



PRPG Pré-Reitoria de Pós-Graduação
PIBIC/CNPq/UFCA-2009

ISOTERMAS DE ADSORÇÃO DE CUBOS DE CENOURA

Klivisson Dennison Campelo dos Santos¹, Juarez Paz Pedroza², Josivanda Palmeira Gomes² & Hofsky Vieira Alexandre³, Niédja Marizze Cezar Alves²

RESUMO

A determinação da atividade de água dos produtos biológicos torna-se indispensável nos estudos dos processos de secagem, armazenagem e embalagem, uma vez que, quanto maior a atividade de água de um produto, mais propenso ele está ao ataque de microrganismos. Diante disso, esse trabalho foi realizado com o objetivo de determinar as isotermas de adsorção de cubos de cenouras nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C e ajustar aos modelos de GAB, Oswin e Peleg. Concluiu-se que de uma forma geral todos os modelos se ajustaram de forma satisfatória aos dados experimentais.

Palavras-chave: adsorção, atividade de água, umidade de equilíbrio

ADSORPTION ISOTHERMS OF THE CARROT CUBES

ABSTRACT

The determination of the moisture content of biological products is essential in studies of the processes of drying, storage and packaging, since for higher product water activity, it is more prone to attack by microorganisms. Considering that, this work was carried out to determine the adsorption isotherms of carrot cubes, at temperatures of 25, 35 and 45 °C and to adjust to the models of GAB, Oswin and Peleg. It is concluded that generally all models adjusted satisfactorily to the experimental data.

Key-words: adsorption, activity water, moisture content equilibrium

INTRODUÇÃO

A questão de perdas pós-colheita vem sendo estudada de forma não sistemática por diferentes especialistas e instituições, em diferentes fases da cadeia de comercialização e para produtos ou grupos de produtos, nos quais estejam primordialmente interessados (REZENDE, 1992).

A água é o constituinte presente em maior concentração em alimentos frescos, sua influência, na palatabilidade, digestibilidade, estrutura física e manuseio do material alimentício, são consideráveis. Praticamente todos os processos deteriorativos que ocorrem com os alimentos são influenciados pela sua concentração e sua mobilidade. A intensidade e a taxa desta deterioração podem ser caracterizadas pela atividade de água (WOLF et al., 1985).

¹ Aluna do Curso de Desenho Industrial, Depto. de Engenharia Agrícola, UFCA, Campina Grande, PB, E-mail: klivissondennison@hotmail.com

² Engenheiro Agrícola, Depto. de Engenharia Agrícola, UFCA, Campina Grande, PB, E-mail: juarez@deag.ufcg.edu.br; josi@deag.ufcg.edu.br; niedjamarizze@gmail.com

³ Engenheira Agrícola, Doutoranda em Engenharia de Processos, UFCA, Campina Grande, PB, e-mail: hofsky@gmail.com

As isotermas de sorção podem ser descritas como a relação entre a atividade de água ou da pressão parcial de vapor de um produto em função do seu teor de umidade a uma dada temperatura; é uma predição da capacidade do produto adsorver ou dissolver água. Estes dados são indispensáveis para produtos alimentícios no desenvolvimento de processos e no controle de qualidade das indústrias de alimentos isto pelo fato de que as isotermas têm ampla aplicação no campo da secagem, embalagem e armazenamento (ARAÚJO et al., 2001).

A isoterma de sorção de umidade constitui uma representação gráfica da umidade e a correspondente atividade de água (a_w) de um material dentro de uma faixa de valores em uma temperatura constante.

Durante o armazenamento a cenoura não deve ser exposta a concentrações de etileno superiores a 0,5 mL de etileno por litro de ar, pois este gás causa a formação de substâncias fenólicas de sabor amargo como a isocumarina (LAFUENTE et al, 1996). Por esta razão, deve-se evitar o armazenamento próximo a fontes de etileno como frutos amadurecidos e a motores de combustão.

As raízes fatiadas ou submetidas a danos mecânicos produziram mais isocumarina quando expostas ao etileno. Cilindros de raiz minimamente processadas ("*Baby carrot*") sem a periderme, diferentemente, não produziram o sabor amargo, quando exposta as mesmas concentrações de etileno (LAFUENTE et al., 1996).

