

DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTUFA DE DETERMINAÇÃO DE UMIDADE DE SÓLIDOS PARTICULADOS DE BAIXO CUSTO

Miguel Moro (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Fernando Moro, Mônica Ronobo Coutinho (Orientadora), Wagner André dos Santos Conceição (Coorientador), e-mail: ra116058@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Maringá, PR.

Engenharia Mecânica, Fenômenos de Transporte.

Palavras-chave: secagem; monitoramento; isolamento.

RESUMO

O presente trabalho teve a finalidade de desenvolver uma estufa de baixo custo para a determinação de umidade de sólidos particulados, permitindo a obtenção de informações em tempo real sobre a massa da amostra. Para isso, realizou-se a análise da disposição dos componentes e do método de monitoramento da estufa, bem como a implementação do projeto proposto. Nesse processo, foram empregados recursos de baixa complexidade e valor, como uma lâmpada incandescente (60 W), placas Arduino, sensores, uma caixa térmica e uma célula de carga. A combinação de recursos acessíveis, como a estufa de baixo custo e o sistema de monitoramento em tempo real, apresentou uma alternativa promissora para a medição de umidade em sólidos particulados.

INTRODUÇÃO

O monitoramento contínuo e em tempo real é um recurso em ascensão e muitas vezes é indispensável na indústria de diversas áreas. Diante disso, há uma certa distância do método tradicional de determinação de umidade em estufas, o qual a amostra permanece na estufa de 3 a 24 horas em temperatura de 105°C, dependendo de um operador o qual retira a amostra da estufa e registra a sua massa em tempos pré-determinados. Este método demanda um tempo muito grande de secagem e está sujeito a erros de medida do operador. Outros métodos para medir a umidade de maneira ágil estão disponíveis, porém todas elas acarretam um investimento significativo em termos de equipamentos.

Assim, um sistema de análise de umidade de sólidos particulados em tempo real e de baixo custo proporciona uma melhoria na coleta de dados experimentais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Com a finalidade de atingir os objetivos descritos anteriormente, de uma forma economicamente acessível, o presente trabalho utilizou uma caixa térmica de 12 L,

sensores de baixo custo, como um termopar para monitoramento da temperatura, um relé, um potenciômetro e uma célula de carga de 1kg, um módulo HX711 ligados ao Arduino UNO as quais são programáveis no software Arduino IDE, de ambiente simples e totalmente gratuito.

A construção da balança envolveu a integração da célula de carga, do módulo HX711 e do Arduino UNO por meio de conexões diretas. Além desses componentes, foram inseridos capacitores para mitigar interferências eletrônicas e do sinal, tendo como finalidade a minimização de flutuações indesejadas nos resultados. O código de configuração da balança realizou leituras a intervalos de 5 segundos, com o objetivo de reduzir as mencionadas variações e, por conseguinte, aproximar-se do valor real da massa. Adicionalmente, componentes produzidos através de impressão 3D também foram empregados no processo.

No que diz respeito à temperatura, o experimento utiliza uma lâmpada incandescente de 60 W como fonte de calor. A potência dessa lâmpada e, por conseguinte, a quantidade de calor gerada são reguladas por meio de um potenciômetro. Esse potenciômetro está conectado a um relé, que, por sua vez, é interligado ao Arduino UNO. O relé tem a função de controlar a temperatura captada pelo termopar. Ele desativa a lâmpada quando a temperatura medida ultrapassa 105°C e a reativa quando a temperatura cai para um valor abaixo desse limiar.

Com o intuito da balança não permanecer dentro da estufa exposta a alta temperatura, implementou-se uma haste de alumínio com suportes em ambas as extremidades, ligando a amostra na balança, em outras palavras, a parte interna e externa da estufa, visível na Figura 1:

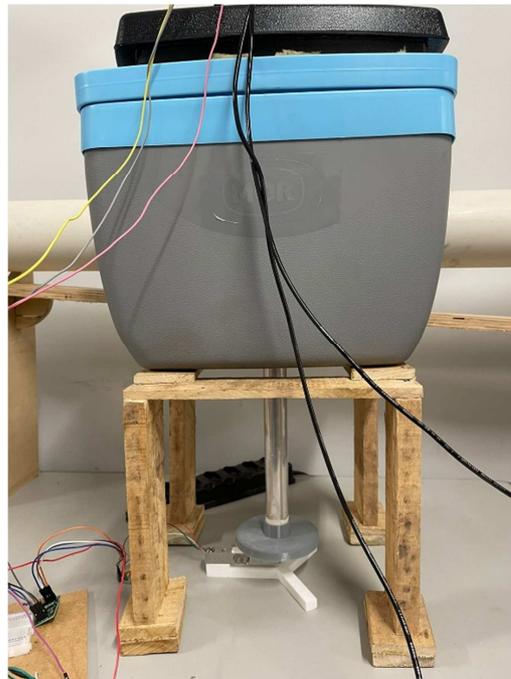


Figura 1 - Disposição estrutural do conjunto balança estufa.

