



Isotermas de sorção do resíduo agroindustrial de casca do abacaxi (*Ananas comosus* L. Mer)



Marinévea M. de Oliveira¹, Ana R. N. Campos¹, Josivanda P. Gomes² & Flávio L. H. da Silva²

¹ Pesquisadora da EMEPA/PB e Doutoranda em Engenharia de Processos - CCT/UFCG. Fone: (83) 3361-1298. E-mail: marinevea@aol.com.br; arncampos@yahoo.com.br (Foto)

² CCT/UFCG. Av. Aprígio Veloso 882, Campina Grande, PB, CEP 58109-970. Fone: (83) 3310-1113. E-mail: flavioluizh@yahoo.com.br; josi@deag.ufcg.edu.br

Protocolo 56 - 20/5/2005 - Aprovado em 14/10/2005

Resumo: No estudo do processo de enriquecimento protéico da casca do abacaxi (*Ananas comosus* L. Mer) através da levedura *Saccharomyces cerevisiae* e *Aspergillus niger* em meio semi-sólido, a atividade de água (aw) é uma das variáveis que mais afetam o processo fermentativo e o armazenamento do enriquecido. Realizou-se o presente trabalho com o objetivo de estudar o comportamento das isotermas de desorção da casca do abacaxi nas temperaturas usuais dos processos das fermentações: 25, 30, 35 e 40 °C, de modo a correlacionar atividade de água e umidade. As isotermas obtidas foram analisadas mediante os modelos de GAB e Henderson em que, em geral, o modelo de GAB foi o que melhor ajustou os dados experimentais. A partir dessas isotermas encontraram-se faixas de umidades adequadas para se obter atividades de água recomendadas para o processo fermentativo e durante o armazenamento do enriquecido.

Palavras-chave: atividade de água, fermentação semi-sólida, modelo de GAB, modelo de Henderson

Sorption isotherms of the pineapple (*Ananas comosus* L. Mer) peel residue

Abstract: In the study of the protein enrichment process of ring pineapple (*Ananas comosus* L. Mer) through the yeast *Saccharomyces cerevisiae* and *Aspergillus niger* in solid state fermentation, the water activity is one of the variables that most affects the fermentation process as well as the storage of this enriched protein. The present work, had the objective of obtaining sorption isotherms of the pineapple peel residue in the usual temperatures of the fermentation processes, 25, 30, 35 and 40 °C, in order to correlate water activity and moisture content. The obtained isotherms were analyzed by the models of Henderson and GAB, being the GAB model, in general, the one that better adjusted to experimental data. The isotherms allowed to find appropriate moisture content to obtain the water activities recommended for the fermentation process as well as during the storage of this enriched protein.

Key words: water activity, solid state fermentation, GAB model, Henderson model

INTRODUÇÃO

A região semi-árida do Nordeste se ressentida da grande necessidade de se aumentar a produtividade pecuária de carne e leite, tendo em vista a crescente demanda de alimentos pela população. A utilização de resíduo da agroindústria, como a casca do abacaxi, em que cerca de 85% são desperdiçados e somente 15% são aproveitados para sucos e ração animal é uma alternativa. Segundo Corrêa et al. (2001) depois de passar pelo processo de industrialização em que a polpa é aproveitada, este resíduo passará a ser utilizado na ração animal como

suplemento protéico. O importante é que seu teor de umidade na forma in natura é de 81% e, por isso, a água existente no resíduo é suficiente para se fazer o enriquecimento protéico no processo fermentativo.

O Brasil destaca-se como o maior produtor de abacaxi da América Latina. Com o Projeto Fome Zero, a EMEPA, em junção com o Governo Federal, distribuiu cerca de 100 mil mudas de abacaxi com o pequeno e médio produtor na Paraíba (EMEPA, 2004). O Estado é o segundo maior produtor do Brasil no cultivo do abacaxi, com área plantada de 11.462 ha de *Ananas comosus* L. Mer produzindo aproximadamente 329.228 t de frutos, cujo

beneficiamento coincide com o início do período de estiagem, resultando em uma quantidade considerável de resíduos, que poderiam ser aproveitados, principalmente no arraçoamento de ruminantes (IBGE, 1990).

