



DESENVOLVIMENTO E CALIBRAÇÃO DE UM SENSOR CAPACITIVO PARA DETERMINAR UMIDADE DE GRÃOS DE MILHO

PEREIRA, S. R.¹; SIQUEIRA, W. C.²; FILHO, M. S. A.²

¹Discente do curso Bacharelado em Engenharia Agrícola e Ambiental do IFNMG – *Campus* Januária; ²Docente do IFNMG – *Campus* Januária.

Introdução

O Brasil é majoritariamente um país exportador de commodities agrícolas, destacando-se, principalmente, na exportação de grãos como soja e milho, carne bovina, cana-de-açúcar, entre outras. Esse setor desempenha um papel crucial na economia brasileira e é reconhecido como um dos mais importantes segmentos do setor agrícola em todo o mundo, com uma estimativa de produção de grãos para a safra 2022/23 de 320,1 milhões de toneladas, representando um aumento significativo de 17,5% em relação à safra 2021/22, o que equivale a um acréscimo de 47,6 milhões de toneladas segundo a Companhia Nacional de abastecimento (Conab, 2023).

No setor industrial a umidade representa um importante parâmetro a ser analisado, seja a umidade do ar ou a umidade dos materiais, pois interfere em vários processos físicos, químicos e biológicos, logo instrumentos de medição de umidade são fundamentais na indústria (Srivastava et al., 2000).

Determinar o teor de umidade dos grãos é extremamente necessário para se obter resultados satisfatórios desde a colheita beneficiamento e armazenamento (Sarmiento et al., 2015).

Com base no que foi apresentado, o objetivo do projeto é desenvolver e calibrar um sensor capacitivo para medir a umidade de grãos de milho.

Material e Métodos

Para a confecção do sensor capacitivo, foram empregados dois tubos de aço inoxidável, um com diâmetro de 25,4 mm e outro com 95,0 mm. Ambos foram fixados em uma base de PVC de 100 mm de diâmetro por meio de adesivo epóxi. Adicionalmente, um fio foi soldado a cada um dos tubos para fins de conexão (figura 1). Essa seção do dispositivo atua como um capacitor de cilindros concêntricos com material dielétrico variável, o valor de capacitância varia de acordo com as propriedades dielétricas do material inserido entre os dois tubos.

De acordo com a fórmula da capacitância em um capacitor cilíndrico, a capacitância depende apenas das características geométricas e do material dielétrico no seu interior. Dado que as características geométricas do sensor são constantes, a única variável que resta para alterar o valor da capacitância é a constante dielétrica do material presente entre os cilindros (Halliday et al., 2016).

$$c = 2 \pi \epsilon_0 k \frac{L}{\ln\left(\frac{a}{b}\right)}$$

Em que c: capacitância em Farads; L: comprimento de 160 mm; a: raio do menor tubo de 25,4 mm; b: raio do maior tubo de 93,0 mm; ϵ_0 : constante de permissividade do vácuo; k: constante dielétrica do material entre os cilindros.



Em materiais higroscópicos, como é o caso dos grãos, o teor de umidade desempenha um papel predominante nas propriedades dielétricas, devido a alta permissividade elétrica da água em relação a matéria seca no grão (NELSON, 1991). Portanto, é viável estabelecer uma correlação entre a umidade dos grãos e o valor de capacitância medido.

Como forma de obter informações do sensor foi utilizado um circuito eletrônico oscilador astável baseado no CI NE555 seguido o diagrama sugerido pelo fabricante Texas Instruments, que gera uma sequência de pulsos a uma frequência determinada pelos resistores (R1 e R2) e o valor da capacitância equivalente do C2 com o sensor (figura1).

$$f = \frac{1,44}{(R1 + 2 R2) Ceq}$$

Em que f: frequência (Hz); R1: primeira resistência (Ω); R2: segunda resistência (Ω); Ceq: capacitância equivalente entre o C2 e a capacitância do sensor (F).

