

OBTENÇÃO DE ISOTERMAS DE DESSORÇÃO DE COGUMELO *in natura* E DESIDRATADO OSMOTICAMENTE¹

Louise E. KUROZAWA^{2,*}, Ânoar A. EL-AOUAR², Fernanda E. X. MURR²

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo a obtenção de isotermas de dessecção de cogumelo *Agaricus blazei* nas formas *in natura* e desidratada osmoticamente com solução de NaCl (10% p/p) a 20°C. As isotermas foram determinadas nas temperaturas de 40, 60 e 80°C, através do método gravimétrico estático com soluções salinas saturadas. Os dados experimentais foram ajustados a cinco modelos da literatura (BET, GAB, Halsey, Henderson e Oswin) e a dois modelos com o parâmetro temperatura (Henderson modificado e Chung-Pfost). O desvio relativo médio entre os valores experimentais e os valores preditos foi calculado para cada curva para se avaliar o modelo que apresentou melhor ajuste. Assim, observou-se que os modelos de Henderson e Henderson modificado foram os que melhor se ajustaram dentre as equações sem e com o parâmetro temperatura tanto para o cogumelo *in natura* quanto para o desidratado osmoticamente. **Palavras-chave:** isotermas de dessecção, desidratação osmótica, modelagem matemática, atividade de água, cogumelo *Agaricus blazei*.

SUMMARY

SORPTION ISOTHERMS FOR FRESH AND OSMOTICALLY DEHYDRATED MUSHROOMS. The present paper aimed at obtaining the desorption isotherms of *Agaricus blazei* mushroom in nature, which suffered osmotic dehydration. The osmotic treatment was carried out at 20°C with 10% w/w salt solution. The isotherms were obtained for three different temperatures (40, 60 and 80°C) using the static method with saturated salt solutions. Experimental data were fitted by five models (BET, GAB, Halsey, Henderson and Oswin) and two models with the temperature as an independent variable (modified Henderson and Chung-Pfost). The average relative deviations between experimental and predicted data were obtained to choose the best model. The best fitting was obtained when the traditional and modified Henderson models were used.

Keywords: desorption isotherms, osmotic dehydration, mathematical modeling, water activity, *Agaricus blazei* mushroom.

1 - INTRODUÇÃO

O *Agaricus blazei* é um cogumelo comestível, conhecido popularmente no Brasil como Cogumelo do Sol, Cogumelo de Deus ou Cogumelo Piedade. É oriundo das regiões serranas da Mata Atlântica do sul do estado de São Paulo e cultivado em outros países, tais como Japão, China e Indonésia. No Brasil, o cogumelo *Agaricus blazei* é cultivado principalmente nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Paraná [4].

Popularmente, é utilizado no combate ao estresse físico e psicológico, para estimular a imunidade, melhorar a qualidade de vida dos diabéticos, reduzir colesterol, combater doenças como osteoporose e úlcera gástrica e aliviar problemas digestivos. É usado também como antioxidante e anticarcinogênico [14]. Somente nos últimos anos, com o desenvolvimento de técnicas mais precisas de isolamento e purificação de substâncias químicas, é que foi possível comprovar cientificamente a ação terapêutica de alguns cogumelos, isolando-se substâncias tanto de ação antitumoral quanto bacteriana [6].

Os cogumelos possuem um teor de umidade ao redor de 90% e são altamente perecíveis. Assim, há uma necessidade de processar o produto, de modo a aumentar sua vida de prateleira [20]. Um processo que vem sendo bastante utilizado para tal finalidade é a desidratação osmótica, na qual ocorre uma diminuição da atividade de água do produto, contribuindo para sua conservação e, conseqüentemente, o aumento da vida de prateleira do mesmo, devido à redução no crescimento microbiano e nas reações bioquímicas que dependem da umidade do produto.

O processo de desidratação osmótica baseia-se na imersão de alimentos, inteiros ou em pedaços, em soluções hipertônicas de um ou mais solutos, originando dois fluxos simultâneos e em contracorrente: uma saída de água do produto para a solução e uma migração de solutos da solução para o alimento. Há um terceiro fluxo envolvido no processo, que consiste na perda de alguns sólidos naturais, como açúcares, minerais, entre outros nutrientes. Embora seja insignificante em relação aos outros dois fluxos principais, pode ser importante para as qualidades organolépticas e nutricionais do produto [17].

