

## Isotermas de desorção da casca do maracujá (*Passiflora edulis* Sims): determinação experimental e avaliação de modelos matemáticos

### Desorption isotherms of passion fruit peel (*Passiflora edulis* Sims): experimental determination and mathematical model evaluation

Marinévea Medeiros de Oliveira<sup>1</sup> Ana Regina Nascimento Campos<sup>1</sup> José Pires Dantas<sup>2</sup>  
Josivanda Palmeira Gomes<sup>3</sup> Flávio Luiz Honorato da Silva<sup>4</sup>

#### RESUMO

A produção de proteínas microbianas sobre a casca de maracujá visando à produção de suplemento protéico para animais é uma alternativa encontrada para o grande desperdício desse resíduo agroindustrial. Através das isotermas de desorção da casca do maracujá, foi verificado que as condições de umidade inicial para o crescimento de microrganismos neste resíduo por meio da fermentação semi-sólida deverá ser acima de 55% (base úmida) e a faixa de umidade ideal para o armazenamento do resíduo em torno de 5,3% (base úmida).

**Palavras-chave:** atividade de água, fermentação semi-sólida, resíduos de frutas.

#### ABSTRACT

The microbial protein production on passion fruit peel shell as an animal protein supplement production is an alternative found out to avoid the large wastage of agri-industrial residues. Through the desorption isotherms of passion fruit peel, it is verified that for the microorganism growth by solid-state fermentation on this residue, the initial moisture content condition should be above 55% (wet basis). The ideal moisture content range for residue storage is around 5.3% (wet basis).

**Key words:** water activity, solid-state fermentation, fruit residues.

#### INTRODUÇÃO

O Brasil é o principal produtor mundial de maracujá (*Passiflora edulis* Sims), com produção de

aproximadamente 172,3 mil ton ano<sup>-1</sup>. Desse total, 90% da casca de maracujá é desperdiçada, sendo o restante aproveitado para diversos fins como, por exemplo, na preparação de ração animal e na fabricação de doce (OLIVEIRA et al., 2002). Um aproveitamento racional e eficiente desse resíduo como substrato para a produção de proteínas microbianas poderá dar resultados satisfatórios na produção de rações, contribuindo também para minimizar os problemas de perdas na industrialização das frutas tropicais.

A produção de proteínas microbianas sobre os resíduos agroindustriais pode ser realizada por meio de fermentação semi-sólida (cultivo em meio semi-sólido), que apresenta as seguintes vantagens: o tempo de geração dos microrganismos é bastante curto, propiciando um rápido aumento de massa celular; o conteúdo de proteína dos microrganismos é geralmente mais elevado que o da maioria dos vegetais; exige pequena disponibilidade de água e espaço, o que torna o processo mais produtivo. A fermentação semi-sólida, além de requerer baixo investimento de capital e energia e praticamente não produzir rejeitos, destaca-se ainda pela diversidade de substratos que podem ser utilizados, entre eles os resíduos agroindustriais (ARAÚJO et al., 2005).

A atividade de água ( $a_w$ ) do resíduo é um fator limitante para o crescimento do microrganismo no processo fermentativo semi-sólido. SANTIN (1996)

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, PB, Brasil.

<sup>2</sup>Departamento de Química, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, PB, Brasil.

<sup>3</sup>Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande, PB, Brasil.

<sup>4</sup>Unidade Acadêmica de Engenharia Química, UFCG, CP 10.057, 58109-970, Campina Grande, PB, Brasil. E-mail: flhs@deq.ufcg.edu.br. Autor para correspondência.

afirma que o crescimento dos microrganismos depende da atividade de água, em razão da influência da pressão osmótica sobre as trocas através das membranas. Cada microrganismo possui um limite mínimo de atividade de água para realizar suas atividades metabólicas, que varia de 0,7 a 0,99. Pela correlação entre atividade de água e umidade, podem-se otimizar (maximizar) as condições de crescimento de microrganismos neste resíduo, visando ao seu enriquecimento protéico, além de obter a faixa de umidade ideal para o armazenamento do resíduo, que poderá ser utilizado como suplemento protéico na alimentação animal nos períodos de estiagem.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de estudar as isotermas de dessecção da casca de maracujá nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C, testando três modelos matemáticos para definir qual deles melhor ajusta os dados experimentais.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Transferência em Meios Porosos e Sistemas Particulados da Unidade Acadêmica de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba.