Foram preparadas oito amostras de milho, abrangendo uma variação de teor de umidade de 10% a 25% em base úmida. Cada amostra era composta por 230 gramas de milho, obtidos a partir de uma massa inicial de milho com 10,8% de umidade. Os níveis de umidade foram determinados utilizando o método padrão de secagem em estufa, a uma temperatura de 105°C, ao longo de um período de 24 horas.

Cada amostra foi inserida separadamente no sensor, e a frequência gerada pelo oscilador foi medida em três repetições, usando um multímetro digital Hikari HM-2090 na escala de frequência. Os dados foram registrados e, em seguida, submetidos a uma análise estatística utilizando o programa Excel. Isso permitiu a elaboração de um gráfico com uma linha de tendência e a obtenção de uma equação que relaciona a umidade com a frequência do oscilador.

Resultados e Discussão

A relação entre a umidade e a frequência apresentou um comportamento exponencial, com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,949, o que indica uma forte correlação entre a umidade e a frequência gerada pelo oscilador, sugerindo uma boa viabilidade para o projeto.

Considerações finais

A elevada taxa de variação na função, quando se trata de frequências entre 1,2 kHz e 1,3 kHz, compromete significativamente a precisão na determinação da umidade na faixa de 20% a 25%, uma solução viável seria redesenhar o sensor ou o circuito eletrônico para operar em uma faixa de frequência mais alta.

Com a equação estabelecida, é viável utilizar um sistema embarcado equipado com um contador de pulsos para transformar a medição de frequência em um valor de umidade e apresentá-lo em um visor.

Referências

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 11º Levantamento – safra 2022/2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 28 agosto. 2023.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Fundamentos de física Eletromagnetismo**. 10. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2016 vol 3, cap. 25, p. 270 – 292.

NELSON, O.S. **Dielectric Properties of Agricultural Products**. IEEE Transactions on Electrical Insulation, vol 26 No. 5, p. 845 – 869, 1991.



SARMENTO, H. G. S.; SOUZA, A. M. S.; BARBOSA, M. G.; NOBRE, D. A. C.; AMARO, H. T. R.
Determinação Do Teor De Água Em Sementes de Milho, Feijão e Pinhão-Manso por Métodos Alternativos.
 Revista Energia na Agricultura Botucatu, vol.30, n.3p 249 a 256 junho-setembro, 2015.
 SRIVASTAVA, V. K.; JOHN, J. **Deep bed grain drying modeling.** Energy Conversion and Management Journal, 2002.

