

**Evento:** XXXIII Seminário de Iniciação Científica ▾**MODELAGEM COMPUTACIONAL DA AERAÇÃO DE GRÃOS DE
ARMAZENAGEM SOB DIFERENTES CENÁRIOS DE TEMPERATURA NO
MUNICÍPIO DE DOM PEDRITO – RS¹****Kelvin Jardel Robe², Marcia de Fátima Brondani Binelo³, Manuel Osorio Binelo⁴**¹ Projeto de pesquisa desenvolvido na Unijui;² Bolsistas de programas de fomento Capes, curso de Mestrado em Modelagem Matemática e Computacional - GMAC.³ Profa. Dra. Pesquisadora do Grupo de Matemática Aplicada e Computacional– GMAC – Unijui.⁴ Prof. Dr. Pesquisador do Grupo de Matemática Aplicada e Computacional– GMAC – Unijui.**INTRODUÇÃO**

O armazenamento de grãos em silos requer rigoroso controle das condições internas, sendo a temperatura um dos fatores mais críticos para evitar perdas qualitativas. A elevação da temperatura no interior da massa de grãos pode intensificar a atividade respiratória, favorecer o desenvolvimento de fungos e insetos e acelerar a deterioração. A soja, principal cultura oleaginosa produzida no mundo, ocupa posição de destaque como fonte de proteína para a alimentação humana e animal, desempenhando papel estratégico na segurança alimentar e no comércio internacional (CONAB, 2015).

Além dos impactos já observados na agricultura, a mudança climática tende a alterar padrões de temperatura e umidade que afetam diretamente o processo de armazenamento de grãos. O aumento da frequência de eventos extremos, como as ondas de calor, podem comprometer a eficiência da aeração e aumentar o risco de perdas pós-colheita. Essas alterações exigem estratégias de manejo mais eficientes e adaptadas a novas condições ambientais (IPCC, 2021).

A aeração, técnica baseada na passagem de ar forçado através da massa de grãos, é amplamente utilizada para resfriar o produto e manter a uniformidade térmica (JAYAS & WHITE, 2003). O sucesso desse processo depende diretamente da temperatura e umidade relativa do ar externo, que variam conforme o clima e a estação do ano.

O município de Dom Pedrito, localizado na região da Campanha Gaúcha, destaca-se como um importante polo agrícola, com significativa produção de soja, cultura que nos últimos anos tem apresentado forte expansão na área cultivada e nos volumes colhidos. Sua localização estratégica e condições climáticas particulares influenciam diretamente nas



estratégias de colheita, secagem e armazenagem, tornando imprescindível o desenvolvimento de ferramentas e modelos que auxiliem no manejo adequado da temperatura durante o armazenamento.

Além do cenário real, foram elaborados dois cenários hipotéticos, com acréscimos de +2°C e +4°C na temperatura, a fim de avaliar o impacto do aumento de temperatura associado às projeções do aquecimento global. A comparação entre esses cenários permite compreender como a elevação da temperatura ambiente pode influenciar a eficiência da aeração e o tempo necessário para o resfriamento dos grãos, fornecendo subsídios para a adaptação das práticas de armazenamento frente às mudanças climáticas.

Este estudo foi motivado também, com o propósito de ir ao encontro dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), em particular à ODS 2, que busca garantir a segurança alimentar e também a ODS 13, ao abordar os impactos do aquecimento global na conservação dos grãos e propor estratégias de adaptação.

METODOLOGIA

O presente estudo foi desenvolvido a partir da obtenção de dados meteorológicos coletados no município de Dom Pedrito, RS, entre os dias 14 e 16 de maio de 2025, adquiridos através do portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram obtidos os valores horários da temperatura, abrangendo um período total de 72 horas. Esses valores foram utilizados como variáveis de entrada para um modelo computacional de simulação da temperatura interna de grãos de soja armazenados. As propriedades físicas e térmicas do ar e dos grãos, como densidade, calor específico e porosidade, foram parametrizadas de acordo com valores típicos encontrados na literatura para a soja em condições semelhantes às da região.

