



AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS OPERACIONAIS NA SECAGEM DE PROTEÍNA TEXTURIZADA DE SOJA

Emmanuelle de Almeida Marcinkowski¹, Ligia Damasceno Ferreira Marczak¹, Caciano Pelayo Zapata Noreña²

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Departamento de Engenharia Química
R. Eng. Luis Englert, s/n. Campus CEP: 90040-040 - Porto Alegre – RS – BRASIL,
E-MAIL: {emanuele, ligia}@enq.ufrgs.br

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Departamento de Tecnologia de Alimentos, Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos (ICTA)
Av. Bento Gonçalves, 9500. Campus do Vale. CEP: 91501-970 - Porto Alegre – RS – BRASIL,
E-MAIL: czapatan@ufrgs.br

Palavras Chaves: Proteína texturizada de soja, secagem, isoterma de sorção, transição vítrea, difusividade mássica.

Resumo: A utilização de proteína texturizada de soja (PTS) como ingrediente em alimentos visa substituir ou complementar outros tipos de proteínas de maior custo, melhorar as características do produto final, aumentar o valor nutricional e reduzir custos de produção. Embora a sua produção esteja aumentando nos últimos anos, poucos trabalhos a respeito de PTS foram realizados e publicados. Dessa forma, torna-se importante e interessante a realização de estudos que apresentem informações que sejam relevantes para o armazenamento e processamento desses produtos. O presente trabalho objetiva: (i) estudar os efeitos da variação de parâmetros de secagem no comportamento de dois produtos que diferem entre si quanto ao tamanho e formato; (ii) determinar as isotermas de sorção em três diferentes temperaturas e, a partir das equações obtidas, avaliar as principais propriedades termodinâmicas do produto e (iii) determinar as respectivas curvas de transição vítrea. Para o experimento de secagem, será realizado um planejamento fatorial composto central, variando-se a temperatura e a velocidade do ar de secagem e a altura da camada de produto no interior do secador. Será testada a adequação de alguns modelos de secagem aos dados experimentais obtidos, buscando identificar o mais adequado. As isotermas de sorção serão determinadas para as temperaturas de 10, 20 e 30°C. Diversos modelos de isotermas de sorção citados na literatura serão avaliados, objetivando identificar o que melhor descreve o comportamento de PTS. O experimento de determinação das curvas de transição vítrea ainda está em fase de implementação.

1 INTRODUÇÃO

A soja é um dos mais importantes produtos exportados pelo Brasil, tendo a sua produção aumentada em cerca de 100% nos últimos oito anos. A safra de 2004/2005 corresponde a 51 milhões de toneladas (CONAB, 2005).

A potencial utilização da soja inclui centenas de aplicações, devido à sua versatilidade. Atualmente, através do processamento do grão de soja, podem ser originados diversos tipos de produtos, tais como cola, adubo, tinta, esmalte, explosivo, sabão, lubrificante, substituto de petróleo, entre outros (Gomes, 1988).



OKTOBER FÓRUM 2005 – PPGEQ

A semente da soja (*Glycine max*) é rica em substâncias protéicas e graxas, sendo a composição físico-química média dos grãos, considerando base seca, de 20% de lipídios, 40% de proteínas, 35% de carboidratos e 5% de cinzas (Cheftel, Cheftel, Besançon, 1989).

A proteína de soja é um produto nobre, e vem sendo amplamente utilizado como ingrediente nas indústrias alimentícias, com a finalidade de substituir ou complementar outros tipos de proteínas de maior custo, além de melhorar as características organolépticas do produto final, aumentar o valor nutricional e reduzir custos de produção.

Entre os derivados protéicos da soja, encontra-se a proteína texturizada (PTS), definida como o produto protéico dotado de integridade estrutural identificável, de modo a que cada unidade suporte hidratação e cozimento, obtida por fiação e extrusão termoplástica, a partir de uma ou mais das seguintes matérias-primas: proteína isolada de soja, proteína concentrada de soja e farinha desengordurada de soja (BRASIL, 1978). A PTS é encontrada em ampla gama de produtos, considerando as possíveis diferentes cores, granulometrias e composições.

Embora a utilização de PTS seja cada vez mais comum, estudos e pesquisas com respeito à caracterização desse produto são raros, dificultando o entendimento da sua estabilidade e comportamento durante o armazenamento, secagem e produção.