Ao se expor um material biológico a uma determinada umidade relativa, ocorre um fenômeno de transferência de massa para se alcançar um equilíbrio dinâmico entre a umidade do produto e a do ambiente. Tal fato acontece quando a pressão de vapor da água na superfície do material se iguala à do ar que o envolve [22].

Assim, no equilíbrio, a atividade de água (a_w) está relacionada com a umidade relativa (%UR) do ambiente através da seguinte equação:

$$a_w = \frac{P_w}{P_v} = \frac{UR}{100} \quad (1)$$

Onde: P_w = pressão parcial da água contida no alimento; P_v = pressão de vapor da água pura à mesma temperatura.

O estudo da atividade de água pode ser feito através das isotermas de sorção. Uma isoterma é uma curva que descreve a relação de equilíbrio entre o teor total de umidade de um alimento e a pressão de vapor ou umidade relativa, a uma dada temperatura. Essa relação depende de diversos fatores, tais como da estrutura física da superfície do material, composição química e afinidade com a água. Portanto, como

¹Recebido para publicação em 23/06/2005. Aceito para publicação em 12/10/2005 (001555).

²Universidade Estadual de Campinas – Departamento de Engenharia de Alimentos – Caixa Postal 6121 – CEP: 13083-970 – Campinas – SP – Brasil – Telefone: (19) 3788-4057.

*A quem a correspondência deve ser enviada: louisek98@yahoo.com.br.

cada alimento apresenta características distintas de sorção de umidade, faz-se necessária a determinação experimental das curvas de sorção para cada tipo de produto [5].

Isotermas de sorção são importantes na análise e controle de vários processos na indústria de alimentos, tais como preservação, secagem, definição de embalagem e misturas. As isotermas de sorção podem ser usadas para prever as mudanças na estabilidade do alimento e para selecionar o material de embalagem e os ingredientes apropriados para a formulação de um produto alimentício [25].

Uma isoterma de sorção pode ser obtida em duas direções: adsorção e dessorção. A primeira é feita quando um material mais seco é colocado em várias atmosferas, aumentando a umidade relativa e medindo o aumento de peso devido ao ganho de água. Na segunda, o material inicialmente úmido é colocado sob as mesmas condições ambientais utilizadas na adsorção, sendo medida a perda de peso, devido à saída de água [13]. A isoterma de dessorção possui valores de umidade de equilíbrio superiores aos da isoterma de adsorção a uma dada atividade de água. A defasagem entre estas duas curvas, denominada histerese, pode ocorrer devido a diversos fatores, tais como condensação capilar, mudanças na estrutura física do material, impurezas na superfície e mudança de fase [18].

Existem vários modelos na literatura capazes de prever o comportamento de sorção de diversos produtos (Tabela 1). As equações de Halsey e Oswin são utilizadas para analisar isotermas de sorção de diversos alimentos, sendo que o modelo de Halsey mostra um bom ajuste para produtos ricos em amido, tais como milho, batata e trigo. O modelo de Henderson é um dos mais empregados e descreve bem o comportamento de alimentos com uma ampla faixa de atividade de água (0,10 a 0,75), como grãos, cereais e frutas. A equação de

BET é amplamente usada para fornecer uma estimativa da umidade na monocamada adsorvida na superfície do alimento. Entretanto, essa equação apresenta um ajuste satisfatório para atividade de água entre 0,05 e 0,45 [7]. Já o modelo de GAB permite um melhor ajuste dos dados de sorção dos alimentos até atividade de água de 0,9 [23].

Assim, o objetivo deste trabalho foi obter isotermas de dessorção de cogumelo *Agaricus blazei* nas formas *in natura* e desidratada osmoticamente com solução de NaCl a diferentes temperaturas.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho, foram utilizados cogumelos da espécie *Agaricus blazei* cultivados em estufas, fornecidos pela empresa GAPI (Grupo Agaricus de Piedade), localizada na cidade de Pilar do Sul – SP. A aparência do cogumelo e o seu conteúdo de umidade foram adotados como parâmetros de padronização da amostra, sendo utilizados os cogumelos com 90% de umidade (b.u.), coloração amarela clara e textura firme. Não foram utilizados cogumelos que apresentaram injúrias físicas e manchas.