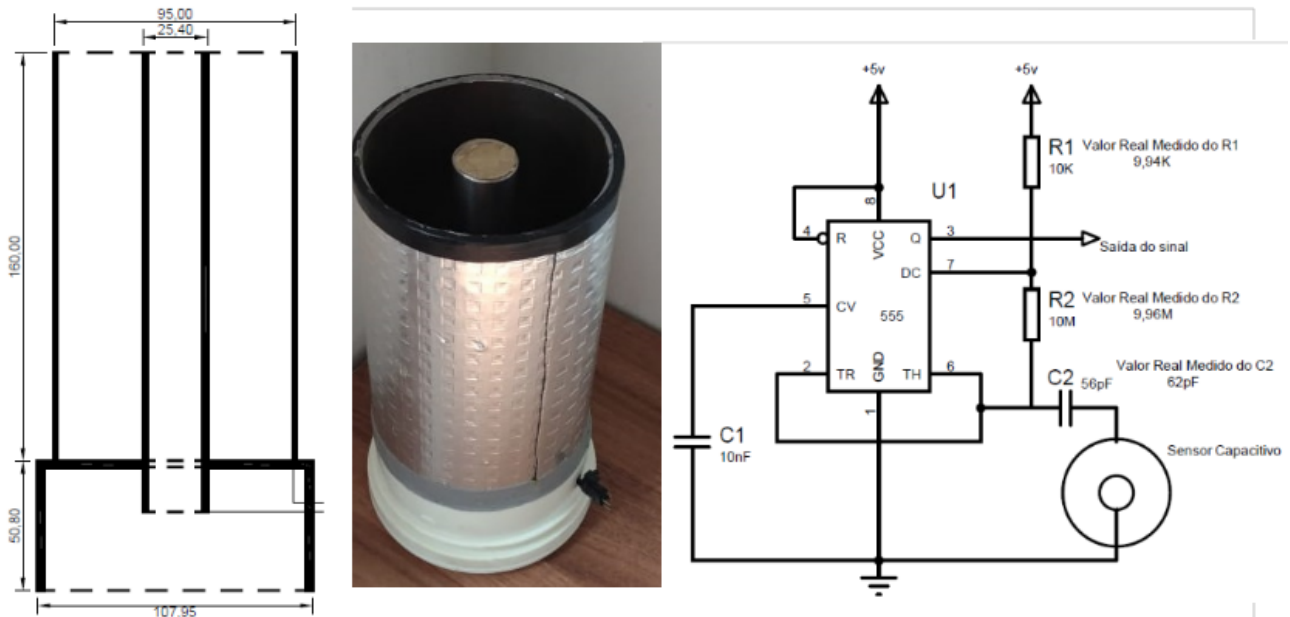


Figura 1. Diagramas do sensor capacitivo e circuito elétrico oscilador.

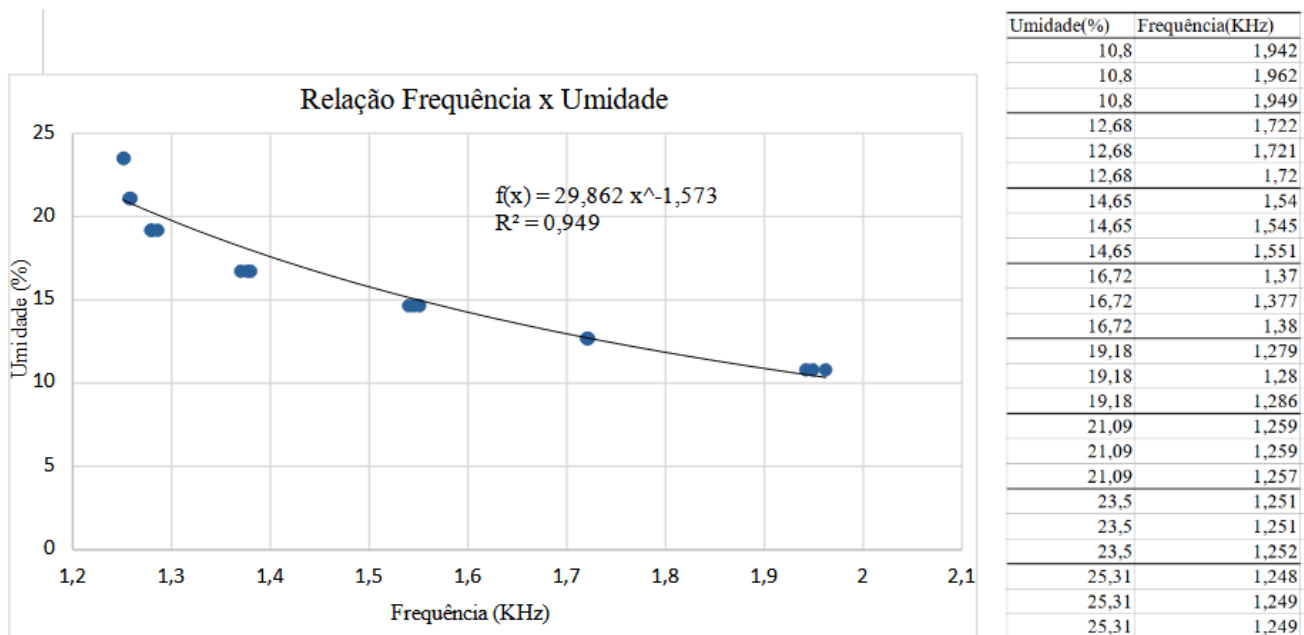


Figura 2. Gráfico e tabela da relação Frequência x Umidade.