

## DETERMINAÇÃO DAS ISOTERMAS DE ADSORÇÃO DA PROTEÍNA TEXTURIZADA VEGETAL

### Aline Schilling Cassini

Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Rua Luis Englert, s/n. Campus Central. CEP: 90040-000 – Porto Alegre – RS – BRASIL  
alinesc@enq.ufrgs.br

### Lígia Damasceno Ferreira Marczak

Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Rua Luis Englert, s/n. Campus Central. CEP: 90040-000 – Porto Alegre – RS – BRASIL  
ligia@enq.ufrgs.br

### Caciano Pelayo Zapata Noreña

Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Av. Bento Gonçalves, 9500. Campus do Vale. CEP: 91540-000 – Porto Alegre – RS – BRASIL  
czapatan@ufrgs.br

**Resumo.** A proteína texturizada de soja (PTS) é utilizada como substituta da proteína animal e como ingrediente funcional em diversos produtos alimentícios, agregando água e/ou aumentando a quantidade de proteína do produto final, substituindo parte da carne (mantendo o mesmo teor protéico) ou agindo como espessante. O processo de produção da PTS envolve uma etapa de secagem e as isotermas de adsorção propiciam informações úteis para esta etapa. Neste trabalho, determinaram-se as isotermas de adsorção da PTS (6% de umidade, 70% de proteína, 0% de açúcares, 0% de gordura, 20% de fibras e 4% de cinzas) nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C utilizando-se dez soluções salinas saturadas, correspondentes a atividades de água ( $a_w$ ) entre 0,070 e 0,978. Os dados experimentais foram ajustados pelos modelos de Halsey, Oswin, BET, GAB, Peleg e D'arcy Watt. Determinou-se, também, a umidade de monocamada, o calor de sorção e a área superficial do produto. Os modelos de GAB e Peleg foram os que melhor se ajustaram aos dados experimentais, os quais, na faixa de temperatura estudada, mostraram sofrer pouca influência da temperatura. O calor de sorção diminuiu com o aumento da temperatura.

*Palavras chave:* proteína texturizada de soja, secagem, isotermas, atividade de água.

### 1. Introdução

As proteínas são componentes estruturais essenciais das células, encontrando-se no centro da ação nos processos biológicos. Elas exercem importantes funções regulatórias, controlando as condições intra e extracelulares e fornecendo informações para outros componentes da célula. Além disso, praticamente todas as transformações moleculares que definem o metabolismo celular são mediadas pela catálise protéica.

Com o descobrimento da importância nutricional das proteínas e a constatação do grão de soja como ótima fonte de proteína vegetal – este contém cerca de 40% de proteína – iniciou-se, por volta de 1950, a utilização dos grãos de soja para a produção de uma farinha desengordurada destinada à alimentação humana. Esta produção vem crescendo a cada dia e, atualmente, são produzidos, mundialmente, mais de 1,5 milhões de toneladas de farinha desengordurada por ano (Bunge, 2001). Este produto serviu como precursor de outros produtos, tais como o farelo de soja e a proteína de soja texturizada, concentrada e isolada.

Atualmente, é comum a utilização da proteína texturizada de soja (PTS) como substituta da proteína animal em produtos cárneos. Entretanto, a comprovação dos efeitos benéficos das proteínas de soja na diminuição do colesterol e na prevenção de doenças cardíacas intensificou o interesse da indústria alimentícia no desenvolvimento dos mais diversos tipos de alimentos contendo concentrados protéicos a base de soja. Desta forma, ampliou-se significativamente a gama de aplicações das proteínas, tornando-se cada vez mais recorrente a utilização destas como um ingrediente funcional nos mais variados produtos, tais como bebidas, barras nutricionais, suplementos alimentares, cereais, biscoitos, molhos, chocolates, snacks, entre outros.

As principais funções que as PTS podem exercer nos alimentos são a de agregar água e aumentar a quantidade de proteína no produto final, substituir parte da carne em produtos embutidos, formatados ou a base de carne moída, mantendo o teor de proteína destes e agir como espessante em produtos desidratados.

Uma das etapas finais no processo produtivo da PTS é a etapa de secagem que visa a diminuição da umidade do produto para fins de conservação e comercialização. A desidratação de alimentos é de grande importância, tornando-os menos susceptíveis à degradação causada pelo crescimento de bactérias, fungos e leveduras. Estudos comprovam que a atividade da maioria dos microrganismos é inibida em um meio no qual a atividade de água ( $a_w$ ) é menor que 0,7. Este valor, dependendo do produto, representa uma umidade, base úmida, entre 5% e 18% (Geankoplis, 1993). Além disso,

os riscos de reações químicas e enzimáticas indesejáveis, que degradam o produto e reduzem a vida de prateleira deste, diminuem com a redução de umidade.