Para a desidratação osmótica, a matéria-prima, devidamente cortada em fatias longitudinais com aproximadamente 5 mm de espessura, foi colocada em béqueres com solução de 10% de sal (p/p). As amostras foram então colocadas em uma incubadora da marca TECNAL (modelo TE-421), com agitação de 80 rpm e temperatura controlada de 20°C. Após 60 minutos de processo, as amostras foram retiradas da solução, enxaguadas com água destilada para retirar o excesso de solução osmótica e colocadas em papel absorvente.

As umidades de equilíbrio de cogumelo *in natura* e desidratado osmoticamente foram determinadas por método gravimétrico estático, utilizando-se soluções salinas

TABELA 1 – Modelos da literatura para ajuste de isotermas de sorção

Nome do modelo	Modelo*
BET linear [5]	$X_e = \frac{X_m C_{BET} a_w}{(1 - a_w)[1 - (C_{BET} - 1)a_w]} \quad (2)$
GAB (Guggenheim - Anderson - de Bôer) [23]	$X_e = \frac{X_m C_{GAB} a_w}{[(1 - K_{GAB} a_w)(1 - K_{GAB} a_w + C_{GAB} K_{GAB} a_w)]} \quad (3)$
Halsey [10]	$a_w = \exp\left[\frac{-A}{X_e^B}\right] \quad (4)$
Oswin [15]	$X_e = A \left(\frac{a_w}{1 - a_w}\right)^B \quad (5)$
Henderson [11]	$1 - a_w = \exp(-kX_e^{n'}) \quad (6)$
Henderson modificado [11]	$1 - a_w = \exp(-kTX_e^{n'}) \quad (7)$
Chung e Pfost [8]	$\ln(a_w) = \frac{A}{RT} \exp(-BX_e) \quad (8)$

*Onde: A, B, C_{BET} , C_{GAB} , K_{GAB} , k, n, n' = constantes das equações; X_e = umidade de equilíbrio expressa em base seca (g água/g massa seca); X_m = umidade na monocamada molecular (g água/g massa seca); R = constante universal dos gases (J/mol.K); T = temperatura (K).

saturadas em água destilada, para uma determinada faixa de umidade relativa, de acordo com a *Tabela 2* [9].

As amostras (em triplicata) foram colocadas em cadinhos de alumínio e, em seguida, armazenadas em potes herméticos com as respectivas soluções salinas, para cada valor de umidade relativa desejada. Os potes herméticos foram colocados em estufa (marca FANEM, modelo 320-SE), nas temperaturas de 40, 60 e 80°C. As amostras foram pesadas em balança analítica (marca BOSCH, modelo SAE 200) em intervalos regulares de tempo até o equilíbrio. Alcançado o equilíbrio, as amostras foram levadas para estufa a vácuo (marca SUPRILAB, modelo EST920), a uma temperatura de 70°C durante 48 h para se obter sua massa seca [2].

Para o ajuste das isotermas do cogumelo, foram testados diversos modelos encontrados na literatura. Os parâmetros destas equações foram determinados através de uma análise de regressão linear e não-linear dos dados experimentais, realizada pelo software Statistica 5.0 [21], usando como método de ajuste os modelos Quasi-Newton e Simplex. Os critérios utilizados para escolha do melhor ajuste foram: o coeficiente de determinação (R^2) entre as respostas observadas e os valores preditos pelo modelo e o módulo do desvio relativo médio (E), cuja definição encontra-se descrita pela *Equação (9)*:

$$E = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|V_p - V_0|}{V_0} \quad (9)$$

Onde: E =desvio relativo médio (%); V_p =valores preditos pelo modelo; V_0 =valores observados experimentalmente; N =número de pontos experimentais.

De acordo com AGUERRE, SUAREZ e VIOLLAZ (1989), valores de desvio relativo médio abaixo de 10% indicam um ajuste bom para os dados experimentais.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A *Tabela 3* relaciona os valores experimentais médios de umidade de equilíbrio (X_e) com a atividade de água (a_w) determinada pelas soluções salinas saturadas, para a construção das isotermas de dessorção.

Os dados experimentais das isotermas de dessorção do cogumelo foram ajustados pelos modelos descritos sem o parâmetro temperatura, obtendo-se o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio médio relativo (E). A escolha do melhor ajuste foi feita analisando o desvio médio relativo para cada modelo e para cada condição estudada. Estes valores, juntamente com os parâmetros de ajuste das equações, encontram-se descritos nas *Tabelas 4 e 5*.

