



Sistema de baixo custo para determinação de umidade e massa específica aparente de grãos

Agnaldo S. Santos¹, Eduardo J. Santos¹, Janyelle do N. Silva¹, Welington G. Vale¹,
Patrícia A. C. B. Vale²

¹Departamento de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Sergipe (UFS)
Av. Marechal Rondon s/n – Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos –
49.107-230 – São Cristóvão – SE – Brasil

²Departamento de Zootecnia do Sertão – Universidade Federal de Sergipe (UFS) –
Nossa Senhora da Glória, SE – Brasil

agnaldosantana2501@gmail.com, eduardo22santos@hotmail.com, janyelle.engagricola@gmail.com,
valewg@gmail.com, patriciavale@gmail.com

Abstract. *This study aimed to develop an affordable hectoliter moisture and weight analyzer suitable for small-scale farmers. The equipment was calibrated for two grain types, namely corn and beans, enabling the determination of moisture content. The moisture levels ranged from 6.18 to 11.08% for corn and from 8.21 to 13.75% for beans, as compared to the oven method. In terms of hectoliter weight determination, the analysis yielded an r^2 value of 0.928 for beans and 0.926 for corn, when compared to the GEHAKA hectoliter weight kit. The production cost of approximately 595 reais ensures accessibility and feasibility for small-scale agricultural implementation.*

Resumo. *A presente pesquisa buscou criar um analisador de umidade e peso hectolitro de baixo custo e acessível ao pequeno agricultor. O equipamento foi calibrado para dois tipos de grãos, milho e feijão, o que tornou possível a determinação da umidade com uma variação de 6,18 a 11,08% para o primeiro e de 8,21 a 13,75% para o segundo, através da comparação com método da estufa. Para a determinação do peso hectolitro, o teste obteve como resultado r^2 de 0,928 para o feijão e 0,926 para o milho, em comparação com o kit de peso hectolitro GEHAKA. O custo de produção foi de, aproximadamente, 595 reais, tornando-o acessível e viável para a utilização em pequenas propriedades.*

1. Introdução

Segundo o IBGE (2023), em junho de 2023, a safra brasileira de cereais, leguminosas e oleaginosas atingiu 307,3 milhões de toneladas, um aumento de 16,8% em relação a 2022, quando foram produzidas 263,2 milhões de toneladas. Os principais produtos desse grupo são o arroz, o milho e a soja, que juntos correspondem a 92,1% da produção estimada e a 87,2% da área colhida.

A região SEALBA compreende a junção das siglas dos estados Sergipe, Alagoas e Bahia, possui pouco mais de 5 mil hectares de área e ganhou destaque no nordeste devido seu potencial agrícola [EMBRAPA, 2019]. A terceira safra de feijão e milho da região do SEALBA, nordeste brasileiro, foram favorecidas pelos altos volumes de precipitação observados na faixa Leste da região nas primeiras semanas de junho, o que favoreceu o desenvolvimento das culturas [CONAB, 2023].

No Brasil as colhedoras autopropelidas realizam o monitoramento de produtividade. Outra opção seria o uso de equipamentos capazes de realizar a medição como o desenvolvido por Tabelsi & Nelson (2007) o qual utiliza micro-ondas para a determinação da densidade e umidade do grão através da permissividade livre complexa, porém, apesar de conseguir provar a eficiência do equipamento, o estudo não deixa claro quanto a facilidade no manuseio do mesmo, o que pode torná-los inacessíveis aos pequenos produtores.

Com o crescente avanço da tecnologia em sensores de automação, é possível encontrar máquinas e implementos agrícolas que conseguem medir diretamente dados de alguns insumos e propriedades dos grãos de forma pontual na lavoura, o que possibilitou a criação de mapas de produtividades, essenciais na agricultura de precisão.

O Arduíno UNO é uma plataforma de desenvolvimento de projetos eletrônicos que consiste em um conjunto de *hardware* e *software* de código aberto. Seu componente principal permite o controle de portas digitais ou analógicas, viabilizando a interação entre o ambiente físico e virtual. Isso é realizado por meio da execução de instruções pré-definidas, baseadas na linguagem de programação C++, e enviadas para o controlador utilizando do Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) próprio.

