

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA COMPOSTO POR UM CALORÍMETRO E UM REATOR: EQUIPAMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DE GRÃOS AGRÍCOLAS

DIOGO TUBERTINI MACIEL¹, ANDRÉ LUIS GONÇALVES COSTA², RÔMULO MARÇAL GANDIA³, EDNILTON TAVARES DE ANDRADE⁴, CAMILA DE ALMEIDA DIAS⁵

¹ Engo. Agrícola, Prof. Depto. De Engenharia - DEG, Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras – MG, Fone: (0XX35) 9 8414 9939, diogo.maciell@deg.ufla.br.

² Engo. Metalurgista, Mestre em Eng. Mecânica. Depto. de Engenharia Agrícola - DEG, UFLA, Lavras – MG.

³ Engo. Agrícola, Depto. De Engenharia Agrícola - DEG, Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras – MG.

⁴ Engo. Agrícola, Prof. Depto. De Engenharia Agrícola - DEG, Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras.

⁵ Engo. Agrícola, Depto. de Engenharia Agrícola - DEG, Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras – MG.

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

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi desenvolver um calorímetro e um reator para determinação das propriedades térmicas de grãos agrícolas (calor específico, condutividade e difusividade térmica). O calorímetro foi desenvolvido para determinar o calor específico e o reator para determinar a condutividade térmica e difusividade térmica por meio do método do cilindro teoricamente infinito com fonte de aquecimento central. Para a construção do calorímetro utilizou-se uma garrafa térmica e um termopar, o reator foi construído com tubo de alumínio com liga 6351, no centro foi instalado uma resistência de níquel-cromo envernizado ligado a fonte de corrente contínua ($V = 1,8V$ e $I = 1,0A$). Para a obtenção dos valores de temperaturas do reator foram instalados três conjuntos com 6 termopares equidistantes e mais um termopar instalado junto a resistência. Para a validação dos equipamentos utilizou-se o grão de milho com teor de água 11,6% (bu), obtendo valores de calor específico $C_p = 1696,92 \text{ J.kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, condutividade térmica $K = 0,115 \text{ W.m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ e difusividade térmica $\alpha = 9,00 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ e estes foram comparados com os resultados apresentados por ANDRADE, et al, 2004, $C_p = 1964,34 \text{ J.kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, $k = 0,155 \text{ W.m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, e $\alpha = 11,88 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, concluindo que os resultados dos equipamentos são representativos.

PALAVRAS-CHAVE: Grãos de Milho, Calor específico e Condutividade térmica.

DEVELOPMENT OF A SYSTEM COMPOSED OF A CALORIMETER AND A REACTOR: EQUIPMENT FOR DETERMINATION OF THERMAL PROPERTIES OF AGRICULTURAL GRAINS

ABSTRACT: The objective of this work was to develop a calorimeter and a reactor to determine the thermal properties of agricultural grains (specific heat, conductivity and thermal diffusivity). The calorimeter was developed to determine the specific heat and the reactor to determine the thermal conductivity and thermal diffusivity by means of the theoretically infinite cylinder method with central heating source. A thermal bottle and a thermocouple were used to construct the calorimeter, the reactor was constructed with aluminum tube with 6351 alloy, a nickel-chromium varnished resistor connected to a direct current source was installed in the center ($V = 1,8 \text{ V}$ And $I = 1.0A$). To obtain the temperature values of the reactor, three sets with 6 equidistant thermocouples and one thermocouple installed along the resistance were installed. For the validation of the equipment, the corn grain with water content 11.6% (bu) was used,

obtaining specific heat values $C_p = 1696,92 \text{ J.kg}^{-1}\text{°C}^{-1}$, thermal conductivity $K = 0.115 \text{ Wm}^{-1}\text{°C}^{-1}$ and thermal diffusivity $\alpha = 9.00 \times 10^{-8} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ and these were compared with the results presented by ANDRADE, et al, 2004, $C_p = 1964,34 \text{ J.kg}^{-1}\text{°C}^{-1}$, $k = 0,155 \text{ Wm}^{-1}\text{°C}^{-1}$, and $\alpha = 11,88 \times 10^{-8} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$, concluding that the equipment results are representative.

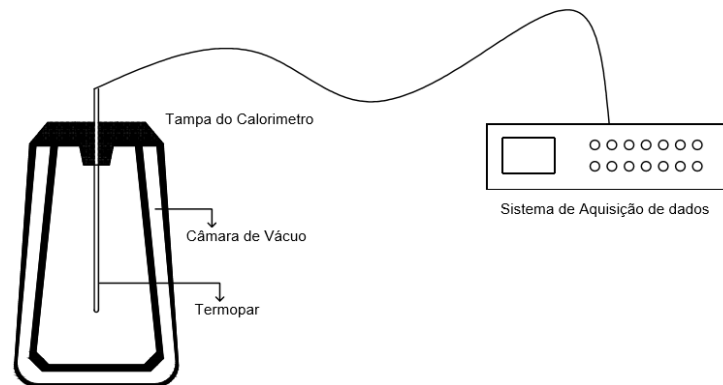
KEYWORDS: Corn grain, Specific heat, Thermal Conductivity.