A partir da *Tabela 4* observou-se que, dentre os modelos analisados, o modelo de Henderson foi o que apresentou melhor ajuste para o cogumelo *in natura*, com um desvio relativo médio inferior a 11% e coeficiente de determinação próximo à unidade. Já para o cogumelo desidratado osmoticamente (*Tabela 5*), observou-se também que o modelo de Henderson foi o que apresentou melhor ajuste

TABELA 2 – Valores de atividade de água relacionados às soluções salinas saturadas nas temperaturas de 40, 60 e 80°C

Sal	a_w		
	40°C	60°C	80°C
LiCl	0,1121	0,1095	0,1051
KF	0,2268	0,2077	0,2285
MgCl ₂	0,3160	0,2926	0,2605
NaBr	0,5317	0,4926	0,5143
KI	0,6609	0,6311	0,6097
NaNO ₃	0,7100	0,6735	0,6522
NaCl	0,7468	0,7450	0,7629
KCl	0,8232	0,8025	0,7890

TABELA 3 – Valores experimentais de umidade de equilíbrio de dessorção de cogumelo *in natura* (IN) e desidratado osmoticamente (DO) nas temperaturas de 40, 60 e 80°C

40°C			60°C			80°C		
a_w	X_e (IN)	X_e (DO)	a_w	X_e (IN)	X_e (DO)	a_w	X_e (IN)	X_e (DO)
0,1121	0,0039	0,0106	0,1095	0,0042	0,0048	0,1051	0,0035	0,0063
0,2268	0,0418	0,0201	0,2077	0,0208	0,0241	0,2285	0,0360	0,0383
0,3160	0,0579	0,0513	0,2926	0,0500	0,0340	0,2605	0,0254	0,0247
0,5317	0,1370	0,2109	0,4966	0,1652	0,1682	0,5143	0,1091	0,1301
0,6609	0,3046	0,5024	0,6311	0,2912	0,3453	0,6097	0,1248	0,2401
0,7100	0,4143	0,6190	0,6735	0,3067	0,4720	0,6522	0,1659	0,3331
0,7468	0,6241	-	0,745	0,4024	-	0,7629	0,2947	0,4931
0,8232	-	-	0,8025	0,4705	-	0,7890	0,3805	0,7083

TABELA 4 – Constantes de ajuste da isoterma de dessecção do cogumelo in natura dos modelos sem o parâmetro temperatura

Modelos	Temperatura	Constantes			R ²	E (%)
		X _m	C _{BET}			
BET linear	40°C	0,477	0,153		0,989	30,91
	60°C	0,113	2,259		0,967	36,12
	80°C	0,107	0,683		0,990	29,93
GAB	40°C	0,631	0,088	1,026	0,993	29,18
	60°C	0,533	0,463	0,715	0,990	76,68
	80°C	0,190	0,343	0,939	0,988	25,76
Halsey	40°C	0,204	0,605		0,990	16,52
	60°C	0,216	0,530		0,951	17,40
	80°C	0,128	0,686		0,958	20,23
Henderson	40°C	2,006	0,566		0,977	10,54
	60°C	2,275	0,606		0,989	6,66
	80°C	3,286	0,666		0,977	10,88
Oswin	40°C	0,106	1,601		0,990	18,54
	60°C	0,163	0,802		0,972	111,40
	80°C	0,084	1,114		0,990	25,56

Tabela 5 – Constantes de ajuste da isoterma de dessecção do cogumelo desidratado osmoticamente dos modelos sem o parâmetro temperatura

Modelos	Temperatura	Constantes			R ²	E (%)
		X _m	C _{BET}			
BET linear	40°C	0,466	0,265		0,992	39,92
	60°C	0,539	0,118		0,996	47,47
	80°C	0,220	0,468		0,981	28,74
GAB	40°C	0,785	0,155	0,967	0,993	36,70
	60°C	0,704	0,123	1,016	0,997	36,88
	80°C	0,549	0,182	0,923	0,981	25,72
Halsey	40°C	0,308	0,426		0,992	5,43
	60°C	0,315	0,406		0,992	11,51
	80°C	0,228	0,510		0,973	14,50
Henderson	40°C	1,574	0,493		0,991	9,20
	60°C	1,657	0,494		0,995	4,04
	80°C	2,029	0,555		0,987	7,56
Oswin	40°C	0,185	1,388		0,994	17,89
	60°C	0,160	1,477		0,983	16,24
	80°C	0,137	1,203		0,982	23,37

nas temperaturas de 60 e 80°C, com um desvio relativo inferior a 10%. Para a isoterma de 40°C, apesar de o modelo de Halsey apresentar desvio relativo inferior ao valor apresentado pelo modelo de Henderson, preferiu-se utilizar este último, por ter descrito bem os dados nas temperaturas de 60 e 80°C.

