

DETERMINAÇÃO DO CALOR LATENTE DE VAPORIZAÇÃO DO FEIJÃO MACASSAR (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) VARIEDADE MANTEIGUINHA¹

Jorge Alves de Souza ², Yvson Costa e Silva ³, Francisco Diniz da Silva ⁴, Mário Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata ⁵

¹Extraído da Dissertação de Mestrado apresentado pelo primeiro autor à UFCG

²Mestre em Engenharia Agrícola – UFCG, PB, jorgeal@bol.com.br

³Aluno de Mestrado em Engenharia Agrícola – UFCG, PB, yvson77@yahoo.es

⁴Aluno de Mestrado em Engenharia Agrícola – UFCG, PB, fdinizcg@yahoo.com.br

⁵Departamento de Engenharia Agrícola, UFCG – Avenida Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, 58.109-970 - Campina Grande – PB – Brasil, mmata@deag.ufcg.edu.br

Palavras-chave: calor latente de vaporização, secagem, feijão macassar

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias

Resumo - Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de se determinar, experimentalmente, os valores do calor latente de vaporização do feijão macassar variedade “manteiguinha”, utilizando o método de Othmer. A partir dos resultados obtidos observou-se que o calor necessário para evaporar a água do feijão macassar aumenta com a diminuição do seu conteúdo de água de 25 para 5 % em base seca e da temperatura de 40 para 20 °C e que a equação do calor latente de vaporização do feijão macassar em função da temperatura e do seu conteúdo de água de equilíbrio ajusta-se aos dados com um coeficiente de determinação de 98,72%.

Introdução

No Brasil, o feijão macassar é cultivado predominantemente no sertão semi-árido da região Nordeste e em pequenas áreas na Amazônia. Entretanto, cerca de 95 a 100% do total das áreas plantadas encontram-se nos Estados do Amazonas, Maranhão, Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte. No Nordeste, a produção e a produtividade são de 429.375 t e 303,5 kg/ha, respectivamente. Os maiores produtores são os Estados do Ceará (159.471 t), Piauí (58.786 t), Bahia (50.249 t) e Maranhão (35.213 t), os quais também apresentam as maiores áreas plantadas [1].

Depois da produção, o feijão necessita ser colhido e seco para que possa preservar sua qualidade ao longo do armazenamento. Nesta etapa existem vários processos que podem ser usados na conservação da qualidade do feijão. Dentre estes, a secagem é o processo mais utilizado para a preservação da qualidade desse produto. A operação consiste na remoção de parte da água contida no produto recém-colhido. No entanto, para haja esta remoção de água é necessária uma certa quantidade de energia denominada calor latente de vaporização.

CAVALCANTI-MATA [2], relata que o processo de determinação do calor latente de vaporização de grãos ainda reside na teoria apresentada por OTHMER [3]. O autor considera o calor latente de vaporização da água uma constante dentro de certo intervalo de temperaturas

Considerando a importância do feijão macassar variedade manteiguinha para a região Nordeste e a escassez de literatura referente à propriedade térmica relatada buscou-se, por meio deste trabalho, determinar às variações dos valores de calor latente de vaporização em função do conteúdo de água.

Materiais e Métodos

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Universidade Federal de Campina Grande, localizado no Estado da Paraíba, Brasil.

O feijão, utilizado, foi proveniente do comércio local da cidade de Campina Grande, no agreste da Borborema.

Inicialmente foi feita uma seleção dos grãos, excluindo-se os grãos que apresentaram infestações por pragas, danos mecânicos, e atrofiamentos, entre outros defeitos. O material selecionado foi pesado em uma balança com precisão de 0,1 g, sendo que, para o acondicionamento do material (conteúdo de água de 185 % b.s.), usou-se dois sacos sobrepostos para evitar a troca de umidade com o ambiente e foram armazenados em refrigerador a uma temperatura de aproximadamente 1 °C, a fim de manter as características do feijão até a realização do experimento.

Para determinação da atividade de água, utilizou-se o equipamento NOVASINA modelo TH200, mostrado na Figura 1.