A água é um dos fatores que mais influem na alteração dos alimentos; por outro lado, está perfeitamente demonstrado que os alimentos com o mesmo teor em água se alteram de forma distinta, do que se deduz claramente que a quantidade de água não é, por si só, um indício fiel da deterioração dos alimentos; assim, surgiu o conceito de atividade de água (a_w) que indica a intensidade das forças que a unem a outros componentes e, conseqüentemente, à água disponível para o crescimento de microrganismos, podendo ocorrer diferentes reações químicas e bioquímicas (Ordoñez, 2005).

A atividade de água é um parâmetro importante que indica, com certeza, se o microrganismo poderá crescer através do processo fermentativo semi-sólido com o substrato resíduo da agroindústria (casca do abacaxi), em que o resíduo pode ser aproveitado na alimentação animal, de forma adequada (suplemento protéico), garantindo a qualidade do produto. Santin (1996) afirma que o crescimento dos microrganismos depende da atividade de água, em razão da influência da pressão osmótica sobre as trocas, através das membranas. Em geral, todo microrganismo é caracterizado por um valor mínimo de 0,60 a 0,70 e máximo de 0,90 a 0,99 de atividade de água. Cada microrganismo possui um limite mínimo de atividade de água para realizar as atividades metabólicas, sendo a atividade de água ótima para fungos em torno de 0,7; para leveduras de 0,8 e para bactérias, 0,9.

As vantagens da produção de proteínas microbianas sobre os resíduos agroindustriais são de interesse, com base nas seguintes considerações: o tempo de geração dos microrganismos é bastante curto, o que propicia um aumento rápido de massa celular; o conteúdo de proteína dos microrganismos é geralmente mais elevado que a maioria dos vegetais; sua produção independente é mais acessível; exige pequena disponibilidade de água e espaço e a diversificação de substratos utilizáveis, principalmente os resíduos agroindustriais, contribuindo para minimizar os problemas de perda na industrialização das frutas tropicais.

As equações utilizadas foram: a equação de Henderson é uma das mais aplicadas na atividade de água e foi desenvolvida por Henderson em 1952, e a equação de GAB (Guggenheim–Anderson–de Boer) de três parâmetros é um reforço das teorias de BET e Langmuir. Tem sido sugerida por muitos pesquisadores e está sendo utilizada em vários laboratórios de alimentos nos EUA e na comunidade européia, como padrão de descrição e comparação de isotermas (Lomauro et al., 1985; Gouveia et al., 1999; Park et al., 2001; Lahsasni et al., 2002 e 2003).

A atividade de água é significativa por se tratar de uma variável no estudo da fermentação semi-sólida, além de limitante no processo; este estudo se propõe como agente de mudança, definindo suas ações no campo da pesquisa na alimentação alternativa protéica para animais, com o objetivo de se estudar as isotermas de dessecção da casca do abacaxi nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C, aplicando-se os modelos matemáticos para correlacionar atividade de água e umidade obtendo-se,

assim, a atividade ótima do estudo no processo de crescimento de microrganismo deste resíduo, visando à obtenção do enriquecimento protéico e à faixa de umidade ideal para o armazenamento do resíduo enriquecido, que poderá ser utilizado como suplemento protéico na alimentação dos animais (principalmente gados), nos períodos da estiagem.

MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi realizada no Laboratório de Transferência de Meios Porosos e Sistemas Particulados do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande (DEQ/UFPG). O abacaxi utilizado foi oriundo da Estação Experimental da EMEPA, de Sapé-PB; a casca foi retirada, triturada e só então se determinou sua atividade de água e umidade.