Foi feito também um ajuste dos dados experimentais a modelos da literatura que possuem o parâmetro temperatura. O que melhor se ajustou aos dados foi a equação de Henderson modificada, tanto para o cogumelo *in natura* quanto para o desidratado osmoticamente (Tabela 6).

As comparações entre os valores experimentais e preditos pelo modelo de Henderson e Henderson modificado para as temperaturas de 40, 60 e 80°C, se encontram descritas nas Figuras 1 e 2.

De acordo com a Figura 1, observa-se que as curvas são dependentes da temperatura, isto é, o conteúdo de umidade de equilíbrio decresce com o aumento da temperatura para valores de atividade de água superiores a 0,30. A energia cinética, associada às moléculas de água presentes nos alimentos, aumenta com o aumento da temperatura. Tal fato resulta na diminuição das forças de atração e, conse-

Tabela 6 – Constantes de ajuste da isoterma de dessecção do cogumelo *in natura* e desidratado osmoticamente dos modelos com o parâmetro temperatura

	Modelos	Constantes		R ²	E (%)
		k	n'		
<i>In natura</i>	Henderson modificado	0,007	0,593	0,967	10,42
	Chung e Pfof	A	B	0,881	22,43
Desidratado osmoticamente	Henderson modificado	4366,39	4,830	0,988	7,81
	Chung e Pfof	k	n'	0,894	25,72
		A	B		

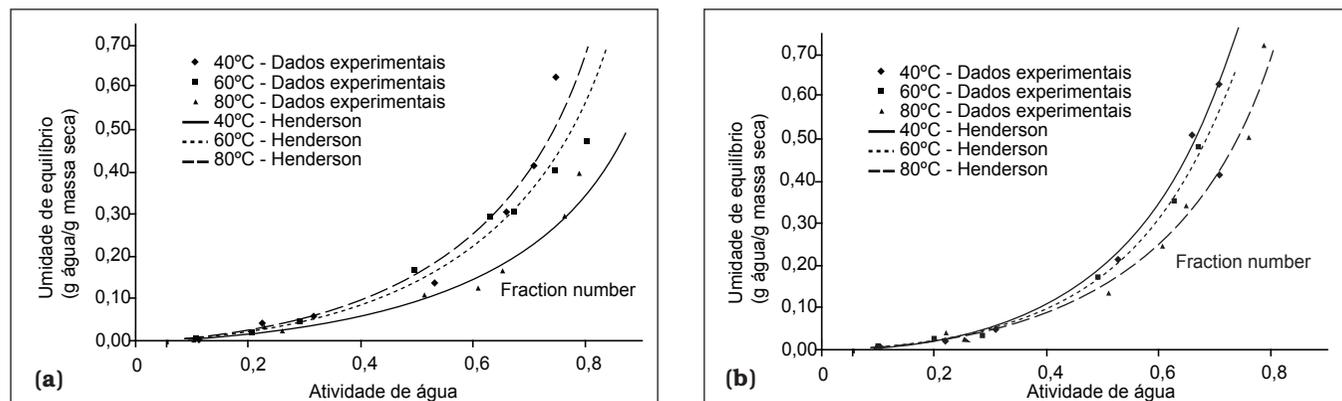


FIGURA 1 – Comparação entre os valores observados e preditos para a isoterma de dessecção do cogumelo *in natura* (a) e desidratado osmoticamente (b) para o modelo de Henderson (sem o parâmetro temperatura)

