

## **ENTROPIA DIFERENCIAL DO PÓ DO MIX DE BATATA YACON COM SUCO DE LIMÃO - CALOR ISOSTÉRICO DE SORÇÃO**

RENATO COSTA DA SILVA<sup>1</sup>, JOAN CARLOS ALVES PEREIRA<sup>2\*</sup>, REGILANE MARQUES FEITOSA<sup>3</sup>,  
JOSIVANDA PALMEIRA GOMES<sup>4</sup>, WILTON PEREIRA DA SILVA<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Mestrando em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, renatinocosta@gmail.com;

<sup>2</sup> Graduando em engenharia agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, joan\_carlos21@yahoo.com.br;

<sup>3</sup> Pesquisadora PNP/CAPEs de Engenharia de Processos-UFCG, regilanemarques@gmail.com;

<sup>4</sup> Docente/pesquisador do Depto de Engenharia agrícola, UFCG, josivanda@gmail.com;

<sup>5</sup> Dr. Prof. Titular CCT, UFCG, Campina Grande-PB, wiltonps@uol.com.br.

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017  
8 a 11 de agosto de 2017 – Belém-PA, Brasil

**RESUMO:** O calor isostérico é um meio que permite estimar a quantidade mínima de calor requerido para remover uma dada quantidade de água, ou seja, determinar a energia necessária no processo de secagem, representada através do calor isostérico de sorção. Seu valor é determinado pela Equação de Clausius-Clapeyron. Diante disso o objetivo desse trabalho foi obter o calor isostérico de sorção e a entropia diferencial do pó do mix de batata yacon com suco de limão obtido através do processo de liofilização a partir da sua atividade de água e umidade de equilíbrio higroscópico obtidas nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Pode-se observar que a diminuição da quantidade de água aumenta a energia necessária para a remoção de água contida no produto, sendo que os valores do calor isostérico integral de dessorção para o pó do mix de batata yacon com suco de limão na faixa de 10,8 a 82,8 de umidade (% b.s.), foram de 2811,81 a 5651,91 kJ/kg. A entropia aumenta quando a quantidade de água diminui.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Smallanthus sonchifolia*, atividade de água, umidade de equilíbrio.

### **ENTROPY OF POTATO MIX OF BATATA YACON WITH LEMON JUICE - SORPTION ISOSTERIC HEAT**

**ABSTRACT:** The isotherms of hygroscopic equilibrium are a means of estimating the minimum amount of heat required to remove a given amount of water, that is, to determine the energy required in the drying process, represented by the isosteric sorption heat. Its value is determined by the Clausius-Clapeyron equation. The objective of this work was to obtain the sorption isosteric heat and the differential entropy of the potato yacon mix powder with lemon juice obtained through the lyophilization process from its hygroscopic equilibrium isotherms obtained at temperatures of 20, 30 and 40 ° C. It can be observed that the decrease in the amount of water causes the increase of the energy required for the removal of water contained in the product to occur, and the values of the integral isosteric heat of desorption for the powder of the potato yacon mix with juice of Lime in the range of 10.8 to 82.8 humidity (% bs), were from 2811.81 to 5651.91 kJ / kg. The entropy increases when the amount of water decreases.

**KEYWORDS:** *Smallanthus sonchifolia*, Isotherms, equilibrium moisture.

### **INTRODUÇÃO**

Na década de 90 iniciou o plantio da batata yacon no Brasil, raiz tuberosa que contém propriedades nutricionais e com características de alimento funcional, apresentando em sua composição compostos bioativos que oferece benefícios a saúde de quem a consome (Gussol et al., 2015; Vanini et al., 2009).

A mistura ou a produção de produtos feitos à base desse tubérculo possuem grandes potencialidades na prevenção de doenças, pois o consumo do extrato aquoso da yacon pode estimular

o aumento do colesterol bom (HDL, High-density lipoprotein), além de reduzir o colesterol total, triglicerídeos e outras lipoproteínas (Oliveira et al., 2013). Tornando-se assim valorizada por suas propriedades, porém a vida de prateleira da batata yacon é curta, necessitando de que seja aplicado técnicas de conservação para que sua vida útil seja prolongada, disponibilizando assim um produto para importação e exportação com as características de qualidade nutricional e visual ideais para consumo.

