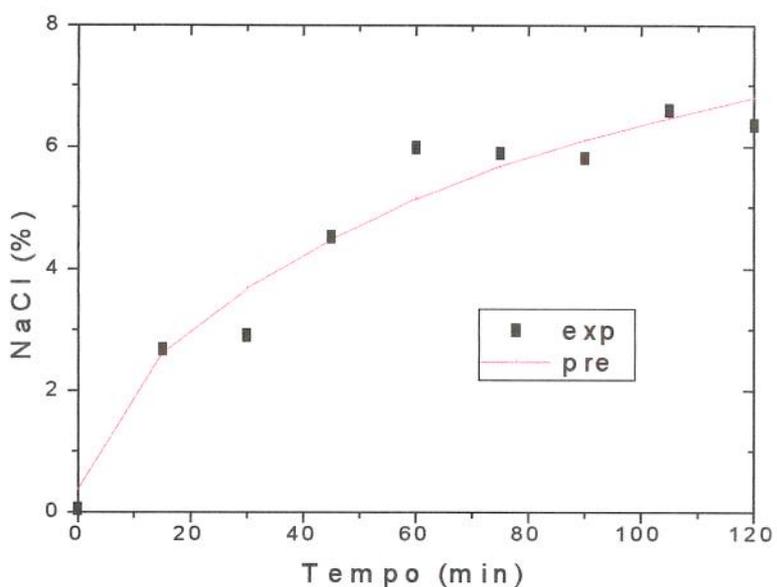


Figura I.2 Valores experimentais e preditos da cinética de desidratação osmótica em função do tempo, a uma temperatura de 35 ° C e uma solução de cloreto de sódio a 10 % p/p.

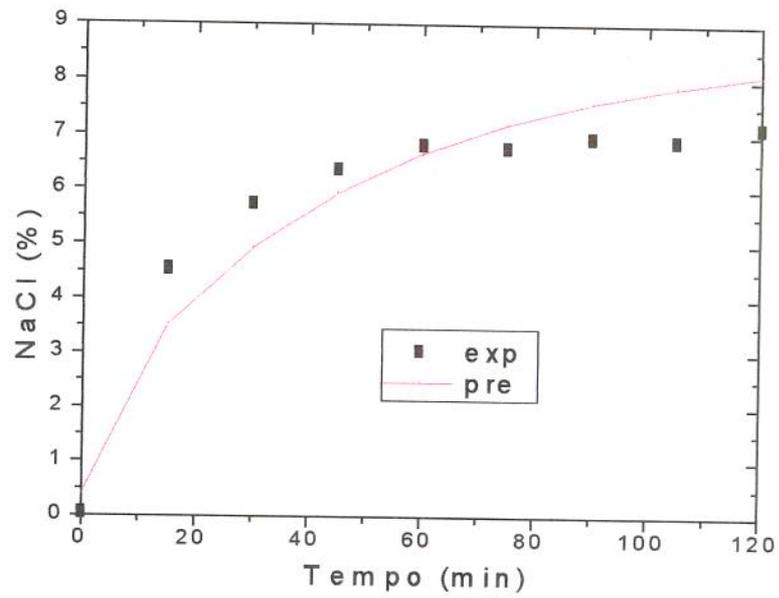


Figura I.3 Valores experimentais e preditos da cinética de desidratação osmótica em função do tempo, a uma temperatura de 45 ° C e uma solução de cloreto de sódio a 10 % p/p.

APÊNDICE II

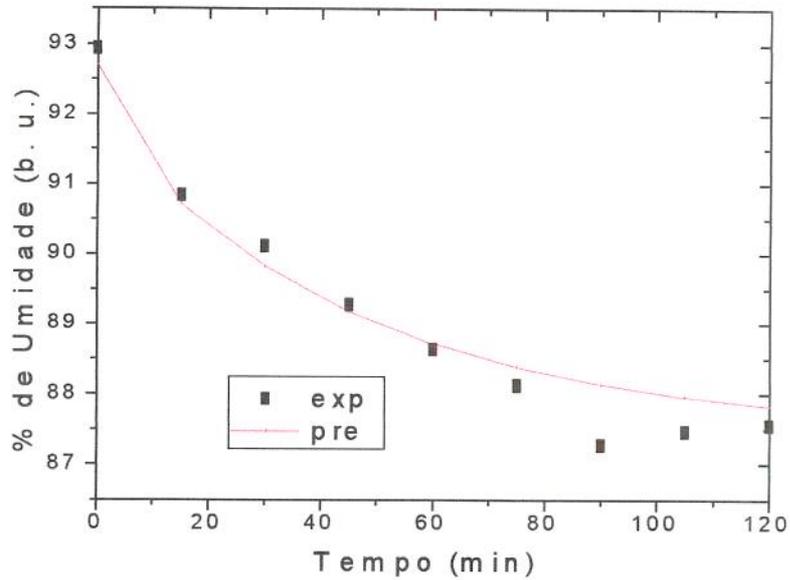


Figura II.1 Valores experimentais e preditos da perda de água em função do tempo a uma temperatura de 25 ° C e uma concentração de solução de cloreto de sódio de 10 % p/p.

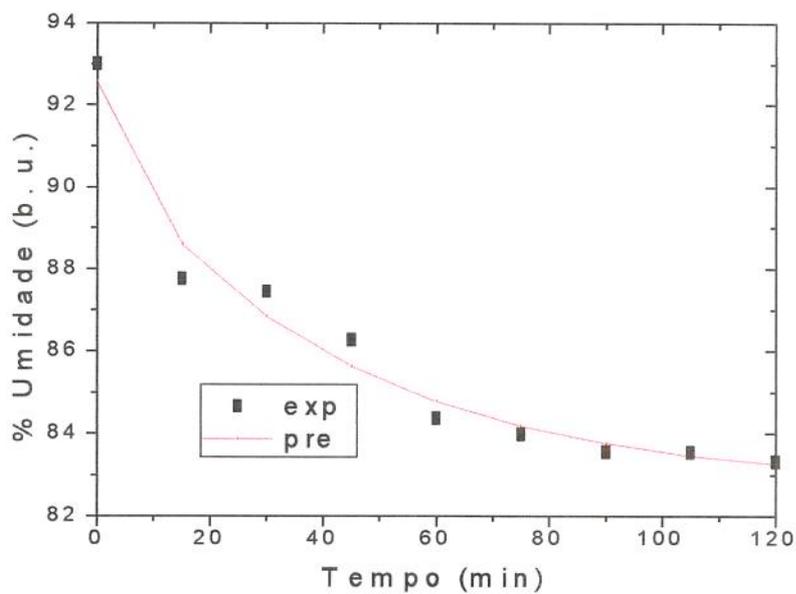


Figura II.2 Valores experimentais e preditos da perda de água em função do tempo a uma temperatura de 25 ° C e uma concentração de solução de cloreto de sódio de 15 % p/p.

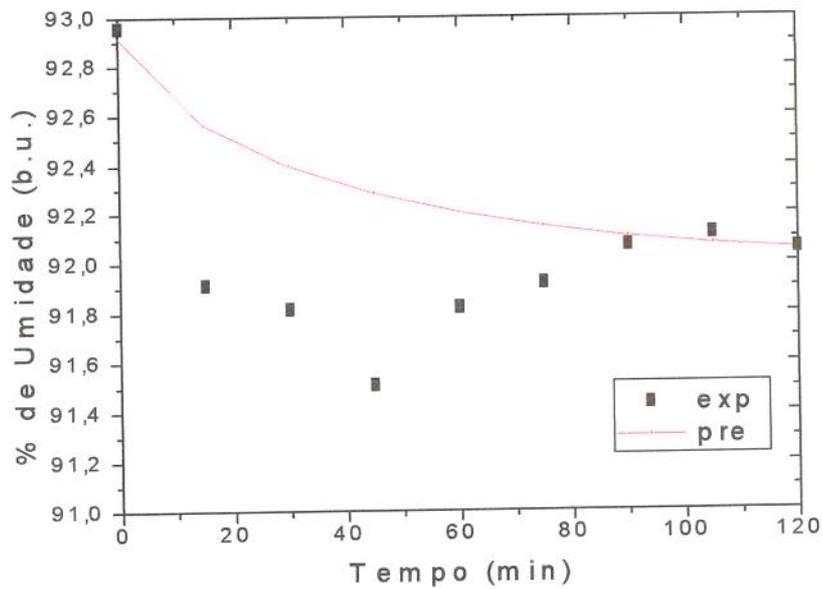


Figura II.3 Valores experimentais e preditos da perda de água em função do tempo a uma temperatura de 35 ° C e uma concentração de solução de cloreto de sódio de 5 % p/p.

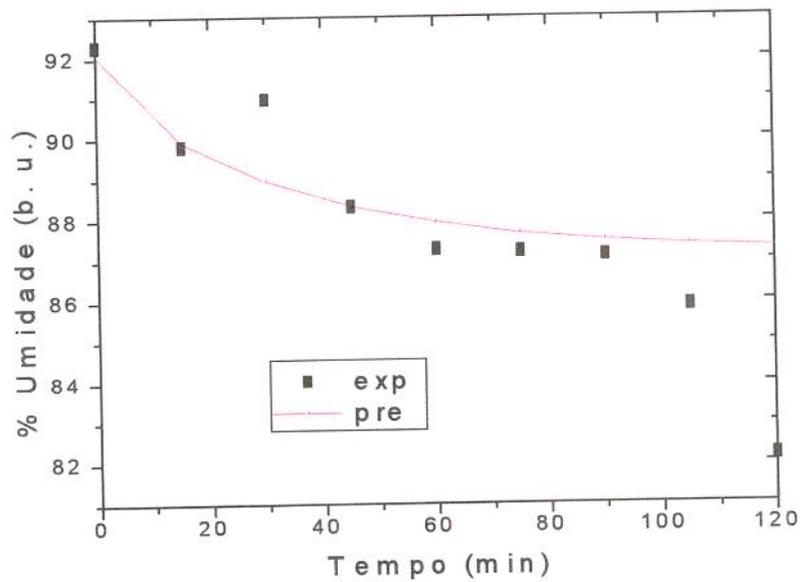


Figura II.4 Valores experimentais e preditos da perda de água em função do tempo a uma temperatura de 35 ° C e uma concentração de solução de cloreto de sódio de 10 % p/p.

