

# **EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO DA BANANA-PASSA E DA CASCA DA BANANA**

**EDUARDO HENRIQUE BECKMAN<sup>1</sup>, EDNILTON TAVARES DE ANDRADE<sup>2</sup>, MAURÍCIO AZEVEDO PINTO DOS SANTOS<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Estudante de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói-RJ, (0XX21) 9411.0789, e-mail: *ebeckman@ig.com.br*

<sup>2</sup> Engenheiro Agrícola, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Agrícola e Meio Ambiente, UFF, Niterói-RJ.

<sup>3</sup> Estudante de Engenharia Agrícola, UFF, Niterói-RJ.

**Escrito para apresentação no  
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola  
31 de julho a 04 de agosto de 2006 - João Pessoa – PB**

**RESUMO:** Objetivou-se com este trabalho determinar experimentalmente as isotermas de sorção para a banana-passa e para a casca da banana madura em função de condições controladas de temperatura e umidade relativa do ar, ajustar diferentes modelos matemáticos tradicionais aos dados, e selecionar aquele que melhor represente o fenômeno de higroscopicidade da banana-passa e da casca da banana. Entre os modelos testados, o que melhor se ajustou aos resultados para predição das isotermas de sorção da banana-passa foi o modelo de Halsey modificado, e para a casca da banana foi o modelo de Sigma-Copace.

**PALAVRAS-CHAVE:** ISOTERMAS DE SORÇÃO, BANANA-PASSA, CASCA DA BANANA

## **HIGROSCOPICITY OF BANANA AND OF PEEL OF THE BANANA**

**ABSTRACT:** It was objectified with this work to determine experimentally the sorption isotherms for the banana and for the peel of the mature banana in function of controlled conditions of temperature and relative humidity of the air, to adjust different traditional mathematical models to the data, and to select that that best represents the phenomenon of higroscopicity of the banana and of the peel of the banana. Among the tested models, which better it was adjusted to the results for prediction of the isotherms of sorption of the banana it was the model of modified Halsey, and for the peel of the banana it was the model of Sigma-Copace.

**KEYWORDS:** ISOTHERM SORPTION, BANANA, PEEL OF THE BANANA

**INTRODUÇÃO:** A banana é um produto biológico altamente higroscópico. Os produtos higroscópicos têm a propriedade de realizar trocas de água, sob a forma de vapor ou líquido, com o ambiente que os envolve, por absorção ou dessorção. Uma das maiores causas dessas mudanças é a interação entre o ambiente (temperatura e umidade relativa) e o produto, que interfere no teor de água de equilíbrio do produto. A retirada de água do produto reduz o crescimento dos microorganismos e as reações bioquímicas que dependem do teor de água, diminuindo a velocidade de deterioração, que ocorre facilmente nos frutos in natura, conseqüentemente aumentando a armazenabilidade deste produto. Para se fazer um armazenamento seguro da banana-passa, é necessário conhecer as relações entre a umidade relativa e a temperatura, para se saber o teor de água de equilíbrio e assim adequá-la ao teor de água ideal de armazenamento, evitando perdas na qualidade. A relação entre o teor de água de um produto e a umidade relativa para uma certa temperatura é chamada de isotermas de sorção ou curva de equilíbrio higroscópico, que pode ser expressa por meio de equações matemáticas. Esta relação depende da composição química dos alimentos (gordura, amido, açúcar, proteínas, etc...). Por meio da curva de equilíbrio higroscópico pode-se diminuir as perdas, no processamento e estocagem de alimentos, como: o conhecimento do teor de água final de secagem, o aumento do tempo de prateleira em uma determinada embalagem, e dos requisitos básicos necessários para que se possa