Determinação do teor de umidade

Para a determinação do teor de umidade da casca do abacaxi, utilizou-se o método descrito pela AOAC (1990) para produtos açucarados, que recomenda o uso de cadinhos de alumínio, com massa conhecida, secados a 100 °C em estufa com circulação forçada de ar. As amostras foram levadas à estufa a uma temperatura de 100 °C, durante três horas, tempo suficiente para peso constante. As amostras eram retiradas da estufa e colocadas em dessecador até atingirem a temperatura ambiente, quando então se procedia à pesagem. O teor de umidade foi calculado em base seca, mediante a seguinte equação:

$$X_e = \frac{m_e - m_s}{m_s} \quad (1)$$

em que:

X_e - conteúdo de umidade, expresso na base seca, g g⁻¹
 m_e - massa da amostra no equilíbrio, g
 m_s - massa seca da amostra, g

Atividade de água

A medida da atividade de água foi realizada colocando-se, de cada vez, uma amostra do resíduo em contato com o ar de umidade relativa, conhecida e constante, aguardando-se o equilíbrio, situação em que o teor de umidade das amostras deixa de variar.

Realizou-se o levantamento dos dados das isotermas de dessecção da casca do abacaxi através do equipamento Termoconstanter Novasina TH200, instrumento projetado para a medida de atividade de água com temperatura controlada; neste equipamento, a temperatura da câmara de medição, na qual foram colocadas as amostras, é regulada por meio de um controlador, localizado à sua frente, que serve para fixar o valor da temperatura desejada com uma variação menor que 0,2 °C, em toda a área de trabalho, que é de 0 a 50 °C. A referida câmara, combinada com o regulador de temperatura, forma um mini gabinete climático; é equipada com um sensor de umidade e de temperatura – enBSK Novasina. Este sensor mede atividade e temperatura de quantidades de amostras pequenas do material, como pós, granulados, pastas e líquidos, enquanto o

equipamento possui o transmissor RTD-200, que converte os sinais da célula de medição. Os valores medidos de umidade relativa (atividade de água) e de temperatura podem ser lidos diretamente no mostrador do painel dianteiro.

De início, as amostras de 2,0 g, aproximadamente, foram colocadas dentro de células que acompanham o aparelho e, depois de pesadas, foram levadas à estufa regulada a 60 °C, pelo período de 40 min, onde sofreram um processo suave de secagem; após este período na estufa, as amostras foram retiradas e colocadas em um dessecador; posteriormente, as células, contendo as amostras, foram levadas ao equipamento, para determinação da atividade de água das amostras, através do sensor.

Usaram-se, no processo, as temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C. A amostra ficou no equipamento até que a leitura da atividade de água se estabilizasse, para então ser retirada e pesada em uma balança analítica. Depois de pesada, esta retornava à estufa e aí permanecia vinte minutos em média para, em seguida, se fazer a leitura. A sucessão dessas leituras indica os pontos da curva das isotermas de dessorção da casca do abacaxi, para a temperatura determinada; no final, as amostras ficaram na estufa, para determinação da massa seca (AOAC, 1990).

Modelos matemáticos para ajuste das isotermas

Para o ajuste matemático dos dados experimentais das isotermas é necessário utilizar-se modelos e fazer a correspondência entre o teor de umidade do produto analisado (X_e) e a atividade de água (a_w), fornecendo informações importantes sobre o fenômeno de dessorção, como a água absorvida na monocamada molecular ou o calor de dessorção, para as camadas subsequentes.

Utilizaram-se os modelos matemáticos de Henderson e GAB (Eqs. 2 e 3, respectivamente).

$$X_e = \left[\frac{-\ln(1-a_w)}{b} \right]^{1/a} \quad (2)$$

$$X_e = \frac{x_m \cdot C_{GAB} \cdot K_{GAB} \cdot a_w}{(1 - K_{GAB} \cdot a_w) \cdot (1 - K_{GAB} \cdot a_w + C_{GAB} \cdot K_{GAB} \cdot a_w)} \quad (3)$$

Sendo:

a_w - atividade de água, dimensional

X_e - conteúdo de umidade de equilíbrio, b.s

a e b - parâmetros que dependem da temperatura e natureza do produto

X_m - conteúdo de umidade na monocamada, g g⁻¹

C_{GAB} e K_{GAB} são as constantes de adsorção relacionadas com as interações energéticas entre as moléculas da monocamada e as subsequentes, em um sítio de sorção. Quando K_{GAB} for igual à unidade, a Eq. 3 se reduzirá a equação de BET com dois parâmetros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 1A, B, C e D, apresentam a linearização da equação de Henderson para as quatro temperaturas estudadas,