A propriedade de ceder ou absorver água do ambiente onde se encontra, tendendo constantemente, a manter uma relação de equilíbrio entre o seu teor de umidade e a umidade relativa do ar ambiente é uma definição apropriada para o termo equilíbrio higroscópico. O estabelecimento de curvas de equilíbrio higroscópico, isto é, as isotermas, são importantes para definir limites de desidratação do produto, estimar as mudanças de umidade sob determinada condição de temperatura e umidade relativa e para definir os teores de umidade propícios ao início de atividade de agentes que poderão provocar a deterioração do produto (CORRÊA et al., 2001).

A representação matemática das isotermas é fundamental e de extrema importância, sendo feita por meio de modelos matemáticos empíricos e teóricos disponíveis na literatura. Estas equações geralmente expressam a umidade de equilíbrio como função da atividade de água e da temperatura, dentre os mais comuns, seja pela precisão ou pela generalidade de uso, podem ser citados: GAB, Halsey Modificado, Henderson-Thompson e Chen-Clayton (van der BERG, 1984; BARROZO et al., 1996; CORRÊA et al., 2001).

Diante do exposto o trabalho foi realizado com o objetivo de determinar as isotermas de adsorção em cubos de cenouras nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C e ajustar os modelos de GAB, Oswin e Peleg.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola em conjunto com o Laboratório de Secagem e Processos Químicos do Departamento de Engenharia Química, ambos da Universidade Federal de Campina Grande, PB.

Material

Utilizou-se para determinação das isotermas de adsorção de umidade em cubos de cenoura nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50° C, o método especial indireto estático descrito por CAPRISTE & ROTSTEIN (1982). A atividade de água (A_w), para cada temperatura foi obtida através do equipamento *Thermoconstanter Novasina TH 200* (Figura 1).



Figura 1. Equipamento *Thermoconstanter Novasina TH – 200*

Cortou-se aproximadamente 100 g de cenoura em cubos uniformes. Em seguida, a amostra foi pesada e levada à estufa a 100 °C, durante um intervalo de 4 h. Passado este intervalo, essa foi retirada da estufa e pesada novamente. Este primeiro procedimento serviu para que fosse obtida a massa seca da cenoura, através da diferença entre a massa inicial e a final era possível conhecer o quanto que a amostra havia perdido de água. Conforme o esquema da Figura 2.