A estabilidade de um alimento é melhor entendida quando se faz referência à atividade de água, pois esta caracteriza a intensidade com que a água está associada aos solutos no alimento, ou seja, indica o seu grau de disponibilidade para participar de reações de degradação físicas, químicas e biológicas. A atividade de água está relacionada com a umidade do alimento (facilmente medida em laboratório), através de funções denominadas isotermas de sorção (Fennema, 2000).

Existem importantes aplicações associadas às isotermas de sorção no âmbito da ciência e tecnologia de alimentos, tais como cálculo de propriedades termodinâmicas, informações técnicas para armazenamento e embalagem do produto, dados para problemas de otimização e balanço energético nas operações de secagem e congelamento, entre outros (Gal, 1975).

O calor de sorção indica a força de ligação das moléculas de água no alimento, podendo ser uma medida da afinidade entre água e alimento, e calculado a partir da equação de Clausius-Clapeyron (Moreira et al.).

O processo de secagem consiste na remoção de quantidade relativamente pequena de água de material sólido com a finalidade de reduzir seu teor de água a um nível aceitável (McCabe, Smith, Harriott, 1993). Já foi observado que parâmetros como temperatura do ar de secagem (Methakhan, Chiewchan, Devahastin, 2005), velocidade do ar de secagem (Sogi et al, 2003) e altura de produto (Cassini, 2004) podem influenciar significativamente o tempo de secagem.

Existem modelos que descrevem o compartimento de secagem de alimentos, relacionando a umidade do produto em função de tempo total de secagem (Sogi et al, 2003).

Este trabalho visa (i) determinar isotermas de sorção para duas PTS de mesma composição, mas com formato e tamanho diferentes e, a partir das equações, determinar importantes propriedades termodinâmicas; (ii) avaliar a influência de parâmetros operacionais na secagem desses produtos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi totalmente desenvolvido nas dependências da empresa Solae do Brasil Ind. e Com. de Alimentos LTDA., especificamente no parque industrial de Esteio (RS, Brasil).

Os experimentos de determinação das isotermas de sorção foram realizados no Laboratório do Centro de Desenvolvimento Tecnológico de Alimentos da empresa e os de secagem foram feitos no secador piloto instalado na planta de produção de proteína texturizada de soja da empresa.

2.1 Amostras de proteína texturizada de soja

Todas as amostras foram fornecidas pela empresa Solae do Brasil Ind. e Com. de Alimentos LTDA.

Foram utilizados dois tipos de proteína texturizada de soja, os quais diferiam entre si quanto à forma e tamanho. A proteína texturizada de soja tipo I (PTS I) tem forma de *flake*, enquanto a proteína texturizada de soja tipo II (PTS II) tem forma de *chunks*. Ambas apresentam composição aproximada de 53% de proteína, 31% de carboidratos, 6% de cinzas, 6% de umidade, 3% de fibra e 1% de matéria graxa.

2.2 Isotermas de sorção

Foram determinadas as isotermas de sorção para PTS I nas temperaturas de 10 e 20°C e para PTS II a 20°C. Foram utilizados diferentes níveis de atividade de água para cada temperatura (Tabela 1). A metodologia utilizada na determinação das isotermas de sorção foi baseada nos procedimentos descritos pelo projeto COST 90 (Wolf, Spiess, Jung, 1984), sendo feitas as alterações necessárias.



Tabela 1: Atividade de água correspondente a cada sal para diferentes temperaturas

Sais	Temperatura (°C)	
	10	20
Hidróxido de sódio	0,1023	-
Cloreto de lítio	-	0,1098
Hidróxido de potássio	0,1235	-
Acetato de potássio	0,2461	0,2802
Cloreto de magnésio	-	0,3307
Carbonato de potássio	0,4315	-
Nitrato de magnésio	-	0,5439
Brometo de sódio	0,6210	0,5872
Iodeto de potássio	0,7212	0,6990
Cloreto de sódio	0,7568	0,7548
Cloreto de amônio	0,8055	-
Cloreto de potássio	-	0,8511

No interior de cada frasco hermético com 1L de capacidade foi colocado aproximadamente 100mL da solução saturada correspondente, além de três béqueres com $2\pm 0,3g$ de amostra de PTS. Para os experimentos com atividade de água superior a 0,5 foi utilizado timol cristalino para evitar o desenvolvimento fúngico.

A análise de umidade foi realizada por secagem da amostra em estufa a $105^{\circ}C$ durante 24 horas.