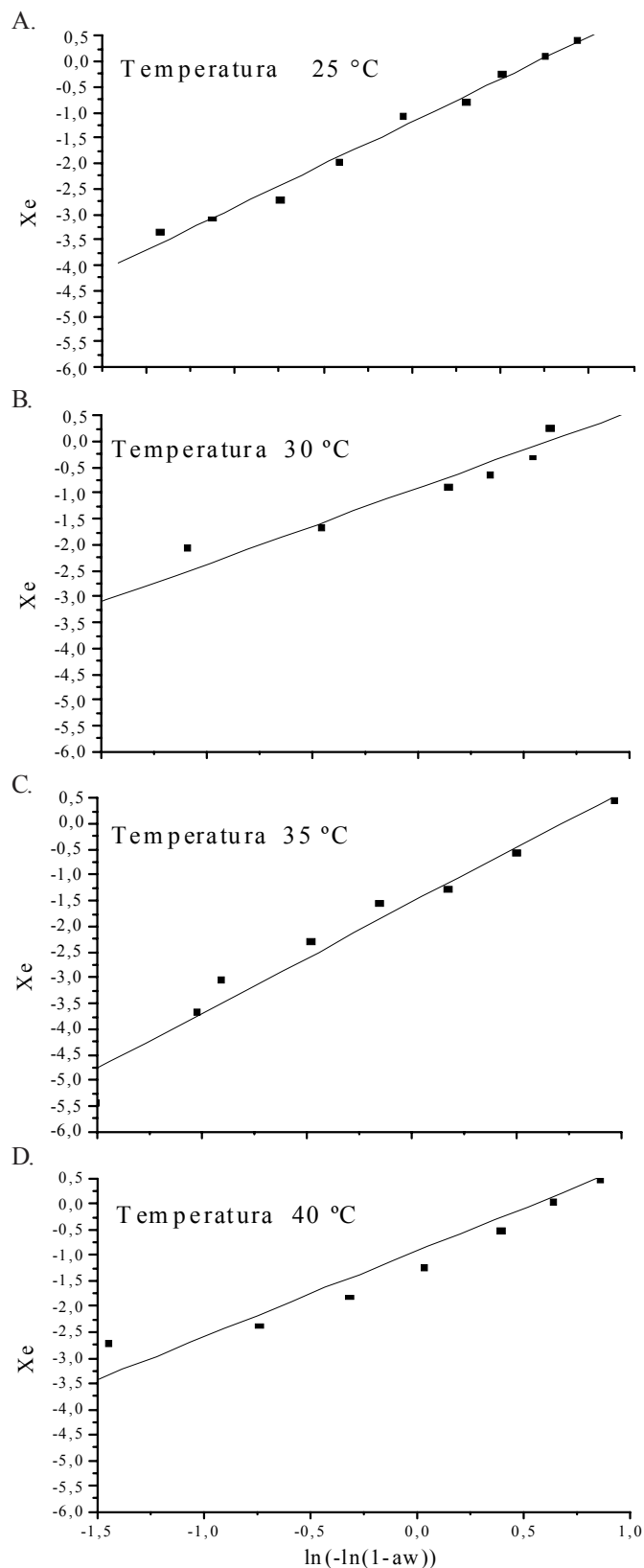


Figura 1. Regressão linear do modelo de Henderson, nas temperaturas de 25 (A), 30 (B), 35 (C) e 40 (D) °C

25, 30, 35 e 40 °C. Observa-se que a linearização da equação de Henderson apresentou, em todas as temperaturas estudadas, bom coeficiente de correlação (R^2), variando de 0,975 a 0,993. Através dos coeficientes angular e linear da reta, calcularam-se os parâmetros a e b da equação, respectivamente.