INTRODUÇÃO: Os princípios dos fenômenos de transporte podem ser analisados juntos as operações unitárias de secagem e de armazenagem. As equações para descrever os processos físicos dependem do conhecimento de suas propriedades térmicas (Muir e Viravanichai, 1972; Stolf, 1972; Sharma e Thompson, 1973; Passos, 1982; Drouzas e Saravacos, 1988; Fang et al., 1997). A determinação das propriedades térmicas dos grãos, tais como: calor específico, condutividade e difusividade térmica é necessário para ter conhecimento das mudanças de temperaturas internas de produtos sujeitos a processos de secagem e armazenamento, de acordo com Mohsenin (1980) e Rossi e Roa (1980). Em vista do exposto, este trabalho teve como objetivo desenvolver um calorímetro e um reator para determinação das propriedades térmicas de grãos agrícolas (calor específico, condutividade e difusividade térmica).

MATERIAL E MÉTODOS: Foi realizado um estudo dos aparelhos existentes Corrêa; Andrade; Júnior (2004), e partir dos modelos foi executado a concepção dos modelos propostos. O primeiro modelo, Figura 1, teve como o objetivo calcular o calor específico dos grãos, para os diferentes teores de umidade, denominado calorímetro. O segundo modelo, Figura 2, teve o objetivo de determinar a condutividade térmica e análise do fluxo de calor transiente, através da massa granular de um produto, denominado reator. Os materiais necessários para os modelos foram: no primeiro modelo constituiu-se em 1 garrafa térmica com 1 litro de volume e um sensor tipo termopar com 1 metro de comprimento. O segundo modelo constituiu-se por um tubo de 1 tubo de 4 polegadas de diâmetro por 500 mm de altura schedule de alumínio 6351, 2 flanges de alumínio 4 polegadas de diâmetro por 25 mm de comprimento de alumínio 6351, 300 mm de teflon de 7/8, 20 sensores tipo termopar com 1 metro de comprimento cada, 400 mm de fio de Níquel-Cromo com 0,5 mm de diâmetro com resistência de $3,06 \Omega/\text{m}$, 2 metros de fio flexível de 1,5 mm, 20 ml de verniz. Em ambos os modelos necessitou de um sistema de aquisição de dados. O processo de fabricação do calorímetro foi feito um furo central na tampa da garrafa térmica para ser colocado o termopar de maneira que sua ponta para fazer a leitura ficasse no centro da altura da garrafa. O furo junto ao termopar foi vedado com cola quente. Para a fabricação do reator fez-se a usinagem do tubo e posteriormente dos flanges (tampas rosqueáveis), no ponto central do tubo foram inseridas 3 hastes de teflon equidistantes (120°) para serem posicionados os 3 conjuntos de termopares, cada haste continha 6 termopares distantes de 1 cm entre si ao longo do raio do centro do tubo, para a vedação das hastes foi utilizado cola quente, entre as pontas dos termopares para efeito de resistência foi colocado um suporte de capa de fio com supercola, a resistência foi fixada por duas hastes posicionadas nas extremidades do tubo logo abaixo dos flanges, de maneira que ficasse o mais esticado possível, o fio flexível foi utilizado para alimentação da resistência, o último termopar para fazer a leitura da resistência foi colocado avulso em um dos rasgos das hastes e vedado com cola quente. O processo para a utilização do calorímetro foi primeiramente medir a umidade e a temperatura inicial do grão, medir uma massa 0,2 kg de grãos a serem utilizados na determinação do calor específico (C_p) no calorímetro, aquecer uma massa superior (perda na evaporação) a 0,4 kg de água a uma temperatura aproximada de 45 °C (de forma a garantir que sejam inseridos exatamente os 0,4 kg de água dentro do calorímetro). Inserir ambas as massas no calorímetro, esperar 5 minutos até estabilizar e fazer a nova medição da temperatura, com o valor da

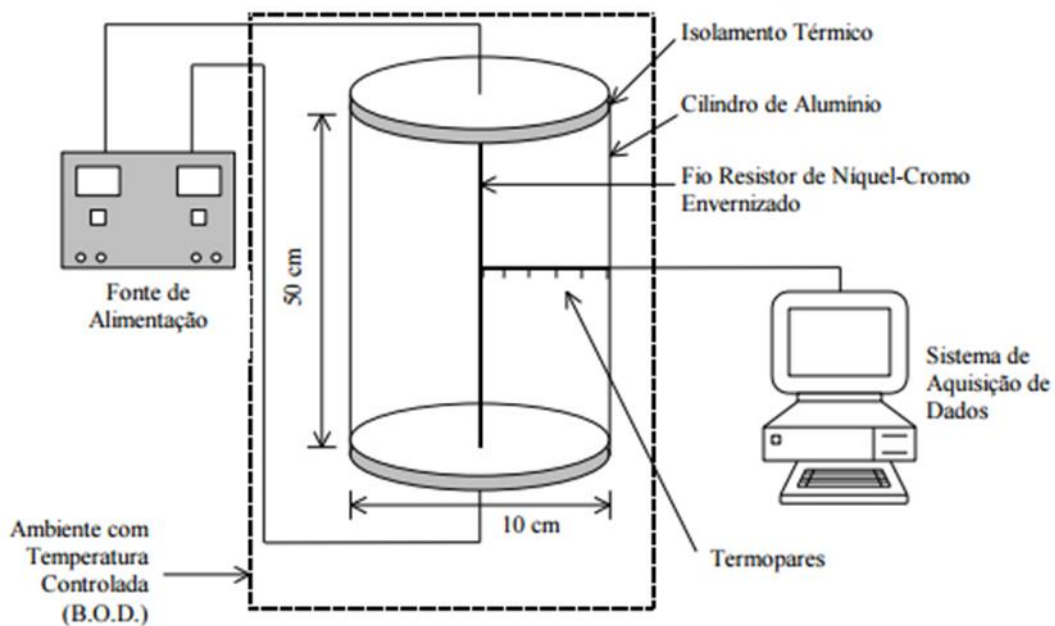
temperatura de equilíbrio e as demais variáveis já medidas calcular utilizando a equação 1 o calor específico do grão (C_p).

