

MODELAGEM MATEMÁTICA DA ADSORÇÃO DE ÁGUA EM SEMENTES DE CHIA

GABRIEL H. H. OLIVEIRA¹, ANA P. L. R. OLIVEIRA², PAULO C. CORRÊA³,
FERNANDA M. BAPTESTINI⁴, JULIANA S. ZEYMER⁵

¹ Eng^o Agrícola e Ambiental, Prof. Doutor, Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais – *Campus* Manhuaçu, Manhuaçu, MG, Fone: (0XX33) 3333.0102, gabriel.oliveira@ifesudestemg.edu.br.

² Bacharel e Licenciada em Química, Prof^a Doutora, Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais – *Campus* Manhuaçu.

³ Eng^o Agrônomo, Prof. Doutor, Universidade Federal de Viçosa.

⁴ Eng^a Agrícola e Ambiental, Prof^a Doutora, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre – ES.

⁵ Eng^a Agrônoma, Mestranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa.

Apresentado no
XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

RESUMO: O conhecimento da interação entre a água e os componentes dos produtos agrícolas é de extrema importância para a resolução de problemas de processamento e conservação desses produtos. As isotermas de adsorção descrevem essa interação, fornecendo informações necessárias para o correto manuseio dos produtos ao longo do armazenamento. Objetivou-se com o presente trabalho, obter as isotermas de adsorção de água de sementes de chia (*Salvia hispanica* L.), empregando-se o método estático-gravimétrico. Diferentes condições do ar foram utilizadas, sendo três temperaturas (10, 20, 30 ± 1 °C) e quatro umidades relativas (30, 50, 70, 90 ± 2 %), fornecidas com o uso de soluções salinas saturadas. Cinco modelos matemáticos foram ajustados aos dados experimentais do teor de água de equilíbrio, por meio de regressão não linear pelo método Gauss-Newton. O teor de água de equilíbrio variou entre 5,78 e 18,18 % b.s. O modelo de Halsey Modificado foi o que melhor representou a higroscopicidade das sementes de chia, apresentando valores de 5,04 % e 0,72 % b.s. de erro médio relativo e o desvio padrão da estimativa, respectivamente, e distribuição aleatória dos resíduos.

PALAVRAS-CHAVE: teor de água de equilíbrio; atividade de água; *Salvia hispanica* L.

MATHEMATICAL MODELLING OF WATER ADSORPTION OF CHIA SEEDS

ABSTRACT: Knowledge of interaction between water and the components of agricultural products is of great importance for resolution of problems of processing and conservation. Adsorption isotherms describes this interaction, supplying information required to the correct handling of the products throughout storage. This work had the objective to obtain adsorption isotherms of chia seeds (*Salvia hispanica* L.), employing the static-gravimetric method. Different air conditions were used, being three temperatures (10, 20, 30 ± 1 °C) and four relative humidities (30, 50, 70, 90 ± 2 %), using saturated salt solutions. Five mathematical models were fitted to experimental data of equilibrium moisture content, by means of non-linear regression through Gauss-Newton method. Equilibrium moisture content varied between 5.78 and 18.18 % d.b. Modified Halsey model was the one that best represented hygroscopicity of chia seeds, presenting values of 5.04 % and 0.72 % d.b. of mean relative error and standard deviation of the estimate, respectively, and random residual distribution.

KEYWORDS: equilibrium moisture content; water activity; *Salvia hispanica* L.

INTRODUÇÃO: A chia (*Salvia hispanica* L.) apresenta potencial para ser utilizada na alimentação humana e animal. Correntemente, as sementes de chia são utilizadas como suplementos nutricionais na manufatura de barras de cereais, cereais matutinos e biscoitos, principalmente nos EUA, América Latina e Austrália, além de misturas em rações animais (BARRIENTOS; AGUIERRE; BORNEO, 2012). Ademais, as sementes de chia também são utilizadas na medicina, na formulação de tintas (IXTAINA; NOLASCO; TOMÁS, 2008). As sementes de chia, assim como a maioria dos produtos agrícolas, por serem materiais porosos e higroscópicos, tem a capacidade dinâmica de ceder água para o meio ambiente ou de adsorvê-la, buscando sempre uma relação de equilíbrio entre o seu teor de água e o ar ambiente. De modo a predizer as mudanças de teor de água do produto de acordo com a temperatura e umidade relativa do ambiente, se faz necessária a elaboração das isotermas de sorção. A representação gráfica das isotermas pode ser realizada com modelos matemáticos. As isotermas de sorção são únicas para cada produto agrícola e são importante ferramenta para compreender a relação entre o produto e sua umidade e, conseqüentemente, resolver problemas de processamento e conservação dos produtos, bem como prever a energia necessária nestes processos. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo modelar matematicamente as isotermas de adsorção de água em sementes de chia.

