

PARÂMETROS OPERACIONAIS DE AVALIAÇÃO DA COMPACTAÇÃO NO ARMAZENAMENTO A GRANEL DE ARROZ LONGO-FINO

ROCHA, Jeferson Cunha da¹; ROSCHILD, James Bunde³; AZEVEDO, Paulo Alberto³; PASA, Ezequiel Helbig; ESCOUTO, Cauê Duarte²; GAIOSO, César Augusto³; OLIVEIRA, Maurício de⁵; ELIAS, Moacir Cardoso⁵

Palavras-chave: Características físicas do arroz, dimensões do arroz

INTRODUÇÃO

Qualquer operação de armazenamento de grãos a granel, em escala comercial, resultará em algum grau de compactação dessa massa e conseqüente o aumento da massa específica aparente do produto (CALDERWOOD, 1973). A massa de grãos depositada a granel consiste em uma matriz complexa de partículas com forma irregular, e cada uma com suas próprias características. Para entender melhor o fenômeno de compactação da massa de grãos, é essencial considerar a variação de propriedades da massa de partículas na condição de armazenamento (THOMPSON *et al.*, 1987). Este tipo de alteração na massa específica aparente é referido como compactação e é um fator de interferência importante na estimativa de quantidade de material em armazenamento (Tuner *et al.*, 2016).

Cheng *et al.* (2015) e (2017) estudando o comportamento da compactação de massa em grãos de milho e de trigo, utilizando pressões de até 300 kPa encontraram percentuais de compactação de 10,52% e 10,83%, respectivamente, para uma pressão de 250 kPa, e observou que a massa específica aparente aumenta com o aumento da pressão de compactação, e que a maior parte da compactação ocorreu no estágio inicial da compactação. Diversos estudos investigaram as alterações na massa específica aparente de grãos decorrente da compactação, dentre os autores mais citados para o arroz como Clower *et al.* (1973) e Thompson *et al.* (1987) demonstram que diferentes grãos, mais expressivos comercialmente, relacionados anteriormente (soja, trigo, milho e aveia) o arroz em casca é o grão com maior percentual de compactação.

O objetivo neste estudo foi verificar o comportamento da compactação da massa de grãos de arroz em casca, longo fino, depositado a granel, utilizando pressões de compactação de 50 kPa, 90 kPa, 130 kPa, 170 kPa e 210 kPa.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se grãos de arroz em cascas (*Oryza sativa* L.), da classe logo fino, conforme regulamento de identidade e qualidade do arroz apresentado pela Instrução Normativa nº06, Brasil (2009), com umidade próxima a 13%, determinada segundo normas da ASAE (2000), em estufa com circulação natural de ar durante 24 horas a 105°C. O ensaio experimental de compactação da massa de grãos depositada a granel utilizou metodologia e protótipo de compactação (Figura 1), relatados por Rocha (*et al.*, 2020).

Os ensaios de compactação foram realizados em triplicatas e considerados válidos somente aqueles que apresentaram uma diferença entre repetições menor do que 1% nos valores de massa específica aparente calculada, em cada pressão de compactação, correspondente ao percentual sugerido por Blight (2010). O encerramento do processo de compactação da massa foi considerado

¹ Eng. Agrícola, Dr., PPGCTA-UFPEL, rochajcr@gmail.com.

² Acadêmico do Curso de Agronomia da FAEM-UFPEL, E-mails jamesbunde96@gmail.com; pauloalbertoazevedo@hotmail.com; ezequielpasa@gmail.com; caueduarte20@gmail.com

³ Eng. Agrícola, Mestre., PPGCTA-UFPEL. E-mail cesaraugustogfilho@hotmail.com

⁵ Eng. Agrônomo, Dr. Professor do DCTA-FAEM-UFPEL E-mails mauricio@labgraos.com.br; eliasmc@uol.com.br.

após 24 horas de compressão, o dobro do tempo necessário para grãos de trigo conforme proposto por Cheng et al. (2017). O valor da massa específica aparente da massa de grãos compactada foi calculado utilizando a equação (1) proposta por Thompson et al. (1987). O percentual de compactação de massa foi determinado utilizando a equação (2) proposta por Thompson et al. (1983).

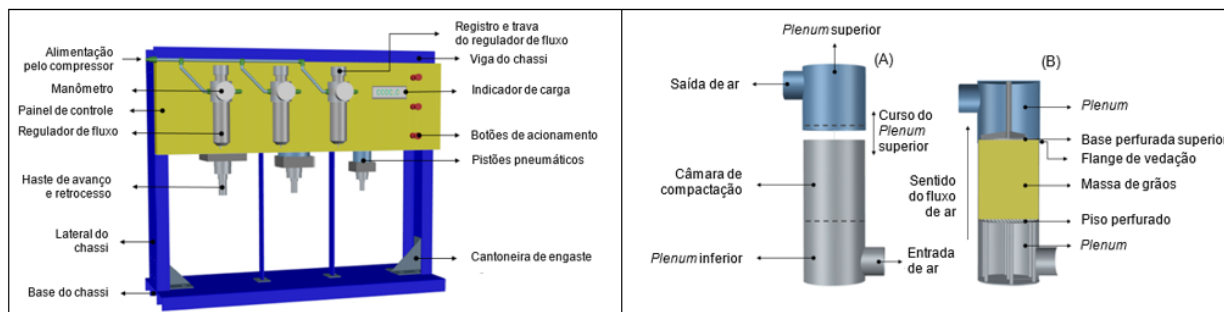


Figura 1. Protótipo pneumático para simulação de compressão axial (esquerda), e câmara de compactação da massa de grãos depositada a granel (direita).