FIGURA 1. Desenho esquemático do equipamento experimental para determinação do calor específico.



Fonte: Autores (2017)

FIGURA 2. Desenho esquemático do dispositivo experimental para determinação da condutividade térmica.



Fonte: Corrêa; Andrade; Júnior (2004)

O processo de utilização do reator foi primeiramente preencher completamente o tubo com o grão escolhido, colocar na BOD a uma temperatura de 20 °C por 24 horas para estabilizar a temperatura do sistema, deixando os fios dos termopares para fora da BOD, após as 24 horas (ou estabilização da temperatura), conectar os termopares no sistema de aquisição de dados, deixar um termopar para medir a temperatura ambiente, conectar os fios de alimentação da resistência a uma fonte de alimentação de corrente contínua previamente regulada, regulando a corrente para 1 ampere e 1,96 volts, ligar o sistema de aquisição de dados, colocar em modo de gravação após isso ligar a fonte de alimentação. Esperar a estabilização das temperaturas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES: Para a validação dos equipamentos utilizou-se o grão de milho com teor de água 11,6% (bu). O valor obtido para o calor específico do milho no calorímetro foi $C_p = 1696,92 \text{ J.kg}^{-1}\text{C}^{-1}$. Para o reator os valores encontrados utilizando o grão de milho de condutividade térmica difusividade térmica foram respectivamente $K = 0,115 \text{ W.m}^{-1}\text{C}^{-1}$ e $\alpha = 9,00 \times 10^{-8} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$. Estes foram comparados com os resultados apresentados por ANDRADE, et al, 2004, $C_p = 1964,34 \text{ J.kg}^{-1}\text{C}^{-1}$, $k = 0,155 \text{ W.m}^{-1}\text{C}^{-1}$, e $\alpha = 11,88 \times 10^{-8} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$, concluindo que os resultados dos equipamentos são representativos.

CONCLUSÕES: Mesmo havendo diferenças entre os valores previsto por ANDRADE, et al, 2004, para as propriedades termodinâmicas obtidas para o milho, pode-se concluir que estes apresentam robustez para determinação das propriedades termodinâmicas de diferentes tipos de grãos agrícolas, pois as variações encontradas são inerentes do processo de experimentação e instrumentação utilizados nos equipamentos construídos.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, E. T. et al. Determinação de propriedades térmicas de grãos de milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 3, p 488-498, 2004.
- DROUZAS, A.E.; SARAVACOS, G.D. Effective thermal conductivity of granular starch materials. **Food Science**, Chicago, v.53, n.6, p.1795-1799, 1988.
- FANG, Q.; LAN, Y.; KOCHER, M.F.; HANNA, M.A. Thermal conductivity of granular starch materials. ASAE, St. Joseph, 1997, 18p. (Paper n.97-6014).
- MOHSENIN, N. N. Thermal properties of foods and agricultural materials. New York: Gordon and Breach science publishers Inc., 1980. 407p.
- MUIR, E.W.; VIRAVANICHAJ, S. Specific heat of wheat. **Agricultural Engineering Research**, New York, v.17, n.2, p.338342, 1972.
- OZISIK, M. N. Transferência de massa. *Transferência de calor. Um texto básico. Rio de Janeiro: editora Guanabara*, 1990.
- PASSOS, E.F. Condutividade térmica da pasta de mandioca. **Ceres**, Viçosa, v.29, n.162, p.222-231, 1982.
- SHARMA, D.K.; THOMPSON, T.L. Specific heat and thermal conductivity of sorghum. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.16, n.1, p.114-117, 1973.
- STOLF, S.R. Medição da condutividade térmica dos alimentos. Boletim do Instituto de Tecnologia de alimentos, Campinas, v.29, n.1, p.67-79, 1972.
- ROSSI, S.J.; ROA, G. Secagem e armazenamento de produtos agropecuários com o uso de energia solar e ar natural. São Paulo: Academia de Ciência de Estado de São Paulo, n.22, 1980. 295p.