As isotermas de sorção de um alimento – representação gráfica da relação entre a umidade relativa (ou atividade de água) e o conteúdo de umidade de equilíbrio do produto em diferentes temperaturas – apresentam-se como a melhor opção na obtenção de dados sobre a estabilidade de determinado produto. A determinação das isotermas de sorção é de grande interesse industrial, uma vez que a análise destas curvas propicia informações úteis para o planejamento dos processos de secagem, especialmente na determinação da umidade final a ser atingida, aliando viabilidade econômica e segurança microbiológica. (McLaughlin e Magee, 1998). Além da secagem, as isotermas também fornecem dados relevantes para etapas como o embalamento e o armazenamento do produto.

Diversos trabalhos, disponíveis na literatura, apresentam as isotermas de sorção dos mais variados produtos alimentícios. Para a PTS, entretanto, os dados disponíveis são, praticamente, inexistentes. Dentro deste contexto situa-se o objetivo deste trabalho que é a determinação das isotermas de sorção de um tipo comercial de PTS (contendo cerca de 6% de umidade, 70% de proteína, 0% de açúcares, 0% de gordura, 20% de fibras e 4% de cinzas) nas temperaturas de 10°C, 20°C, 30°C e 40°C. Determina-se, também, o calor total de sorção e a área superficial do produto.

## 2. Fundamentos Teóricos e Revisão Bibliográfica

Quando um produto alimentício é submetido à secagem, tanto seu teor de umidade como sua atividade de água se alteram ao longo do processo. O ar de secagem possui uma determinada umidade relativa e, para qualquer que seja este valor, existe um teor de umidade de equilíbrio do produto com o ar. Neste ponto de equilíbrio, a atividade de água no ar é a mesma do produto. Esta relação entre o teor de umidade de equilíbrio do produto e a umidade relativa do ar é de grande importância para o desenvolvimento de um processo de secagem, uma vez que especifica o teor de umidade do alimento que pode ser atingido sob quaisquer condições do ar de secagem (Heldman e Hartel, 2000).

Diversos pesquisadores, entre eles Ajibola (1986), Saravacos, Tsiourvas e Tsami (1986), Tsami, Marinos-Kouris e Maroulis (1990), Fasina e Sokhansanj (1993), Maskan e Göğüs (1997), McLaughlin e Magee (1998), Alhamdan e Hassan (1999), Menkov (2000), Basunia e Abe (2001), Kaymak-Ertekin e Sultanoglu (2001), Park, Vohnikova e Brod (2002), Sandoval e Barreiro (2002) e Shivhare, Arora, Ahmed e Raghavan (2004), determinaram as isotermas de sorção de diferentes produtos alimentícios. Dados sobre as isotermas de sorção da PTS, entretanto, são extremamente escassos. Romero (1988) determinou as isotermas de sorção de dois tipos comerciais de PTS nas temperaturas de 20, 30, 40, 50, 60 e 70°C (um dos tipos continha cerca de 50% de proteína e o outro cerca de 70%). O autor observou curvas bastante semelhantes em função da temperatura para ambas as amostras.

A literatura apresenta diversos modelos matemáticos que predizem as isotermas de sorção de produtos alimentícios. Entretanto, conforme pioneiramente apontado por Labuza (1968), a grande maioria destes modelos apresentam-se eficientes apenas para determinados tipos de alimentos e para determinados intervalos de atividade de água.

Van der Berg e Bruin (1981) indicaram mais de 200 modelos para descrever as isotermas de sorção de materiais biológicos. As equações variam de modelos empíricos de dois ou três parâmetros até modelos termodinâmicos complexos, além de equações baseadas no modelo de BET. Os modelos apresentados na Tab. 1 encontram-se entre os mais relevantes na descrição das isotermas de sorção de produtos alimentícios. Nesta tabela,  $X_{eq}$  e  $X_m$  são, respectivamente, os teores de umidade no equilíbrio e de monocamada e A, B, C, N, K,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ,  $K_4$ ,  $K_5$ ,  $n_1$  e  $n_2$  são constantes dos modelos apresentados.

Tabela 1: Modelos comumente utilizados na predição das isotermas de sorção de produtos alimentícios. Fonte: <sup>1</sup>Oswin, 1946, <sup>2</sup>Halsey, 1948, <sup>3</sup>Barbosa e Vega, 1996, <sup>4</sup>Peleg, 1993 e <sup>5</sup>Saravacos *et al.*, 1986.