$$D_i = D_0 \frac{h}{(h - \Delta h)} \quad (1)$$

$$C_{\text{mass}} = \left(\left(\frac{\bar{D}_i}{D_0} \right) - 1 \right) 100 \quad (2)$$

Os dados experimentais de massa específica aparente, nas diferentes intensidades de compactação, foram analisados em função do desempenho dos modelos apresentados na tabela 1, (Eq. 3 a 8).

Tabela 1. Modelos preditivos de massa específica aparente na compactação da massa de grãos, apresentados por Tuner (2016).

Autor	Equação
Thompson et al. (1987)	$D_i - D_0 = a \cdot P + b \cdot \sqrt{P} + c \cdot M_c \cdot P$ (3)
Thompson ^(a) et al. (1987)	$D_i - D_0 = a \cdot P + b \cdot P^d + c \cdot M_c \cdot P$ (4)
Overhults ^(a) et al. (1973)	$D_i - D_0 = (D_\infty - D_0) \cdot \left(1 - e^{(-a \cdot P^b)} \right) + b \cdot M_c \cdot P$ (5)
Steffe ^(a) et al. (1992)	$D_i - D_0 = a \cdot (P^b) \cdot e^{(c \cdot M_c)}$ (6)
Johanson et al. (1992)	$D_i = D_0 \cdot (1 + a \cdot P)^b + c \cdot M_c \cdot P$ (7)
Cheng et al. (2017)	$D_i = a \cdot P^2 + b \cdot P + c$ (8)

(a) Modificado por Tuner (2016).

Uma análise de variância (ANOVA) utilizando o teste HSD de Tukey, a 95% de significância ($p < .05$), foi realizada para examinar as diferenças nas características físicas dos grãos, a influência da pressão de compactação sobre a massa específica aparente e sobre o percentual de compactação. Cada modelo, alimentado pelos dados experimentais, foi examinado utilizando a análise de regressão não linear pelo método Quasi-Newton.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A massa específica aparente do arroz em casca (Tabela 2), apresentou diferença significativa entre os distintos formatos de grãos e a pressão de compactação. Os valores de massa específica aparente, dos grãos de arroz, aumentaram em função da pressão de compactação. Este comportamento também foi observado para os estudos com milho e com o trigo apresentados por Cheng et al. (2015) e Cheng et al. (2017), respectivamente.

Tabela 2 – Influência da pressão de compactação sobre a massa específica aparente e no percentual de compactação do arroz em casca, da classe longo fino, depositado a granel.

Pressão (kPa)	Massa específica aparente (kg.m ³)	Percentual de compactação (%)
0	617 ^f ± 0,98	---
50	642 ^e ± 2,72	3,92 ^c ± 0,18
90	650 ^d ± 1,73	5,52 ^{bc} ± 0,27
130	661 ^c ± 1,46	7,15 ^b ± 0,12
170	673 ^b ± 2,25	8,51 ^b ± 0,14
210	685 ^a ± 3,48	10,90 ^a ± 0,15

*Médias aritméticas simples, de três determinações ± desvio padrão, seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância ($p < 0,05$).

Os percentuais de compactação (Tabela 2) apresentaram valores crescentes em função do aumento da pressão de compactação. Este comportamento também foi verificado nos estudos sobre milho e trigo realizados por Cheng et al. (2015) e (2017). Percentuais de compactação de grãos relatados por Thompson et al. (1987) mostraram que, para uma mesma pressão de compactação, o arroz em casca apresentou os maiores valores de compactação seguido do trigo e do milho. Este comportamento também é verificado pelos maiores valores percentuais encontrados para o arroz em casca neste estudo e os percentuais encontrados nos estudos sobre milho (10,52% a 250 kPa) e trigo (10,83% a 250 kPa) apresentados por Cheng et al. (2015) e (2017), mesmo havendo 40 kPa a mais que a pressão aplicada para o arroz em casca neste estudo.

Pelo comportamento dos modelos preditivos (Figura 2), em relação aos pontos experimentais, verificou-se que todos os modelos, independente da pressão de compactação, apresentaram boa proximidade aos pontos experimentais, entretanto o modelo de Cheng apresentou a melhor acurácia, menores valores de resíduo, em relação aos pontos experimentais. Devido à ausência da variável de teor de umidade no modelo de Cheng, e considerando que este é um fator de interferência mais proeminente em pressões abaixo ou muito próximas a 35 kPa, neste caso, verificou-se que o modelo de Johanson apresentou os menores resíduos.