Encontraram-se os parâmetros da equação de GAB através de uma regressão não-linear dos dados experimentais, utilizando-se do Programa Computacional Statistica, versão 5.0, como método numérico de estimação Quasi-Newton.

Os resultados da Tabela 1 mostram os parâmetros do modelo de Henderson e GAB para o ajuste dos dados experimentais das isotermas da casca do abacaxi, para as temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C. Constatou-se bom ajuste em todas as temperaturas, sendo o modelo de GAB o que apresentou os melhores coeficientes de correlação (R^2); observa-se, também através da mesma que, excetuando-se a temperatura de 25 °C, o parâmetro X_m diminui com o aumento da temperatura; já com o parâmetro C se dá um aumento com as temperaturas 25, 35 e 40 °C, exceto na temperatura de 30 °C, e a melhor representação para os dados experimentais foi o modelo de GAB, com os coeficientes em torno 0,999 e 0,997; já o modelo de Henderson ficou em torno de 0,993 e 0,975. Lahsasni et al. (2002) estudando os levantamentos das isotermas de dessecção da fruta da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C obtiveram perfis dos parâmetros semelhantes aos deste trabalho verificando que, ajustando-se os dados experimentais com o modelo de GAB, o parâmetro X_m ficou constante nas temperaturas de 30 e 40 °C e diminuiu na temperatura de 50 °C. O parâmetro C diminuiu de 30 para 40 °C e voltou a subir na temperatura de 50 °C. O valor de K ficou praticamente constante, isto é, em torno de 1.

As Figuras 2A, B, C e D apresentam as isotermas nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C com os dados experimentais e o ajuste dos dados, através dos modelos de Henderson e GAB.

Verifica-se que os dados experimentais das isotermas de dessecção do resíduo de abacaxi utilizando-se os modelos de Henderson e GAB ajustam razoavelmente bem os dados, mas o melhor ajuste se dá através do modelo de GAB, verificado nos pontos experimentais, em relação aos ajustes pelo modelo de Henderson, conforme Figuras 2 A, B, C e D.

Observa-se, na Figura 2, que nas quatro temperaturas estudadas o modelo de Henderson ajusta muito bem os dados experimentais de atividade de água (a_w) abaixo de 0,5 mas apresenta maiores resíduos (diferença entre os dados experimentais e o modelo), em valores acima de 0,5. O modelo de GAB ajusta bem os dados experimentais em toda a faixa de atividade de água.

A levedura *Saccharomyces cerevisiae*, um dos microrganismos utilizados no processo de enriquecimento