A secagem é uma das principais técnicas capaz de conservar as características do produto orgânico, além de diminuir os riscos de desenvolvimento de microorganismos no mesmo. Dentre as técnicas de secagem temos a liofilização, que é um processo de secagem a frio que agrega valor ao alimento pois mantém os nutrientes originais, devido à alta pressão e baixas temperaturas empregadas em seu processamento. Em contrapartida, o seu custo de produção comparado com as outras técnicas mais acessíveis é bem mais elevado, assim é necessário que se realize pesquisas em busca de minimizar esses custos, em busca de oferecer produtos finais com um preço competitivo no mercado, apresentando boas qualidades como uma boa capacidade de reidratação e textura (Vieira et al., 2012).

E para o conhecimento e aprendizagem sobre a secagem e o armazenamento dos produtos agrícolas é de fundamental importância conhecer o calor isostérico dos alimentos, pois serve para estimar as exigências energéticas no procedimento de secagem e fornecer informações sobre o estado da água no produto (Líma et al., 2013). Por ser uma relevante medida a ser obtida, que através dele é possível ter a ideia sobre a quantidade de energia necessária para determinado processo de desidratação de materiais biológicos, objetivou-se neste trabalho determinar o calor isostérico em função do teor de água de equilíbrio do pó do mix de batata yacon com suco de limão obtido através do processo de liofilização.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados experimentais deste trabalho foram coletados no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas - LAPPA, da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

Foi utilizado como matéria-prima: batata yacon (*Smallanthus sonchifolia*) e limão tahiti (*Citruslatifolia*), obtidos no mercado local de Campina Grande - PB. As batatas e os limões foram higienizados e sanitizados; e logo após as batatas foram descascadas e cortadas em pedaços, os limões foram descascados e extraído o suco manualmente. A batata cortada foi colocada em meio do suco integral de limão, em uma proporção de 2:1 (batata yacon: suco de limão), pelo tempo de quinze minutos, com o objetivo de evitar a oxidação e desativar as enzimas. Em seguida, o mix foi triturado para que ocorresse a homogeneização em liquidificador doméstico com adição de 10% de maltodextrina (DE = 20). Posteriormente o mix foi congelado em um freezer durante 2880 min e submetido ao processo de liofilização, onde foi utilizado o liofilizador da marca Terroni modelo LS 3000. Ao término da liofilização, o produto foi triturado em almofariz com pistilo, obtendo-se assim o pó (yacon + limão + maltodextrina).

As leituras de atividade de água ( $a_w$ ) do pó foram obtidas utilizando o higrômetro AquaLab 3TE (Decagon) nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, e as umidades de equilíbrio (% b. s.) foram determinadas pelo método da estufa (105 °C), de acordo com a metodologia descrita no manual do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

O cálculo do calor isostérico de sorção, adotado tanto para o processo de adsorção como o de dessorção, é dado pela (Eq. 1) de Clausius-Clayperon (Iglesias e Chirife, 1976):

$$\frac{\partial \ln(a_w)}{\partial T} = \frac{q_{st}}{RT_a^2} \quad (1)$$

Em que:  $a_w$  - atividade de água (decimal),  $T_a$  - temperatura em absoluta (K),  $q_{st}$  - o calor isostérico líquido de sorção (kJ/kg) e  $R$  - constante universal dos gases (8,314 kJ.kmol<sup>-1</sup>/K).

Logo em seguida, é realizada a integração da (Eq. 1), assumindo que o calor isostérico líquido é independente da temperatura, pode-se determinar o calor isostérico líquido de sorção ( $q_{st}$ ), para cada teor de umidade de equilíbrio, conforme a (Eq. 2) (Wang e Brennan, 1991):

$$\ln(a_w) = -\left(\frac{q_{st}}{R}\right) \cdot \frac{1}{T_a} + C \quad (2)$$

Em que:  $C$  - constante de integração, adimensional.