Nome do modelo	Modelo
Oswin <sup>1</sup>	$X_{eq} = A \left( \frac{a_w}{1 - a_w} \right)^B \quad (1)$
Halsey <sup>2</sup>	$a_w = \exp \left( \frac{-A}{X_{eq}^B} \right) \quad (2)$
BET <sup>3</sup>	$X_{eq} = \frac{(X_m C a_w)(1 - (N + 1)a_w^N N a_w^{N+1})}{(1 - a_w)(1 - (C - 1)a_w - C a_w^{N+1})} \quad (3)$
GAB <sup>3</sup>	$X_{eq} = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)} \quad (4)$
Peleg <sup>4</sup>	$X_{eq} = K_1 a_w^{n_1} + K_2 a_w^{n_2} \quad (5)$
D'arcy Watt <sup>5</sup>	$X_{eq} = \frac{K_1 K_2 a_w}{1 + K_1 a_w} + K_5 a_w + \frac{K_3 K_4 a_w}{1 - K_3 a_w} \quad (6)$

As isotermas de sorção também permitem a determinação da umidade de monocamada do produto e de parâmetros termodinâmicos importantes, tais como o calor de sorção e a área superficial do produto.

A umidade de monocamada, segundo Menkov (2000), é um parâmetro de grande importância para a estabilidade física e química de materiais desidratados em relação à oxidação de lipídios, atividade enzimática, escurecimento não enzimático, preservação de componentes do sabor e características estruturais. Este parâmetro pode ser obtido através do ajuste dos dados experimentais com alguns modelos, tais como BET e GAB, apresentados na Tab. 1.

O calor de sorção ( $Q_s$ ) - determinado a partir da equação de Clausius-Clapeyron - pode ser utilizado para estimar o requerimento de energia do processo de desidratação. O nível de umidade do alimento em que o calor de sorção aproxima-se do calor latente de vaporização da água também pode ser utilizado como uma indicação do teor de “água livre” existente no alimento (Kaymak-Ertekin e Sultanoglu, 2001): em níveis de umidade superiores a este, a água encontra-se mecanicamente livre nos espaços vazios do sistema, podendo ser aproveitada pelos microrganismos (Fasina e Sokhansanj, 1993).

A equação que estima o calor de sorção é apresentada pela Eq. (7), onde T é a temperatura absoluta (K) e  $R_G$  é a constante universal dos gases ( $R_G = 1,987 \text{ cal.gmol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ).

$$\frac{d(\ln a_w)}{d\left(\frac{1}{T}\right)} = -\frac{Q_s}{R_G} \quad (7)$$

Este parâmetro pode ser utilizado para estimar o requerimento de energia do processo de desidratação. O nível de umidade do alimento em que o calor de sorção aproxima-se do calor latente de vaporização da água também pode ser utilizado como uma indicação do teor de “água livre” existente no alimento (Kaymak-Ertekin e Sultanoglu, 2001): em níveis de umidade superiores a este, a água encontra-se mecanicamente livre nos espaços vazios do sistema, podendo ser aproveitada pelos microrganismos (Fasina e Sokhansanj, 1993).

Somando-se ao calor de sorção, o calor latente de vaporização da água pura ( $\Delta H_0$ ), que é estimado em  $10,53 \text{ kcal.gmol}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$ , determina-se o requerimento total de calor ( $Q_{st}$ ) para a desidratação do alimento até sua umidade de monocamada.

Outro parâmetro que pode ser determinado a partir dos dados de monocamada é a área superficial do produto ( $S_0$ , em  $\text{m}^2.\text{g}$  de sólido $^{-1}$ ) que pode ser utilizada como auxiliar na determinação da composição deste (quanto maior a área, maior a quantidade de polímeros presentes). A Equação (8) permite a estimativa da área superficial do produto, onde  $PM_{H_2O}$  é a massa molecular da água ( $18 \text{ g.gmol}^{-1}$ ),  $X_m$  é a umidade de monocamada,  $N_0$  é o Número de Avogadro ( $6 \times 10^{23} \text{ moléculas.gmol}^{-1}$ ) e  $A_{H_2O}$  é a área de uma molécula de água ( $10,6 \times 10^{-20} \text{ m}^2$ ) (Labuza, 1968).

$$S_0 = X_m \frac{1}{PM_{H_2O}} N_0 A_{H_2O} = 3,5 \times 10^3 X_m \quad (8)$$

Este parâmetro é estimado em função da água adsorvida pelo alimento e, portanto, a grande maioria dos alimentos apresenta áreas superficiais de água entre  $100$  e  $250 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ . O que pode ser explicado pelo fato de as moléculas de água serem capazes de plasticizar os vários polímeros de cadeia longa que formam a matriz do alimento, expondo, assim, todos os sítios internos para a adsorção das moléculas de água (Labuza, 1968).

### 3. Materiais e Métodos

Amostras de PTS foram fornecidas pela empresa Solae do Brasil Ind. e Com. de Alimentos LTDA. (Esteio, RS, Brasil). Estas amostras continham, em média, 6% de umidade, 70% de proteína, 0% de açúcares, 20% de fibra, 0% de gordura e 4% de cinzas.