Os dados de umidade de equilíbrio em função da atividade de água foram ajustados por cinco modelos (Tabela 2), utilizando função específica de solução de problemas de mínimos quadrados não lineares no *software* MatLab 5.3.

Tabela 2: Modelos de isotermas de sorção

Modelos de isotermas	
Oswin	$X = A \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^B$
Henderson	$X = \left[- \frac{\ln(1 - a_w)}{A} \right]^{1/B}$
GAB	$X = \frac{X_0 \cdot C \cdot K \cdot a_w}{[(1 - K \cdot a_w)(1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)]}$
Ferro Fontan	$X = \left[\frac{C}{\ln(A/a_w)} \right]^{1/B}$
Peleg	$X = A \cdot a_w^B + C \cdot a_w^D$

Onde A, B, C, D, X_0 e K são constantes a serem determinadas.

Os critérios utilizados para a escolha do modelo que melhor ajusta os dados experimentais são o coeficiente de correlação R^2 e o erro médio relativo (Eq. 1).

$$EMR(\%) = \frac{100}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \left(\frac{y_i - y_{p,i}}{y_i} \right) \quad \text{Eq. 1}$$

Onde N é o número total de observações, y_i é a i-ésima observação e $y_{p,i}$ é o valor predito pelo modelo correspondente à i-ésima observação.

2.2.1 Calor de sorção - q_s

O calor de sorção é uma das principais propriedades termodinâmicas que podem ser calculadas a partir do modelo ajustado de isoterma de sorção. Para tanto, utiliza-se a equação de Clausius-Clapeyron (Eq. 2) e assume-se que o calor de sorção independe da temperatura (Moreira et al, 2004) e consideram-se pontos fixos com mesmo teor de umidade.

$$q_s = \frac{RT_2 T_1}{T_2 - T_1} \ln \left(\frac{a_{w2}}{a_{w1}} \right) \quad \text{Eq. 2}$$

Onde a_{w2} e a_{w1} são os valores de atividade de água nas temperaturas T_2 e T_1 , respectivamente, e R é a constante universal dos gases ($8.314 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$).

Ainda não foram obtidos resultados para o calor de sorção.

2.3 Secagem

Foi realizado um planejamento fatorial composto central (Neto, Scarminio, Bruns, 2003) para verificar a influência de parâmetros na etapa de secagem dessas PTS. A altura de camada de produto, a velocidade e a temperatura do ar de secagem foram os fatores avaliados (Tabela 3).

O experimento foi realizado em um secador piloto. O equipamento consiste em um ventilador centrífugo com medidor/controlador de vazão a montante, três resistências em paralelo com medidor/controlador de temperatura a jusante, cabine de secagem com possibilidade de entrada de ar ascendente ou descendente e uma balança analítica para monitoramento da perda de massa do produto.

A cada noventa segundos inverte-se o sentido do ar. A secagem do produto foi realizada até que a diferença entre os valores de massa dos quatro últimos pontos fosse inferior a 1 g.

A umidade de equilíbrio para cada condição de operação está sendo determinada.



OKTOBER FÓRUM 2005 – PPGEQ

Tabela 3: Fatores e níveis avaliados no experimento de secagem.

Produtos	Fatores	Níveis				
		-1,68	-1	0	+1	+1,68
PTS I	h (cm)	4	4,8	6	7,2	8
	v (cm/s)	70	86,2	110	133,8	150
	T (°C)	90	98	110	122	130
PTS II	h (cm)	3	4,2	6	7,8	9
	v (cm/s)	70	86,2	110	133,8	150
	T (°C)	90	98	110	122	130

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Isotermas de sorção

Em trinta dias, foi atingido o equilíbrio no interior dos frascos. Os valores de umidade de equilíbrio para cada atividade de água (Tabela 4 e 5) correspondem à média da triplicata da análise.

Tabela 4: Valores de umidade de equilíbrio (% base seca) para experimentos de PTS I

a_w	10°C	a_w	20°C
0,1023	3,83	0,1098	4,35
0,1235	5,14	0,2802	5,70
0,2461	5,73	0,3307	10,27
0,4315	7,66	0,5439	15,09
0,6210	14,10	0,5872	11,88
0,7212	18,07	0,6990	16,37
0,7568	21,06	0,7548	19,72
0,8055	26,80	0,8511	31,04

Tabela 5: Valores de umidade de equilíbrio (% base seca) para experimentos de PTS II

a_w	20°C
0,1098	4,93
0,2802	5,86
0,3307	9,58
0,5439	13,80
0,5872	11,05
0,6990	15,51
0,7548	19,91
0,8511	30,15

O resultado do ajuste dos parâmetros dos modelos, bem como o erro médio relativo (%) e o coeficiente de correlação (R^2) estão apresentados nas Tabelas 6, 7 e 8.