E obtido o calor isostérico integral de sorção ( $Q_{st} = \text{kJ/kg}$ ) adicionando aos valores de calor isostérico líquido de sorção ( $q_{st}$ ) e o valor do calor latente de vaporização da água livre ( $L = \text{kJ/kg}$ ) (Eq. 3):

$$Q_{st} = q_{st} + L = A \cdot \exp(-B \cdot U_{eq}) + L \quad (3)$$

Em que: A e B - coeficientes do modelo.

O calor latente de vaporização da água livre, para uma temperatura T, foi determinado utilizando a (Eq. 4):

$$L = 2502,2 + 2,39 \cdot T \quad (4)$$

Em que: T – temperatura média (°C)

Mudanças na entropia diferencial de sorção foram calculadas pela (Eq. 5), conhecida como equação de Gibbs-Helmholtz (RIZVI, 1995):

$$\Delta S = \frac{q_{st} - \Delta G}{T_a} \quad (5)$$

Em que:  $\Delta S$  - entropia diferencial de sorção (kJ/kg.K),  $\Delta G$  - energia livre de Gibbs (kJ/kg)

A energia livre de Gibbs foi calculada segundo a (Eq. 6):

$$\Delta G = \pm RT_a \cdot \ln(aw) \quad (6)$$

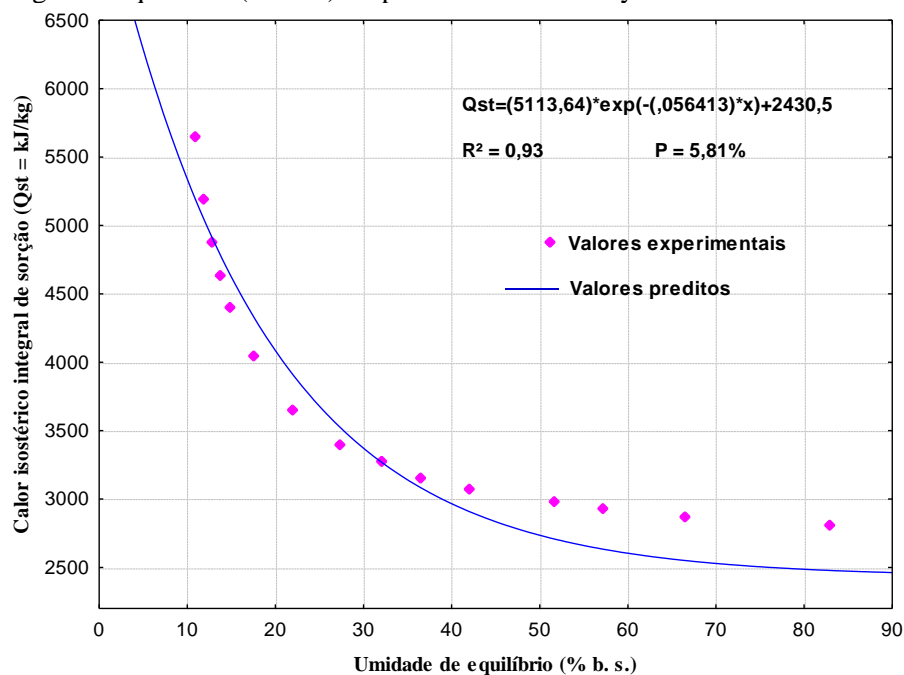
Os cálculos de inclinação das retas e curva do calor isostérico foram realizados utilizando-se de programa computacional Statistica 7. Na análise de representatividade dos dados, os dados experimentais foram comparados com os valores preditos pela (Eq. 3), verificando-se a porcentagem de erro médio relativo (P) e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para se obter os valores de calor isostérico integral de sorção  $Q_{st}$  (kJ/kg), foi-se incluído aos valores de calor isostérico líquido de sorção  $q_{st}$  (kJ/kg) o valor do calor latente de vaporização (L), que indica a menor quantidade de energia para que ocorra a evaporação da água, calculado para a temperatura média de 30 °C, que resultou no valor de 2430,5 kJ/kg.

Na Figuras 1, são apresentados os valores do calor isostérico integral de sorção  $Q_{st}$  (kJ/kg) do pó do mix de batata yacon com suco de limão, em função do teor de umidade de equilíbrio (% b.s.).