O método utilizado para a obtenção das isotermas de sorção em diferentes temperaturas foi o método standard de determinação das isotermas de sorção recomendado pelo projeto COST 90 (Spiess e Wolf, 1983). Este método consiste na preparação de diferentes soluções salinas saturadas, cada uma no interior de um frasco hermeticamente fechado. Estes frascos permanecem em repouso durante 24 horas para que o interior dos mesmos atinja o equilíbrio. Nestas condições, cada solução salina confere ao ar em equilíbrio uma determinada umidade relativa (sob temperatura constante). Para a realização dos experimentos, portanto, foram utilizados frascos de vidro com sistema de fechamento hermético e dez soluções salinas saturadas, cuja umidade relativa variava entre 7 e 97%. As soluções salinas utilizadas e suas respectivas umidades relativas em cada temperatura podem ser observadas na Tabela 2. Os experimentos foram realizados nas temperaturas de 10, 20, 30 e  $40^\circ\text{C}$ .

O procedimento padrão para a realização dos experimentos iniciava-se com a preparação das dez soluções salinas saturadas, uma no interior de cada frasco de vidro. Estes frascos eram deixados em repouso durante 24h. Após este período, duas amostras de PTS – de aproximadamente 5 g cada uma – eram acondicionadas em pequenos recipientes de alumínio e levadas ao interior de cada um dos frascos. Estas amostras ficavam suspensas sob um tripé de ferro, para que não entrassem em contato com a solução líquida. Nos frascos cuja umidade relativa era superior a 65%, acondicionava-se, ainda, um cadinho de porcelana contendo cerca de 0,5g de timol cristalino (Wolf, Spiess e Jung, 1985) a fim de

evitar o desenvolvimento de fungos. Os frascos de vidro eram, então, levados a uma câmara termostática com circulação interna de ar (marca Tecnal, modelo TE-381, com faixa de operação entre  $-10^{\circ}\text{C}$  e  $50^{\circ}\text{C} \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ ), para manter a temperatura constante, e ali permaneciam durante 20 dias, a fim de garantir que as amostras de PTS atingissem o equilíbrio com o ar presente no interior de cada frasco. Ao fim do experimento, determinava-se a umidade das amostras de PTS através da secagem em estufa, a  $105^{\circ}\text{C}$ , durante 24h (AOAC, 1990). A Figura 1 apresenta um fluxograma esquemático do procedimento acima descrito.

Tabela 2: Soluções salinas saturadas utilizadas na determinação das isotermas de adsorção.

Sais	UR de equilíbrio em cada temperatura			
	10°C	20°C	30°C	40°C
Hidróxido de sódio	0,096	0,070	0,070	0,065
Cloreto de lítio	0,113	0,112	0,112	0,110
Acetato de potássio	0,235	0,230	0,220	0,210
Cloreto de magnésio	0,335	0,332	0,325	0,317
Carbonato de potássio	0,440	0,430	0,430	0,430
Nitrito de potássio	0,675	0,655	0,635	0,615
Cloreto de sódio	0,760	0,755	0,755	0,755
Cloreto de potássio	0,870	0,853	0,835	0,820
Cloreto de bário	0,914	0,907	0,900	0,893
Sulfato de cobre	0,978	0,973	0,968	0,962

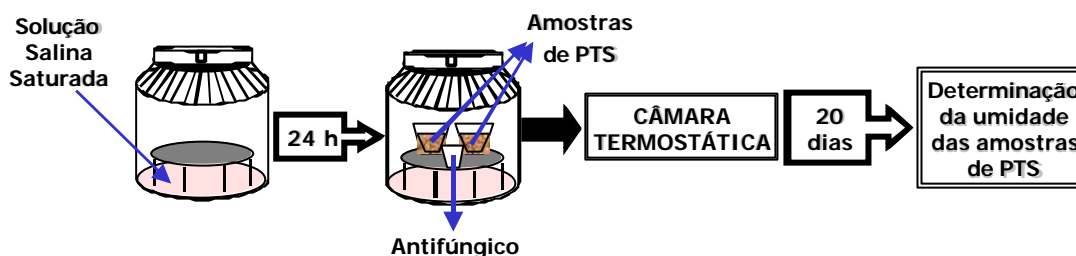


Figura 1: fluxograma esquemático da determinação experimental das isotermas de adsorção da PTS.

Para o ajuste dos dados e conseqüente determinação das constantes dos modelos citados anteriormente, utilizou-se um software de estimação não-linear de parâmetros contido no programa Statistica '98 Edition. A fim de verificar a veracidade das soluções, repetiram-se as regressões com diferentes valores iniciais (Peleg, 1993). Além da utilização do coeficiente de regressão ( $R^2$ ) para análise da qualidade do ajuste, o outro critério utilizado foi o erro médio relativo (EMR), em porcentagem, dado pela Eq. (9), onde  $N$  é o número de experimentos,  $V_{\text{EXP}}$  são os dados experimentais e  $V_{\text{CALC}}$  são os dados estimados pelo modelo.

$$\text{EMR} = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|V_{\text{EXP}} - V_{\text{CALC}}|}{V_{\text{EXP}}} \quad (9)$$

Segundo Aguerre, Suarez e Viollaz (1989), para que o ajuste seja considerado adequado, ele deve gerar valores de EMR abaixo de 10%.