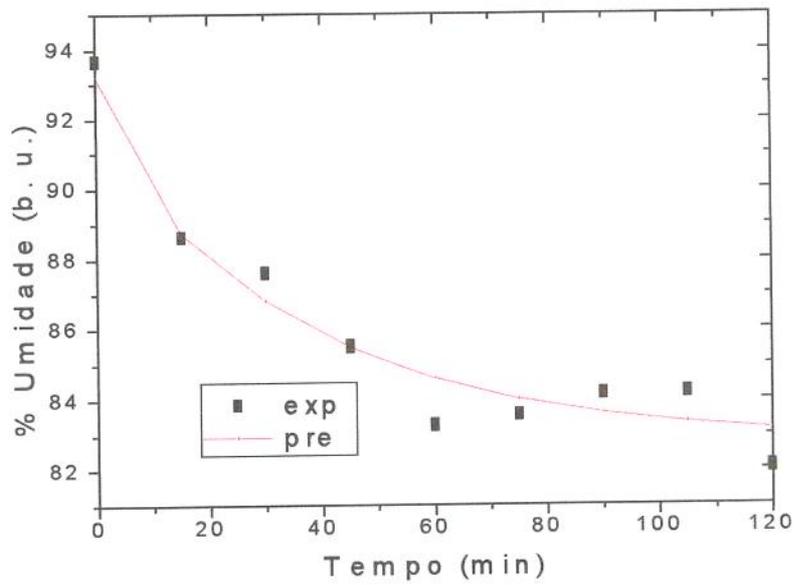


Figura II.5 Valores experimentais e preditos da perda de água em função do tempo a uma temperatura de 35 ° C e uma concentração de solução de cloreto de sódio de 15 % p/p.

APÊNDICE III

Valores obtidos nas isotermas de sorção feitas pelo Método Estático.

As amostras continham 1,05 % de cloreto de sódio e 93,22 % de umidade antes de serem liofilizadas.

Tabela III.1 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 25 ° C

Umidade (b. s.)	Atividade de Água (a_w)
0,01939817	0,069
0,03046717	0,112
0,06655719	0,327
0,08638794	0,442
0,1308869	0,536
0,1810845	0,5757
0,2810432	0,645
0,6058942	0,756
0,9724098	0,843
1,520183	0,904

As amostras continham 1,45 % de cloreto de sódio e 92,80 % de umidade antes de serem liofilizadas.

Tabela III.2 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 25 ° C

Umidade (b. s.)	Atividade de Água (a_w)
0,02480512	0,069
0,02614639	0,112
0,05391329	0,327
0,08253722	0,442
0,1287859	0,536
0,1707696	0,5757
0,2809685	0,645
0,641657	0,756
1,085542	0,843
1,59303	0,904

As amostras continham 1,05 % de cloreto de sódio e 93,22 % de umidade antes de serem liofilizadas.

Tabela III.3 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 40 ° C

Umidade (b. s.)	Atividade de Água (a_w)
0,02302893	0,066
0,00682982	0,111
0,05037386	0,319
0,0379916	0,432
0,06221302	0,506
0,08704744	0,5317
0,1735761	0,616
0,5232204	0,752
0,7057598	0,82
1,037599	0,893

As amostras continham 1,45 % de cloreto de sódio e 92,80 % de umidade antes de serem liofilizadas.

Tabela III.4 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 40 ° C

Umidade (b. s.)	Atividade de Água (a_w)
0,0007524	0,066
0,01764766	0,111
0,05011283	0,319
0,05612301	0,432
0,08607812	0,506
0,09952809	0,5317
0,1911434	0,616
0,8662427	0,752
0,9357227	0,82
1,644199	0,893

Parâmetros (X_m , C e K), coeficiente de correlação(R), e porcentagem de confiança (P) ajustados pela Equação de GAB, a diferentes temperaturas e concentrações de NaCl mostram-se na Tabela III.5.

Tabela III.5 Parâmetros da equação de GAB.

Conc. (%) e Temp (°C)	X_m	C	K	R	P(%)
2 % NaCl e 25	9,21844	0,01282	0,84288	0,99877	99,755
4 % NaCl e 25	13,53778	0,00958	0,83773	0,99765	99,53
2 % NaCl e 40	14,30701	0,00803	0,81033	0,99214	98,435
4 % NaCl e 40	32,93467	0,00434	0,83724	0,98633	97,284

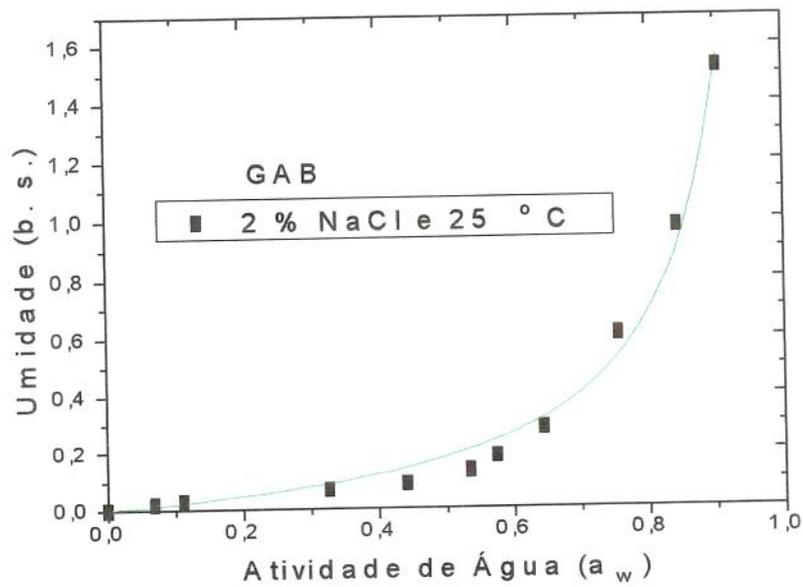


Figura III.1 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de GAB.

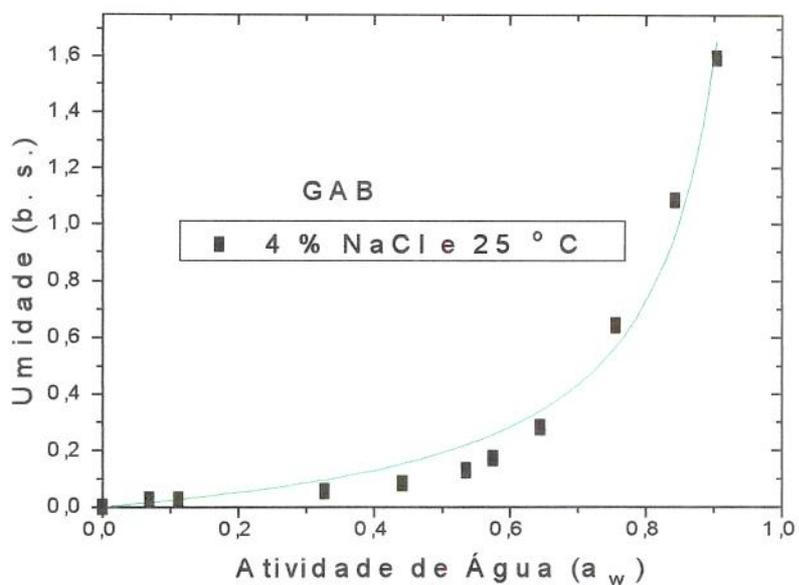


Figura III.2 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de GAB.

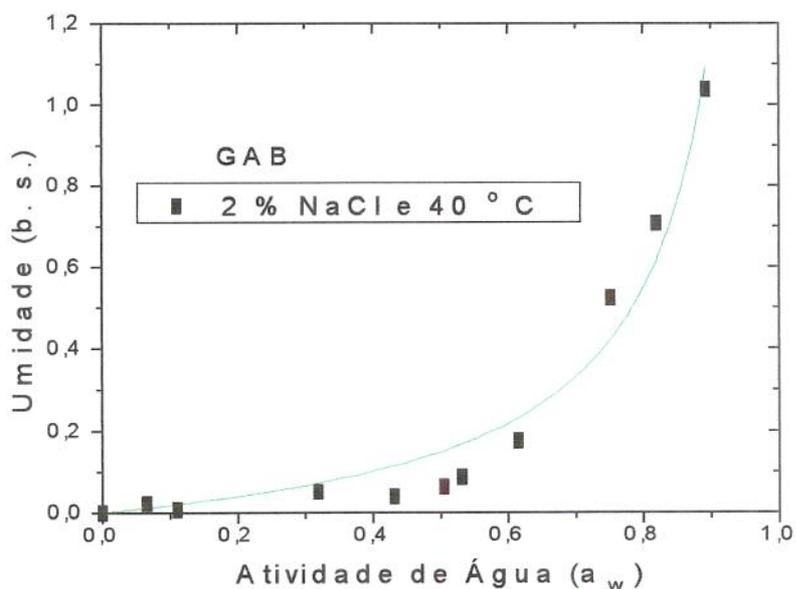


Figura III.3 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de GAB.

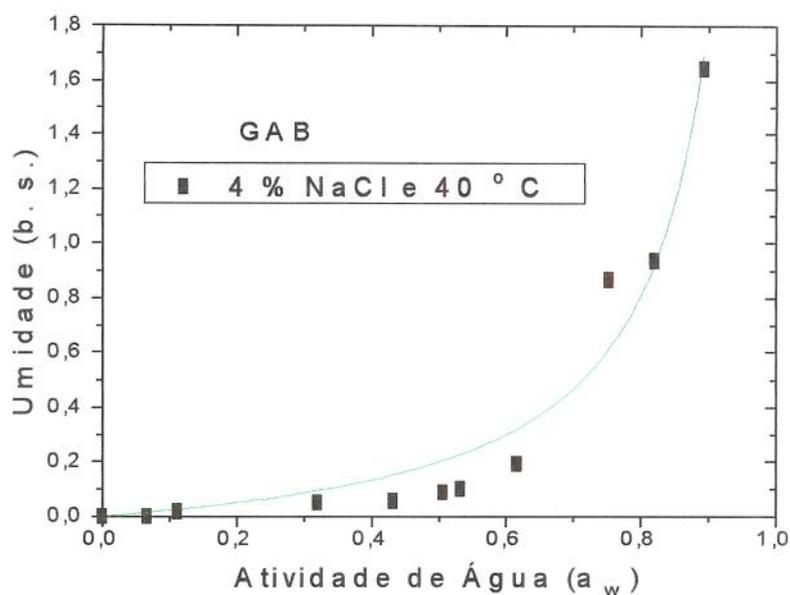


Figura III.4 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de GAB.

Parâmetros (B e C), coeficiente de correlação(R), e porcentagem de confiança (P) ajustados pela Equação de Halsey, a diferentes temperaturas e concentrações de NaCl, mostram-se na Tabela III.6

Tabela III.6 Parâmetros da equação de Halsey

Conc. (%) e Temp (°C)	B	C	R	P(%)
2 % NaCl e 25	377,70569	0,91127	0,99191	98,388
4 % NaCl e 25	399,26261	0,91394	0,98761	97,536
2 % NaCl e 40	321,79168	0,92153	0,97649	95,353
4 % NaCl e 40	467,48209	0,86327	0,97464	94,992

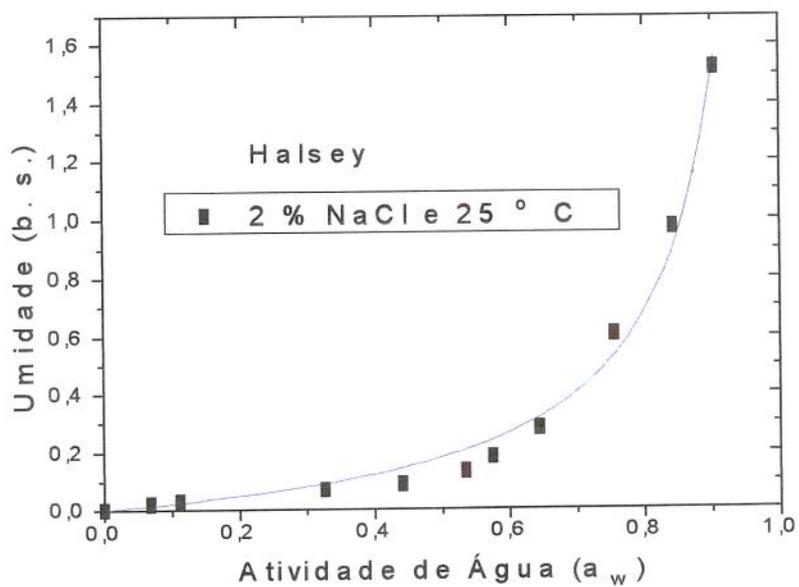


Figura III.5 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de Halsey.