Ademais, objetivando a minimização da taxa de variação da temperatura interna, o cálculo do isolamento ideal é imprescindível para a realização do projeto, sendo descrito pela Equação 1 (INCROPERA, 2013):

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2}} \quad (1)$$

Sendo \dot{Q} a potência da fonte de calor, A a área de troca térmica, T_1 e T_2 as temperaturas de referência, L_1 e L_2 as espessuras dos materiais e k_1 e k_2 sendo as condutividades térmicas de cada material (INCROPERA, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo como base a Equação 1, o cálculo da espessura de isolamento necessário foi executado com o auxílio do software “*Interactive Thermodynamics*”, tendo como dados de entrada a potência da lâmpada, de 100 W (infravermelho), a área de incidência de 0,04m, o coeficiente de condutividade térmica do aço galvanizado e da lã de vidro tendo valores respectivamente 52 W/mK e 0,04 W/mK, temperaturas de operação, $T_1=105^\circ\text{C}$, e da camada interna da caixa após o isolamento $T_2=85^\circ\text{C}$, e por fim a espessura da camada de aço galvanizado utilizado para aumentar o isolamento de $L_1=0,0031\text{m}$, obtendo assim, uma camada de isolamento necessária de aproximadamente 0,318 mm de lã de vidro. Nas primeiras análises, constatou-se que o mecanismo de controle de temperatura da lâmpada de infravermelho não estava alcançando a estabilidade térmica desejada. Devido a esse motivo, optou-se por substituí-la por uma lâmpada incandescente de 60 W, que conseguiu atingir a temperatura necessária de 105°C .

Visto que a chapa de aço utilizada tem uma espessura pequena e apresenta pouca resistência térmica na condutividade, foi conveniente retirar esta parte do isolamento, deixando somente a lã de vidro como isolante, conquistando isolamento equivalente e ocupando um volume interno menor.

Como etapa inicial de teste para verificar o desempenho do equipamento, uma massa de algodão comercial (na forma de um disco) de 1,55 g foi utilizada, seguida da adição de 5,60 g de água. Após um período de secagem de 92 minutos a uma temperatura de 105°C , a massa resultante da amostra foi medida como 1,41 g. Essa medida se mostrou inferior à massa registrada no início do experimento, o que levou à conclusão de que a amostra perdeu aproximadamente 0,14 g de umidade natural, além dos 5,60 g adicionados. Os resultados do experimento estão ilustrados na Figura 2. É possível perceber que o estado de equilíbrio foi alcançado em cerca de 5000 segundos, o que representa um intervalo de tempo significativamente inferior ao empregado em experimentos tradicionais de medição de umidade.

No que se refere ao controle de temperatura, o equipamento demonstrou alta confiabilidade, mantendo uma temperatura média de $105 \pm 0,26^\circ\text{C}$. No entanto, em relação à balança, foram identificadas flutuações nas casas decimais finais,

indicando a necessidade de substituição da célula de carga ou do módulo de leitura para aprimorar esse resultado.

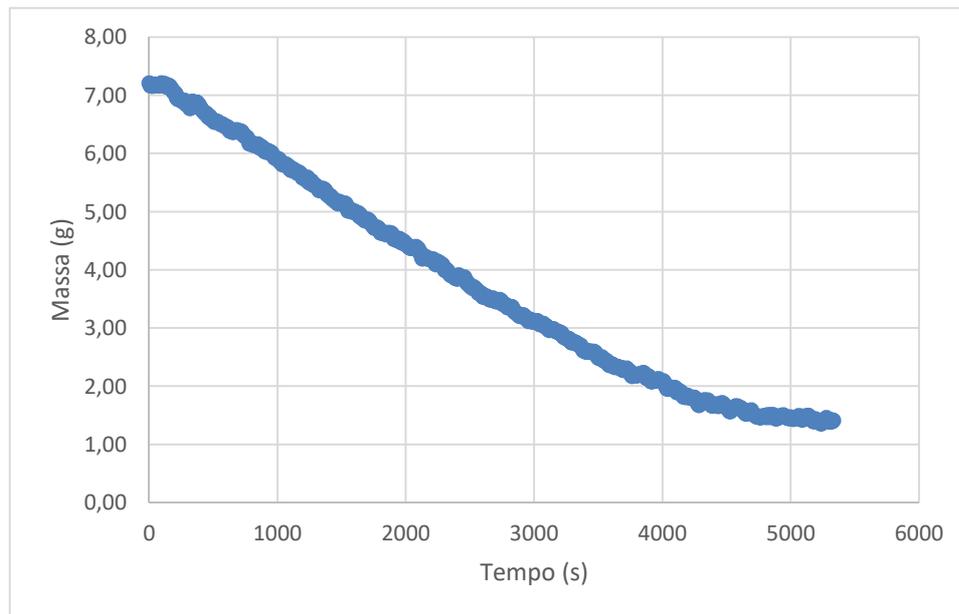


Figura 2 - Massa em função do tempo ao longo do experimento.

CONCLUSÕES

A análise dos resultados revelou que, apesar das flutuações nas casas decimais finais da balança, o controle de temperatura se mostrou confiável. A estufa demonstrou ser uma alternativa viável para a determinação de umidade.

O sistema possibilitou a obtenção de resultados em tempo real, fornecendo uma visão dinâmica do processo de secagem. Isso representa um avanço científico e tecnológico, permitindo análises mais dinâmicas e de baixo custo. Em experimentos futuros, a substituição de componentes específicos poderia proporcionar resultados ainda mais precisos na medição da massa e da umidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Fundação Araucária e a UEM pelo incentivo a ciência, a professora Dra. Mônica Coutinho que tornou tudo isso possível me concedendo a oportunidade e ajuda na realização da pesquisa, ao professor Dr. Wagner Conceição pela coorientação, ao professor Me. Fernando Moro pela fabricação das placas do isolamento de aço e a minha família que sempre me apoiou e me honrou com a oportunidade de estudo.

REFERÊNCIAS

Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2013). Fundamentos de transferência de calor e de massa (7ª ed.). LTC.