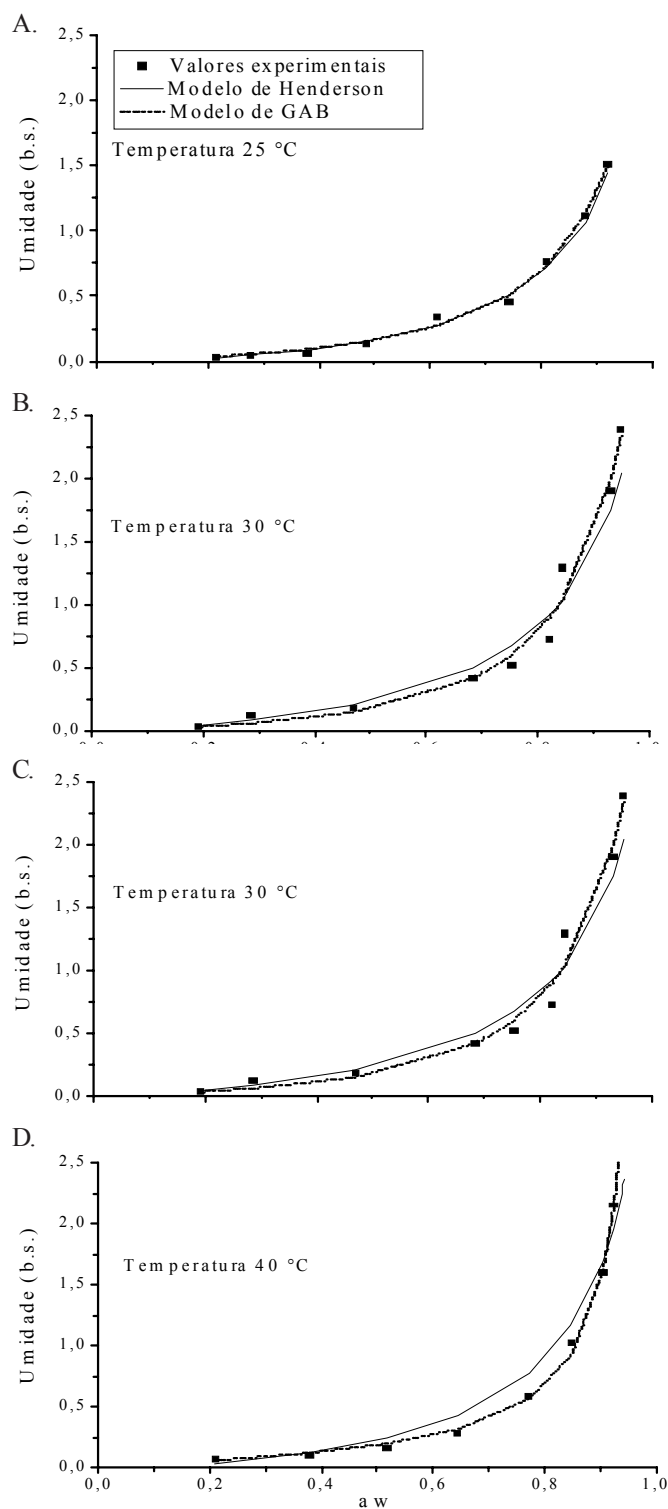


Figura 2. Ajuste das isotermas de dessecção da casca do abacaxi nas temperaturas 25 (A); 30 (B); 35 (C) e 40 °C (D), utilizando-se as equações de Henderson e GAB

Tabela 1. Parâmetros de ajuste do modelo de Henderson e GAB para a casca do abacaxi, a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Casca do Abacaxi							
	Henderson			GAB				
	B_1	B_2	R^2	X_m	C	K	R^2	
25	0,601	2,04	0,993	0,445	0,310	0,896	0,999	
30	0,680	1,84	0,985	0,592	0,231	0,899	0,999	
35	0,461	2,04	0,986	0,547	0,156	0,907	0,999	
40	0,603	1,725	0,975	0,143	1,703	1,012	0,997	

protéico do resíduo, requer a a_w mínima de crescimento em torno de 0,89. Operando, inicialmente, no processo de fermentação com o substrato abaixo de 0,89, o crescimento da levedura (inóculo utilizado no enriquecimento protéico) é inibido, podendo não se desenvolver. Faixa ótima para o seu crescimento está entre 0,9 e 0,99 de a_w do substrato casca de abacaxi (Gould, 1989).

Para enriquecer proteicamente o resíduo, deve-se iniciar o processo com umidade da casca do abacaxi acima de 80%, que corresponde à atividade de água acima de 0,92, objetivando-se condições de a_w para o crescimento do microrganismo. Para conservação e manutenção da qualidade no armazenamento deste resíduo enriquecido e seco, a atividade de água deve ter no mínimo 0,35 (Gould, 1989), correspondendo à umidade (X_c) abaixo de 0,20 em base seca.

A Figura 3 apresenta o modelo de GAB nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C. Observa-se que as isotermas estão quase sobrepostas umas às outras, com exceção da isoterma a 35 °C, que está deslocada, passando abaixo das demais. Nota-se, em geral, que, com o aumento da temperatura, a umidade de equilíbrio e a atividade de água do resíduo da casca do abacaxi, decrescem; o mesmo fenômeno foi constatado por Silva et al. (2002), ao estudarem o processo de desorção da umidade em polpa de manga.