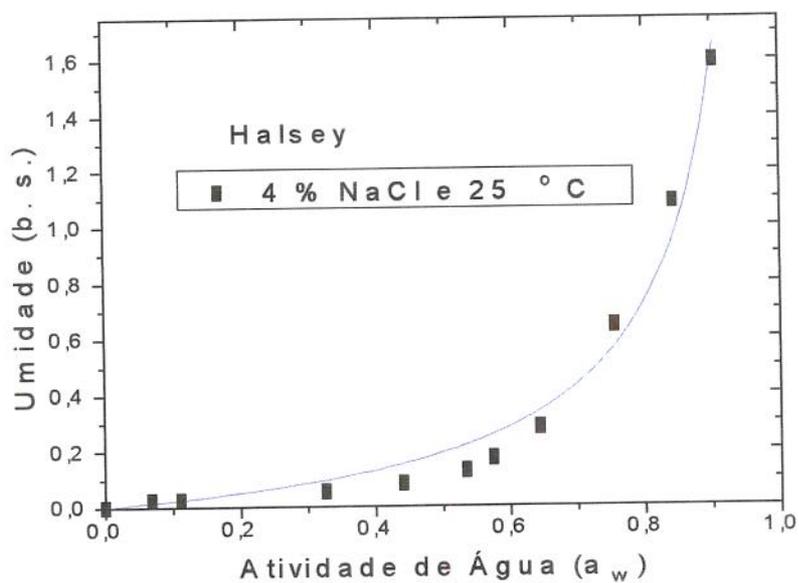


Figura III.6 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de Halsey.

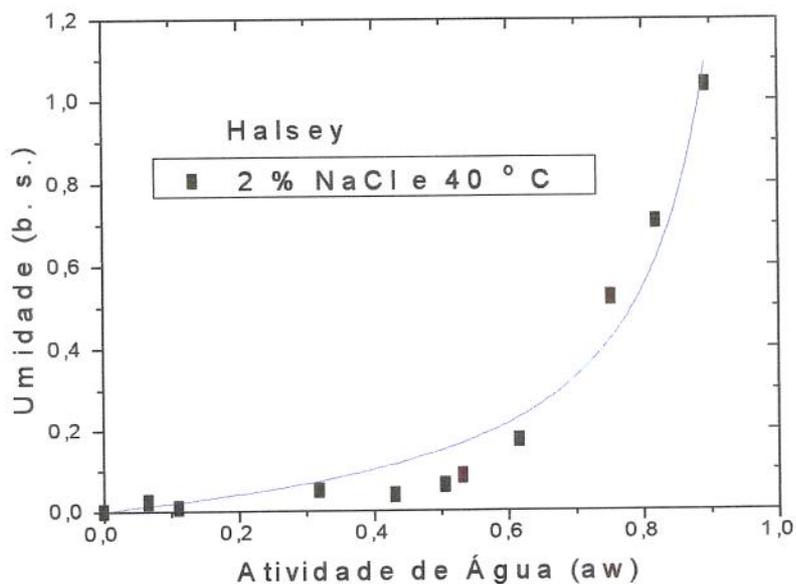


Figura III.7 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de Halsey.

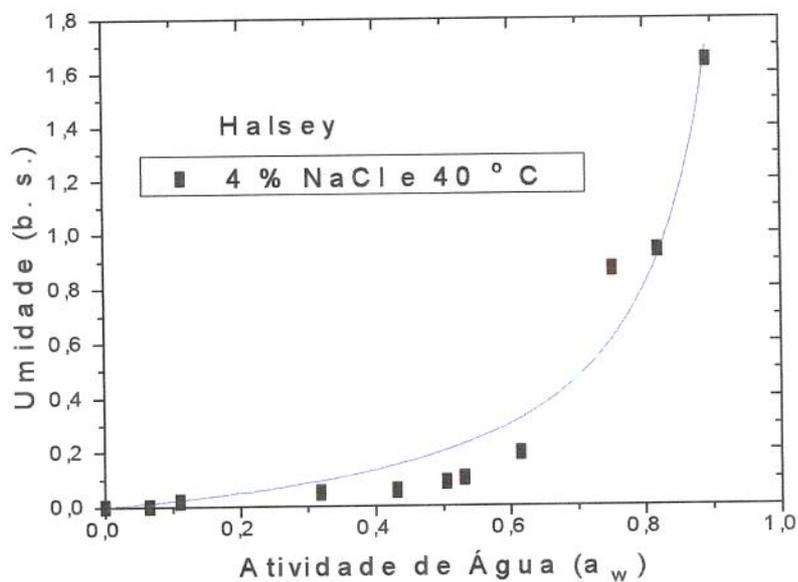


Figura III.8 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de Halsey.

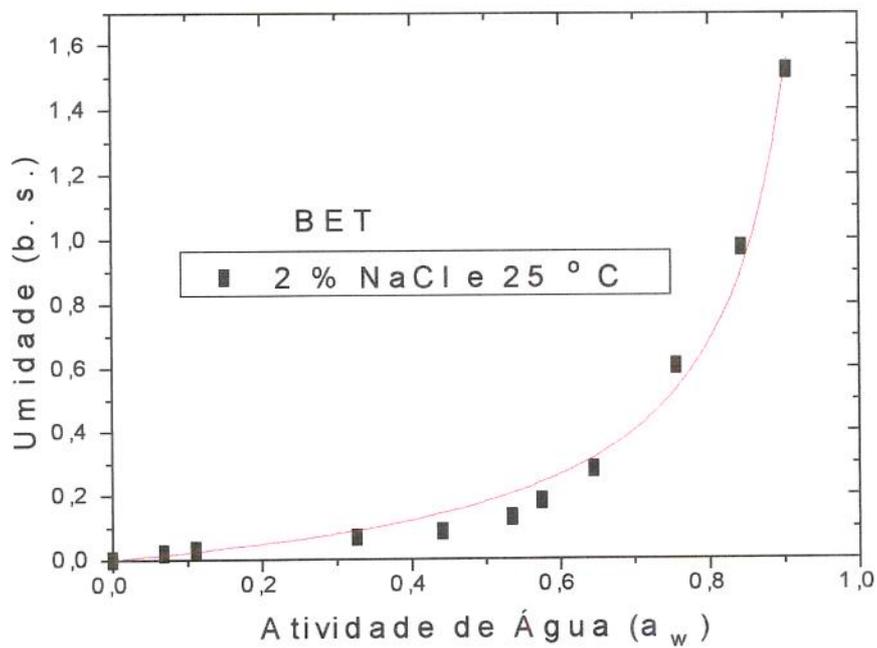


Figura III.9 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de BET.

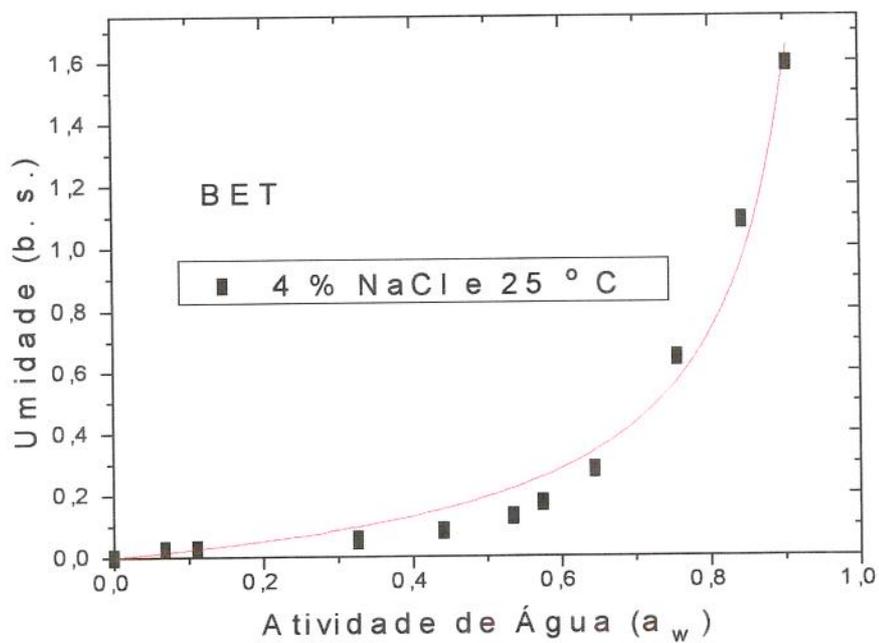


Figura III.10 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de BET.

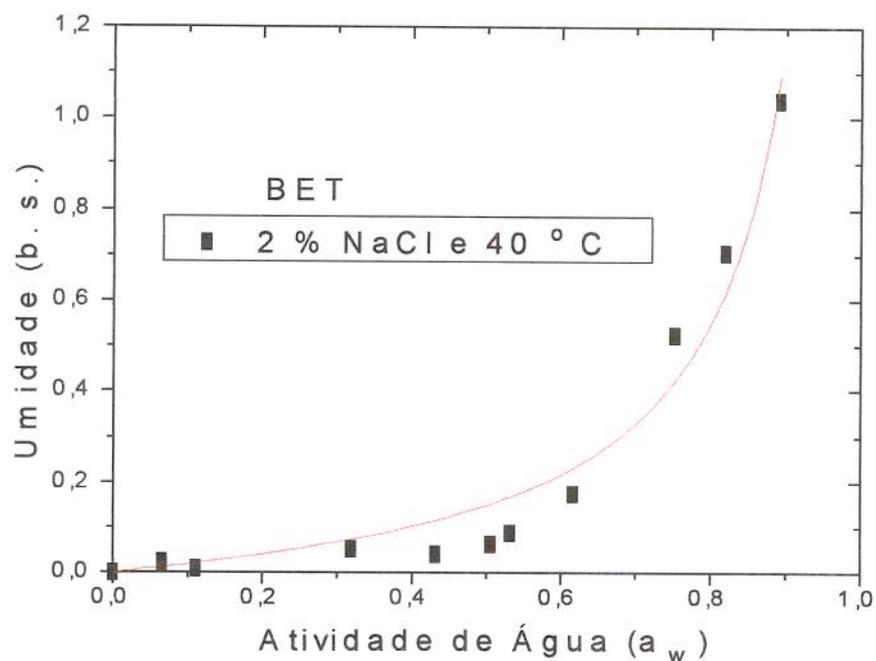


Figura III.11 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de BET.