#### 4. Resultados e Discussões

A Figura 2 apresenta as isotermas de adsorção – umidade de equilíbrio ( $X_{\text{eq}}$ ) versus a atividade de água ( $a_w$ ) – obtidas para a PTS, nas quatro temperaturas estudadas.

Conforme pode ser observado nesta figura, foram obtidas curvas típicas de produtos alimentícios. Como era de se esperar, sob temperatura constante, quanto maior a umidade de equilíbrio do meio, maior a atividade de água do produto. Isso se dá, pois a pressão do vapor de água presente no produto acompanha o aumento da pressão de vapor do meio que o envolve. Sob atividade de água constante, entretanto, as curvas mostraram-se bastante semelhantes, indicando que a influência da temperatura é pequena na maioria das regiões. Sandoval e Barreiro (2002) encontraram resultados semelhantes para isotermas de grãos de cacau não-fermentados nas temperaturas de 25, 30 e  $35^{\circ}\text{C}$ .

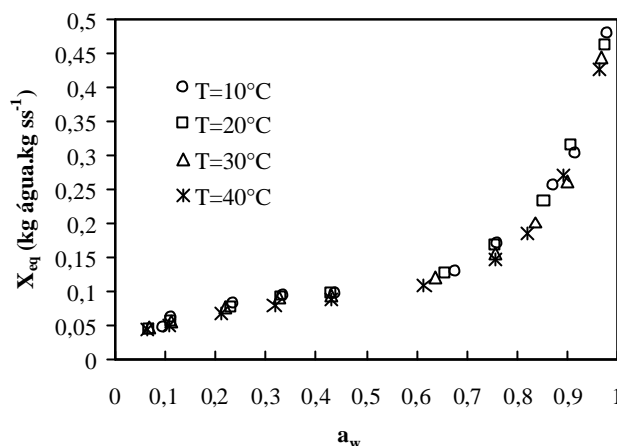


Figura 2: Isothermas de adsorção da PTS nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C.

Uma vez obtidas as curvas experimentais, testou-se o ajuste destas aos diferentes modelos apresentados na Tab. 1. A Tabela 3 apresenta os valores estimados para as constantes, a correlação e o erro médio relativo obtido para cada modelo utilizado.

Tabela 3: Resultado do ajuste dos dados experimentais da PTS aos diferentes modelos estudados.

Modelo	Ctes	Temperatura			
		10°C	20°C	30°C	40°C
Oswin	A	0,118	0,116	0,103	0,095
	B	0,374	0,391	0,446	0,486
	R <sup>2</sup>	0,996	0,994	0,994	0,994
	EMR(%)	7,03	6,49	13,32	14,88
Halsey	A	0,006	0,009	0,006	0,007
	B	2,136	1,963	2,115	1,964
	R <sup>2</sup>	0,994	0,994	0,994	0,997
	EMR(%)	14,80	14,94	15,88	12,00
BET	X <sub>m</sub>	0,198	0,180	0,355	0,232
	C	1,019	1,025	1,021	1,031
	N	2,419	2,648	1,059	1,590
	R <sup>2</sup>	0,973	0,972	0,985	0,982
	EMR(%)	25,88	25,55	17,86	21,39
GAB	X <sub>m</sub>	0,054	0,055	0,047	0,044
	C	597,378	89,881	2591727	1429930
	K	0,906	0,904	0,931	0,940
	R <sup>2</sup>	0,997	0,998	0,993	0,997
	EMR(%)	8,26	7,01	10,02	8,02
Peleg	K <sub>1</sub>	0,150	0,144	0,503	0,509
	K <sub>2</sub>	0,405	0,404	0,156	0,135
	n <sub>1</sub>	0,435	0,435	13,208	10,999
	n <sub>2</sub>	9,625	8,625	0,481	0,450
	R <sup>2</sup>	0,999	> 0,999	0,998	> 0,999
	EMR(%)	3,93	1,84	4,47	2,32
D'arcy Watt	K <sub>1</sub>	7,129	-0,530	-0,909	-0,084
	K <sub>2</sub>	0,153	-11,309	-0,091	90,228
	K <sub>3</sub>	0,902	0,430	8,355	7,844
	K <sub>4</sub>	0,063	-20,744	0,065	0,861
	K <sub>5</sub>	-0,130	3,410	-124,181	0,177
	R <sup>2</sup>	0,999	0,999	0,997	0,998
	EMR(%)	2,49	7,08	10,61	8,64

Através da análise desta tabela, pode-se observar que alguns modelos se ajustaram muito bem aos dados experimentais, enquanto que outros não podem ser utilizados para representação destes.