Figura 1 – Equipamento Novasina utilizado para determinação da atividade de água

Para determinação do calor latente de vaporização utilizou-se a metodologia de OTHMER [3]. Onde, com os dados obtidos das isotermas de dessecção do feijão e calculados os parâmetros da equação de Henderson modificada por CAVALCANTI-MATA [2], sendo esta equação expressa a seguir. Foram determinadas os valores de umidade relativa para as umidades de equilíbrio de 5, 10, 15, 20 e 25 % b.s., e às temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C.

$$X_e = \left[\frac{\ln(1 - UR)}{-k.T} \right]^{\frac{1}{N}}$$

onde,

X_e = conteúdo de água de equilíbrio do produto
 k e N = parâmetro que dependem da temperatura e da natureza do produto

Com os valores das umidades relativas de equilíbrio, foram determinadas as pressões de vapor de equilíbrio P_v , utilizando a expressão $P_v = UR.P_{vs}$ onde, segundo WILHELM [4], P_{vs} pode ser estimado por:

$$P_{vs} = \frac{\exp \left[(-7511,52.T_{abs}) + 89,63 + (0,024.T_{abs}) - 12,15.\ln(T_{abs}) + 2,09.10^{-11}.(T_{abs})^4 - 1,16.10^{-5}.(T_{abs})^2 - 1,28.10^{-8}.(T_{abs})^3 \right]}{0,13333}$$

onde,

$$T_{abs} = (T + 273,16)$$

T_{abs} = Temperatura, K

T = Temperatura, °C

Com os valores de $\ln(P_v)$ e $\ln(P_{vs})$ foram feitas regressões lineares de modo a calcular os coeficientes angulares para cada conteúdo de água de equilíbrio. Os coeficientes angulares das retas correspondentes à relação h'_{fg}/h_{fg} , para a qual se tem:

h'_{fg} = calor latente de vaporização da água do feijão, Jkg^{-1}

h_{fg} = calor latente de vaporização da água, Jkg^{-1}

Dessa forma $h'_{fg} = h_{fg}$ coef. angular

onde,

$$h'_{fg} = 606 - 0,57.T$$

Obtidos os valores de h'_{fg} , estes foram correlacionados com as temperaturas e conteúdos de água de equilíbrio, por meio de regressão não linear usando o programa computacional STATISTICA 5.0, sendo a equação de ajuste expressa da seguinte forma:

$$h'_{fg} = (606 - 0,57.T) . (1 + a.\exp(b.X_f))$$

onde,

X_f = Conteúdo de água do feijão, % base seca.

Resultados e Discussão

Os conteúdos de água de equilíbrio higroscópico dos grãos de feijão macassar foram determinados para as temperaturas de 20, 30 40 e 50° C, como é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Conteúdos de água de equilíbrio higroscópico de semente de feijão macassar obtidos por dessecção.

UR (decimal)	Temperatura (°C)			
	20	30	40	50
	X_e (% bs)			
0,10	2,65	2,18	3,16	3,12
0,20	6,32	6,23	6,25	5,70
0,25	8,50	7,31	7,20	6,30
0,35	10,09	8,85	9,30	7,76
0,45	12,60	11,53	10,45	9,61
0,55	15,30	12,45	11,80	11,05
0,65	16,86	16,10	14,80	13,55
0,75	23,30	20,60	19,91	18,30
0,85	29,45	26,80	25,50	24,70

Fonte: Dados coletados por OLIVEIRA [5]

Os dados experimentais das isotermas de dessecção do feijão macassar e os calculados pela equação de Henderson modificada por CAVALCANTI-MATA [2] encontram-se na Figura 3.