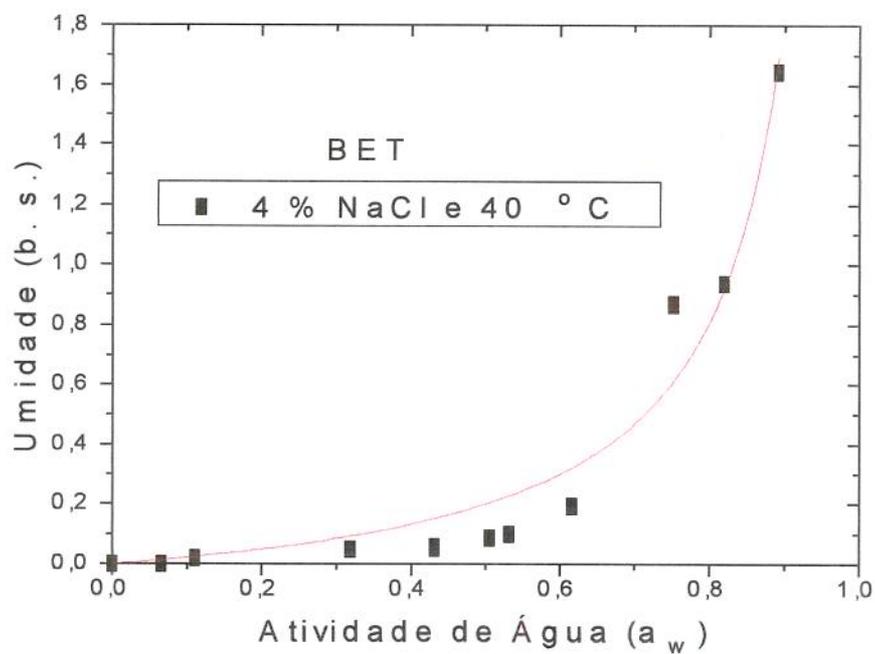


Figura III.12 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de BET.

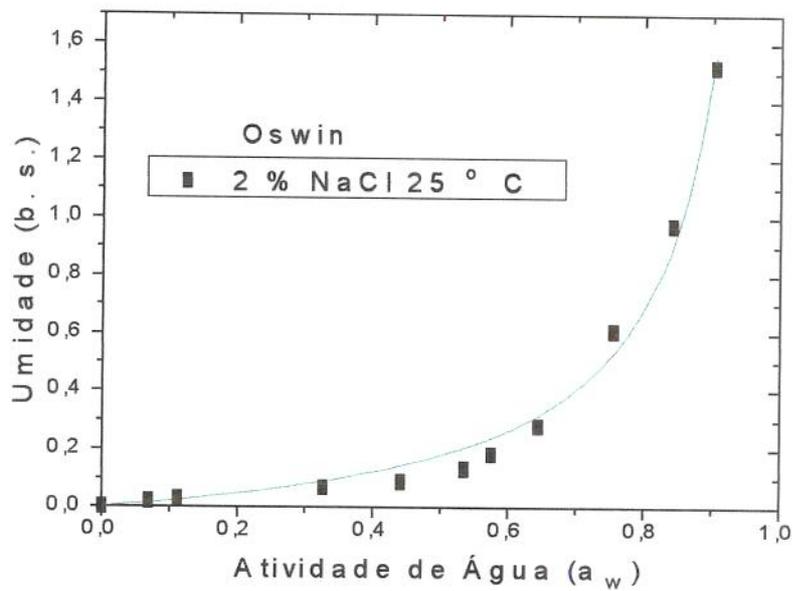


Figura III.13 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de Oswin.

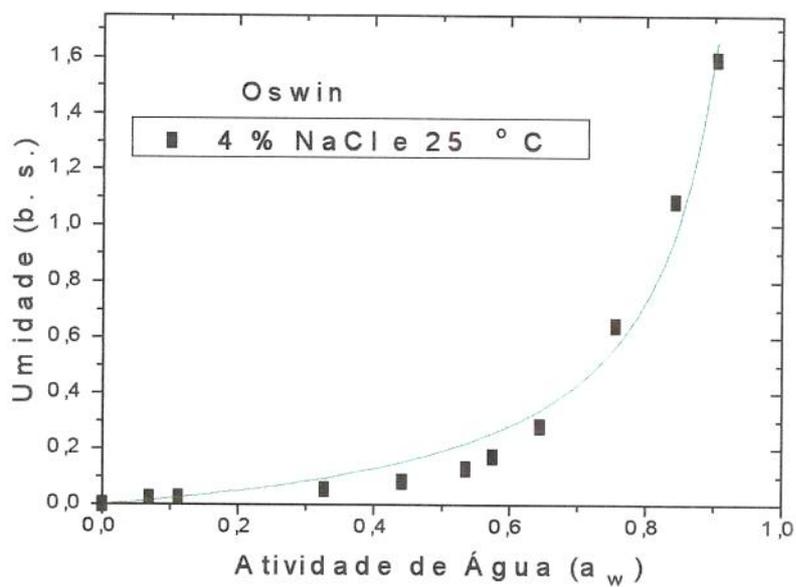


Figura III.14 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de Oswin.

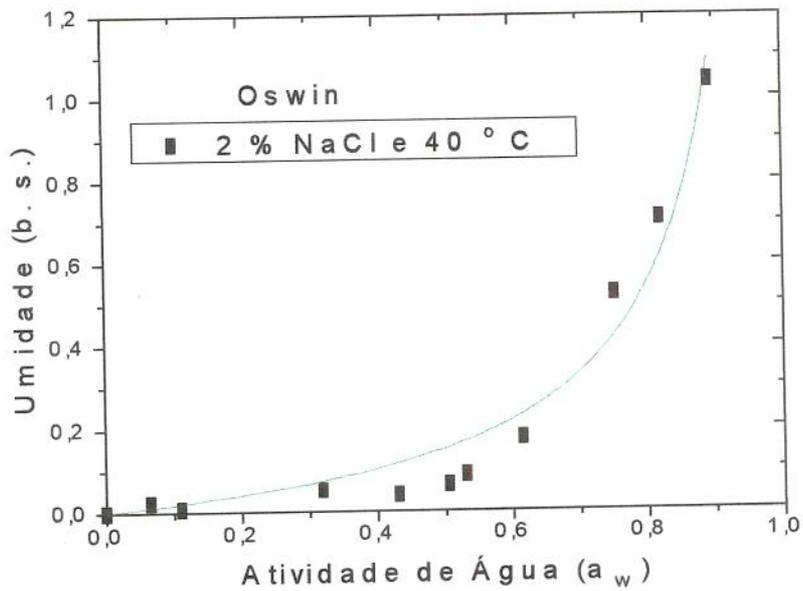


Figura III.15 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de Oswin.

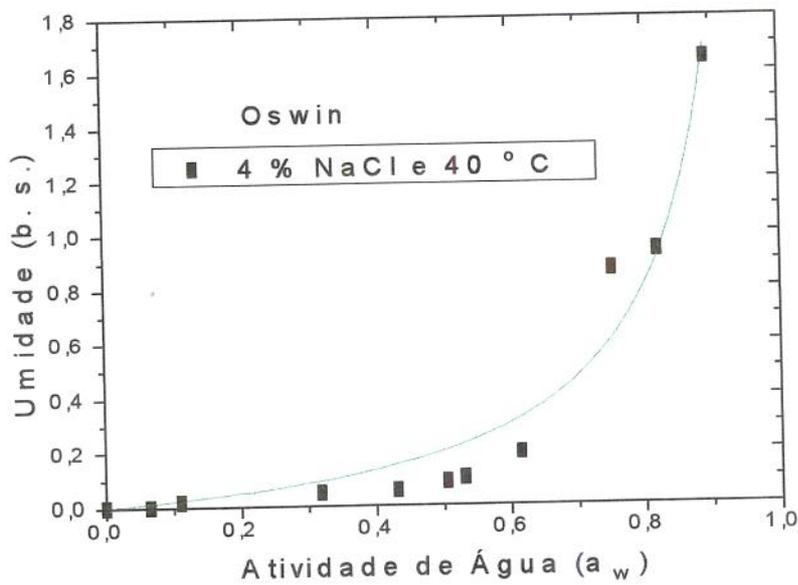


Figura III.16 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de Oswin.

Parâmetros (K_1 , K_2 , n_1 e n_2), coeficiente de correlação (R), e porcentagem de confiança (P) ajustados pela Equação empírica de Peleg, a diferentes temperaturas e concentrações de NaCl, mostram-se na Tabela III.7

Tabela III.7 Parâmetros da equação de Peleg.

Conc. (%) e Temp (°C)	K_1	K_2	n_1	n_2	R	$P(\%)$
2 % NaCl e 25	0,14318	2,5512	0,76336	6,1576	0,9992	99,84
4 % NaCl e 25	0,0666	2,67432	0,37694	5,56044	0,99988	99,977
2 % NaCl e 40	- 14,46928	16,1702	3,66898	3,73715	0,99804	99,689
4 % NaCl e 40	- 13,94952	16,7174	4,16372	4,26159	0,99078	98,165

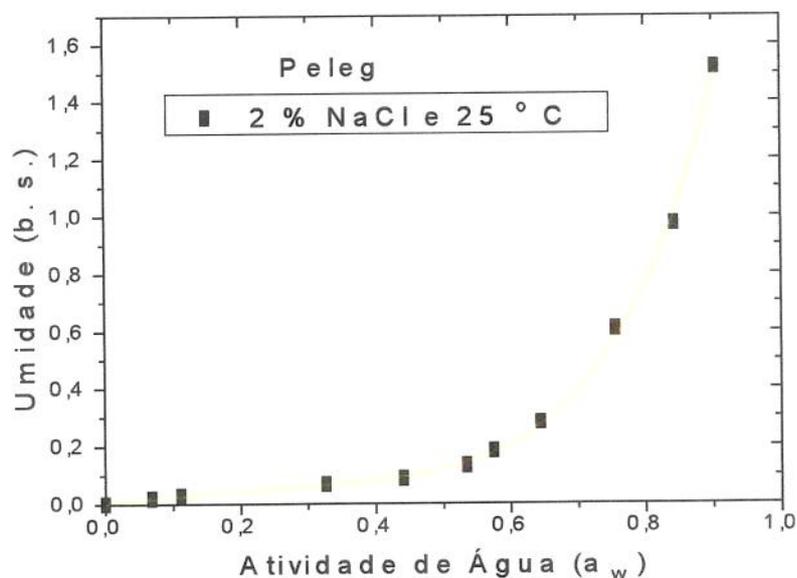


Figura III.17 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de Peleg.