Considerando-se os valores obtidos para o coeficiente de correlação, pode-se observar que a maioria dos modelos apresentou valores de  $R^2$  muito próximos da unidade, indicando ajustes de boa qualidade. Se considerados, entretanto, os valores obtidos para o erro médio relativo, pode-se observar que alguns modelos não se ajustaram satisfatoriamente aos dados experimentais, uma vez que foram obtidos valores de EMR acima de 10%; isso demonstra que esta forma de avaliar os resultados é mais rigorosa que a anterior. Pode-se perceber, portanto, que os modelos de GAB e Peleg foram os que melhor se ajustaram aos dados experimentais, sendo os únicos a gerar valores de EMR abaixo de 10% para todas as temperaturas.

O resultado não satisfatório obtido pelo ajuste dos dados ao modelo de Halsey vai de encontro ao resultado obtido por Iglesias e Chirife (1976) que indicaram ajustes de boa qualidade do modelo de Halsey às isothermas de produtos alimentícios com alto teor de proteína. Além disso, os bons resultados obtidos para o ajuste dos dados ao modelo de D'arcy Watt também vão de encontro aos obtidos por Saravacos, Tsiourvas e Tsami (1986) que indicaram um melhor ajuste deste modelo às isothermas de alimentos com alto teor de açúcar.

A partir da Tab. 3 pode-se observar, também, que os valores obtidos para a umidade de monocamada da PTS – através do ajuste dos dados experimentais ao modelo de GAB – variaram entre 0,044 e 0,055.

A Figura 3 apresenta as isothermas de adsorção da PTS nas temperaturas de 20 e 40°C e o ajuste destas isothermas ao modelo de GAB.

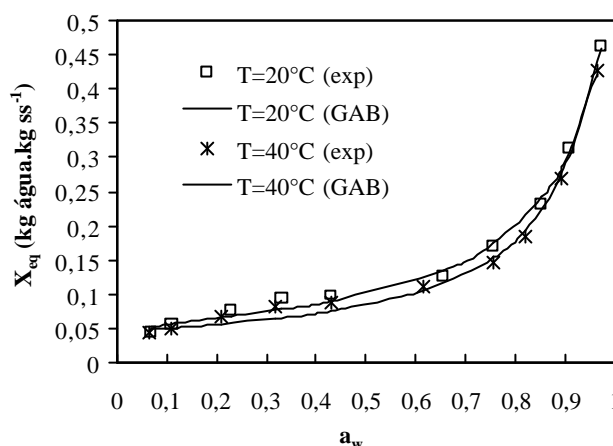


Figura 3: Ajuste das isothermas de adsorção da PTS nas temperaturas de 20 e 40°C ao modelo de GAB.

A partir desta figura pode-se observar que a diferença existente entre as isothermas da PTS nas temperaturas de 20 e 40°C é pequena, mas evidente. Percebe-se, ainda, que as curvas se aproximam bastante em altos valores de atividade de água, mas em nenhum momento ocorre o cruzamento das mesmas. Isso concorda com Benado e Rizvi (1985) apud Tsami et al (1990) que indicaram a ausência de cruzamento entre as isothermas de produtos alimentícios com alto teor de proteína.

A Figura 4 apresenta a variação do calor total de sorção em função da umidade de equilíbrio da PTS.

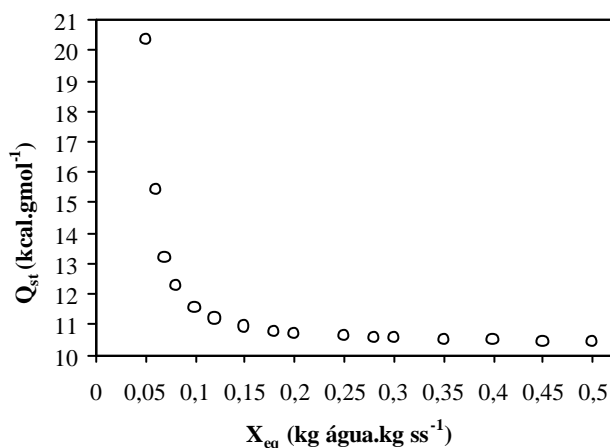


Figura 4: Calor total de sorção da PTS em função da umidade de equilíbrio.

Esta figura revela que, quanto maior a umidade, menor é o calor de sorção. Isso concorda com diversos autores (Fasina e Sokhansanj 1993), pois quanto menor é a quantidade de água presente no alimento, mais difícil é sua

remoção. Pode-se observar, ainda, que o calor de sorção da PTS se aproxima do calor de latente de vaporização da água em uma umidade de equilíbrio em torno de 30%, indicando que, acima deste valor de umidade, a água já se encontra livre no interior do produto (Iglesias e Chirife, 1976).

Os valores estimados para a área superficial da PTS variaram entre 155 e 194 m<sup>2</sup>.g sólido<sup>-1</sup>, se encontrando dentro da faixa comum para produtos alimentícios (100 a 250 m<sup>2</sup>.g sólido<sup>-1</sup>) (Labuza, 1968).