A casca de maracujá (*Passiflora edulis* Sims) foi obtida na Estação Experimental da EMEPA, Lagoa Seca PB. Para a determinação das isotermas de dessecção, foi utilizado o equipamento Thermoconstanter Novasina TH 200, projetado para medir a atividade de água sob temperatura controlada.

As isotermas de dessecção foram determinadas pelo método estático indireto, com base no estudo efetuado por CAPRISTE & ROTSTEIN (1982). Inicialmente, 2,0g de amostra trituradas em liquidificador doméstico foram colocadas em células plásticas que acompanham o equipamento e pesadas em balança analítica. Em seguida, a amostra foi levada a secagem por 40min., em estufa de circulação de ar, a temperatura de 60°C, para diminuir a umidade inicial do produto e, conseqüentemente, a atividade de água, uma vez que é recomendado fazer medições de atividade de água, no equipamento utilizado, abaixo de 0,95. Após esse período, a amostra foi retirada da estufa e colocada no dessecador a fim de uniformizar a distribuição de água na amostra. Posteriormente, as células contendo as amostras foram levadas ao equipamento para determinação da atividade de água ( $a_w$ ), nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40°C.

A amostra ficava no equipamento até que a leitura da atividade de água se estabilizasse; em seguida, era retirada, pesada em balança analítica e

colocada na estufa durante 20 minutos, antes de efetuar nova leitura. Esse processo repetiu-se até que a última leitura da atividade de água fosse igual ou maior que a penúltima. Cada leitura obtida para cada temperatura correspondia a um ponto da curva da isoterma de dessecção da casca do maracujá. No final, as amostras foram levadas à estufa a 105°C, durante 24h, para determinação da massa seca (AOAC, 1990).

A umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) foi calculada pela diferença entre a massa que a amostra apresentou no equilíbrio e sua massa seca:

$$X_{eq} = \frac{m_{eq} - m_s}{m_s}$$

onde:  $X_{eq}$  - umidade de equilíbrio (b.s.);  $m_{eq}$  - massa da amostra no equilíbrio (g);  $m_s$  - massa da amostra seca (g).

Para o ajuste das isotermas da casca de maracujá, mediante regressão não-linear, foram testados os modelos matemáticos de BET (BRUNAUER et al., 1938), GAB (VANDEN BERG, 1984) e Henderson (HENDERSON, 1952), equações 1, 2 e 3 respectivamente, utilizando-se o programa Statística versão 5.0.

$$X_{eq} = \frac{x_m \cdot C \cdot a_w}{1 - a_w} \left[ \frac{1 - (n + 1) \cdot (a_w)^n + n \cdot (a_w)^{n+1}}{1 - (1 - C) \cdot a_w - C \cdot (a_w)^{n+1}} \right]$$

$$X_{eq} = \frac{x_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w)(1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)}$$

$$X_{eq} = \left[ \frac{-\ln(1 - a_w)}{b} \right]^{1/a}$$

Sendo:  $a_w$  - atividade de água, decimal; n - número de camadas moleculares;  $X_m$  - conteúdo de umidade na monocamada molecular;  $X_{eq}$  - conteúdo de umidade de equilíbrio expresso em base seca; C - constante de BET relacionada ao calor de sorção da camada molecular; a, b e K - parâmetros de ajuste.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos experimentalmente da atividade de água ( $a_w$ ) com suas respectivas umidades de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) em diferentes temperaturas estão apresentados na tabela 1 e representados graficamente na figura 1.

Por meio dos valores da tabela 1 e da figura 1, observa-se que os pontos experimentais das isotermas de dessecção estão praticamente alinhados nas quatro temperaturas estudadas, excetuando-se

Tabela 1 - Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) para a casca do maracujá em função da temperatura e da atividade de água ( $a_w$ ).