embalar um produto. Com o objetivo de prever o comportamento higroscópico de produtos agrícolas, vários autores propuseram modelos matemáticos embora nenhum modelo teórico desenvolvido tem sido capaz de prever com precisão o teor de água de equilíbrio para uma ampla faixa de temperatura e umidade relativa do ar (Brooker et al., 1992). Em função do exposto este trabalho teve como objetivo determinar experimentalmente as curvas de equilíbrio higroscópico da banana e ajustar modelos matemáticos para representar este fenômeno.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Esse trabalho foi realizado no Centro Tecnológico no Departamento de Engenharia Agrícola e Meio Ambiente e no Laboratório de Conforto Ambiental, da Escola de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ. Foram utilizadas bananas nanica (*Musa spp.*) maduras adquiridas no comércio local, as quais se encontravam completamente amarelas, com áreas café no estádio de cor 7 (Chitarra & Chitarra, 1990), ideais para fabricação da banana-passa. As bananas e as cascas da banana foram secas a 60°C, com circulação forçada de ar por um período de 24 horas e acondicionadas em sacos de polietileno. O teor de água inicial foi determinado gravimetricamente, por perda de peso em estufa a  $105 \pm 1^\circ\text{C}$  até peso constante (Instituto Adolfo Lutz, 1985). Após secas as bananas foram cortadas em pequenas tiras e as cascas foram moídas em liquidificador industrial, e colocadas em placas de “petri” para haver uma maior superfície de contato, e assim reduzindo o tempo para o produto alcançar o teor de água de equilíbrio. As pesagens para a determinação do teor de água de equilíbrio foram feitas em balança analítica com precisão de 4 casas decimais (g). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em que a temperatura variou de 19,1 a 70°C e a umidade relativa de equilíbrio 13,3 e 96%, perfazendo um total de 19 tratamentos (cada produto), com três repetições. As condições ambientais para realização dos testes foram obtidas utilizando uma unidade condicionadora de atmosfera, a qual é dotado de dispositivos para o controle da temperatura e umidade relativa do ar. A curva de teor de água de equilíbrio foram determinadas por meio do método dinâmico. A aferição dos valores de umidade relativa e temperatura foram feitas por meio de dois termígrafos e dois termômetros (bulbo seco e bulbo molhado). O tempo necessário para atingir o teor de água de equilíbrio, foi estipulado, com base na pesagem periódica até a estabilização do peso. Utilizando a temperatura de 20°C e umidade relativa de 85%, que foi a pior situação dos testes, aonde haveria o maior ganho de água no produto. Embora o tempo mínimo obtido experimentalmente, para se atingir o teor de água de equilíbrio fosse de 5 horas, utilizou-se o tempo mínimo de 9 horas para a determinação do teor de água de equilíbrio dos produtos. Para ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais de teor de água de equilíbrio, a fim de estimar seus parâmetros, realizou-se análise de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton e Simplex, utilizando-se o programa STATISTICA 5.0.

Tabela 1. Modelos matemáticos de equilíbrio higroscópico utilizados no trabalho.

Modelo	Equação	
Sigma Copace	$Ue = \exp\{a - (bT) + [c \exp(a_w)]\}$	(1)
Sabbah	$Ue = a(a_w^b / T^c)$	(2)
Oswin	$Ue = (a + bT) / [(1 - a_w) / a_w]^{1/c}$	(3)
Henderson	$Ue = [\ln(1 - a_w) / (-aT_{abs})]^{1/c}$	(4)
Henderson Modificado	$Ue = \{\ln(1 - a_w) / [-a(T + b)]\}^{1/c}$	(5)
Halsey Modificado	$Ue = [\exp(a - bT) / -\ln(a_w)]^{1/c}$	(6)
Copace	$Ue = [\exp(a - (bT)) / (ca_w)]$	(7)
Chung Pfof	$Ue = a - b \ln[-(T + c) \ln(a_w)]$	(8)

em que,

$U_e$ : Teor de água de equilíbrio no produto, b.s.;

T: Temperatura do ambiente, °C;

a, b, c: Parâmetros que dependem da natureza do produto.

$a_w$ : Atividade de água, decimal;

$T_{abs}$ : Temperatura absoluta do ambiente, K;

Considerou-se a atividade de água como sendo igual (em decimal) a umidade relativa (Sauer, 1995). Para selecionar o modelo que melhor representou a higroscopicidade do produto, os dados experimentais foram comparados com os valores estimados por cada modelo, pelo erro médio relativo (P) e erro médio estimado (SE). Normalmente, se considera que valores de erro médio relativo (P) abaixo de 10% indicam um razoável ajuste para as praticas propostas (Mohapatra e Rao, 2005).

