

ESTUDO DAS PROPRIEDADES DIELÉTRICAS DE GRÃOS DE ARROZ PARBOILIZADO EM DIFERENTES NÍVEIS DE UMIDADE

GRACIELA BUCK¹; ITAEL GOMES BORGES²; THALIA STRELOV DOS
SANTOS³; RITA DE CASSIA MOTA MONTEIRO⁴; ÁDAMO DE SOUSA ARAÚJO⁵;
GIZELE INGRID GADOTTI⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – graciela-buck@hotmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – itaelborges@outlook.com

³Universidade Federal de Pelotas – thalia.strelov@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – ritamonteiro@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – adamoeng@gmail.com

⁶Universidade Federal de Pelotas – gizeleingrid@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A caracterização das propriedades dielétricas de materiais agrícolas é um campo de crescente interesse, com aplicações cada vez mais relevantes em diversas áreas, desde a otimização da produção agrícola até a garantia da qualidade dos produtos alimentícios que chegam as nossas mesas (MOURA, 2012). Entre os produtos agrícolas que desempenham um papel fundamental na segurança alimentar global, destacam-se os grãos de arroz, que servem como uma fonte crucial de energia e nutrientes para bilhões de pessoas em todo o mundo (FERREIRA; BARRIGOSI, 2021).

Entretanto, a qualidade e a segurança alimentar exigem uma compreensão profunda das características dos grãos de arroz parboilizados, especialmente no que diz respeito ao seu teor de água. A umidade é um fator crítico que afeta diretamente a textura, a durabilidade e a capacidade de armazenamento desses grãos (ARAÚJO, 2022). Além disso, recentemente, há um interesse crescente em investigar as propriedades dielétricas desses grãos, uma vez que tais informações podem oferecer esclarecimentos importantes sobre a qualidade do produto e sua adequação para aplicações específicas na indústria alimentícia (SILVA; CORRÊA, 2000). A capacitância, como parâmetro principal deste estudo, é um indicador fundamental das características dielétricas dos grãos, e seu comportamento sob diferentes condições de frequência e umidade fornece informações importantes para desenvolvimento de sensores capacitivos, por exemplo. Há poucos trabalhos científicos nessa área.

O objetivo central deste estudo é aprofundar nossa compreensão das propriedades dielétricas dos grãos de arroz parboilizado, explorando como essas propriedades variam com a frequência e a umidade. Tais conhecimentos têm implicações práticas significativas, que abrangem desde o controle de qualidade na indústria alimentícia até a otimização do armazenamento e do processamento de grãos de arroz parboilizados.

2. METODOLOGIA

O experimento foi conduzido no Laboratório de Agrotecnologia na Universidade Federal de Pelotas, localizado no município de Capão do Leão, RS. Foram utilizados grãos de arroz parboilizado oriundos de uma empresa de beneficiamento de arroz do município de Pelotas, RS. E também, um sensor de

capacitância desenvolvido para conter aproximadamente 250 mL de grãos. Para determinar a capacitância desse sensor, empregou-se uma adaptação da equação que modela a estrutura de um capacitor cilíndrico, baseada na Lei de Gauss desenvolvido por Araújo (2022). Para conduzir as medições, conectou-se ao sensor um dispositivo de medição LCR (Indutância, Capacitância e Resistência), que é capaz de avaliar a impedância elétrica, representando assim as alterações no fluxo magnético e a leitura dos parâmetros de resistores, indutores e capacitores em diversas frequências.

A fim de obter a permissividade dielétrica do material, o sensor foi preenchido com os grãos e, em seguida, o excesso foi removido, resultando na medida de capacitância com o sensor cheio (C_{cheio}). Imediatamente após, a medida foi repetida com o sensor vazio (C_{vazio}). A relação entre a medida do sensor quando abastecido com grãos e quando vazio reflete diretamente a influência da permissividade causada pelo material, uma vez que todos os outros elementos estruturais do sensor (ϵ_0 , L , D_B e D_A) permanecem constantes, neutralizando qualquer efeito que possam ter, restando apenas a permissividade dielétrica total conforme descrito por Araújo (2022).

Para a análise estatística, realizou-se três repetições em cada nível de frequência avaliado. Investigou-se o parâmetro da permissividade dielétrica total (ϵ) em relação ao conteúdo de água dos grãos, examinando-o em três frequências distintas (1 kHz, 10 kHz e 100 kHz) e em diferentes níveis de umidade (9%, 13% e 16 %). A análise estatística envolveu a aplicação da análise de variância de fator duplo com repetição (ANOVA), teste de Tukey para a comparação das médias e a utilização da regressão linear.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de regressão linear revela que, com base nos valores de R^2 , há uma tendência de aprimoramento na precisão à medida que a frequência aumenta (Figura 1). No entanto, notamos um nível de aumento na medida a 10 kHz. É evidente uma redução na orientação das retas à medida que a frequência aumenta, indicando que a variação na permissividade dielétrica é menos pronunciada em comparação com a variação na umidade. Contudo, ao considerarmos o R^2 , percebemos que esses dados têm maior representatividade. Na frequência de 10 kHz, alcançamos o desempenho mais otimizado, o que indica que o aumento nas frequências resulta em níveis de precisão superiores, conforme relatado por KROESSIN et al. (2020).