A modelagem por deposição fundida (FDM), também conhecida como fabricação aditiva por filamento, é um processo realizado na engenharia agrícola que consiste na utilização de um polímero termoplástico na forma de filamento, o qual é inserido em uma máquina especializada, onde é aquecido e depositado em camadas sucessivas sobre a superfície da mesa da impressora até a peça ser gradualmente construída de acordo com uma definição prévia.

Essa tecnologia permite a fabricação de peças complexas, caracterizadas por sua resistência, durabilidade e precisão. Além disso, a FDM possibilita a repetibilidade do processo em qualquer impressora 3D, tornando-o acessível em termos de custo de produção.

Objetivou-se desenvolver com este projeto um equipamento com sistema de baixo custo para determinação de umidade e massa específica aparente de grãos capaz de ser produzido em larga escala, com fácil usabilidade e adequado em relação as normas das agências reguladoras.

2. Metodologia

O desenvolvimento do protótipo para medição da massa específica aparente e umidade de grãos foi realizado no Laboratório de Máquinas e Motores (LAMOT) do Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), localizado no Campus São Cristóvão, SE.

A modelagem do desenho industrial foi realizada no *software SolidWorks*, viabilizando a construção de um modelo tridimensional que foi posteriormente materializado utilizando uma impressora 3D do modelo *CREALITY ENDER 3 PRO*. O material empregado na impressão foi o polímero termoplástico de ácido poliático (PLA).

O protótipo é composto por vários componentes, incluindo eletrodos cilíndricos, uma placa Arduino UNO, um módulo micro SD SPI, um sensor de temperatura DS18B20, servomotores, uma tela LED, uma célula de carga e um módulo amplificador de sinal HX711. A programação foi feita em C++ no ambiente Arduino.

Para calibrar o sensor de temperatura, foram comparados os dados com um termohigrômetro digital. O sensor mede a temperatura dos grãos na moega de entrada. O servomotor remove o excesso de grãos e a célula de carga estima a densidade aparente. Uma tensão é aplicada ao eletrodo externo para estimar a capacitância. Os dados são exibidos em um display e armazenados em um cartão de memória.

A fim de assegurar a estabilidade e a medição correta da massa específica aparente, foram incorporados ao equipamento quatro pés ajustáveis e um nível de bolha, o que possibilita medições precisas mesmo em superfícies irregulares.

O sensor de massa específica aparente usa uma célula de carga que altera a resistência com o peso aplicado. Esta célula é conectada a um microcontrolador Arduino UNO através de um amplificador de sinal HX711. O protótipo coleta 50 leituras de massa, descarta os grãos e calcula a média dos dados. A calibração foi feita comparando os dados do protótipo com um equipamento de referência, usando grãos de milho e feijão.

O sensor de umidade usa dois eletrodos cilíndricos em uma base cilíndrica, projetados no *SolidWorks* e impressos em 3D. As propriedades dielétricas foram obtidas usando um circuito elétrico capacitivo. Testes preliminares foram realizados para determinar e compensar a capacitância indesejada. A calibração foi feita usando amostras de milho e feijão com diferentes teores de umidade.

Os resultados obtidos foram representados graficamente e correlacionados com os valores da constante dielétrica. Por meio desse processo, obteve-se uma equação de calibração ajustada utilizando um modelo de regressão, permitindo a determinação da umidade dos grãos com base nas medições realizadas pelo protótipo.

3. Resultados e Discussões

O teor de água dos grãos de feijão apresentaram uma variação de 8,21% a 13,75%, conforme demonstra o gráfico da Figura 1. Após análises estatísticas, o coeficiente de determinação (r^2) demonstrou-se próximo de 1, o que é evidenciado pela proximidade dos pontos a linha de melhor ajuste.

