



MODELAGEM MATEMÁTICA EM SISTEMAS DE TERMOMETRIA EM SILOS DE ARMAZENAGEM¹

Ana Carolina Ahlert², Bruna Taís Follmer³, Felipe Bohnemberger⁴, Thiago Janke⁵, Airam Sausen⁶

¹ Artigo científico desenvolvido na disciplina de Modelagem Matemática do Curso de Engenharia Mecânica e de Produção.

² Estudante do Curso de Engenharia Mecânica, UNIJUI;

³ Estudante do Curso de Engenharia de Produção, UNIJUI;

⁴ Estudante do Curso de Engenharia Mecânica, UNIJUI;

⁵ Estudante do Curso de Engenharia de Produção, UNIJUI;

⁶ Professora do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional, UNIJUI.

INTRODUÇÃO

O armazenamento pós colheita passou a ser a principal estratégia adotada pelos produtores rurais, o objetivo central desta técnica é esperar um melhor período para vender o grão com um preço melhor. Dessa forma, ele consegue se defender da chamada “boca de safra”, que representa a época com maior volume de grãos e baixo valor das commodities. Assim, ele comercializa o seu produto guardado na entressafra, momento de maior alta no preço do bem. Além disso, o produtor consegue manter a sua produção perto da sua propriedade, tendo o total controle sobre o que foi produzido (MORAIS, 2020).

Dessa forma, os grãos devem ser guardados em estruturas, com condições adequadas e precauções necessárias para cada cultivo. Dessa forma, nas áreas agrícolas são normalmente instalados silos de chapas de metal para realizar a acomodação deste material. Entretanto, um dos fatores mais importantes com grande influência na qualidade dos grãos é a temperatura. Se houver oscilações repentinas na temperatura, ela pode acelerar as reações bioquímicas e metabólicas do grão, resultando em prejuízos, perdas na qualidade ou até mesmo a deterioração por decomposição.

De acordo com Burak (1988), a modelagem matemática “é o conjunto de procedimentos cujo objetivo é construir um paralelo para tentar explicar, matematicamente, os fenômenos presentes no cotidiano do ser humano, ajudando-o a fazer predições e a tomar decisões”. Existem diferentes tipos de modelagens matemáticas que podem ser utilizadas para validar e comprovar dados, ou até mesmo construir modelos totalmente inéditos. Apesar de existirem inúmeros modelos e estilos de modelagem matemática, infelizmente nem todos conseguem expressar as relações conforme o seu objetivo.



Neste artigo, é apresentado o desenvolvimento de um modelo matemático por meio do ajuste de curva polinomial de quarto grau, visando monitorar a variação das temperaturas ao longo da distância do silo, prevenindo danos aos grãos. A modelagem matemática e a simulação do modelo foram realizadas com auxílio da ferramenta Excel. A verificação do ajuste foi realizada através do coeficiente de correlação (R^2), a validação do modelo foi elaborada através do cálculo do erro absoluto, aplicando em outro conjunto de dados não utilizados na modelagem.

METODOLOGIA

A presente pesquisa foi desenvolvida por meio de uma abordagem que combina pesquisa bibliográfica e dados práticos para a construção de um modelo matemático fornecido por uma empresa sediada em Panambi, no estado do Rio Grande do Sul, especializada em termometria aplicada a sistemas de armazenagem de grãos. Os dados coletados compreendem a variação de temperatura no período das 4:00h e 16:00h do dia 28/08/2023 ao longo da distância dos 72 sensores distribuídos ao longo de oito cabos, com nove sensores em cada cabo, mantendo um espaçamento de 1,8 metros entre eles, representados através da Tabela 1.

Tabela 1 - Temperatura medida por cada sensor

Sensor	Distância do sensor (m)	Cabo 1 °C	Cabo 2 °C	Cabo 3 °C	Cabo 4 °C	Cabo 5 °C	Cabo 6 °C	Cabo 7 °C	Cabo 8 °C
9	16,2	29,32	29,3	26,11	26,49	31,06	31,06	30,31	21,91
8	14,4	18,18	18,1	21,47	20,51	17,9	17,9	19,1	20,6
7	12,6	15,25	15,38	18,61	17,59	14,3	14,3	15,38	17,46
6	10,8	13,72	13,85	16,61	15,32	12,98	12,98	13,96	17,28
5	9	14,39	14,6	14,63	14,95	13,78	13,78	14,86	16,14
4	7,2	16,12	17,39	16,44	17,34	17,09	17,09	16,55	15,65
3	5,4	18,71	18,81	20,44	20,29	18,23	18,23	19,04	16,98
2	3,6	16,14	17,01	17,87	17,16	15,08	15,08	16,62	17,94
1	1,8	14,93	15,57	16,31	16,66	15,71	15,71	15,58	16,77

Fonte: Elaborado pelos autores.