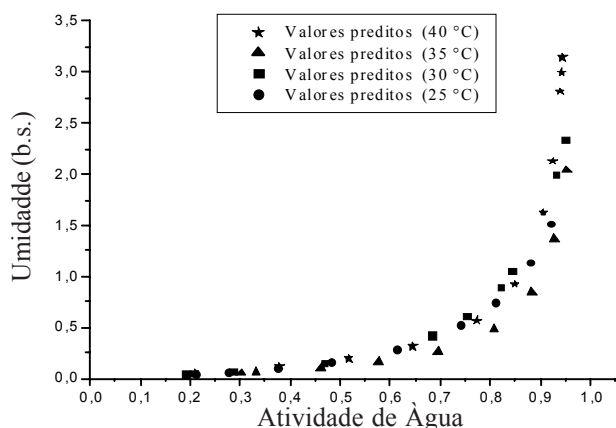


Figura 3. Modelo de GAB para o resíduo casca do abacaxi, nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C

CONCLUSÕES

1. O modelo de Henderson ajustou-se muito bem aos dados experimentais de a_w abaixo de 0,5.
2. O modelo de GAB representou melhor o comportamento dos dados, em toda a faixa estudada de atividade de água.
3. Objetivando-se a fermentação para enriquecer proteicamente o resíduo, deve-se iniciar o processo com umidade da casca do abacaxi acima de 80%, o que corresponde à atividade de água acima de 0,92, para as temperaturas estudadas.
4. Com o aumento da temperatura, em geral, a umidade de equilíbrio e a atividade de água do resíduo da casca do abacaxi decrescem.

4. Para o armazenamento deste resíduo enriquecido e seco, a atividade de água deve ter, no mínimo 0,30, correspondendo à umidade abaixo de 0,20 em base seca.

LITERATURA CITADA

- AOAC - Association of Analytical Chemistry, Official methods of Analysis. 15, Washington, 1990. 1115p
- Corrêa, P.C.; Afonso Júnior, P.C.; Andrade, E.T. Modelagem matemática da atividade de água em polpa cítrica peletizada. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.5, n.2, p.283-287, 2001.
- EMEP - Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba. www.emepa.gov.br. 13 Jul. 2004.
- Gould, G.W. Drying, raised osmotic pressure and low water activity. In: Gould, G.W.(ed) Mechanisms of action of food preservation procedures. London: Elsevier Science Publishers, 1989, p.93-117.
- Gouveia, J.P.G.; Almeida, F.A.C.; Fonseca, K.S.; Fernandez, F.R.; Murr, F.E.X. estudo das isotermas de sorção e calor isotérico do gengibre em casca. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 28, 1999. Anais... Jaboticabal: SBEA 1999. CD Rom.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Vegetal: Agricultura In: Anuário Estatístico do Brasil. Rio de Janeiro, 1990, 343p.
- Lahsasni, S.; Kouhila, M.; Mahrouz, M.; Fliyou, M. Moisture adsorption-desorption isotherms of prickly pear cladode (*Opuntia ficus indica*) at different temperatures. Energy Conversion and Management, New York, v.44, n.1, p.923-936. 2003.
- Lahsasni, S.; Kouhila, M.; Mahrouz, M.; Kechaou, N. Experimental study and modeling of adsorption and desorption isotherms of prickly pear pell (*Opuntia ficus indica*). Journal of Food Engineering, New York, v.55, n.3, p.201-207, 2002.
- Lomauro, C.J.; Bakshi, A.S.; Labuza, T.P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I and II. Lebensmittel-Wissenschaft and Technologies, London, v.18, n.2, p.111-117, 1985.
- Ordoñez, J.A. Tecnologia de Alimentos. Tradução: Fátima Murad. Porto Alegre: Artmed, p.25-31; 201-203. 2005.
- 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, Campinas, v.21, n.1, p.73-77, 2001.
- Santin, A.P. Estudo da secagem da inativação de leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*). Florianópolis: UFSC, 1996. 150p. Dissertação Mestrado
- Silva, M.M.; Gouveia, J.P.G.; Almeida, F.A.C.; Silva, M.M. Demanda energética envolvida no processo de desorção da umidade em polpa de manga. Revista de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.4, n.2, p.107-117, 2002.