Segundo Khatchatourian e Oliveira (2006), modelos matemáticos como o Reator Homogêneo (RH) podem ser utilizados para simular a transferência de calor em grãos armazenados, permitindo uma avaliação das condições térmicas durante a aeração. O modelo foi aplicado considerando o balanço de energia entre os grãos e o ar, descrito pela seguinte equação:



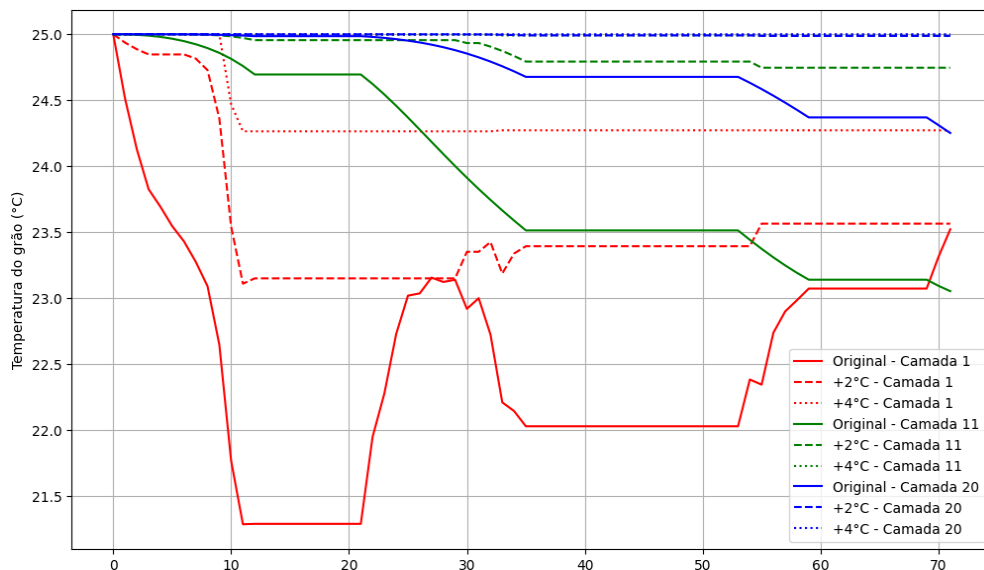
$$c_g \cdot \rho_g \cdot \Delta y_i \cdot A(1 - \epsilon) \cdot (T_{g(i)}^{(n)} - T_{g(i)}^{(n+1)}) = c_{pa} \cdot \rho_{pa} \cdot v \cdot A\epsilon \cdot \left(T_{g(i)}^{(n+1)} - \frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} T_{a(i-1)}(\tau) d\tau \right)$$

A modelagem foi implementada em linguagem Python, utilizando bibliotecas como *NumPy* e *Matplotlib* para processamento numérico e visualização gráfica, respectivamente. O modelo divide a massa de grãos em camadas verticais e simula, hora a hora, o efeito da aeração sobre a temperatura interna, considerando o fluxo de ar forçado e a diferença térmica entre o ar ambiente e os grãos. Foram simulados três cenários: temperatura do ar original(C1), obtida pelo INMET, temperatura original acrescida de 2 °C(C2) e a temperatura original acrescida de 4 °C(C3). Para cada cenário, calculou-se o número de horas em que a temperatura ambiente esteve inferior à máxima temperatura do grão, condição adotada como critério para ativação da aeração.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar o desempenho do modelo Reator Homogêneo (RH) na simulação da aeração, foram analisadas as variações de temperatura dos grãos ao longo do tempo em diferentes profundidades do silo. Essa análise permite compreender a dinâmica térmica durante o processo, sendo possível avaliar a eficiência do resfriamento nas diferentes camadas. Conforme a Figura 1 podemos verificar a variação da temperatura dos grãos nas camadas 1, 11 e 20, que representam, respectivamente, a superfície, no meio e na base do silo.

Figura 02: Tempo de aeração possível para os três cenários analisados.