MATERIAL E MÉTODOS: Este trabalho foi realizado no Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais, *Campus* Manhuaçu. Foram utilizadas sementes de chia (*Salvia hispanica* L.), adquiridas de produtor da região de Manhuaçu-MG, com teor de água inicial de 8 % (b.u.). As amostras foram armazenadas em sacos de polipropileno de baixa densidade e armazenadas em uma câmara climática tipo B.O.D. a 20 ± 1 °C, para a manutenção e uniformidade do teor de água do produto. Para a obtenção de cada isoterma de adsorção, as amostras foram retiradas da câmara climática tipo B.O.D. e mantidas em condições ambientais, durante o período mínimo de duas horas, para que ocorresse o equilíbrio da temperatura da amostra com o ambiente. Para a determinação do teor de água, foi utilizado o método padrão de estufa (105 ± 3 °C, durante 24 h), de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), em triplicata. Para a obtenção do equilíbrio higroscópico, foi utilizado o método estático, em que as sementes de chia foram depositadas no interior de dessecadores com soluções salinas saturadas que fornecem uma umidade relativa específica. Estes dessecadores foram armazenados em uma câmara B.O.D. para o controle da temperatura interna. Foram construídas três isotermas de adsorção, nas temperaturas de 10, 20 e 30 °C. Para a elaboração de cada isoterma, cinco umidades relativas (10, 30, 50, 70 e 90 %) foram utilizadas. Assim, um total de 15 diferentes combinações foi aplicado. Para cada ponto das isotermas, a análise consistiu de três repetições. Cada amostra foi composta por 100 g de produto que, durante o processo de adsorção, foram pesadas periodicamente até que a variação de seu teor de água, em três tempos consecutivos, fosse igual ou inferior a 0,1 %. Atingido o equilíbrio, o experimento para a condição de temperatura e umidade relativa foi finalizado. De modo a predizer as isotermas de adsorção de sementes de chia, foram ajustados aos dados experimentais de teor de água de equilíbrio modelos matemáticos normalmente utilizados na literatura especializada (Oswin Modificado, Henderson Modificado, Halsey Modificado, Copace, Chung-Pfost). Para o ajuste dos modelos matemáticos, foi realizada análise de regressão não-linear pelo método Gauss Newton, utilizando-se do software STATISTICA 8.0[®]. Para análise do grau de adequabilidade dos modelos, foram utilizados os valores de desvio padrão da estimativa (SDE), o erro médio relativo (MRE) e o coeficiente de determinação ajustado (R^2) (variância explicada). Em adição, análise dos resíduos geradas pelos modelos foi levada em consideração.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na Tabela 1 estão apresentados os coeficientes dos modelos ajustados aos dados observados do equilíbrio higroscópico de sorção de água em sementes de chia, com seus respectivos valores do coeficiente de determinação (R^2), SDE, MRE e análise de resíduos.

TABELA 1. Estimativas dos parâmetros dos modelos de equilíbrio higroscópico da sorção de água em sementes de chia, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), desvio padrão da estimativa (SDE), erro médio relativo (MRE) e análise de resíduos.

MODELOS	Parâmetros de ajuste			MRE (%)	SDE (% b.s.)	R^2 (%)	Resíduos
	a	b	c				
Oswin Modificado	7,6305	0,0138	2,7210	5,59	0,76	97,45	Aleatório
Henderson Modificado	0,0001	70473,94	1,5800	8,00	1,06	95,00	Tendencioso
Halsey Modificado	4,2462	-0,0046	2,2819	5,04	0,72	97,68	Aleatório
Copace	1,0762	-0,0006	1,9305	7,98	1,16	93,99	Tendencioso
Chung-Pfost	58,01	4,76	51910,73	7,23	0,99	95,60	Tendencioso

Para a averiguação do erro associado à estimativa do modelo, o valor de MRE deve ser menor que 10 % (COSTA et al., 2015). De acordo com Draper & Smith (1998), a habilidade de um modelo para descrever adequadamente um processo físico é inversamente proporcional aos valores de SDE. Por fim, para que o modelo represente fielmente o fenômeno estudado, deve-se levar em consideração a distribuição dos resíduos, sendo considerado aceitável se os valores residuais se encontram em uma zona horizontal perto de zero formando distribuições aleatórias (CORRÊA et al., 2014). De acordo com estes parâmetros estatísticos, o modelo que melhor se ajustou foi o de Halsey Modificado, sendo que o modelo de Oswin modificado também pode ser utilizado para prever o teor de água de equilíbrio de sementes de chia. Na Figura 1 são apresentadas as médias dos dados observados do teor de água de equilíbrio de sementes de chia, bem como suas isotermas de adsorção determinadas pelo modelo de Halsey Modificado, para as temperaturas de 10, 20 e 30 °C.