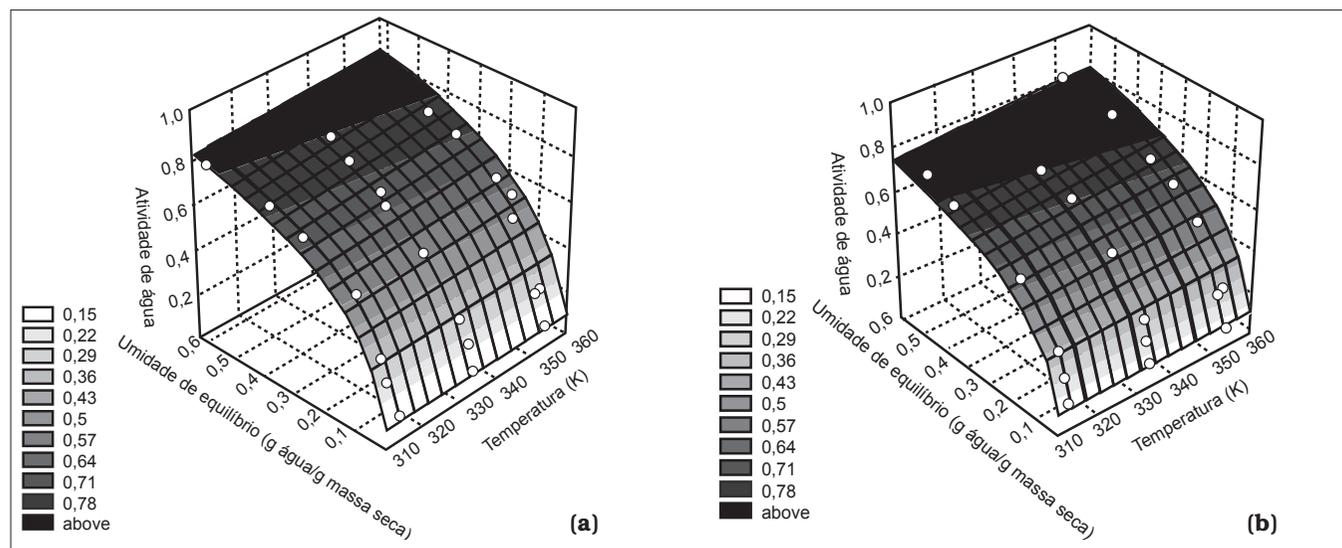


FIGURA 2 – Comparação entre os valores observados e preditos para a isoterma de dessecção do cogumelo (a) *in natura* e do (b) desidratado osmoticamente para o modelo de Henderson modificado (com o parâmetro temperatura)

qüentemente, na saída de água do alimento, conduzindo a um decréscimo do conteúdo de umidade com a elevação da temperatura a uma dada atividade de água [19]. SHIVHARE *et al.* (2004), VISWANATHAN, JAYAS e HULASARE (2003), PARK, BIN e BROD (2001) também observaram esse comportamento para diferentes alimentos.

Assim, o modelo de Henderson modificado pode ser utilizado para prever o conteúdo de umidade de equilí-

brio do cogumelo *Agaricus blazei* nas formas *in natura* e desidratado osmoticamente nas temperaturas entre 40 e 80°C. Este modelo é uma das equações mais empregadas e descreve bem o comportamento de muitos materiais higroscópicos, como alimentos em uma faixa de atividade de água de 0,10 a 0,75 [19]. VISWANATHAN, JAYAS e HULASARE (2003) determinaram o conteúdo de umidade de equilíbrio de fatias de cebola a temperaturas de 30, 40

e 50°C e umidade relativa de 15 a 85%. Os dados foram ajustados por diversos modelos da literatura, sendo o que melhor se ajustou foi o de Henderson.

Na Figura 3, foram comparados os dados experimentais das isotermas de desorção do cogumelo *in natura* e desidratado osmoticamente. Nota-se que o produto pré-desidratado apresentou menores valores de atividade de água, para uma mesma umidade de equilíbrio, que o cogumelo sem tratamento, devido, provavelmente, à dissolução dos solutos impregnados. SLOAN e LABUZA (1976), citados por ISLAM e FLINK (1982), através de uma revisão bibliográfica, observaram que alguns componentes, como o sal e o glicerol, são particularmente efetivos na redução de atividade de água, ou seja, por serem substâncias eletrolíticas, dissociam-se em íons, interagindo com as moléculas de água e, conseqüentemente, diminuindo a atividade de água do produto. BARONI (2004), trabalhando com tomates tratados e não tratados osmoticamente com soluções binárias e ternárias de sal e sacarose, observou que a isoterma da fruta desidratada com solução salina apresentava menores valores de atividade de água do que o tomate *in natura*.