Tabela 6: Parâmetros estimados, erro médio relativo (%) e coeficiente de correlação para PTS I a 10°C

	Oswin	Henderson	GAB	Ferro Fontan	Peleg
A	10,6619	0,0491	-	0,9416	50,1138
B	0,6140	1,0956	-	1,4090	4,9709
C	-	-	24,8970	16,0426	10,0217
D	-	-	-	-	0,3796
X ₀	-	-	5,0320	-	-
K	-	-	1,0105	-	-
EMR	12,86	20,03	5,52	5,50	5,72
R ²	0,9809	0,9559	0,9958	0,9958	0,9946

Tabela 7: Parâmetros estimados, erro médio relativo (%) e coeficiente de correlação para PTS I a 20°C

	Oswin	Henderson	GAB	Ferro Fontan	Peleg
A	11,4473	0,0403	-	0,9595	95,6298
B	0,5446	1,1546	-	1,6531	12,3377
C	-	-	20,3977	34,6701	20,3055
D	-	-	-	-	0,7501
X ₀	-	-	6,1281	-	-
K	-	-	0,9416	-	-
EMR	14,46	18,66	13,23	14,53	11,98
R ²	0,9502	0,9181	0,9573	0,9600	0,9702

Tabela 8: Parâmetros estimados, erro médio relativo (%) e coeficiente de correlação para PTS II a 20°C

	Oswin	Henderson	GAB	Ferro Fontan	Peleg
A	10,9648	0,0458	-	0,9508	62,5307
B	0,5544	1,1246	-	1,6904	8,8027
C	-	-	39,4630	35,0150	16,6536
D	-	-	-	-	0,6044
X ₀	-	-	5,5989	-	-
K	-	-	0,9563	-	-
EMR	14,58	18,79	10,57	11,02	11,21
R ²	0,9547	0,9162	0,9696	0,9720	0,9746

De modo geral, os modelos de GAB, Peleg e Ferro Fontan apresentaram os melhores resultados, considerando que obtiveram os maiores valores de R^2 e os menores valores de EMR.



OKTOBER FÓRUM 2005 – PPGEQ

No entanto, o modelo que melhor ajusta os dados experimentais tanto para PTS I (Figura 1) quanto para PTS II (Figura 2) é o de GAB.

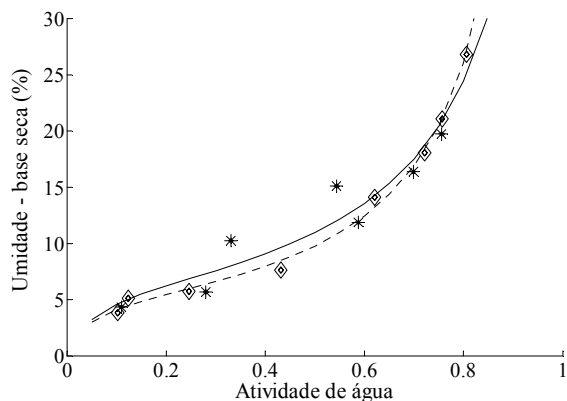


Figura 1: Isoterma de sorção para PTS I nas temperaturas de (---) 10°C e (—) 20°C e valores experimentais (◇) 10°C e (*) 20°C

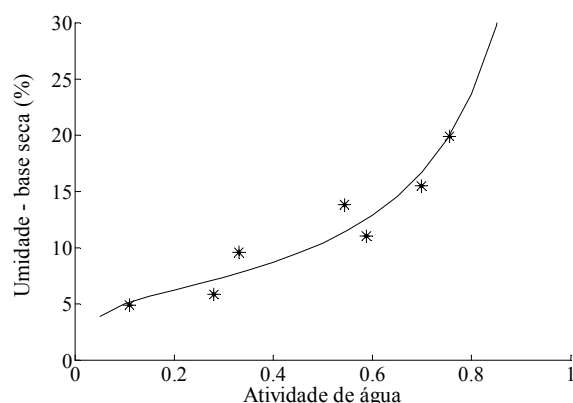


Figura 2: Isoterma de sorção para PTS I na temperatura de 10°C.