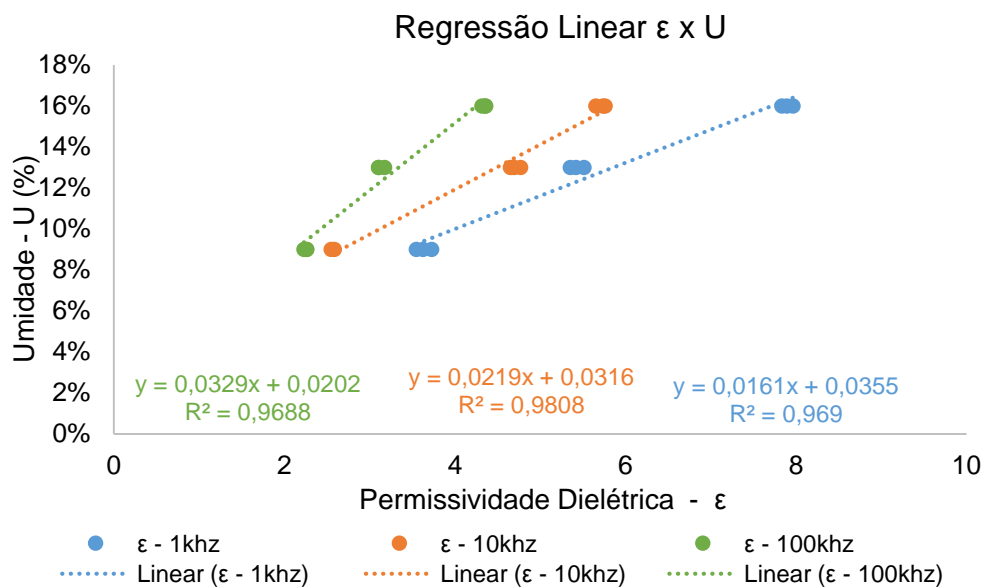


Figura 1. Regressão linear das umidades do arroz parboilizado com as permissividades dielétricas totais nas frequências 1 kHz, 10 kHz e 100 kHz.

Na análise de variância de fator duplo com repetição (ANOVA) foram observados resultados bastante significativos oriundos dos dados da análise de permissividade total dos grãos. Conforme pode ser verificado na Tabela 1, o valor de F é maior que o $F_{\text{crítico}}$, e isso apresenta que existe significância entre todas as fontes de variação (amostra, coluna e interação) e o valor de P sendo menor que 0,05 comprova essa significância (valor o qual foi adotado no estudo de 5% de significância).

Tabela 1. Análise de variância da permissividade em diferentes umidades.

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	F crítico
Amostra	45,08301614	2	22,54151	6811,71	1,21E-26	3,554557146
Colunas	26,2864565	2	13,14323	3971,689	1,54E-24	3,554557146
Interações	4,442395777	4	1,110599	335,6065	1,23E-16	2,927744173
Dentro	0,059566124	18	0,003309			
Total	75,87143453	26				

Para diferenciar quais as umidades foram mais significativas dentre as diferentes frequências analisadas, foi utilizado o teste de Tukey a um nível de significância de 5%, comparando o valor da diferença mínima significativa (D.M.S.) com todos os possíveis pares de médias. Através dos cálculos realizados, encontrou-se uma DMS = 0,12 e conforme o Teste de Tukey verificou-se que a permissividade dielétrica (ϵ) em todas as frequências (1 kHz, 10 kHz e 100 kHz) diferenciou significativamente os níveis de umidade, conforme a Tabela 2. Essa observação ressalta a relevância da permissividade dielétrica como um recurso indireto essencial para mensurar o teor de água em grãos e sementes.

Tabela 2. Comparação das médias no teste de ANOVA para diferentes umidades.

Tratamentos

	1 kHz	10 kHz	100 kHz
16%	7,90a	5,72a	4,34a
13%	5,43b	4,71b	3,13b
9%	3,63c	2,58c	2,25c

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que o aumento da frequência de medição do sensor desempenha um papel fundamental no aprimoramento da estabilidade dos dados. Além disso, a eficiência da permissividade dielétrica como uma ferramenta indireta para medir o teor da água em grãos e sementes é evidente.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, G.D. **Incidência de defeitos em grãos de arroz ao longo do ano em armazenamento em silos metálicos** – um estudo de caso em indústria de grande porte. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Curso de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas.

DE MOURA, E.E. **Proposta computacional para medição on-line do teor de água de grãos de sorgo**. 2012. 159f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Curso de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

FERREIRA, C. M.; BARRIGOSI, J. A. F. **Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2021. ISBN 978-65-87380-27-8. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1134359/1/lv-2021.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2023.

KROESSIN, F.; ARAÚJO, A.; GADOTTI, G. I.; VILELLA, F. A.; SILVA, H. P. Desenvolvimento de um sensor capacitivo para massa específica de sementes de soja. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 49., 2020, Brasil. 2020

SILVA, J. S.; CORRÊA, P. C. Estrutura, composição e propriedades dos grãos. In: J. S. Silva (Eds), **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000. Cap.2, p. 21-37.