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum \left( \left| \frac{Y - \hat{Y}}{Y} \right| \right) \quad (9)$$

$$SE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2 / GLR} \quad (10)$$

em que,

Y : valor observado experimentalmente;       $\hat{Y}$  : valor calculado pelo modelo;  
GLR : graus de liberdade do modelo;      n : número de observações experimentais;

**RESULTADOS E DISCUSSÕES:** Os resultados das estimativas dos parâmetros dos modelos de equilíbrio higroscópico testados para a banana-passa e para casca da banana, e seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), erros médios relativos e estimados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros dos modelos de equilíbrio higroscópico para a banana-passa e para a casca da banana, com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), erros médios relativos (P) e estimado (SE).

Modelos	Banana-passa			Casca da banana		
	a=	b=	c=	a=	b=	c=
Sigma Copace	a= -3,6722	b= 0,0074	c= 1,3442	a= -4,0244	b= 0,0060	c= 1,3685
	P= 4,8836	$R^2= 0,9627$	SE= 0,0722	P= 3,5564	$R^2= 0,9502$	SE= 0,0657
	Distribuição aleatoria			Distribuição aleatoria		
Sabbah	a= 1,2065	b= 1,6545	c= 0,2043	a= 0,7830	b= 1,6270	c= 0,1534
	b= 1,6545	$R^2= 0,8152$	SE= 0,7149	P= 40,2616	$R^2= 0,8426$	SE= 0,5359
	Distribuição tendenciosa			Distribuição tendenciosa		
Oswin	a= 0,2520	b= -0,0016	c= 2,3460	a= 0,1645	b= -0,0004	c= 2,4945
	P= 4,8643	$R^2= 0,9583$	SE= 0,0767	P= 4,7692	$R^2= 0,8938$	SE= 0,0966
	Distribuição aleatoria			Distribuição tendenciosa		
Henderson	a= 0,0201	b= 1,3157		a= 0,0257	b= 1,2748	
	P= 0,7855	$R^2= 0,8920$	SE= 0,1520	P= 6,1946	$R^2= 0,9038$	SE= 0,1125
	Distribuição tendenciosa			Distribuição tendenciosa		
Henderson Modificado	a= 0,0557	b= 59,8265	c= 1,2271	a= 0,0579	b= 85,3081	c= 1,2146
	P= 7,4461	$R^2= 0,9233$	SE= 0,1042	P= 5,8823	$R^2= 0,9199$	SE= 0,0837
	Distribuição aleatoria			Distribuição tendenciosa		
Halsey Modificado	a= -2,7847	b= 0,0222	c= 1,9338	a= -3,2247	b= 0,0202	c= 1,8838
	P= 3,4200	$R^2= 0,9710$	SE= 0,0635	P= 4,1257	$R^2= 0,9267$	SE= 0,0800
	Distribuição aleatoria			Distribuição tendenciosa		
Copace	a= -2,7874	b= 0,0063	c= 2,6235	a= -3,1111	b= 0,0049	c= 2,6539
	P= 7,0319	$R^2= 0,9258$	SE= 0,1024	P= 5,3784	$R^2= 0,9258$	SE= 0,0805
	Distribuição tendenciosa			Distribuição tendenciosa		
Chung Pfof	a= 0,7173	b= 0,1274	c= 39,7698	a= 0,6271	b= 0,1059	c= 79,7548
	P= 8,2749	$R^2= 0,8895$	SE= 0,1258	P= 7,5705	$R^2= 0,8865$	SE= 0,0999
	Distribuição aleatoria			Distribuição tendenciosa		

Os modelos matemáticos que se mostraram mais adequados para descrição do fenômeno de higroscopicidade da banana-passa, foram Sigma-Copace, Oswin e Halsey modificado, que apresentaram os coeficientes de determinação de 0,9; 0,96 e 0,97 e erros médios relativos de 4,9; 4,9 e 3,42, respectivamente. Os modelos matemáticos estudados apresentaram valores relativamente baixos de erro médio relativo com exceção do Sabbah, que segundo o critério de seleção de modelos proposto por Mohapatra e Rao (2005), não se ajustou satisfatoriamente aos dados experimentais (erro médio

relativo superior a 10%), indicando ser inadequados para a descrição do fenômeno estudado. Na análise dos resultados de equilíbrio higroscópico da casca da banana, apresentados na Tabela 2, observa-se que dentre os modelos matemáticos testados, o único que apresentou coeficiente de determinação acima de 0,95 foi o modelo de Sigma-Copace, sendo também o que apresentou o menor erro médio relativo, 3,55%.