Figura 1 - Valores experimentais e preditos do calor isostérico integral  $Q_{st}$  (kJ/kg) estimados em função do teor de água de equilíbrio (% b. s.) do pó do mix de batata yacon com suco de limão.



Os valores de  $Q_{st}$  do pó do mix de batata yacon com suco de limão tiveram uma variação de 2811,81 a 5651,91 kJ/kg. É possível observar que o calor isostérico integral de sorção é maior que o

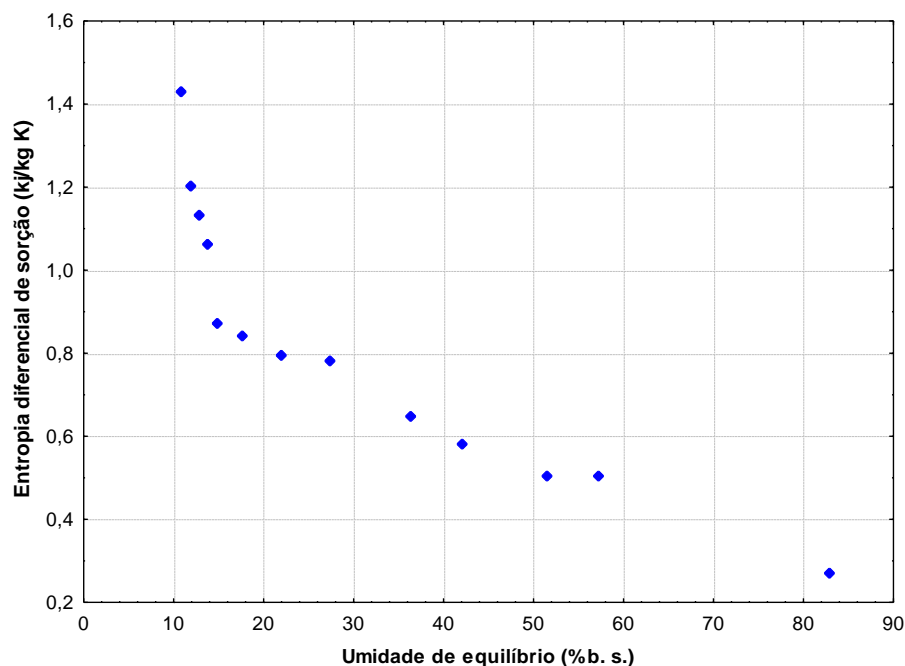
calor latente de vaporização (L), em todos os momentos observados. Segundo Masuzawa e Sterling (1968), esse fato é possível porque a energia responsável pela ligação entre as moléculas de água aos sítios de sorção é superior à da a energia de ligação das moléculas de água entre si na fase líquida. A variação no valor do calor isostérico ( $Q_{st}$ ) também foi constatada por Baptestini (2015), estudando os parâmetros físico-químicos do pó de graviola, obtida em secagem em leite de espuma, encontrou valores de 2421,28 a aproximadamente 3900 kJ/kg; e por Matos et al. (2014), para a farinha de babaçu, que relataram valores do calor isostérico de adsorção de 179,7 a 1063,2 kJ/kg.

Também, observando a figura 1 verifica-se que, quanto menor a quantidade de água no produto, ocorre a ampliação da quantidade de energia necessária para a retirada de água do mesmo. Comportamento semelhante foi observado por Silva et al. (2006), que estudaram o calor isostérico integral para o cajã em pó microencapsulado com diferentes proporções de maltodextrina e amido modificado.

A equação de Clausius-Clayperon utilizada para estimar o calor isostérico integral de dessorção obteve um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,93, onde se sabe que o ( $R^2$ ) varia entre 0 e 1, indicando em decimal, o quanto a equação é capaz de prever os valores observados. Com isso, quanto mais próximo a 1 o coeficiente de determinação melhor o ajuste aos dados experimentais (Sozzi e Ramos, 2015). O desvio médio relativo P (%) foi de 5,81%, apresentando um ajuste satisfatório aos dados experimentais, representando de maneira aceitável o fenômeno analisado.