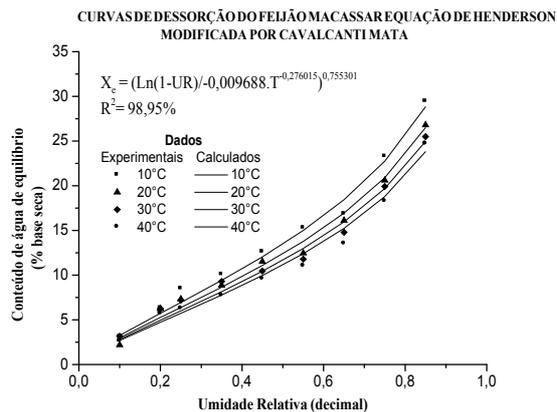


Figura 3 - Dados experimentais e calculados dos conteúdos de água de equilíbrio higroscópico dos grãos de feijão macassar

Na Tabela 2 encontram-se dados referentes às umidades relativas de equilíbrio obtidas pela equação de Henderson modificada por CAVALCANTI-MATA [2], para o feijão macassar, e determinadas para os conteúdos de água do feijão de 5 a 25% base seca e temperaturas de 20 a 50 °C. Com os dados de umidade relativa de equilíbrio, determinou-se a pressão de vapor da umidade dos grãos de feijão macassar. A pressão de vapor (Pv) é obtida pela equação $P_v = UR \times P_{vs}$ onde P_{vs} é determinado pela equação 1.59.

Na Tabela 3 encontram-se os dados de pressão de vapor da água do feijão macassar correspondentes às umidades relativas de equilíbrio obtidas através da equação Henderson modificada por CAVALCANTI-MATA [2], para as isotermas de dessecamento para os conteúdos de água e temperaturas pré-estabelecidos.

Na Tabela 4 encontram-se os dados da pressão de vapor linearizados. Estes dados foram plotados com o logaritmo neperiano dos dados de pressão de vapor de saturação (P_{vs}), para determinação do coeficiente angular obtido por regressão linear, mostrado na Figura 4, conforme sugerido por BROOKER et al [6].

Tabela 2 – Umidades relativas de equilíbrio obtidas pela equação de Henderson modificada por CAVALCANTI-MATA [2]

X_e (%bs)	Temperatura (°C)			
	20	30	40	50
	Umidade relativa de equilíbrio			
5	0,1467	0,1682	0,1851	0,1993
10	0,3497	0,3932	0,4261	0,4528
15	0,5377	0,5917	0,6305	0,6607
20	0,6889	0,7421	0,7783	0,8051
25	0,8001	0,8457	0,8747	0,8951

Tabela 3 – Pressão de vapor da água do feijão macassar correspondentes às umidades relativas de equilíbrio

X_e (%b.s.)	Temperatura (°C)			
	20	30	40	50
	Pv (mm Hg)			
5	2,574	5,357	10,251	18,455
10	6,136	12,524	23,597	41,930
15	9,434	18,844	34,914	61,186
20	12,086	23,635	43,099	74,562
25	14,037	26,934	48,437	82,897
Pvs	17,545	31,848	55,373	92,607

Tabela 4 – Logaritmo neperiano da pressão de vapor da água do feijão macassar correspondente às umidades relativas de equilíbrio obtidas através da equação de Henderson modificada por CAVALCANTI-MATA [2]

X_e (% b.s.)	Temperatura (°C)			
	20	30	40	50
	Ln (Pv) (mm Hg)			
5	0,9455	1,6784	2,3274	2,9153
10	1,8142	2,5276	3,1611	3,7360
15	2,2443	2,9362	3,5529	4,1139
20	2,4921	3,1627	3,7635	4,3116
25	2,6417	3,2934	3,8803	4,4176
Ln (Pvs)	2,8648	3,4610	4,0141	4,5284

Na Figura 4 estão representadas as curvas de Othmer para determinação do calor latente de vaporização do feijão macassar nas quatro temperaturas estudadas.