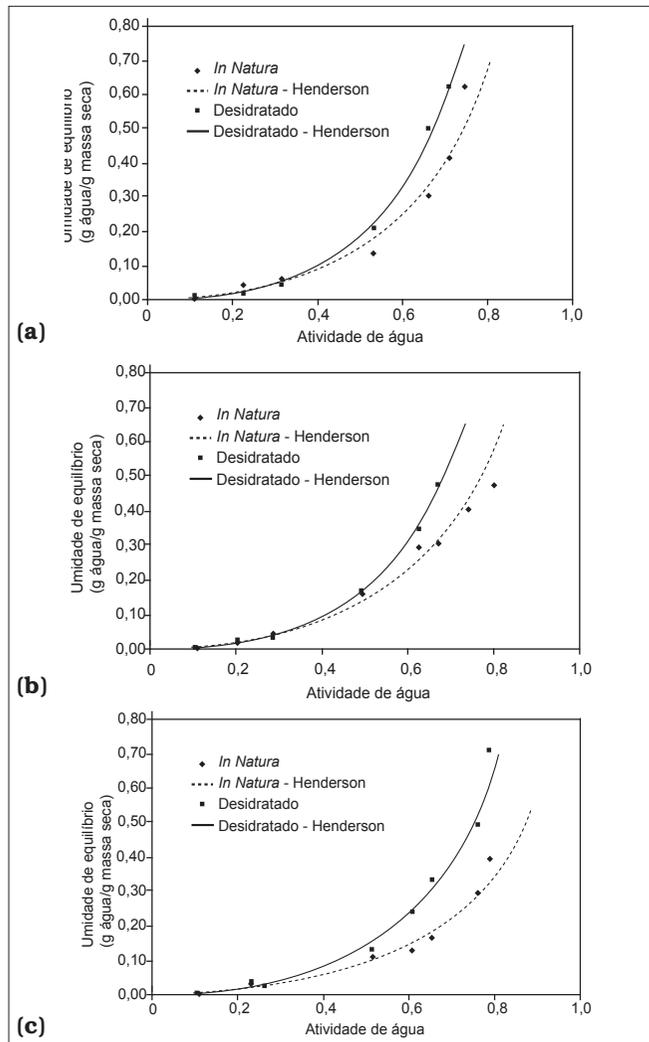


FIGURA 3. Comparação dos dados experimentais de desorção do cogumelo *in natura* e desidratado osmoticamente nas temperaturas de (a) 40, (b) 60 e (c) 80°C

4 - CONCLUSÕES

Para o ajuste das isotermas de desorção do cogumelo *in natura* aos modelos descritos sem o parâmetro temperatura, o de Henderson foi o que apresentou melhor ajuste para a temperatura de 40°C (10,54%), 60°C (6,66%) e 80°C (10,88%). Com relação aos modelos com o parâmetro temperatura, o modelo de Henderson modificado apresentou menor valor de desvio relativo médio (10,42%) em relação ao modelo de Chung e Pfof (22,43%);

Para os cogumelos desidratados osmoticamente, o ajuste dos dados experimentais aos modelos sem o parâmetro temperatura, o de Henderson foi o que apresentou melhores resultados nas temperaturas de 60°C (4,04%) e 80°C (7,56%), sendo que para a temperatura de 40°C, o modelo de Halsey apresentou menor desvio relativo (5,43%). Com relação aos modelos com o parâmetro temperatura, o de Henderson modificado foi o que apresentou melhores resultados, com um desvio relativo de 7,81%;

As isotermas obtidas são dependentes da temperatura, ou seja, o conteúdo de umidade de equilíbrio decresce com o aumento da temperatura para valores de atividade de água superiores a 0,3;