Temperatura (°C)							
25		30		35		40	
$a_w$	$X_{eq}$	$a_w$	$X_{eq}$	$a_w$	$X_{eq}$	$a_w$	$X_{eq}$
0,939	2,048	0,959	2,572	0,917	1,616	0,948	3,153
0,929	1,523	0,943	2,140	0,875	0,917	0,944	2,586
0,882	0,624	0,931	1,515	0,779	0,441	0,928	2,002
0,825	0,309	0,876	0,945	0,598	0,175	0,899	1,229
0,717	0,141	0,808	0,538	0,447	0,090	0,820	0,614
0,552	0,104	0,696	0,229	0,355	0,061	0,735	0,276
0,422	0,057	0,553	0,102	0,304	0,045	0,644	0,197
0,321	0,047	0,381	0,060	0,202	0,031	0,482	0,092
		0,249	0,044			0,319	0,056
		0,240	0,036			0,168	0,039
						0,124	0,033

alguns pontos que estão abaixo dos demais, que são três da isoterma na temperatura de 25°C, na faixa de  $a_w$  de 0,7 a 0,9, e dois pontos da isoterma a 30°C, valores acima de  $a_w$  de 0,9. Então, verifica-se pouco efeito da temperatura sobre as quatro isotermas, podendo ser justificado pela pequena variação nos níveis de temperatura estudada (de 25 a 40°C), temperaturas que serão utilizadas no estudo futuro do enriquecimento nutricional do resíduo por microrganismos. Em geral, a umidade de equilíbrio diminui com o aumento da temperatura. A diminuição da umidade de equilíbrio com

o aumento da temperatura pode ser justificada com base no aumento da pressão de vapor da água no ar e na superfície do produto. Este aumento é maior na superfície do produto, pois esta apresenta maior número de moléculas de água que o ar. Maior pressão de vapor implica maior perda de água para que se atinja o equilíbrio (FERREIRA & PENA, 2003). KECHAOU & MAALEJ (1999), ao estudarem as características de dessecção do algodão herbáceo e de banana nas temperaturas de 20 a 80°C, respectivamente, observaram que há uma pequena diminuição da

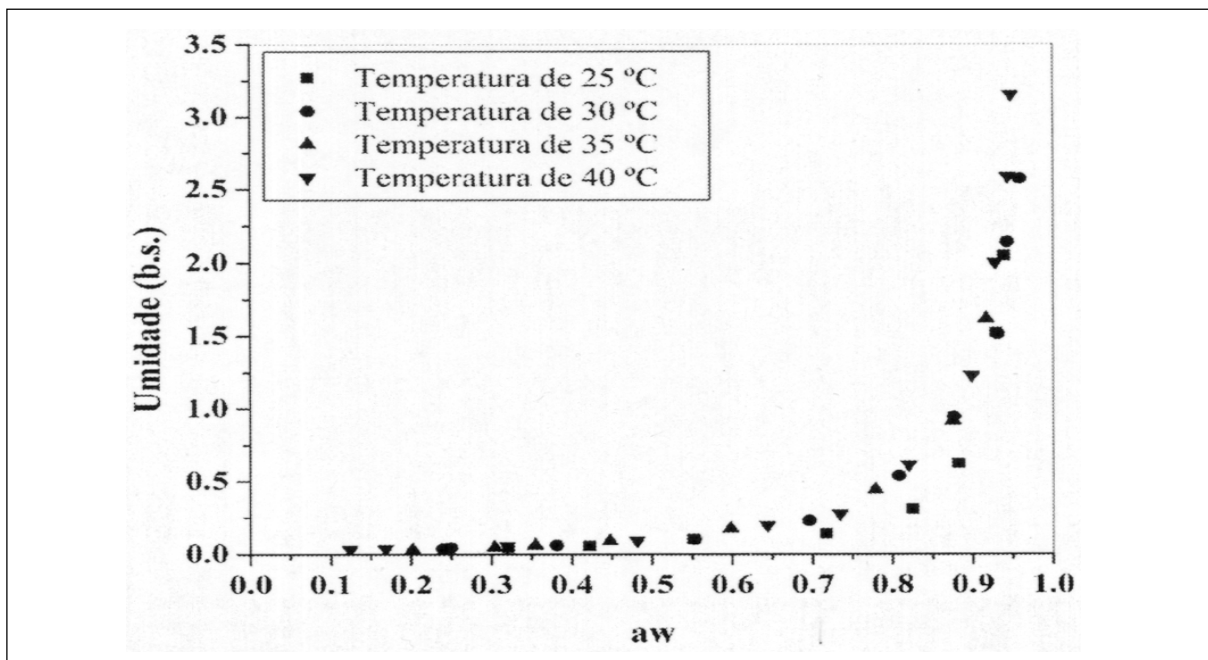


Figura 1 - Isotermas de dessecção da casca de maracujá nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40°C.

umidade de equilíbrio com o aumento da temperatura. Segundo esses autores, tal fato pode ser explicado devido à dissolução dos açúcares da fruta, que aumenta significativamente quando a temperatura aumenta. GABAS (1998) & ADAM et al. (2000) obtiveram resultados equivalentes em estudo das isotermas de 20 a 80°C de uva e cebola, respectivamente.