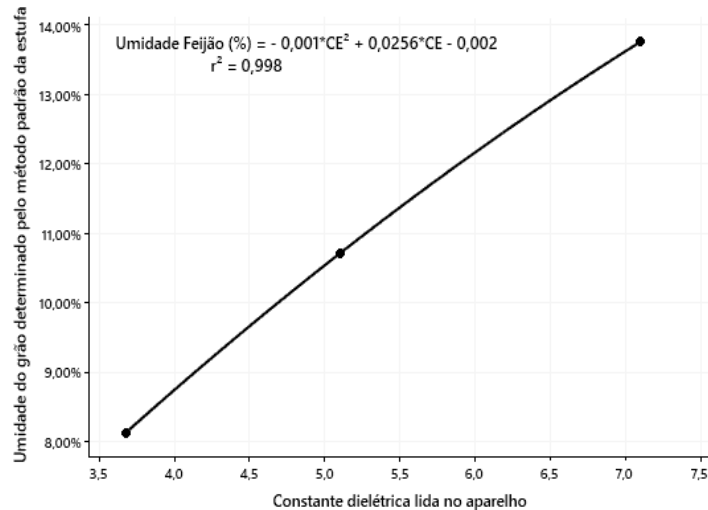


Figura 1. Gráfico de comparação entre o valor de umidade determinado pelo método padrão da estufa e registrado pelo protótipo dos grãos de feijão.

Do mesmo modo, o teor de água dos grãos de milho apresentaram uma variação de 6,18% a 11,08% com coeficiente de determinação (r^2) próximo a 1, o que claramente é observado no gráfico apresentado pela Figura 2.

Os resultados obtidos estão de acordo com as expectativas, uma vez que a faixa de teor de água dos grãos está dentro do alcance para uma determinação satisfatória utilizando o método capacitivo. Nas Figuras 1 e 2, é possível observar os gráficos comparativos entre o teor de água determinado pelo método padrão da estufa e a constante dielétrica registrada pelo dispositivo.

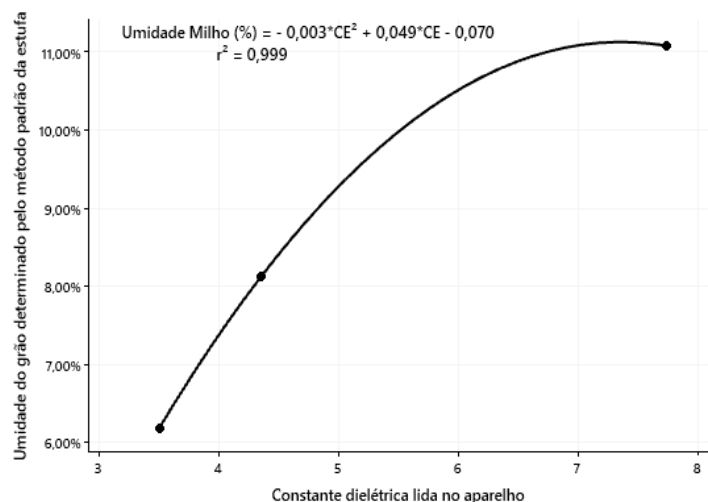


Figura 2. Gráfico de comparação entre o valor de umidade determinado pelo método padrão da estufa e registrado pelo protótipo dos grãos de milho.

Foram realizadas duas medições de massa específica aparente para os grãos milho e feijão. Os valores referentes a massa específica aparente nos grãos de feijão variaram

entre 729,96 a 848,37 g/P.H. com coeficiente de determinação (r^2) próximo a 1, o que é possível de ser observado no gráfico da Figura 3 onde os pontos estão próximos a linha de melhor ajuste.