Na figura 2 estão apresentados os resultados da entropia diferencial de sorção do pó do mix de batata yacon com suco de limão em função do teor de água de equilíbrio. É possível observar que o valores da entropia mostram forte dependência da entropia com o teor de água do produto. Nota-se que a entropia diferencial apresentou o mesmo comportamento do calor isostérico integral de sorção, diminuindo com o aumento da umidade de equilíbrio. A entropia aumenta quando a quantidade de água diminui, pois, quanto maior a ligação das moléculas de água com os constituintes do produto, maior a exigência de energia para transferir as moléculas de água da superfície sólida do produto para o estado de vapor. Segundo Madamba et al. (1996) este resultado é esperado, devido a essa propriedade termodinâmica ser proporcional ao número de sítios de sorção disponíveis em um nível específico de energia, assim, apontando a perda de locomobilidade das moléculas de água no produto.

Figura 2 - Entropia diferencial de sorção do pó do mix de batata yacon com suco de limão em função do teor de água de equilíbrio.



## CONCLUSÕES

A diminuição da quantidade de água aumenta a energia necessária para a remoção de água contida no produto, sendo que os valores do calor isostérico integral de dessecamento para o pó do mix de batata yacon com suco de limão na faixa de 10,8 a 82,8 de umidade (% b.s.), foram de 2811,81 a 5651,91 kJ/kg. A entropia aumenta quando a quantidade de água diminui.

## REFERÊNCIAS

- BAPTESTINI, F. M. Parâmetros físico-químicos na obtenção do pó de graviola pelo método de secagem em leito de espuma, 2015, 119f, Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa - UFV, MG, 2015.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Métodos químicos e físico-químicos para análise de alimentos, Brasília: Ministério da Saúde, 1017f, 2005.
- COSTA, L. M.; RESENDE, O.; OLIVEIRAL, D. E. C. Isotermas de dessecamento e calor isostérico dos frutos de crambe, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.17, n.4, p.412-418, 2013.
- GUSSOI, A. P.; MATTANAI, P.; RICHARDS, N. Yacon: benefícios à saúde e aplicações tecnológicas, Ciência Rural, Santa Maria, v.45, n.5, p.912-919, 2015.
- IGLESIAS, H.; CHIRIFE, J. Prediction of the effect of temperature on water sorption isotherms of food material. Journal of Food Technology, Oxford, v.11, p.109-116, 1976.
- MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. Enthalpy-entropy compensation models for sorption and browning of garlic. Journal of Food Engineering, v. 60, p. 109-119, 1996.
- MATOS, E. N. V.; SAMPAIO, R. M., PAULA, M. L. Determinação das isotermas de adsorção e do calor de sorção de farinha de babaçu comercial, Cad. Pes., São Luís, v.21, n.(especial), p.1-9, 2014.
- OLIVEIRA, G. O.; BRAGA, P. C.; FERNANDES, A. A. H. Improvement of biochemical parameters in type 1 diabetic rats after the roots aqueous extract of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). Food and Chemical Toxicology, v.59, p.256-260, 2013.
- RIZVI, S. S. H. Thermodynamic properties of foods in dehydration. In: RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H. Engineering properties of foods. New York: Academic Press, p. 223-309, 1995.
- SOZZI, G.; RAMOS, D. S. Avaliação do ágio no preço da energia convencional no mercado brasileiro de contratos de curto prazo: metodologia e aplicação. Revista Espaço Ciência, v.22, p.24, 2015.
- VIEIRA, A. P.; NICOLETI, J. F.; TELIS, V. R. N. Liofilização de fatias de abacaxi: avaliação da cinética de secagem e da qualidade do produto, Braz. J. Food Technol, v.15, n. 1, p. 50-58, 2012.
- VANINI, M.; BARBIERI, R. L.; CEOLIN, T. HECK, R. M.; MESQUITA, M. K. A relação do tubérculo andino yacon com a saúde humana. Ciência Cuidado e Saúde, v.8, p.92-96, 2009.
- WANG, N.; BRENNAN, J. G. Moisture sorption isotherm characteristics of potato at four temperatures. Journal of Food Engineering, v.14, p.269-287, 1991.