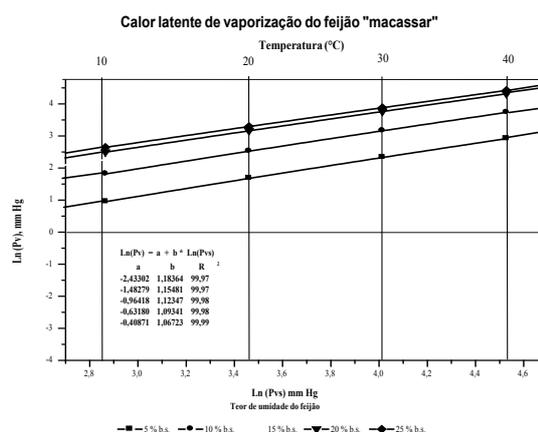


Figura 4 - Curvas de Othmer para determinação do calor latente de vaporização do feijão macassar.

Na Tabela 5 são apresentados os valores do calor latente de vaporização dos grãos de feijão macassar, calculados pela equação:
 $h'_{fg} \text{ (kcal/kg} \times \text{°C)} = h_{fg} \times \text{inclinação da reta}$

Tabela 5 – Calor latente de vaporização dos grãos de feijão macassar (h'_{fg}) em função da temperatura e do conteúdo de água de equilíbrio.

X_e (% bs)	Temperatura °C				inclinação
	20	30	40	50	
5	703,79	697,05	690,30	683,55	1,18
10	686,65	680,07	673,48	666,90	1,15
15	667,42	661,02	654,62	648,23	1,12
20	650,14	643,91	637,68	631,44	1,09
25	634,57	628,49	622,41	616,32	1,07
h_{fg}	594,60	588,90	583,20	577,50	

Através de uma regressão não-linear dos dados observados em função dos dados calculados, pôde-se obter a equação calor latente de vaporização do feijão macassar, como está exposto na Figura 5.

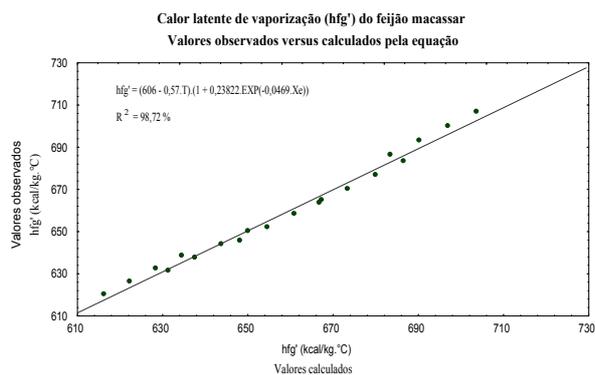


Figura 5 - Regressão não-linear dos valores observados em função dos valores calculados

Conclusões

Diante do exposto podemos concluir que:

O calor necessário para evaporar a água do feijão macassar aumenta com a diminuição do seu conteúdo de água de 25 para 5 % em base seca e da temperatura de 40 para 20 °C.

A equação do calor latente de vaporização do feijão macassar em função da temperatura e do seu conteúdo de água de equilíbrio ajusta-se aos dados com um coeficiente de determinação de 98,72%.

Referências

- [1] IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento sistemático da produção agrícola. Rio de Janeiro: v.13, n.12, 2001.
- [2] CAVACALTI-MATA, M.E.R.M. Efeito da secagem em altas temperaturas por curtos períodos de tempo, em camada estacionária, sobre a armazenabilidade de grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) variedade "carioca": Avaliação experimental, modelagem e simulação. 1997. 328 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.
- [3] OTHMER, D.F. Correlating vapor pressure latent heat data. Industrial and Engineering Chemistry. v.32, n.6, p.841-846. 1940.
- [4] WHILHELM, L.R. Numerical calculation of psychrometric properties. In: SI units. Transactions of the ASAE, St. Joseph, Michigan, v.19, n.2, p.318-325, 1976.
- [5] OLIVEIRA, J.R. Determinação das isotermas de desorção do feijão macassar. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 23p. (Relatório Preliminar de Tese de Doutorado), 2004.
- [6] BROOKER, D.B., BAKKER-ARKEMA, F.W., HALL, C.H. Drying and storage of grains and oilseeds. Westport: AVI, 1992. 450p.