As isotermas apresentaram um aumento da umidade de equilíbrio com o aumento da atividade de água. O efeito da temperatura, em uma análise preliminar, aponta o mesmo encontrado por Cassini, Marczak e Noreña (2005), ocorrendo cruzamento das curvas (Figura 1) para elevados valores de atividade de água, no caso a partir de 0,8.

3.2 Secagem

O objetivo desse experimento de secagem é determinar a influência de parâmetros de processo, através da análise das constantes provenientes do ajuste de modelos de secagem. No entanto, como a umidade de equilíbrio ainda não foi determinada, a

umidade adimensional utilizada nos modelos não pode ser calculada. Portanto, as figuras apresentadas a seguir apenas ilustram o comportamento da PTS I e PTS II em situações particulares.

Com relação à PTS I, o maior efeito verificado graficamente foi da temperatura do ar de secagem (Figura 3), sendo que a maior temperatura implica em menor tempo de secagem. O mesmo foi observado para a velocidade do ar de secagem (Figura 4), mas com menor efeito.

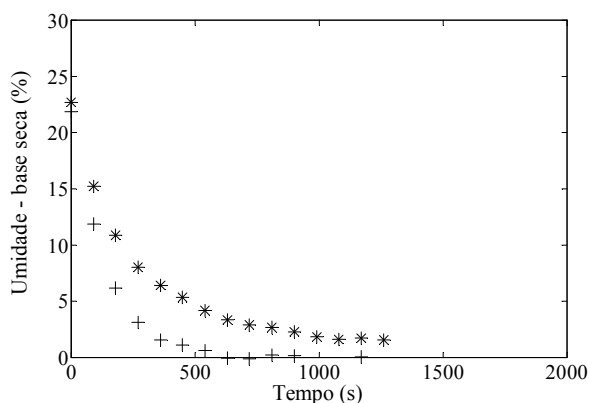


Figura 3: Curva de secagem de PTS I a 110 cm/s, 6 cm, (*) 90°C e (+) 130°C

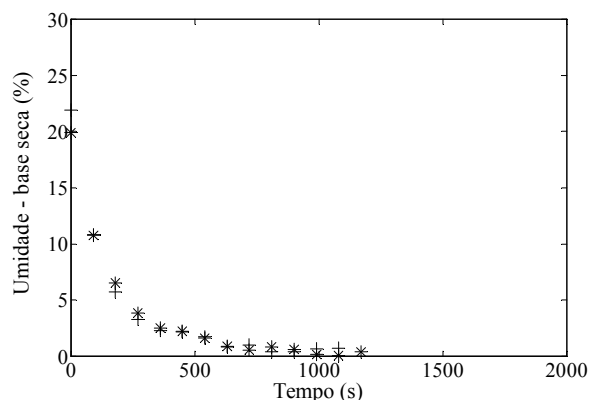


Figura 4: Curva de secagem de PTS I a 110°C, 6 cm, (*) 70 cm/s e (+) 150 cm/s

A altura de camada de produto (Figura 5) apresenta comportamento inverso, sendo verificado menor tempo de secagem para a menor altura de produto. Os mesmos resultados foram observados por Cassini (2004) com experimentos de secagem de proteína texturizada de soja.

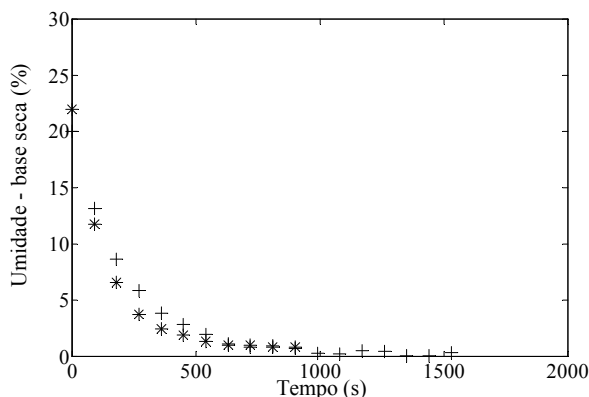


Figura 5: Curva de secagem de PTS I a 122°C, 86,2 cm/s, (*) 4,8 cm e (+) 7,2 cm

Para a PTS II, até o presente momento, sabe-se apenas o efeito da altura de produto sobre o tempo de secagem (Figura 6). Comparando as Figura 5 e 6, pode-se perceber que esse efeito é maior para a PTS II.