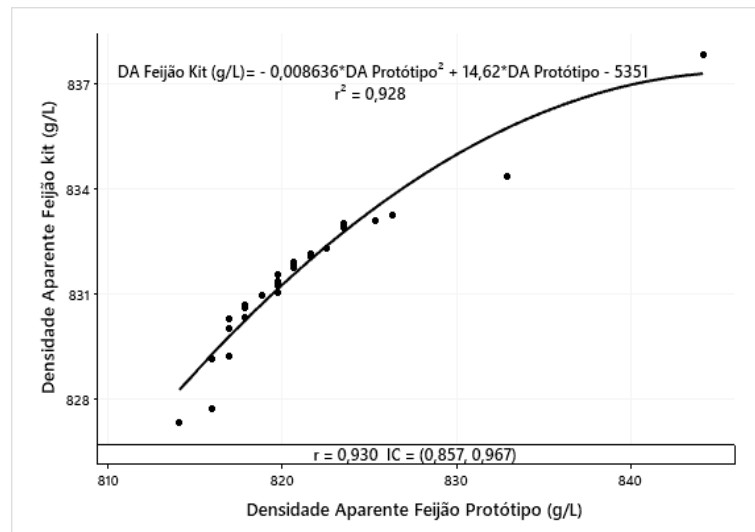


Figura 3. Gráfico de comparação entre o valor de densidade aparente determinado pelo método padrão da estufa e o registrado pelo protótipo dos grãos de feijão.

Os valores obtidos variaram entre 789,65 a 810,17 g/PH para o milho com coeficiente de determinação (r^2) próximo a 1, conforme apresentado na Figura 4. Essa variação ocorreu devido à diferença de umidade entre os grãos.

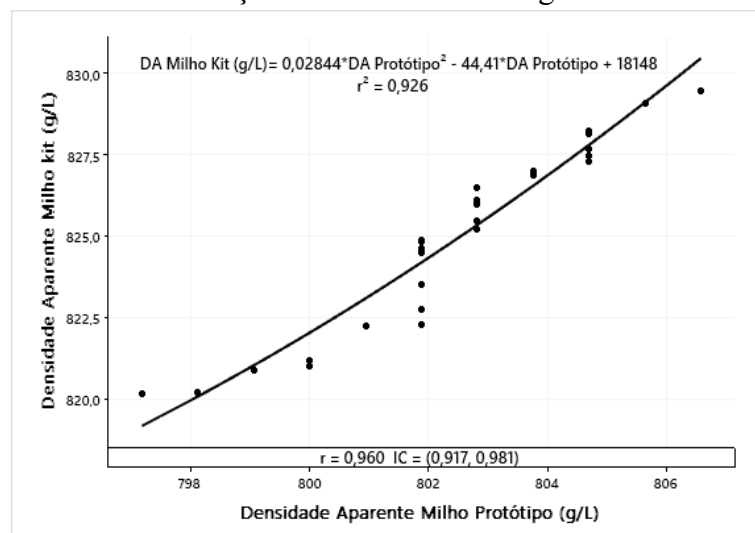


Figura 4. Gráfico de comparação entre o valor de densidade aparente determinado pelo método padrão da estufa e o registrado pelo protótipo dos grãos de milho.

Os coeficientes de determinação (r^2) foram similares entre os dois tipos de grãos, contrariando os achados do estudo por Botelho et al. (2018), o qual afirmou que o tamanho e a forma dos grãos influenciam na determinação da massa específica aparente.

O resultado final da modelagem do protótipo pode ser observado na Figura 5 e os materiais adquiridos para sua construção totalizaram R\$ 594,00. Esse valor representa apenas 22,86% do custo do kit de peso hectolitro que é aproximadamente R\$ 2.600,00 no site da fabricante *GEHAKA* e é capaz de determinar apenas o peso específico dos grãos.



Figura 5. Modelagem do desenho industrial realizada pelo software *SolidWorks* e, posteriormente, impresso em 3D com uso da tecnologia FDM.

4. Conclusão

Os resultados obtidos para a massa específica aparente apresentam variação esperada, o que demonstra um coeficiente de determinação significativo. A acessibilidade financeira do equipamento possibilita sua implementação na Agricultura de Precisão, especialmente para pequenos produtores.

5. Referências

- Bland, J.M., Altman, D.G. (1986) Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*, february.
- Botelho, F.M., Silva, R.S., & Souza, L.C. (2018) Influence of grain size and shape on bulk density determination. *Journal of Agricultural Engineering*, 251-259, Dourados.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Boletim de Monitoramento Agrícola, Brasília, DF, v.12, n. 06, Jun. 2023.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores IBGE: Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Estatística da Produção Agrícola. Jun. 2023.
- EMBRAPA Tabuleiros Costeiros. Sealba: região de alto potencial agrícola no Nordeste brasileiro. Documentos 221. Aracaju, SE. ISSN 1678-1952. Dez. 2019.