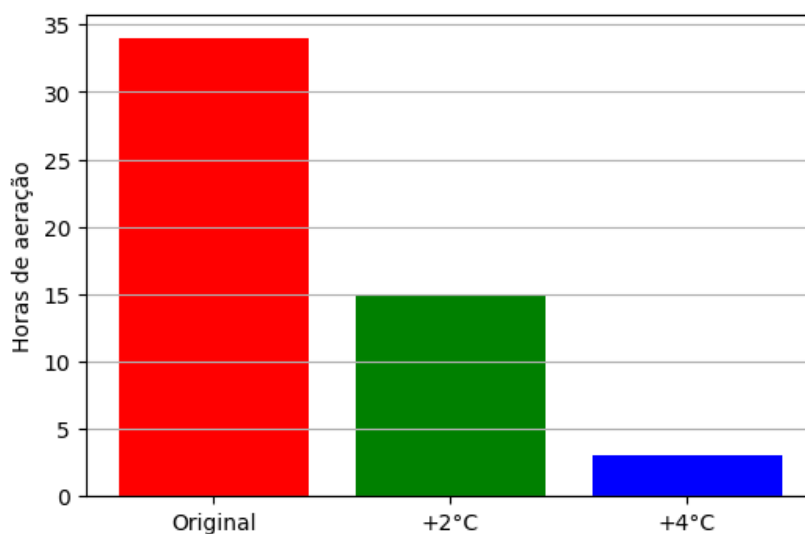


Fonte: Autores, 2025.



Os resultados da modelagem indicam que o aumento da temperatura ambiente, simulado nos cenários de $+2^{\circ}\text{C}$ e $+4^{\circ}\text{C}$, impacta diretamente o tempo necessário para a aeração dos grãos no silo. Conforme a figura 02, podemos observar que o cenário com aumento de $+4^{\circ}\text{C}$ apresentou o menor tempo de aeração, em comparação com as temperaturas original e $+2^{\circ}\text{C}$.

Figura 02: Tempo de aeração possível para os três cenários analisados.



Fonte: Autores, 2025.

O modelo evidencia que, com temperaturas mais elevadas, o ar quente é capaz de atingir rapidamente a temperatura dos grãos, reduzindo o tempo total da aeração para alcançar condições térmicas seguras. Isso evidencia a importância de considerar as dinâmicas térmicas reais do sistema ao planejar estratégias de aeração.

Esses achados reforçam a necessidade de estratégias adaptativas na armazenagem agrícola, sobretudo em regiões como Dom Pedrito, onde a soja é um importante produto econômico. O modelo matemático foi utilizado para avaliar cenários futuros e apoiar decisões de manejo mais eficientes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A modelagem realizada permitiu compreender o comportamento térmico dos grãos de soja armazenados em diferentes cenários de temperatura do ar de aeração, considerando dados reais, bem como cenários hipotéticos, simulando possíveis efeitos das mudanças climáticas. Os resultados evidenciaram que o tempo de aeração foi maior no cenário de temperatura



original e menor no cenário de +4 °C, o que se explica pelo menor gradiente térmico entre o ar e o grão em temperaturas mais elevadas.

Entretanto, o menor tempo de aeração não significa necessariamente maior eficiência no resfriamento ou melhor conservação da qualidade do grão. No caso de temperaturas mais altas, a proximidade entre a temperatura do ar e a temperatura inicial do grão reduz a taxa de troca térmica. Essa condição pode favorecer o desenvolvimento de insetos e fungos, aumentando o risco de perdas qualitativas e quantitativas.

Essas simulações reforçam a importância do monitoramento constante das condições climáticas, especialmente em regiões agrícolas. A adoção de práticas adaptativas é essencial para minimizar os impactos negativos das mudanças climáticas, garantindo assim a manutenção da qualidade do produto armazenado.

Além disso, o estudo se alinha diretamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, particularmente ao ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável) e ao ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), ao contribuir com ferramentas de gestão e simulação que podem auxiliar na tomada de decisão para armazenamento seguro.

Palavras-chave: Armazenamento de grãos. Aeração. Modelagem computacional. Mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. A cultura da soja. Brasília, 2015. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 15 jul. 2025.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP. Brasília, 2025. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 11 jul. 2025.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, 2021.

JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G. Storage and drying of grain in Canada: Low cost approaches. Food Control, v. 14, n. 4, p. 255-261, 2003.

KHATCHATOURIAN, O. A.; DE OLIVEIRA, F. A. Mathematical modelling of airflow and thermal state in large aerated grain storage. Biosystems Engineering, v. 95, n. 2, p. 159-169, 2006.

SILVA, J. S. et al. Secagem e armazenamento de produtos agrícolas. Viçosa: Editora UFV, 2020.