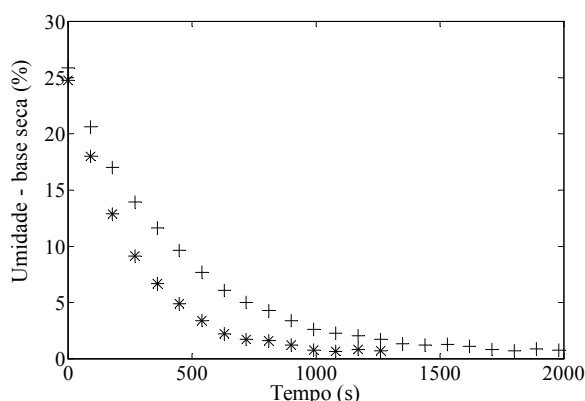


Figura 6: Curva de secagem de PTS II a 122°C, 86,2 cm/s, (*) 4,2 cm e (+) 7,8 cm

4 CONCLUSÕES

As isotermais de sorção obtidas para PTS I (10°C e 20°C) e PTS II (20°C) foram ajustadas pelo modelo de GAB com EMR inferior a 14%.

As curvas de secagem para PTS I indicaram que o aumento da temperatura e velocidade do ar de secaem resulta na diminuição do tempo de secagem, ao contrário da altura de camada de produto, cujo efeito é diretamente proporcional. O mesmo comportamento foi observado para PTS II com relação à camada de produto, mas com maior significância.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pelo financiamento deste trabalho e a The Solae Company pela parceria e disponibilização de sua infra-estrutura.

REFERÊNCIAS

- BRASIL, Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução CNNPA nº 14/78. Padrão de Identidade e Qualidade para Farinha Desengordurada de Soja, Proteína Texturizada de Soja, Proteína Concentrada de Soja, Proteína Isolada de Soja e Extrato de Soja. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 28 agosto, 1978. Seção 1. pt. 1.
- CASSINI, A. S. Análise das Características de Secagem da Proteína Texturizada de Soja. 2004. 117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- CASSINI, A.S.; MARCZAK, L.D.F.; NORENA, C.P.Z. Water adsorptions isotherms of textuirizad soy protein. Journal of Food Engineering, 2005.
- CHEFTEL, J.C.; CHEFTEL, H.; BESANÇON, P. Introduccion a la bioquimica y tecnologia de los alimentos. v.2. Zaragoza: Acribia, 1989.
- CONAB, Safra de soja – Séries históricas. Disponível em <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em 6 de outubro de 2005.
- FENNEMA, O.R. Química de los alimentos. 2ed. Zaragoza: Acribia, 2000. 1258p.
- GAL, S. Recent Advances in Techniques for the Determination of Sorption Isotherms. In: DUCKWORTH, R.B. (Editor). Water Relations of Foods. Nova Iorque: Academic Press, 1975. p.139-154.
- GOMES, P. A soja. 5.ed. 2.reimpressão. São Paulo: Nobel, 1988.152p.
- GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. Journal of Research of the National Bureau of Standards – A. Physics and Chemistry, v. 81A, n. 1, 89-96, 1977 (Washington, US : U.S. Department Of Commerce, National Bureau Of Standards)
- MCCABE, W.L.; SMITH, J.C.; HARRIOT, P. Unit Operations of Chemical Engineering. 5th ed. McGraw-Hill: EUA, 1993. 1130p.



OKTOBER FÓRUM 2005 – PPGEQ

10 anos

METHAKHUP, S.; CHIEWCHAN, N.; DEVAHASTIN, S. Effects of drying methods and conditions on drying kinetics and quality of Indian gooseberry flake. Food Science and Technology, Londres, v.38, p.579-587, 2005.

MOREIRA, R. et al. Sorption isotherms of turnip top leaves and stems in the temperature range from 298 to 328 K. Journal of Food Engineering, Essex, 2004.

NETO, B.B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. Como fazer experimentos. 2 ed. Campinas: Editora

da UNICAMP, 2003.

SOGI, D.S. et al. Water sorption Isotherms and Drying Characteristics of Tomato Seeds. Biosystems Engineering, Londres, v.84, n.3, p.297-301, 2003

Wolf, W.; Spiess, W.E.L.; Jung, G. The water-vapour sorption isotherms of microcrystalline cellulose (MCC) and of purified potato starch. Results of a collaborative study. Journal of Food Engineering, Essex, v.3, 51-73, 1984.