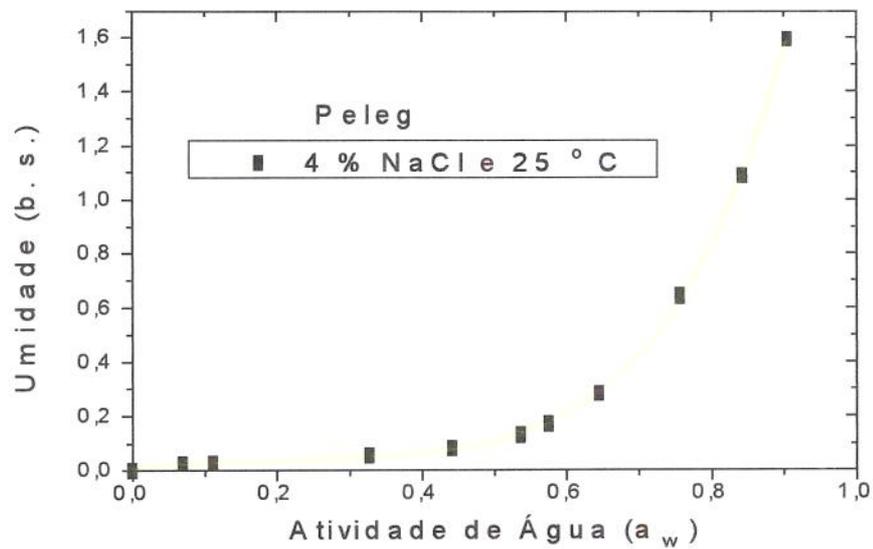


Figura III.18 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de Peleg.

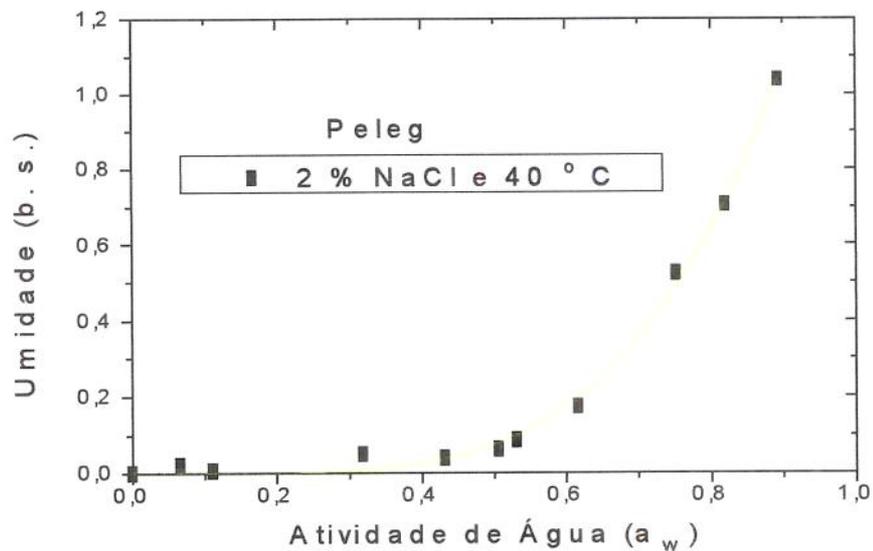


Figura III.19 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de Peleg.

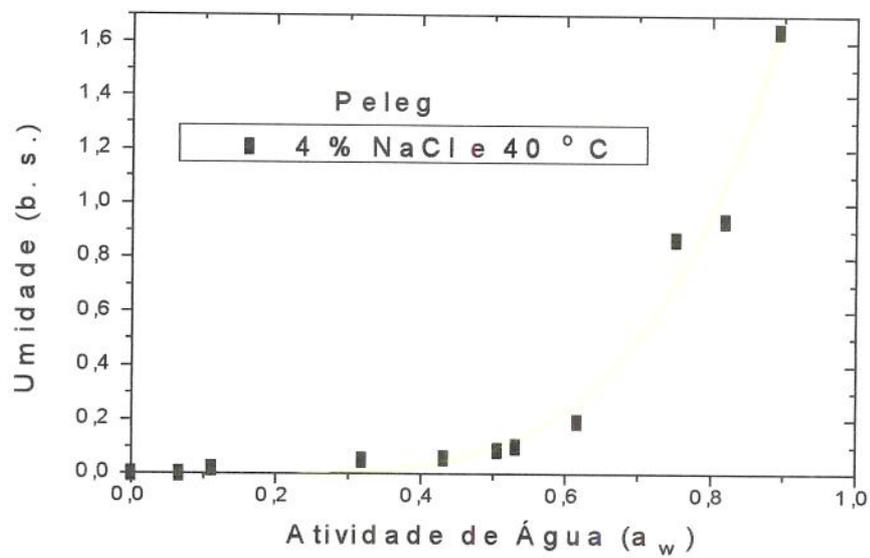


Figura III.20 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de Peleg.

Valores obtidos nas isotermas de sorção feitas pelo Método de Crapiste & Rostein (1982).

Tabela III.8 Dados da isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 25 ° C.

Umidade (base seca)	Atividade de água (a_w)
14,6204	0,989
8,2043	0,985
3,9743	0,975
3,1683	0,973
2,9569	0,968
1,0246	0,896
0,3719	0,655
0,1805	0,457
0,1426	0,314
0,1305	0,259
0,1881	0,386
0,1243	0,246
0,1378	0,214
0,1186	0,239
0,1371	0,246
0,1495	0,256
0,1980	0,392
0,0943	0,232
0,1595	0,363
0,1461	0,319
0,1496	0,378
0,1370	0,335

Tabela III.9 Dados da isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 25 ° C.

Umidade (base seca)	Atividade de água (a_w)
11,5069	0,986
6,2779	0,977
4,3296	0,970
2,3887	0,944
1,3668	0,916
0,8328	0,870
0,8456	0,853
0,7948	0,856
0,3748	0,727
0,8412	0,887
0,0299	0,284
0,0509	0,351
0,0508	0,354
0,0543	0,359
0,0431	0,311
0,0327	0,299
0,0007	0,177
0,0201	0,240
0,0142	0,247
0,0235	0,280
0,0162	0,243
0,0105	0,237
0,0185	0,242
0,0083	0,206
0,0292	0,323

Tabela III.10 Dados da isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 40 ° C.

Umidade (base seca)	Atividade de água (a_w)
14,2807	0,983
5,3245	0,971
2,5790	0,951
1,4016	0,927
1,1225	0,905
0,7365	0,880
0,7220	0,869
0,2617	0,670
0,0992	0,482
0,0206	0,291
0,0388	0,342
0,0513	0,381
0,0455	0,353
0,0139	0,268
0,0402	0,361
0,0186	0,281
0,0190	0,282
0,0201	0,283
0,0601	0,389
0,0122	0,283
0,0118	0,287
0,0098	0,272
0,0164	0,302
0,0179	0,317
0,0224	0,347

Tabela III.11 Dados da isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 40 ° C.

Umidade (base seca)	Atividade de água (a_w)
9,5963	0,987
4,8610	0,965
3,0907	0,962
1,3230	0,903
0,9309	0,890
0,5399	0,796
0,3319	0,696
0,0989	0,531
0,0190	0,304
0,3442	0,723
0,0014	0,228
0,0106	0,289
0,0240	0,331
0,0858	0,484
0,0012	0,214
0,0013	0,237
0,0009	0,165
0,0212	0,314
0,0133	0,302
0,0077	0,323
0,0027	0,271
0,0011	0,200
0,0012	0,219
0,0110	0,319
0,0216	0,365

Os parâmetros (X_m e C), coeficiente de correlação (R), e porcentagem de confiança (P) ajustados pela Equação de BET, a diferentes temperaturas e concentrações de NaCl, mostram-se na Tabela III.12.

Tabela III.12 Parâmetros da Equação de BET

Conc. (%) e Temp (°C)	X_m	C	R	$P(\%)$
2 % NaCl e 25	0,32459	0,01053	0,99647	99,299
4 % NaCl e 25	0,155501	0,29365	0,99935	99,363
2 % NaCl e 40	0,54588	0,01362	0,99765	99,530
4 % NaCl e 40	0,13951	0,94777	0,99389	98,781

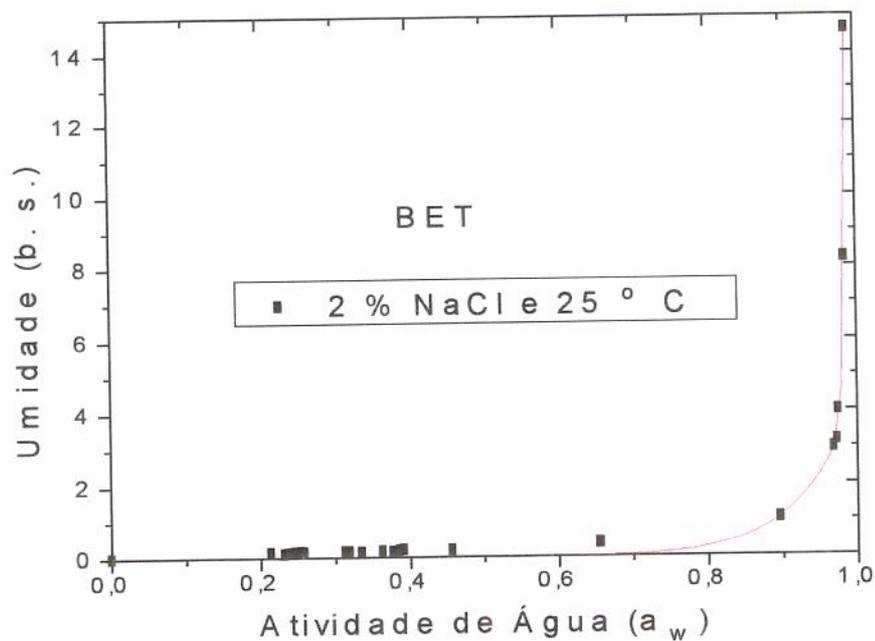


Figura III.21 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de BET.