A tabela 2 mostra os parâmetros do modelo de BET, GAB e Henderson para o ajuste dos dados experimentais das isotermas da casca de maracujá para as temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C.

Para o modelo de BET, observa-se que o parâmetro  $X_m$  aumenta com o aumento da temperatura. O parâmetro C apresenta comportamento contrário, ou seja, diminui com o aumento da temperatura, e “n” apresenta comportamento aleatório. Para o modelo de GAB, a fração de umidade na monocamada ( $X_m$ ) e em C apresentam praticamente o mesmo comportamento verificado no modelo de BET, ou seja,  $X_m$  é maior nas temperaturas mais elevadas, excetuando-se a temperatura de 35°C e C tende a ser menor nas temperaturas mais altas. O valor de K ficou praticamente constante e em torno de 1. Observa-se que os valores médios com seus desvios padrão dos parâmetros do modelo de Henderson (“a” e “b”) são  $0,612 \pm 0,043$  e  $2,17 \pm 0,076$ , respectivamente. Nota-se que não houve, praticamente, influência da temperatura sobre esses parâmetros. Os parâmetros C e K do modelo de GAB “a” e “b” de Henderson são funções de parâmetros termodinâmicos do processo (GABAS, 1998), assim a partir disso e da verificação da figura 1, infere-se que a

variação dos níveis de temperatura estudada nesse trabalho confirma a não-indicação de ocorrência de efeito sobre as isotermas.

Na tabela 2, encontra-se também o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) dos modelos ajustados às isotermas de dessecção da casca do maracujá nas quatro temperaturas estudadas e, de acordo com esses resultados, todos os modelos testados descrevem com precisão as isotermas de dessecção nas diferentes temperaturas, sendo o modelo de GAB o que apresentou maior precisão, com valores do coeficiente de determinação de 0,997 a 0,999. LOMAURO et al. (1985) verificaram que a equação de GAB pode representar bem as isotermas em mais de 50% de frutas quando comparadas com equações de dois parâmetros, sendo assim amplamente utilizada para descrever isotermas de sorção de diversos produtos. Isso foi constatado por GABAS (1998), em estudos realizados com a uva “Itália”, ao testar vários modelos matemáticos para o ajuste dos dados a temperaturas de 35 a 75°C e atividade de água de 0,10 a 0,90, concluindo que GAB foi a que melhor ajustou as isotermas.

A figura 2 apresenta as isotermas de dessecção da casca de maracujá, nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40°C, respectivamente, ajustadas pelos modelos de BET, GAB e Henderson. Apesar das restrições do uso do modelo de BET para atividade de água ( $a_w$ ) acima de 0,6, pode-se verificar que, neste caso, o modelo ajusta os dados experimentais nas quatro temperaturas estudadas, com valores de R<sup>2</sup> variando

Tabela 2 - Parâmetros de ajuste das isotermas de dessecção da casca do maracujá para os diferentes modelos matemáticos.

Modelo	Temp. (°C)	Parâmetros			R <sup>2</sup>
		$X_m$	C	n	
BET	25	0,127	0,914	460	0,996
	30	0,130	0,719	77	0,997
	35	0,160	0,427	396	0,999
	40	0,194	0,223	1803	0,998
GAB		$X_m$	C	K	
	25	0,094	2,488	1,015	0,997
	30	0,191	0,348	0,978	0,997
	35	0,109	1,065	1,021	0,999
	40	0,122	0,719	1,015	0,998
Henderson		a	b		
	25	0,591	2,160		0,990
	30	0,578	2,183		0,981
	35	0,604	2,262		0,988
	40	0,675	2,078		0,954