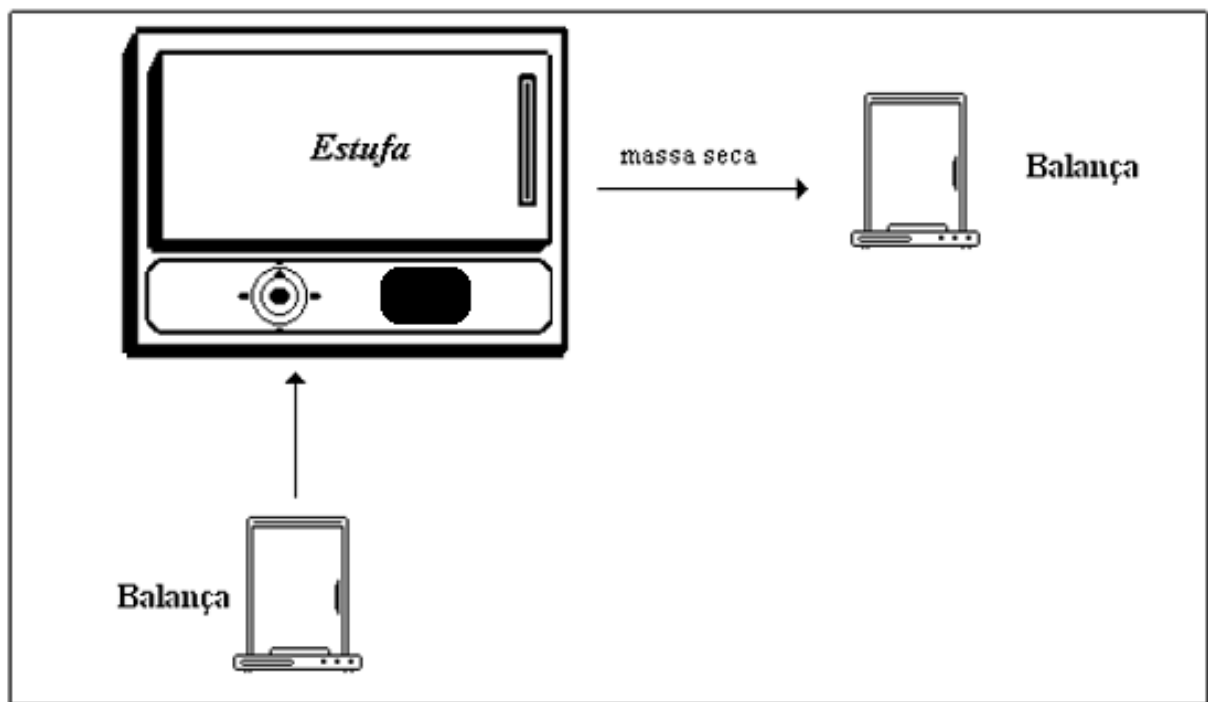


Figura 2. Esquema representando como ocorre o procedimento para obter a massa seca

Os cubos de cenouras, devidamente desidratados, foram colocados em pequenas células. Todas elas pesadas e levadas ao dessecador com água destilada, com exceção da primeira amostra que era levada diretamente o equipamento de análise de atividade de água. As demais amostras permaneciam no dessecador, submetidas a absorção da água contida no mesmo e, a medida que completava o intervalo de tempo pré-estabelecido, era retirada uma amostra e levada ao *Thermoconstanter Novasina TH – 200* para que se verificasse a atividade de água da mesma. Depois de verificada a atividade de água da amostra, a mesma era pesada novamente, a fim de observar o ganho de massa de água. Conforme mostra o esquema da Figura 3.

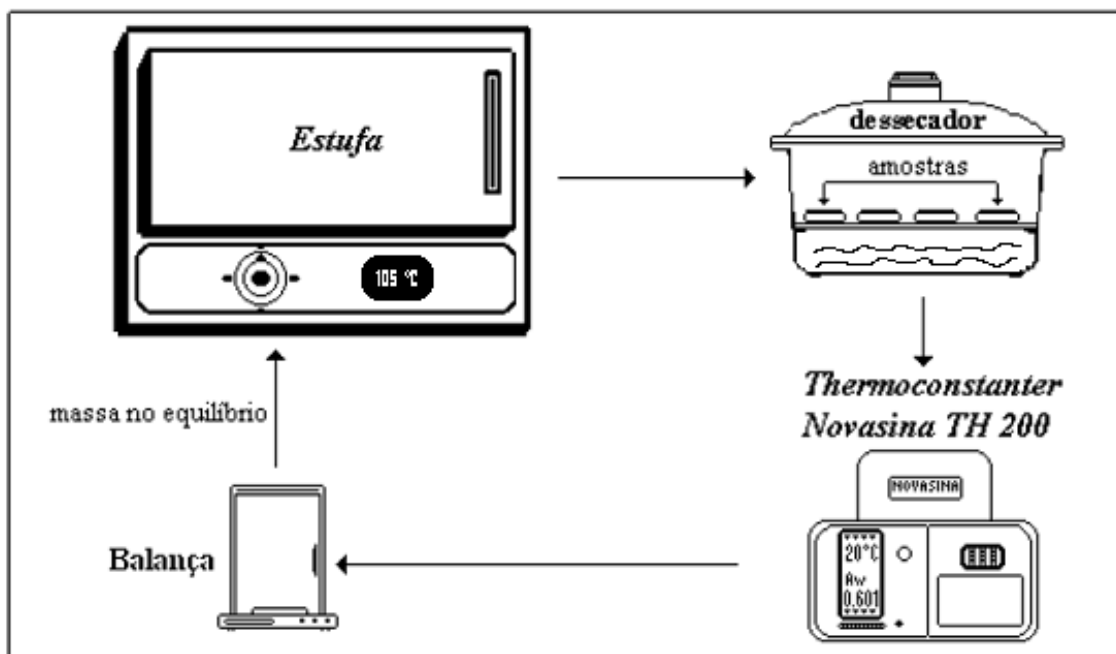


Figura 3. Esquema representando como ocorre o procedimento para analisar a atividade de água na amostra

Foram utilizados intervalos diferenciados de 20, 30 e 40 min. O mesmo procedimento foi repetido para as temperaturas de 25, 35 e 45 °C.