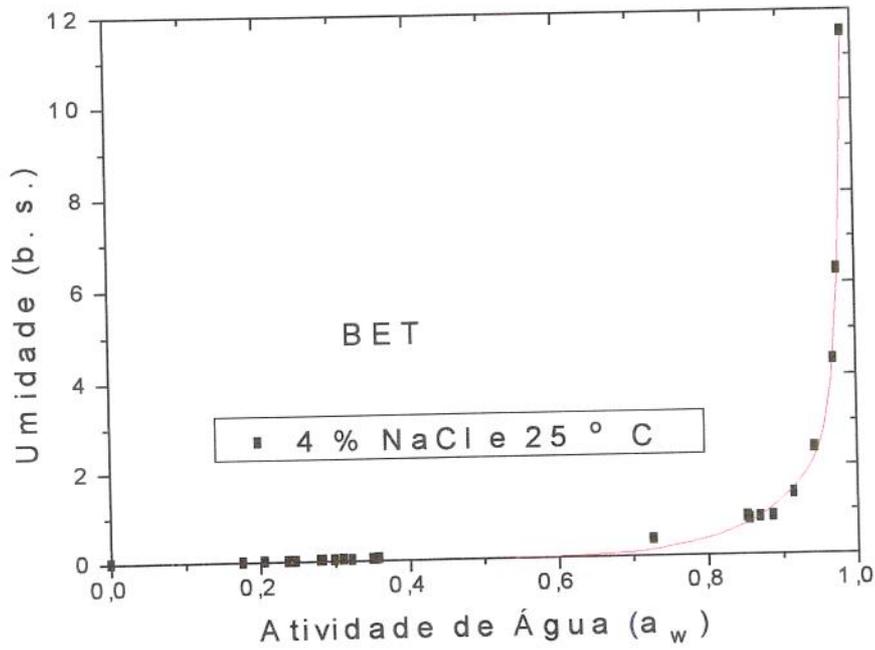


Figura III.22 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de BET.

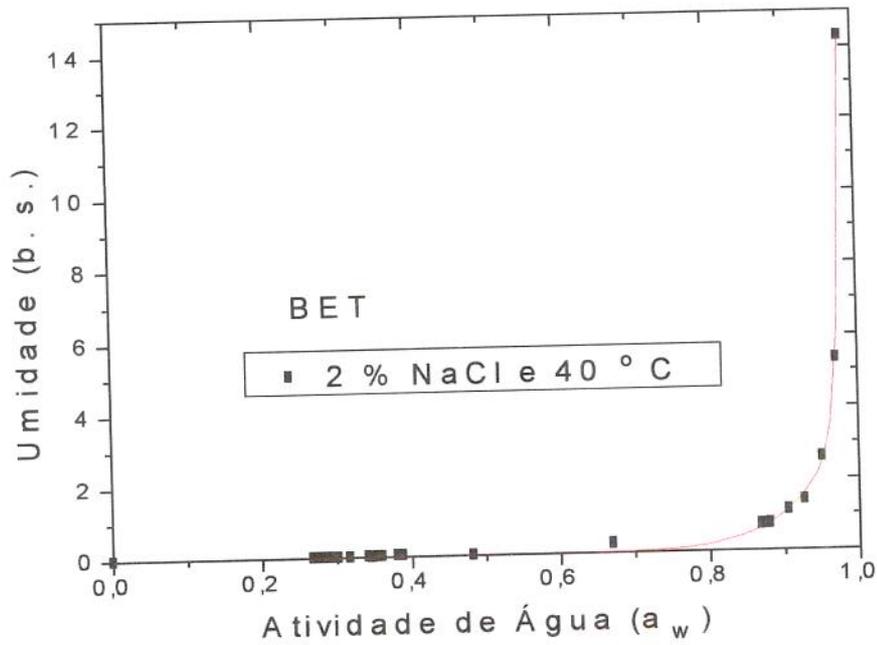


Figura III.23 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de BET.

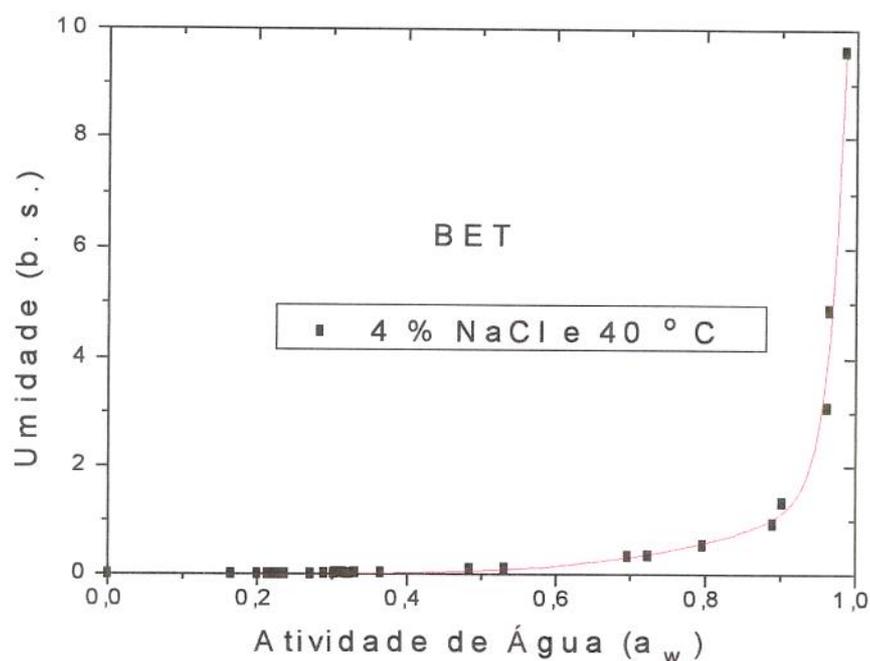


Figura III.24 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de BET.

Parâmetros (X_m , C e K), coeficiente de correlação (R), e porcentagem de confiança (P) ajustados pela Equação de GAB, a diferentes temperaturas e concentrações de NaCl, mostram-se na Tabela III.13

Tabela III.13 Parâmetros da equação de GAB.

Conc. (%) e Temp (°C)	X_m	C	K	R	$P(\%)$
2 % NaCl e 25	0,69894	0,00452	0,99831	0,99631	99,264
4 % NaCl e 25	0,13818	0,54697	1,00127	0,99955	99,91
2 % NaCl e 40	0,10741	0,56774	1,00975	0,99993	99,986
4 % NaCl e 40	0,01776	0,0163	1,01274	0,82908	68,738

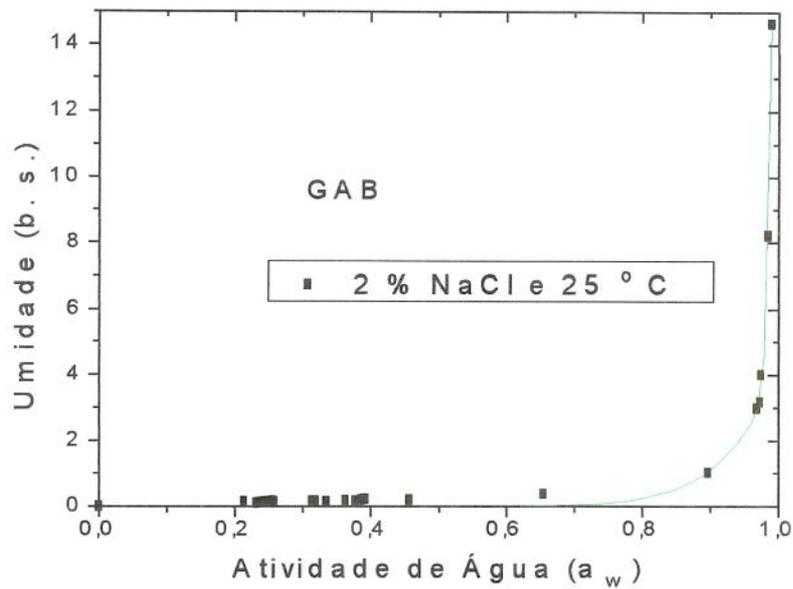


Figura III.25 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de GAB.

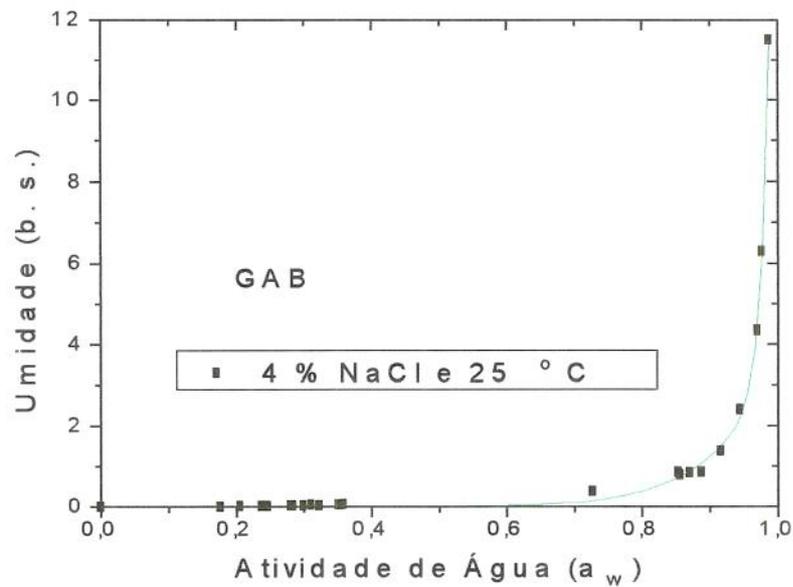


Figura III.26 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de GAB.

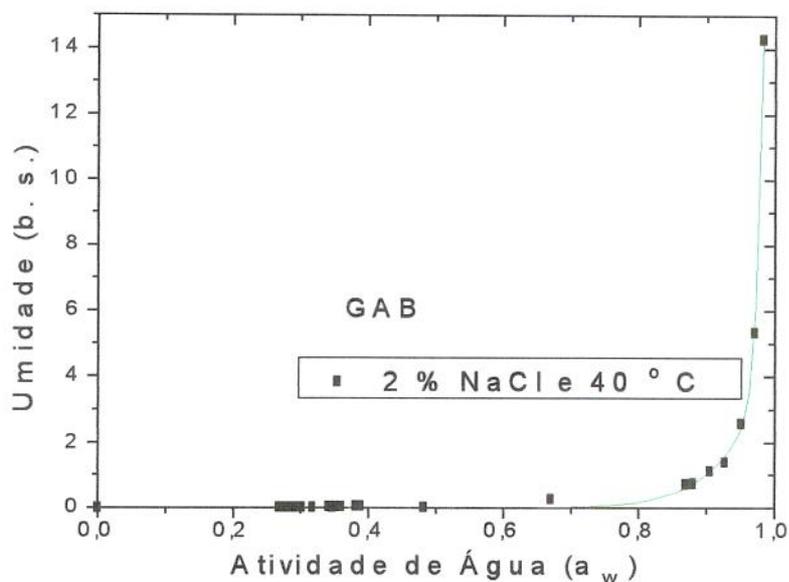


Figura III.27 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de GAB.