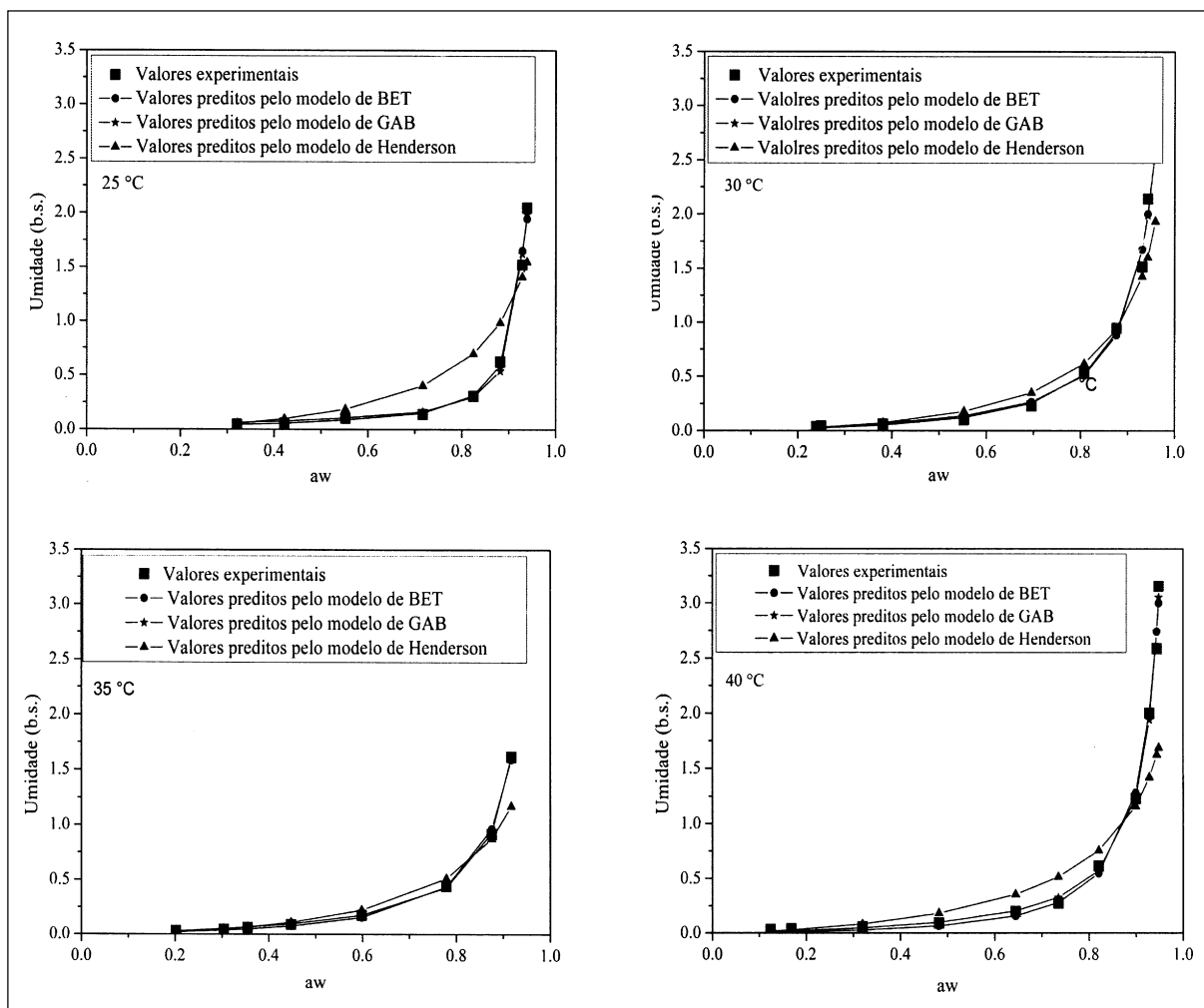


Figura 2 - Isotermas de desorção da casca de maracujá nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40°C ajustadas pelos modelos matemáticos de BET, GAB e Henderson.

de 0,996 a 0,999. Para o modelo de GAB, observa-se que houve um bom ajuste para toda a faixa de temperatura estudada, sendo os valores de R2 acima de 0,997. Contudo, para o modelo de Henderson, observa-se que, em geral, não houve um bom ajuste para a faixa de  $a_w$  acima de 0,8 na faixa de temperatura estudada, sendo os valores de R2 entre 0,954 e 0,990.