Para prever o comportamento das isotermas de sorção de cubos de cenoura foram utilizados os modelos matemáticos mostrados na Tabela 1, os quais foram ajustados aos dados experimentais por meio de regressões não-lineares múltiplas, utilizando, o programa computacional Statistica 5.0.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados

Modelo	
GAB	$U_{eq} = \frac{X_m C k a_w}{(1 - k a_w)(1 - k a_w + C k a_w)}$
Oswin	$U_{eq} = a \left(\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^b$
Peleg	$U_{eq} = k_1 a_w^{n_1} + k_2 a_w^{n_2}$

Em que:

a_w - atividade de água, decimal

U_{eq} - conteúdo de umidade de equilíbrio expressa em base seca, decimal

X_m - conteúdo de umidade na monocamada molecular, decimal

A, B e C - parâmetros de ajuste

a e b - parâmetros de ajuste do modelo

k_1 e k_2 - constantes do modelo

n_1 e n_2 - constantes do modelo

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores obtidos de atividade de água e umidade de equilíbrio, para cada temperatura trabalhada, encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Valores experimentais da umidade de equilíbrio (U_{eq}) da cenoura desidratada em função da atividade de água (a_w), nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C.

Temperatura (°C)	a_w	U_{eq} (% b.s.)
25	0,221	21,71
	0,296	23,16
	0,374	34,78
	0,465	39,25
	0,508	41,67
	0,577	58,82
	0,608	58,15
	0,671	62,67
	0,713	75,91
	0,786	82,24
35	0,285	20,35
	0,369	22,03
	0,404	33,74
	0,498	36,84
	0,579	40,16
	0,629	48,20
	0,688	55,46
	0,737	61,37
	0,802	68,23
0,897	83,04	
45	0,198	19,88
	0,301	21,92
	0,427	32,51
	0,498	34,48
	0,511	38,07
	0,583	43,18
	0,613	53,12
	0,679	59,12
	0,679	59,09
0,712	72,38	
0,801	80,75	

Os dados de equilíbrio são muito importantes para um armazenamento seguro, pois baseado nesses dados, define-se o melhor ambiente (temperatura e umidade relativa) de armazenamento quando armazenada na faixa de temperatura entre 25 e 45 °C. Verifica-se na Tabela 2, que as umidades de

equilíbrio (U_{eq}) aumentam com o aumento da atividade de água (a_w) e que, na maioria dos casos, diminuem com o aumento da temperatura. Esse comportamento foi observado por diversos autores (ALEXANDRE et al., 2007; GALDINO et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2004; SILVA et al., 2004).

Tem-se na Tabela 3 os valores dos parâmetros dos modelos de Peleg, GAB e Oswin, ajustados as isotermas de adsorção de umidade da cenoura desidratada, os coeficientes de determinação (R^2) nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C. Observa-se que os modelos de Peleg e GAB apresentaram valores de R^2 acima de 0,98 e em todas as temperaturas estudadas, com exceção da temperatura de 45 °C para GAB.

Tabela 3. Parâmetros dos modelos de Peleg, GAB e Oswin para as diferentes temperaturas e coeficiente de determinação das isotermas de adsorção de cubos de cenoura

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetros				R^2
		k_1	n_1	k_2	n_2	
Peleg	25	8,294809	-0,338780	115,1966	1,804193	98,60
	35	61,84156	0,909101	39,89633	3,564309	98,51
	45	5,597157	-0,650865	122,2253	2,115864	98,06
GAB	Temperatura (°C)	X_m	c	K	R^2	
	25	43,32775	3,029990	0,742446	98,31	
GAB	35	47,82412	2,373973	0,630687	98,50	
	45	29,77224	3,918916	0,851637	96,78	
Oswin	Temperatura (°C)	A	b	R^2		
	25	43,39468	0,532253	97,61		
Oswin	35	36,97577	0,403138	94,83		
	45	38,42615	0,568520	96,57		

Ainda com relação aos dados da Tabela 3, tem-se que todos os modelos se ajustaram de forma adequada aos dados experimentais, uma vez que valor de R^2 ficou próximo da unidade (LOMAURO et al., 1985). O modelo que melhor se ajustou foi o de Peleg, seguido de GAB.