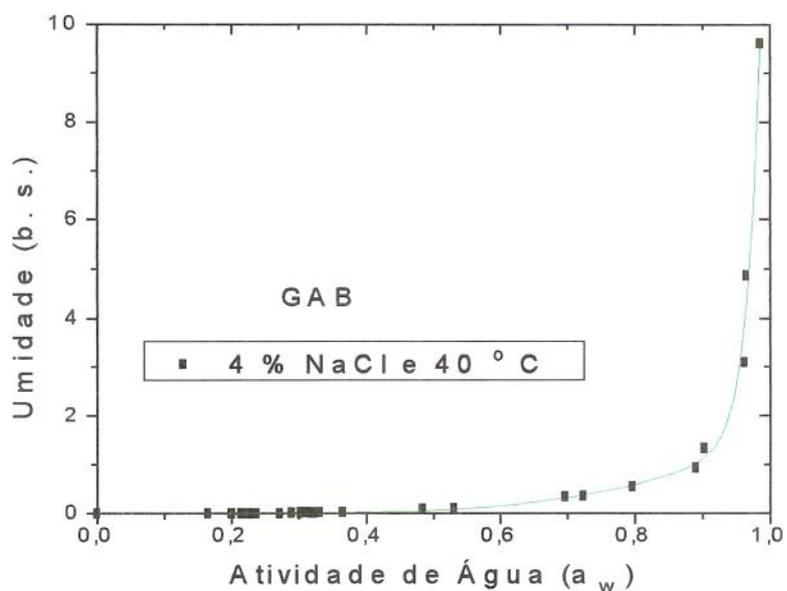


Figura III.28 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de GAB.

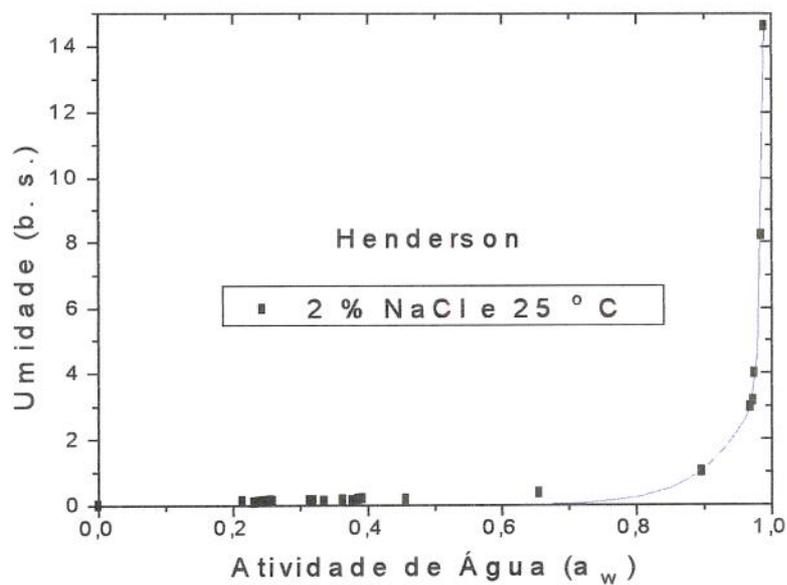


Figura III.29 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de Henderson.

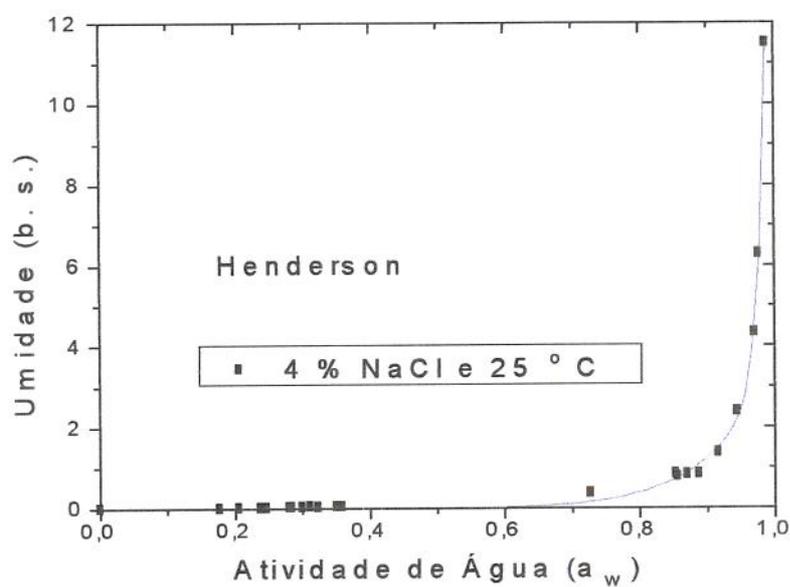


Figura III.30 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de Henderson.

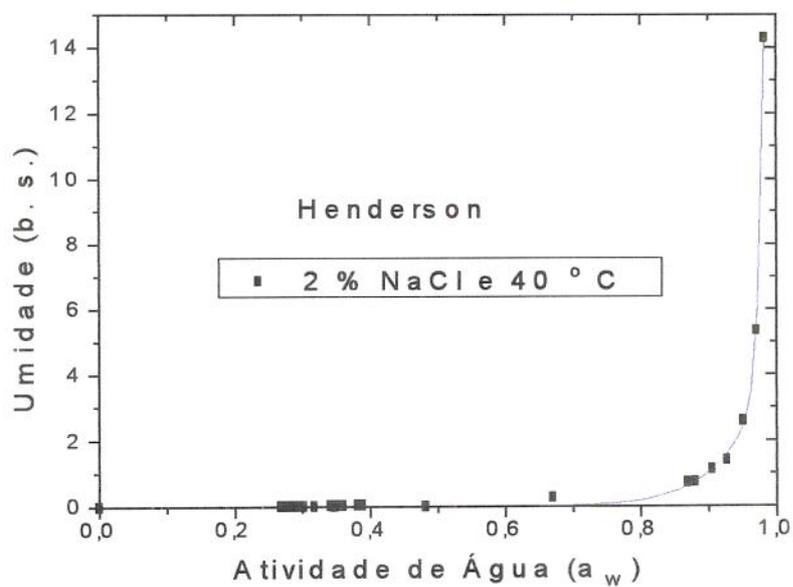


Figura III.31 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de Henderson.

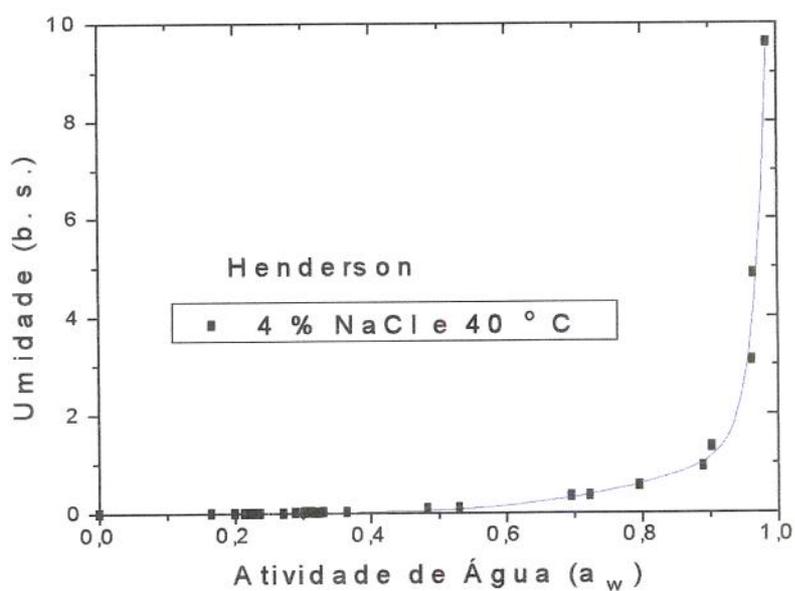


Figura III.32 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de Henderson.

Parâmetros (M e N), coeficiente de correlação (R), e porcentagem de confiança (P) ajustados pela Equação de Oswin, a diferentes temperaturas e concentrações de NaCl, mostram-se na Tabela III.14

Tabela III.14 Parâmetros da equação de Oswin

Conc. (%) e Temp (°C)	M	N	R	P(%)
2 % NaCl e 25	0,01174	1,58029	0,99719	99,439
4 % NaCl e 25	0,10592	1,08282	0,99956	99,912
2 % NaCl e 40	0,0206	1,60964	0,99845	99,691
4 % NaCl e 40	0,16044	0,96454	0,99412	98,827

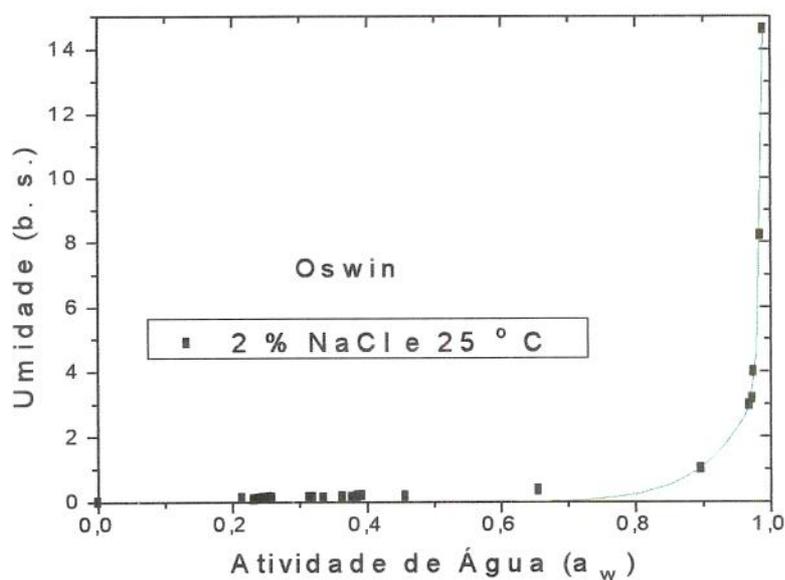


Figura III.33 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de Oswin.

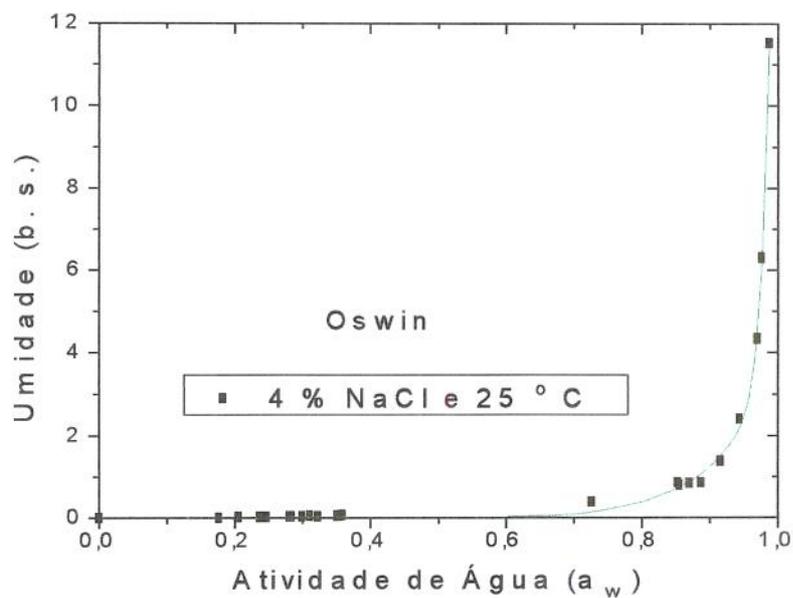


Figura III.34 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de Oswin.