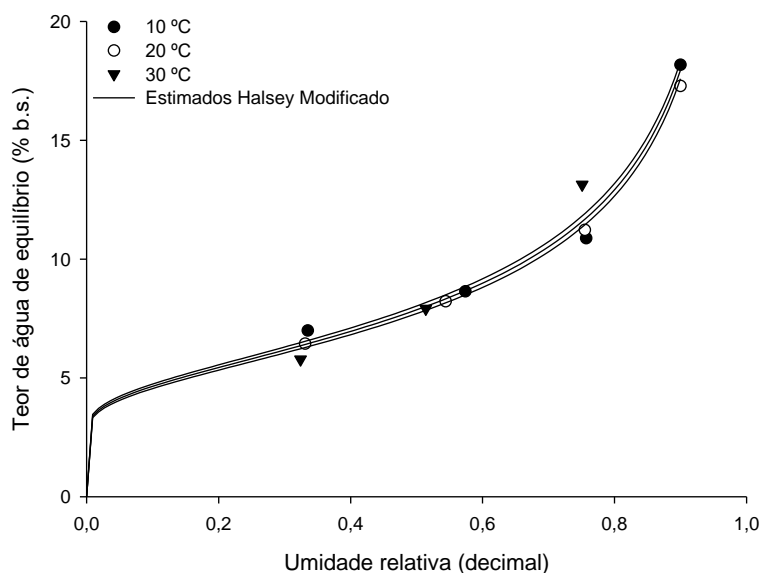


FIGURA 1. Valores observados e estimados, pelo modelo de Halsey Modificado, do teor de água de equilíbrio das sementes de chia.

Analisando as isotermas da Figura 1, pode-se verificar que não há diferença significativa entre as isotermas de 10, 20 e 30 °C, indicando que a temperatura tem pouca influência sobre a quantidade de água final adsorvida pelas sementes de chia, em que as características da semente (físicas e químicas) regem a adsorção de água. Entretanto, destaca-se que a velocidade com que as sementes de chia adsorvem água é diretamente proporcional à temperatura em que a mesma está submetida (dados não apresentados). Verifica-se que houve boa correspondência entre os dados estimados pelo modelo de Halsey modificado e os observados experimentalmente, porém, este modelo não permite a predição dos teores de água quando a umidade relativa tende a zero, sendo uma limitação do modelo para o caso de dessorção de sementes de chia. As isotermas de dessorção de sementes de beterraba podem ser classificadas como do tipo II (LABUZA & ALTUNAKAR, 2007). De acordo com estes autores, a forma das isotermas do tipo II é causada por efeitos sinérgicos da lei de Raoult, efeitos capilares e interações de umidade na superfície do material. De acordo com Labuza & Altunakar (2007), esse tipo de isoterma descreve duas regiões, uma entre 0,2 e 0,4 (a criação de multicamadas e o preenchimento de poros pequenos) de umidade relativa no equilíbrio e outra entre 0,6 e 0,7 (enchimento dos poros maiores e dissolução de solutos).

CONCLUSÕES: O teor de água de equilíbrio das sementes de chia aumenta com a umidade relativa. O modelo de Halsey modificado foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, culminando em isotermas do tipo II.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do projeto (461033/2014-3).

REFERÊNCIAS

- BARRIENTOS, V. A.; AGUIERRE, A.; BORNEO, R. Chia (*Salvia hispanica*) can be used to manufacture sugar-snap cookies with an improved nutritional value. **International Journal of Food Studies**, v. 1, n. 2, p. 135-143, 2012.
- BRASIL. **Regras para análise de sementes**; Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de defesa Agropecuária, Brasília, 2009.
- CORRÊA, P. C.; BOTELHO, F. M.; BOTELHO, S. C. C.; GONELI, A. L. D. Isotermas de sorção de água de frutos de *Coffea canephora*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 10, p. 1047–1052. 2014.
- COSTA, J. M. G.; SILVA, E. K.; HIJO, A. A. C. T.; AZEVEDO, V. M.; BORGES, S. V. Physical and Thermal Stability of Spray-Dried Swiss Cheese Bioaroma Powder. **Drying Technology**, v. 33, p. 346-354, 2015.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1998. 736 p.
- IXTAINA, V. Y.; NOLASCO, S. M.; TOMÁS, M. C. Physical properties of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. **Industrial Crops and Products**, v. 28, n. 3, p. 286-293, 2008.
- LABUZA, T. P.; ALTUNAKAR, B. **Water Activity Prediction and Moisture Sorption Isotherms**. In: BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; FONTANA JR., A. J.; SCHMIDT, S. J.; LABUZA, T. P. (eds.). *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*. Ames: Blackwell Publishing Professional, 2007, p.109-154.