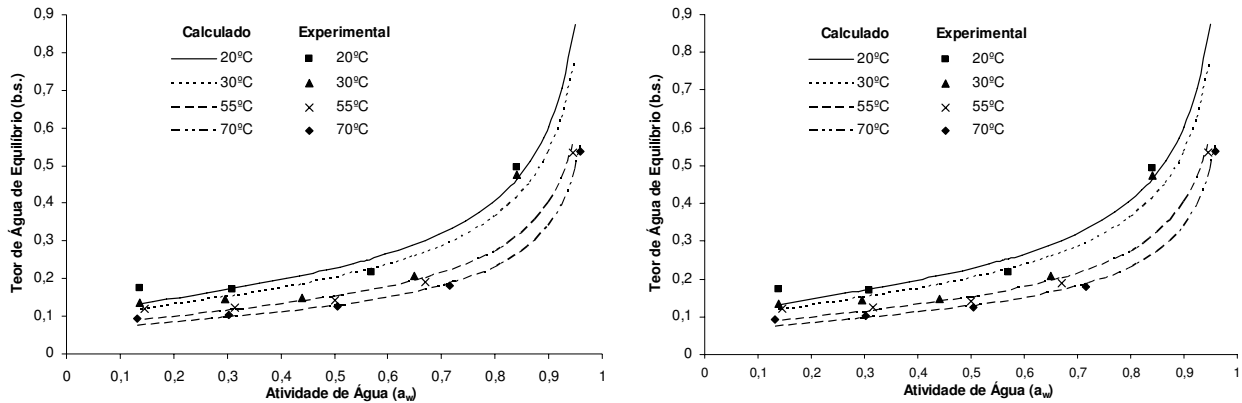


FIGURA 1. Valores observados no experimento e estimados pelo modelo que melhor representou o fenômeno de higroscopicidade da banana-passa e da casca da banana, respectivamente.

**CONCLUSÕES:** O teor de água de equilíbrio, como em outros produtos agrícolas, variou em função da temperatura e da umidade relativa do ar. Mantendo-se a umidade relativa do ar constante, quanto maior a temperatura menor o teor de água de equilíbrio, e diferentemente, mantendo-se a temperatura constante, quanto menor a umidade relativa menor o teor de umidade de equilíbrio. A banana-passa apresentou uma maior higroscopicidade que a casca da banana, devido a uma maior variação do teor de água em função da temperatura e da umidade relativa do ar. As variações do teor de água de equilíbrio em função da temperatura foram quantitativamente menores e mais observadas com atividades de água acima de 0,60, tanto para as isotermas de sorção da banana-passa como a da casca da banana. Entre os modelos testados, o que se ajustou melhor aos resultados na predição das isotermas da banana-passa foi o modelo de Halsey modificado, e para a casca da banana foi o modelo de Sigma-Copace.

**AGRADECIMENTOS:** A professora Ana Seroa Torres da Motta por ter cedido o laboratório de Conforto Ambiental para os experimentos, e a bolsista Carla Cristina da Rosa de Almeida.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds.** Westport : AVI, 450p. 1992.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio.** Lavras: ESAL/FAEPE, 320p. 1990.

INSTITUTO ADOLF LUTZ. São Paulo. **Normas Analíticas do Instituto Adolf Lutz.** 3ed., São Paulo, p.21-7, 42. 1985.

MOHAPATRA, D.; RAO, P.S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering.** p.513-518. 2005.

SAUER, D.B. **Storage of Cereal Grains and Their Products** .Fourth Edition. Ed. American Association of Cereal, Inc. 615p. 1995.