## 5. Conclusões

Neste trabalho foram apresentadas as isotermas de adsorção da proteína texturizada de soja (PTS) nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C. Os dados experimentais foram ajustados através de diferentes modelos, sendo, também, determinados o teor de umidade de monocamada, o calor de sorção e a área superficial do produto.

Foram obtidas curvas típicas de produtos alimentícios, cuja atividade de água do produto mostrou-se maior quanto maior a umidade de equilíbrio do meio que o envolve (sob temperatura constante). Além disso, as isotermas obtidas para as quatro temperaturas mostraram-se muito semelhantes, revelando que a influência da temperatura, na faixa estudada, é pequena.

O modelo de GAB e o de Peleg foram os que apresentaram os melhores ajustes para os dados experimentais obtidos, podendo ser recomendados como bons modelos para a representação destes, na faixa de temperatura estudada.

O calor de sorção diminuiu com o aumento do teor de umidade, indicando que quanto menos água contém o produto, mais difícil é sua remoção.

A umidade de monocapa obtida variou entre 0,044 e 0,055 (pelo modelo de GAB) e para a área superficial do produto obtiveram-se valores dentro da faixa comumente encontrada para produtos alimentícios.

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem à Solae do Brasil Ind. e Com. de Alimentos LTDA. (Esteio, RS, Brasil), pelo fornecimento dos produtos e equipamentos necessários ao desenvolvimento deste projeto, bem como pelo auxílio financeiro e de seu corpo técnico.

## 7. Referências

- AOAC, 1990, Association of Official Analytical Chemists, "Official Methods of Analysis: 930.04, Moisture Content in Plants", 1, 949.
- Aguerre, R. J., Suarez, C. e Viollaz, P. Z., 1989, "New BET Type Multi-layer Sorption Isotherms. Part II: Modelling Water Sorption in Foods", *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 22(1), 192-195. In Park, K. J., Vohnikova, Z. e Brod, F. P. R., 2002, "Evaluation of Drying Parameters and Desorption Isotherms of Garden Mint Leaves", *J. of Food Engineering*, 51, 193-199.
- Ajibola, O. O., 1986, "Desorption isotherms for plantain at several temperatures", *J. of Food Science*, 51, 169-171.
- Alhamdan, A. M., Hassan, B. H., 1999, "Water sorption isotherms of date pastes as influenced by date cultivar and storage temperature", *J. of Food Engineering*, 39, 301-306.
- Barbosa-Cánovas, G.V. e Vega-Mercado, H., 1996, "Dehydration of Foods", Chapman&Hall, 330p.
- Basunia, M. A. e Abe, T., 2001, "Moisture desorption isotherms of medium-grain rough rice", *J. of Stored Products Research*, 37, 205-219.
- Benado, A.L. e Rizvi, S.S.H., 1985, "Thermodynamics Properties of Water on Rice as Calculated from Reversible and Irreversible Isotherms", *J. of Food Science*, 50: 101, 1985. In Tsami, E., Marinos-Kouris, D. e Maroulis, Z. B., 1990, "Water Sorption Isotherms of Raisins, Currants, Figs, Prunes and Apricots", *J. of Food Science*, 55, 1594-1597, 1990.
- Bunge Alimentos, 2001, "Proteína Texturizada de Soja", Folheto Técnico – Ingredientes Funcionais.
- Fasina, O. O. e Sokhansanj, S., 1993, "Equilibrium Moisture Relations and Heat of Sorption of Alfafa Pellets", *J. of Agriculture Engineering Research*, 56, 51-63.
- Geankoplis, C.J., 1993, "Transport Process and Unit Operations", 3rd edition, Prentice-Hall, 921 p.
- Halsey, G., 1948, "Physical Adsorption on Non-uniform Surfaces", *J. of Chem. Phys.*, 16(10), 931-937. In Park, K. J., Vohnikova, Z. e Brod, F. P. R., 2002, "Evaluation of Drying Parameters and Desorption Isotherms of Garden Mint Leaves", *J. of Food Engineering*, 51, 193-199.
- Heldman, D.R. e Hartel, R.W., 2000, "Principles of Food Processing", Chapman & Hall, p. 1-218.
- Iglesias, H.A. e Chirife, J., 1976, "Empirical Equation for Fitting Water Sorption Isotherms of Fruit and Related Products", *Can. Inst. Food Sci. Technol. j.* 11(1):12-15. In Alhamdan, A.M. e Hassan, B.H., 1999, "Water Sorption Isotherms of Date Pastes as Influenced by Date Cultivar and Storage Temperature", *J. of Food Engineering*, 39, 301-306.
- Kaymak-Ertekin, F. e Sultanoglu, M., 2001, "Moisture Sorption Isotherm Characteristics of Peppers", *J. of Food Engineering*, 47, 225-231.
- Labuza, T. P., 1968, "Sorption Phenomena in Foods", *Food Technology II*, 22, 263-272.