A análise dos dados foi realizada através de uma planilha do Excel, onde foi possível identificar a melhor representação matemática do problema não matemático escolhido pelo grupo, transformados em um modelo para descrever os valores, ou seja, foram transformados



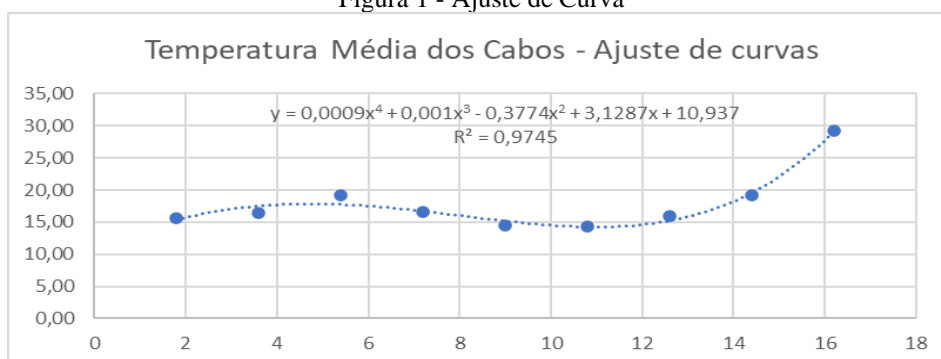
em uma equação polinomial de 4º grau. Por fim, foi calculado o coeficiente de correlação (R^2), e a validação do erro absoluto foi encontrada através da simulação de dados reais.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a coleta dos dados, foi calculado a média das temperaturas registradas nos cabos de números ímpares (1, 3, 5 e 7) para a construção do modelo matemático, enquanto as médias das temperaturas nos cabos de números pares (2, 4, 6 e 8) foram reservadas para a validação desse modelo. Com base nos conjuntos de dados relacionados à média ímpar, empregou-se o Microsoft Excel para criar um gráfico de dispersão comparando Altura do Silo (eixo X) com Temperatura (eixo Y).

Posteriormente, mediante a aplicação de uma técnica de ajuste de curvas, uma opção viável disponibilizada pela ferramenta Microsoft Excel, uma função polinomial de 4ª ordem foi traçada com base nos pontos representados no gráfico. Este procedimento revelou-se eficaz, uma vez que a função polinomial se mostrou altamente aderente aos dados observados, mantendo, ao mesmo tempo, um nível de complexidade aceitável para fins de desenvolvimento. Na Figura 1, é possível examinar detalhadamente o resultado desse processo de ajuste de curvas, evidenciando como a função polinomial de 4ª ordem se encaixa precisamente nos dados coletados.

Figura 1 - Ajuste de Curva



Fonte: Elaborado pelos autores.

Dessa forma, a função matemática que prevê a temperatura do grão dentro do silo em relação da altura que ele está posicionado corresponde a seguinte equação:

$$F(x) = 0,0009x^4 + 0,001x^3 - 0,3774x^2 + 3,1287x + 10,937$$



$$R^2 = 0,9745$$

A validação dos dados foi comprovada através do erro aplicado a um conjunto não utilizado no modelo, os quais foram os cabos de números pares, representado pela Tabela 2.

Tabela 2: Validação do modelo matemático

Distância do sensor (m)	Média Par	Aplicação da Equação	Erro
16,2	27,19	28,816	5,64%
14,4	19,28	19,417	0,72%
12,6	16,18	15,127	6,98%
10,8	14,86	14,211	4,55%
9	14,87	15,160	1,93%
7,2	16,87	16,691	1,06%
5,4	18,58	17,750	4,66%
3,6	16,80	17,507	4,05%
1,8	16,18	15,361	5,31%
		Erro Médio	3,88%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Assim, a partir da equação matemática modelada ao longo deste trabalho, é possível encontrar a temperatura em um ponto qualquer ao longo do silo. Considerando uma altura de 8,5 metros, utilizando a função $F(x)$, podemos concluir que a temperatura neste ponto equivale a 15,58 °C, a sua resolução pode ser visualizada a seguir:

$$F(x) = 0,0009x^4 + 0,001x^3 - 0,3774x^2 + 3,1287x + 10,937$$

$$F(8,5) = 0,0009 * (8,5)^4 + 0,001 * (8,5)^3 - 0,3774 * (8,5)^2 + 3,1287 * 8,5 + 10,937$$

$$F(8,5) = 15,58 \text{ °C}$$

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A modelagem matemática quando bem feita, pode ser aplicada no cotidiano, auxiliando na resolução de inúmeros problemas práticos e matemáticos que todos os Engenheiros encontram no dia a dia.