Para as três temperaturas estudadas, as amostras tratadas osmoticamente exibiram uma clara tendência de apresentar valores de atividade de água menores do que aqueles encontrados para o cogumelo *in natura*.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUERRE, R.J.; SUAREZ, C.; VIOLLAZ, P.E. New BET type multilayer sorption isotherms. Part II: Modeling water sorption in foods. **Lebensm.-Wiss. Technol.**, v. 22, p. 192-195, 1989.
- AOAC. **Official Methods of Analysis**. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, EUA, 1997.
- BARONI, A.F. **Propriedades Mecânicas, Termodinâmicas e de Estado de Tomate Submetido à Desidratação Osmótica e Secagem**. Campinas, 2004, 226 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- BRAGA, G.C. Cogumelo do Sol: pesquisas apontam suas propriedades medicinais. **Revista Tecnologia e Treinamento Agropecuário**, v. 2, n. 6, p. 07, 1997.
- BRUNAUER, S.; EMMET, T.H.; TELLER, F. Adsorption of gases in multimolecular layers. **J. Am. Chem. Soc.**, v. 60, n. 2, p. 309-319, 1938.
- CHANG, S.T.; BUSWELL, J.A. Mushroom nutraceuticals. **World J. Microb. Biot.**, v. 12, p. 473-476, 1996.
- CHHINNAN, M.S.; BEUCHAT, L.R. Sorption isotherms of whole cowpeas and flours. **Lebensm.-Wiss. Technol.**, v. 18, p. 83-88, 1985.
- CHUNG, D.S.; PFOF, H.B. Adsorption and desorption of water vapor by cereal grains and their products. **Transactions of ASAE**, v. 10, p. 549, 1967.
- GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. **J. Res. Natl. Bureau**

- Stan. - Physics and Chemistry**, v. 81, n. 1, p. 89-96, 1977.
- [10] HALSEY, G. Physical adsorption on uniform surfaces. **J. Chem. Phys.**, v. 16, n. 10, p. 931-937, 1948.
- [11] HENDERSON, S.M. A basic concept of equilibrium moisture. **Agr. Eng.**, St. Joseph, Michigan, v. 33, n. 1, p. 29-32, 1952.
- [12] ISLAM, M.N.; FLINK, L.N. Dehydration of potato II – Osmotic concentration and its effect on air drying behavior. **J. Food Tech.**, v. 17, n. 3, p. 387-403, 1982.
- [13] LABUZA, T.P. Sorption phenomena in foods. **Food Tech.**, v. 22, p. 263-272, 1968.
- [14] MENOLI, R.C.R.N.; MANTOVANI, M.S.; RIBEIRO, L.R.; SPEIT, G.; JORDÃO, B.Q. Antimutagenic effects of the mushroom *Agaricus blazei* Murril extracts on V79 cells. **Genet. Toxicol. Environ. Mutagenesis**, v. 496, n. 1-2, p. 5-13, 2001.
- [15] SWIN, C.R. The kinetics of package life. The isotherm. **J. Chem. Industry (London)**, n. 65, p. 419-421, 1946.
- [16] PARK, K.J.; BIN, A.; BROD, F.P.R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus* sp.) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001.
- [17] RAOULT-WACK, A.L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends Food Sci. Tech.**, v. 5, n. 8, p. 255-260, 1994.
- [18] RAHMAN, M.S. **Food Properties Handbook**. 1st ed. CRC Press, Boca Raton, 1995.
- [19] SHIVHARE, U.S.; ARORA, S.; AHMED, J.; RAGHAVAN, G.S.V. Moisture adsorption isotherms for mushroom. **Lebensm-Wiss. Technol.**, v. 37, p. 133-137, 2004.
- [20] SUGUNA, S.; USHA, M.; SREENARAYANAN, V.V.; RAGHUPATHY, R.; GOTHANDAPANI, L. Dehydration of mushroom by sun-drying, thin-layer drying, fluidized bed drying and solar cabinet drying. **J. Food Sc. Tech.**, v. 32, n. 4, p. 284-288, 1995.
- [21] **Statistica for Windows 5.0. Computer program manual**. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 1995.
- [22] TREYBAL, R.E. **Mass Transfer Operations**. 3rd ed. Auckland: McGraw-Hill, 1981.
- [23] VAN DER BERG, C. Description of water activity of foods for engineering purposes by means of the GAB model of sorption. In: **Engineering and Food**. London: B. M. McKenna, Elsevier Applied Science, v. 1, p. 311-321, 1984.
- [24] VISWANATHAN, R.; JAYAS, D. S.; HULASARE, R. B. Sorption isotherms of tomato slices and onion shreds. **Biosystems Eng.**, v. 86, n. 4, p. 465-472, 2003.
- [25] ZHANG, X.W.; LIU, X.; GU, D.X.; ZHOU, W.; WANG, R.L.; LIU, P. Desorption isotherms of some vegetables. **J. Sc. Food Agr.**, v. 70, p. 303-306, 1996.

6 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo suporte financeiro.