Constata-se que os valores dos parâmetros da equação de GAB, X_m , não apresentaram tendência definida em relação às temperaturas estudadas, em conformidade com os resultados encontrados por ALCÂNTARA et al. (2009) estudando isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju.

Todos os parâmetros mencionados para o modelo de Oswin (Tabela 4) se encontram dentro do esperado, uma vez que BLAHOVEC (2004) afirma que este modelo deve possuir valores de a maiores que zero e b com variação entre 1 e 0. Estes autores dizem que os referidos parâmetros dentro desses intervalos, indicam que não há ponto de inflexão na curva e, sendo assim, não há mudanças na concavidade das funções; logo, esses parâmetros possuem consistência matemática e física, como observado também nesse trabalho.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos para as condições em que foi desenvolvida a pesquisa, pode-se concluir que:

- Os modelos matemáticos utilizados foram satisfatórios para descrever as isotermas de adsorção em cubos de cenoura desidratada.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica e a Universidade Federal de Campina Grande.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÂNTARA, S.R.; ALMEIDA, F. de A.C.; SILVA, F.L.H. da. Isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.81-87, 2009.
- ALEXANDRE, H.V.; FIGUEIRÊDO, R.M.F. de.; QUEIROZ, A.J. de M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.7, n.1, p.1-10, 2007
- ARAÚJO, M.E.R.; ALMEIDA, F. de A.C.; GOUVEIA J.P.G. de; SILVA, M.M. Atividade de água em goiaba (*Psidium guajava* L.). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 30, Foz do Iguaçu, **Anais...**, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001.
- BARROZO, M.A.S.; SARTORI, D.J.M.; FREIRE, J.T.; ACHCAR, J.A. Discrimination of equilibrium moisture equations for soybean using nonlinearity measures. **Drying Technology**, v. 14, n.7-8, p. 1779-1794, 1996.
- CAPRISTE, G.H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorptional equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science**, v.47, p.1501-1507, 1982.
- CORREA, P.C.; AFONSO JUNIOR, P.C.; ANDRADE, E.T. Modelagem matemática da atividade de água em polpa cítrica peletizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.2, p.283-287, 2001.
- LAFUENTE, M.T.; LOPEZ, GALVEZ, G.; CANTWELL, M.; YANG, S.F. Factors influencing ethylene-induced isocoumarin formation and increased respiration in carrots. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.121, n.3, p.537-542, 1996.
- OLIVEIRA, J.L de ; GOUVEIA, J.P. G. de; ALMEIDA, F. de A.C. ; SILVA, M.M. da. ; LEITE, J.C.A.. Isotermas de adsorção e propriedades físico-químicas em polpa de tamarindo *Tamarindos indica* L. In: Congresso de iniciação científica da Universidade Federal de Campina Grande, 2004, **Anais...**Campina Grande, 2004. CD-ROM
- PRADO, M.E.T.; ALONSO, L.F.T. ; PARK, K.J. Isotermas de sorção de tâmaras: determinação experimental e avaliação de modelos matemáticos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.19, n.1, p.143-146, 1998.
- REZENDE, J.B., **Avaliação das perdas de produtos agrícolas em MG. Belo Horizonte**: Fundação João Pinheiro, 1992. 122p.
- SILVA, M.M. da; OLIVEIRA, J.L. de ; GOUVEIA, J.P.G. de; ALMEIDA, F. de A.C.; SILVA, F.H. da. Isotermas de adsorção em polpa de tamarindo: avaliação de modelos matemáticos. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 33, **Anais...** São Pedro SP, 2004.
- VAN DER BERG, C. Description of water activity of foods for engineering purposes by means of the GAB model of sorption. In: MCKENNA, B.M. (Ed.). **Engineering and Food**. v. 1 London: Elsevier Applied Science, 1984, p.311-21.
- WOLF, W.; SPIESS, W.; JUNG, G. **Sorption isotherms and water activity of food material**. 1. ed. London: Elsevier Science Publishing Co., 1985. 239p.