As isotermas apresentam comportamento típico de isoterma do tipo III, de acordo com classificação da IUPAQ (1985). Segundo ORDÓÑEZ (2005), essas curvas que apresentam uma zona mais plana na sua primeira parte, ou seja, em forma de J, são típicas de alimentos com grande quantidade de açúcar e solutos e que têm pouca adsorção por capilaridade, como as frutas e os doces de frutas.

A faixa ótima de atividade de água para o crescimento da levedura (*Saccharomyces cerevisiae*),

que será utilizada no processo de enriquecimento protéico na casca de maracujá, deve estar entre 0,9 e 0,99 (GOULD, 1989). Então, por meio da correlação atividade de água e umidade de equilíbrio apresentada na figura 1, verifica-se que o processo de fermentação semi-sólida deverá ser operado com uma umidade inicial (base seca) acima de 1,0, que corresponde a uma umidade (base úmida) acima de 55%, caso contrário o crescimento do microrganismo será inibido, podendo não se desenvolver. E para o armazenamento da casca de maracujá *in natura*, não utilizando aditivos nem refrigeração, é necessário que a faixa ideal de atividade de água residual deva estar compreendida entre 0,25 e 0,35, o que corresponde a uma umidade (base seca) abaixo de 0,05, equivalendo a uma umidade (base úmida) de 5,3%, eliminando, desta forma, qualquer crescimento de microrganismos (SANTIN, 1996).

## CONCLUSÕES

Tanto a equação de GAB como a de BET podem ser escolhidas para representar a dessecção de umidade na casca de maracujá.

O processo da fermentação semi-sólida da casca de maracujá deverá ser operado com uma umidade inicial (base úmida) acima de 55%. Para o armazenamento da casca de maracujá *in natura*, a faixa ideal de atividade de água residual deve estar compreendida entre 0,25 e 0,35, o que corresponde a uma umidade (base úmida) abaixo de 5,3%.

## REFERÊNCIAS

- ADAM, E. et al. Effect of temperature on water sorption equilibrium of onion (*Allium cepa* L.). **Drying Technology**, New York, v.18, n.9, p.2117-2129, 2000.
- ARAÚJO, L.F. et al. Protein enrichment of cactus Pear (*Opuntia ficus* – indica Mill) using *Saccharomyces cerevisiae* in solid-state fermentation. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v.48, special n., p.161-168, 2005.
- AOAC - ASSOCIATION of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis**. Washington, 1990. V.2, 783p.
- BRUNAUER, S. et al. Adsorption of gases in ultimolecular layers. **Journal of the American Chemical Society**, New York, v.60, p.309-319, 1938.
- CAPRISTE, G.H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorption equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science**, Chicago, v.47, p.1501-1507, 1982.
- FERREIRA, C.D.; PENA, R.S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, n.2, p.251-255, 2003.
- GABAS, A.L. **Secagem de uva Itália em leito fixo**. 1998. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Curso de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- GOULD, G.W. **Drying raised osmotic pressure and low water activity. En mechanisms of action of food preservation procedures**. London: Elsevier Applied Science, 1989. 117p.
- HENDERSON, S.M. A basic concept of equilibrium moisture. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v.33, n.1, p.29-32, 1952.
- IUPAQ - International Union of Pure and Applied Chemistry. Reporting physisorption data for gas/solid systems. **Pure and Applied Chemistry**, New York, v.57, n.4, p.603-619, 1985.
- KECHAOU, N.; MAALEJ, M. Desorption isotherms of imported banana. **Drying Technology**, New York, v.17, n.6, p.1201-1213, 1999.
- LOMAURO, C.J. et al. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: Fruit, vegetable and meat products. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, Zurich, v.18, n.2, p.111-117, 1985.
- OLIVEIRA, L.F. et al. Aproveitamento alternativo da casca do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* F. Flavicarpa) para produção de doce em calda. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.22, n.3, p.259-262, 2002.
- ORDÓÑEZ, J.A. **Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos**. Porto Alegre: Artmed, 2005. 1v.
- SANTIN, A.P. **Estudo da secagem da inativação de leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*)**. 1996. 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina.
- VAN DEN BERG, C. Description of water activity of food engineering purposes by means of the GAB model of sorption. In: McKENNA B.M. (Ed). **Engineering and foods**. New York: Elsevier; 1984. p.119-31.