- Maskan, M., Göğüs, F., 1997, "The fitting of various models to water sorption isotherms of pistachio nut paste", J. of Food Engineering, 33, 227-237.
- McLaughlin, C. P. e Magee, T. R. A., 1998, "The Determination of Sorption Isotherm and the Isothermic Heats of Sorption for Potatoes", J. of Food Engineering, 35, 267-280.
- Menkov, N. D., 2000, "Moisture Sorption Isotherms of Lentil Seeds at Several Temperatures", J. of Food Engineering, 44, 205-211.
- Oswin, C. R., 1946, "The kinetics of Package Life III: The Isotherm". J. of Chem. Indust., 65, 419-421. In Kaymak-Ertekin, F. e Sultanoglu, M., 2001, "Moisture Sorption Isotherm Characteristics of Peppers", J. of Food Engineering, 47, 225-231.
- Park, K. J., Vohnikova, Z. e Brod, F. P. R., 2002, "Evaluation of Drying Parameters and Desorption Isotherms of Garden Mint Leaves", J. of Food Engineering, 51, 193-199.
- Peleg, M., 1993, "Assessment of a Semi Empirical Four Parameter General Model for Sigmoid Moisture Sorption Isotherms", J. of Food Process. Eng., 16(1), 21-37.
- Romero, J.T., 1988, "Secagem de Proteína Texturizadas de Soja em Leito Estático e Deslizante", Tese de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas. 144 p.
- Sandoval, A. J. e Barreiro, J. A., 2002, "Water Sorption Isotherms of Non-fermented Cocoa Beans", J. of Food Engineering, 51, 119-123.
- Saravacos, G. D., Tsiourvas, D. A. e Tsami, E., 1986, "Effect of Temperature on the Water Adsorption Isotherms of Sultana Raisins", J. of Food Science, 51, 381-383.
- Shivahare, U.S., Arora, S., Ahmed, J. e Raghavan, G.S.V., 2004, "Moisture Sorption Isotherms of Mushroom", Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie, 37, 133-137.
- Spiess, W. E. L. e Wolf, W. F., 1983, "The Results of the COST 90 Project on Water Activity", In R. Jowitt (Ed.), Physical Properties of Foods, Applied Science Publishers, pp.65-91.
- Tsami, E., Marinos-Kouris, D. e Maroulis, Z. B., 1990, "Water Sorption Isotherms of Raisins, Currants, Figs, Prunes and Apricots", J. of Food Science, 55, 1594-1597.
- Van den Berg, C. e Bruin, S. 1981, "Water Activity and its Estimation in Food Systems: Theoretical Aspects", In Water Activity: Influences of Food Quality, L.B. Rockland e G.F. Stewart (Ed.). Academic Press.
- Wolf, W., Spiess, W. E. L., e Jung, G., 1985, "Standardization of Isotherms Measurements (cost-project 90 and 90 bis)", In D. Stamatos, e J. L. Multon, Properties of Water in Foods in Relation to Quality and Stability, Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, p. 661-679.

#### WATER ADSORPTION ISOTHERMS OF TEXTURIZED VEGETABLE PROTEINS

Aline S. Cassini

Department of Chemical Engineering, Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS). Luis Englert, s/n.  
Campus Central. CEP: 90040-000 – Porto Alegre – RS – BRAZIL  
alinesc@enq.ufrgs.br

Lígia Damasceno Ferreira Marczak

Department of Chemical Engineering, Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS). Luis Englert, s/n.  
Campus Central. CEP: 90040-000 – Porto Alegre – RS – BRAZIL  
ligia@enq.ufrgs.br

Caciano Pelayo Zapata Noreña

Food Science and Technology Institute, Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS). Bento Gonçalves, 9500. Campus do Vale. CEP: 91540-000 – Porto Alegre – RS – BRAZIL

#### Abstract

Texturized vegetable proteins (TVP) have been used for many years as a substitute of animal protein. In recent times, since the discovery of its beneficial health effects, TVP also became an important functional ingredient in several food applications. The most used TVP is the soy protein and their production involves a drying step. The water adsorption isotherms of a commercial type of texturized soy protein (containing around 6% of humidity, 70% of protein, 0% of sugars and fat, 20% of fibers and 4% of ashes) were determined using the static method of saturated salt solutions at 10, 20, 30 and 40°C. The experimental data were adjusted to six models available in the literature, namely the Oswin, Halsey, BET, GAB, Peleg and Darcy-Watt models, in order to determine the best fit. The GAB and Peleg equation showed the best fit for the experimental data. The Clausius-Clapeyron equation was applied to determine the total heat of sorption, whose values increased with decreased moisture content. The monolayer moisture content of TVP varied between 0,044 and 0,055 kg water.kg dm<sup>-1</sup>.

Keywords: texturized soy protein, drying, isotherms, water activity.