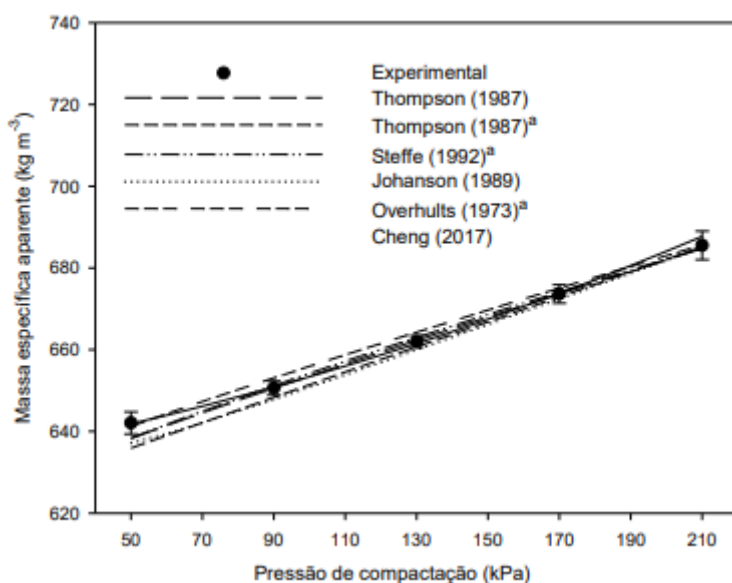


Figura 2. Comportamento dos pontos experimentais em relação às curvas obtidas pelos modelos preditivos de massa específica aparente, na compactação da massa de grãos de arroz em casca, da classe longo fino, depositados a granel.

CONCLUSÃO

As diferentes pressões de compactação produziram distintos valores de massa específica aparente, havendo diferença significativa entre os percentuais de compactação. Quanto maior for a pressão de compactação, maior será o valor de massa específica aparente da massa de grãos compactada. O modelo de Cheng apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais para a compactação de grãos do arroz em casca, seguido do modelo de Johanson. Pelo comportamento dos valores de massa específica aparente, no caso da ocorrência de compactação de massa, sugere-se que a determinação da quantidade de grãos, realizada pelo método de cubagem, considere um valor de massa específica aparente na condição da pressão de compactação.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao CNPq, à CAPES e à CONAB, pelas bolsas e pelo apoio financeiro para a execução do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [ASAE. (2000). American Society of Agricultural Engineers. Moisture measurement unground grain and seeds. In: Standards, 2000. St. Joseph: ASAE, 563p.
- BRASIL. (2017). Regras para análise de sementes. Ministério da agricultura pecuária e abastecimento (MAPA). Brasília. 398p. 2009a. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publica-coes-insumos/2946_regras_analise__sementes.pdf. Acessado em: 10 de mai. 2022.
- BRASIL. (2009). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 6. Diário Oficial da União, Seção 1, p. 3.
- BLIGHT, G. (2010). Geotechnical engineering for mine waste storage facilities. Leiden, Netherlands: CRC Press, Taylor & Francis Group, 652, 2010.
- CALDERWOOD, D. L. (1973). Resistance to Airflow of Rough, Brown and Milled Rice. TRANSACTIONS of the ASAE. p. 525-532.
- CLOWER, R. E., Ross, I. J. and White, G. M. (1973). Properties of compressible granular materials as related to forces in bulk storage structures. Transactions of the ASAE, 16(3): 478-481.
- CHENG, X.; ZHANG, Q.; YAN, X. & SHI, C. (2015). Compressibility and equivalent bulk modulus of shelled corn. Biosystems Engineering, v.140, p. 91 – 97.
- CHENG, X.; ZHANG, Q.; SHI, C.; YAN, X. (2017). Model for the prediction of grain density and pressure distribution in hopper-bottom silos. Biosystems engineering, v. 163, p. 159 – 166.
- ROCHA, J. C.; Pohndorf, R. S.; Meneghetti, V. L.; Oliveira, M.; Elias, M. C. Effects of mass compaction on airflow resistance through paddy rice grains. Biosystems Engineering. Volume 194, June 2020, p. 28-39.
- THOMPSON, S. A., & Ross, I. J. (1983). Compressibility and frictional properties coefficients of wheat. Transactions of ASAE, 26(4): 1171-1176.
- THOMPSON, S. A., McNeill, S. G., Ross, I. J., & Bridges, T. C. (1987). Packing factors of whole grains in storage structures. Appl. Eng. Agric., 3(2): 215-221.
- TURNER, A. P., Montross, M. D., McNeill, S. G., Sama, M. P., Casada, M. E., Boac, J. M., Bhadra, R., Maghirang, R. G., Thompson, S. A. (2016). Modeling the compressibility behavior Of hard red wheat varieties. American Society of Agricultural and Biological Engineers, vol. 59(3): 1029-1038.