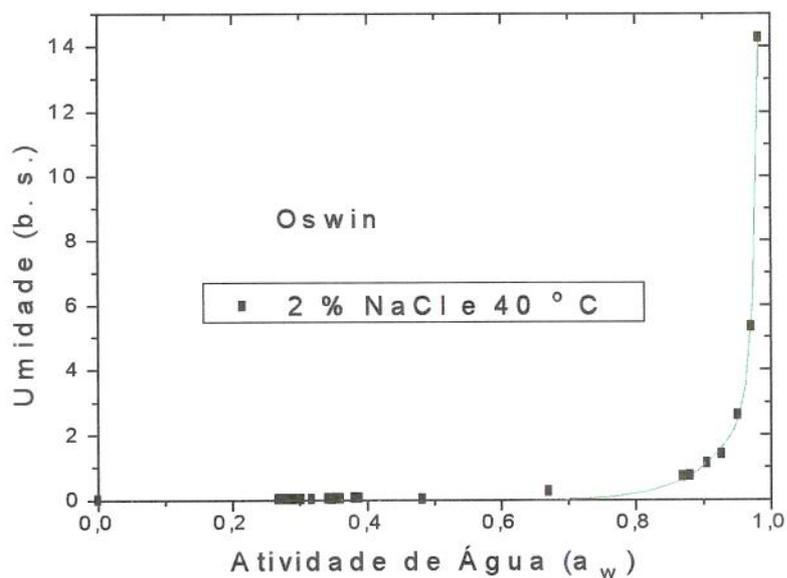


Figura III.35 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de Oswin.

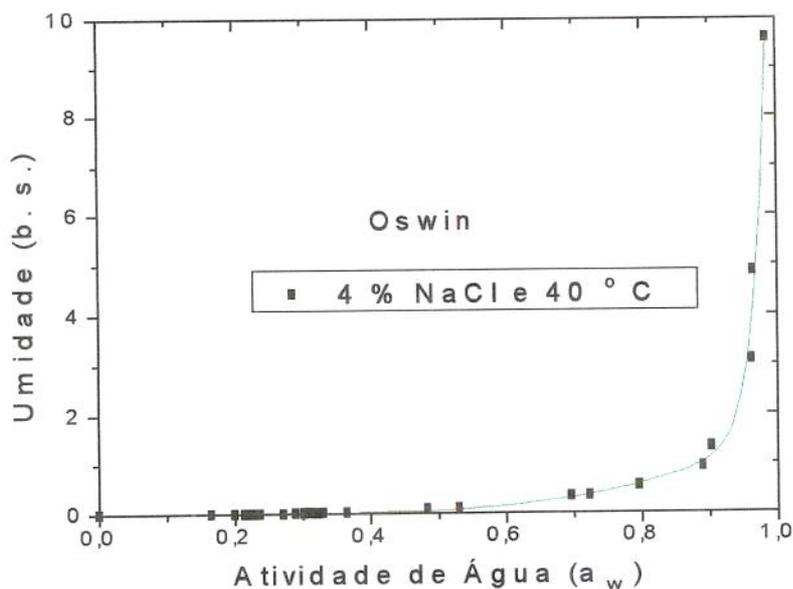


Figura III.36 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de Oswin.

Parâmetros (K_1 , K_2 , n_1 e n_2), coeficiente de correlação (R), e porcentagem de confiança (P) ajustados pela Equação Semi-empírica de Peleg, a diferentes temperaturas e concentrações de NaCl, mostram-se na Tabela III.15

Tabela III.15 Parâmetros da equação de Peleg.

Conc. (%) e Temp (°C)	K_1	K_2	n_1	n_2	R	$P(\%)$
2 % NaCl e 25	107,56447	4,3373	207,3831	12,97207	0,99884	99,769
4 % NaCl e 25	26,68104	3,5878	88,63863	10,09617	0,99934	99,869
2 % NaCl e 40	91,56731	4,7219	125,8058	14,42964	0,99968	99,936
4 % NaCl e 40	16,15462	4,6599	49,39108	4,65987	0,99566	99,133

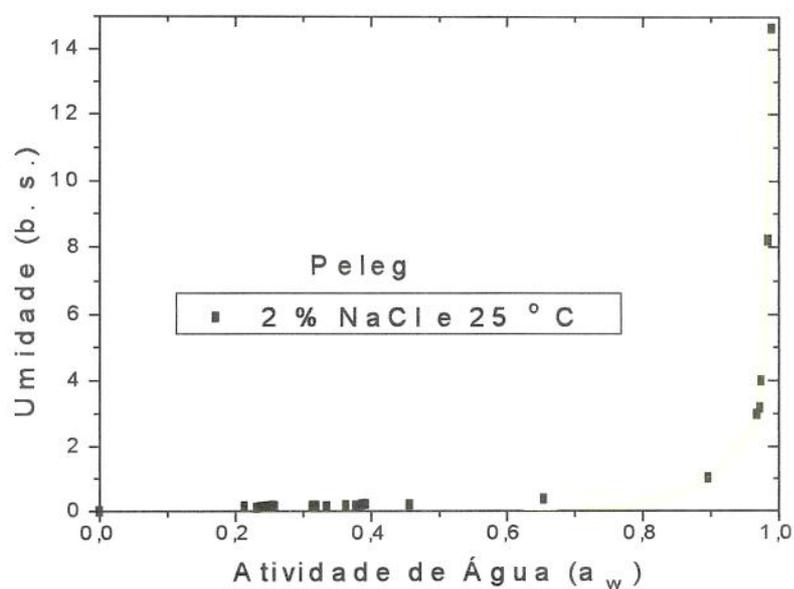


Figura III.37 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de Peleg.

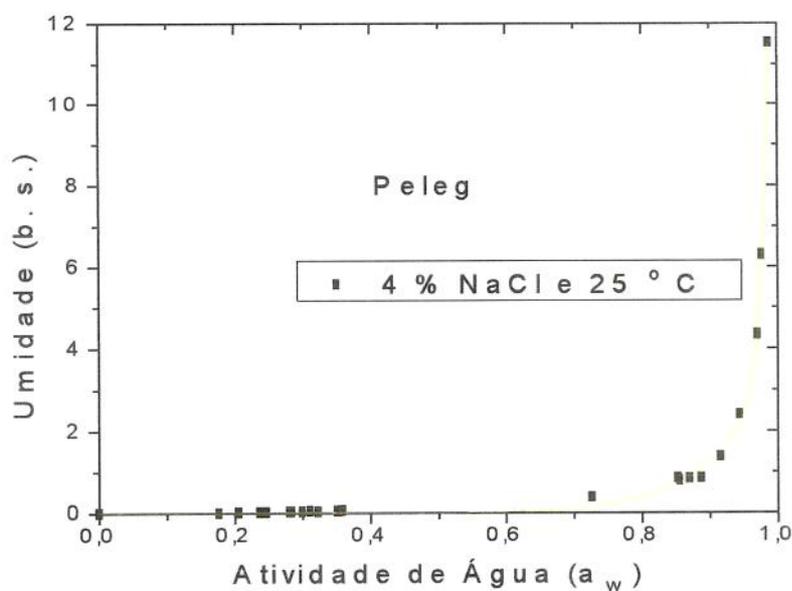


Figura III.38 Isotherma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 25 °C ajustada pela equação de Peleg.

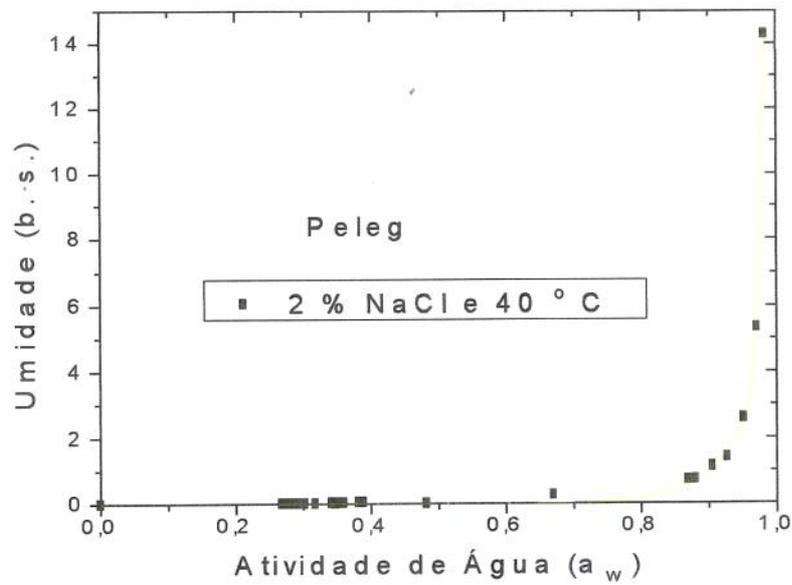


Figura III.39 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 2 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de Peleg.

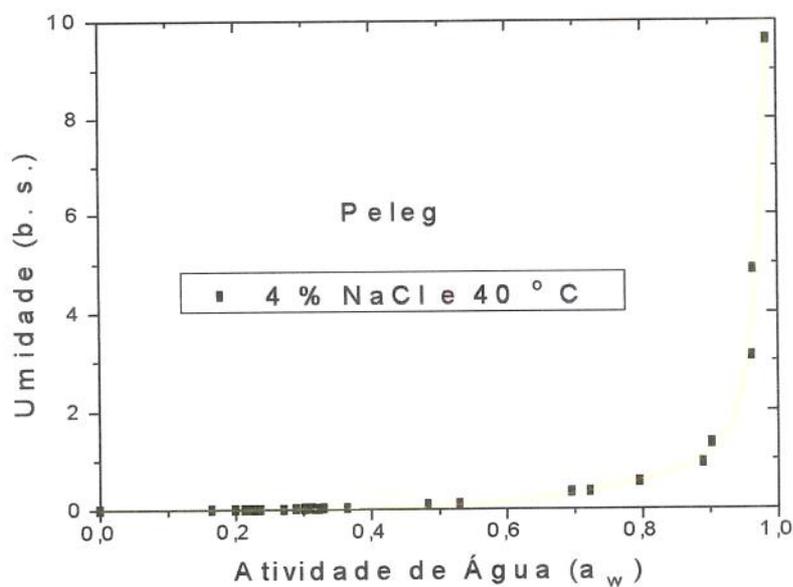


Figura III.40 Isoterma de sorção de berinjela desidratada osmoticamente em solução 4 % de NaCl e 40 °C ajustada pela equação de Peleg.

APÊNDICE IV

Tabela IV.1 Porcentagem de erro dos parâmetros da equação 4.3 para amostras secas com tratamento osmótico prévio

Temperatura ° C	% de erro de A	% de erro de K
40	0,05238	0,00008
50	0,12881	0,00019
60	0,14611	0,00024
70	0,15844	0,0005

Tabela IV.2 Porcentagem de erro dos parâmetros da equação 4.3 para amostras secas sem tratamento osmótico prévio

Temperatura ° C	% de erro de A	% de erro de K
40	0,00348	0,00003
50	0,01012	0,00012
60	0,02054	0,00035
70	0,01672	0,00035