

## PREDIÇÃO DAS PRESSÕES NORMAIS EM SILOS ESBELTOS COM RELAÇÃO ALTURA/DIÂMETRO 4 POR MEIO DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS

**SIMONE MANCINI<sup>1</sup>, RÔMULO MARÇAL GANDIA<sup>2</sup>, WISNER COIMBRA DE PAULA<sup>3</sup>, ESTÁCIO ANTUNES DE OLIVEIRA JUNIOR<sup>4</sup>, FRANCISCO CARLOS GOMES<sup>5</sup>, TADAYUKI YANAGI JUNIOR<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> Engenheira Civil (UNILAVRAS), Licenciatura em Matemática (UNILAVRAS), Especialista em Matemática e Estatística (UFLA), Mestranda em Engenharia Agrícola (UFLA), (35) 98806 3200, [simonemancini10@hotmail.com](mailto:simonemancini10@hotmail.com)

<sup>2</sup> Engenheiro Agrícola (UFLA), Mestre em Engenharia Agrícola, Doutorando em Engenharia Agrícola (UFLA), (35)988822405, [romagandia@gmail.com](mailto:romagandia@gmail.com)

<sup>3</sup> Engenheiro Civil (UFOP), Mestre em Engenharia Civil (UERJ), Doutorando em Engenharia Agrícola (UFLA), (35)38291398, [wisner.depaula@ufla.br](mailto:wisner.depaula@ufla.br)

<sup>4</sup> Graduando em Engenharia Agrícola, UFLA, (35)991542642, [estacioantunes@estudante.ufla.br](mailto:estacioantunes@estudante.ufla.br)

<sup>5</sup> Engenheiro Agrícola (UFLA), Mestre em Engenharia Civil (USP), Doutor em Engenharia Civil (USP), (35)38291484, [fcgomes@ufla.br](mailto:fcgomes@ufla.br)

<sup>6</sup> Engenheiro Agrícola (UFLA), Mestre em Engenharia Agrícola (UFLA), Doutor em Engenharia Agrícola (UFV), (35) 38291374, [yanagi@ufla.br](mailto:yanagi@ufla.br)

Apresentado no  
L Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2021  
08 a 10 de novembro de 2021 - Congresso On-line

**RESUMO:** Os silos são estruturas destinadas a armazenar e conservar produtos a granel. Existem diversos tipos, com materiais e dimensões distintas. E pode-se considerar que as estruturas de armazenamento de produtos agrícolas, os silos, necessitam de grande atenção, pois o grau de incerteza nos cálculos e pelo número de falhas e ocorrências de colapso que vêm ocorrendo no Brasil e no mundo é significativo, diante do aumento no setor do agronegócio. O objetivo do trabalho é avaliar as pressões no corpo do silo nas etapas de carregamento e descarregamento no modelo experimental denominado, silo-piloto proposto por Pieper e Schutz padronizado pela norma Europeia DIN 1055 (DIN, 1987) utilizando no corpo do silo parede lisa, com fundo plano, no processo e carregamento e descarga do silo, utilizando a relação altura/diâmetro de no máximo quatro ( $h/d = 4$ ). O resultado das pressões obtidas, através do silo-piloto foram inseridas e treinadas através do método computacional, utilizando Redes Neurais Artificiais e posteriormente comparadas com a Teoria de Janssen e com as normais internacionais DIN e AS.

**PALAVRAS-CHAVE:** Silo Esbelto, Pressões no Silo, Redes Neurais

## PREDICTION OF NORMAL PRESSURES IN SLIMT SILOS WITH HEIGHT/DIAMETER RATIO 4 THROUGH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

**ABSTRACT:** Silos are structures designed to store and conserve bulk products. There are different types, with different materials and dimensions. And it can be considered that the storage structures of agricultural products, the silos, need great attention, as the degree of uncertainty in the calculations and the number of failures and occurrences of collapse that have been occurring in Brazil and in the world is significant, given the increase in the agribusiness sector. The objective of this work is to evaluate the pressures in the silo body in the loading and unloading stages in the experimental model called, pilot silo proposed by Pieper and Schutz standardized by the European standard DIN 1055 (DIN, 1987) using a smooth wall in the silo body, with flat bottom, in the process and loading and unloading of the silo, using a maximum height/diameter ratio of four ( $h/d = 4$ ). The result of the pressures

obtained through the silo-pilot were entered and trained through the computational method, using Artificial Neural Networks and later compared with the Janssen Theory and with the international normals DIN and AS.

**KEYWORDS:** Slim Silo, Silo Pressures, Neural Networks

**INTRODUÇÃO:** Nos últimos anos tem-se buscado um maior entendimento sobre a previsibilidade de colapsos em estruturas. No estudo de comportamento estrutural existe um conjunto de variáveis e graus de incertezas muito grande. Os silos são construções que se destacam pelo grau de incertezas em relação à estabilidade estrutural. Os estudos das ações provenientes das pressões relacionadas aos produtos armazenados datam do final dos anos de 1800 por Janssen (1895) e Airy (1897). Com o decorrer dos anos, diversas teorias e normas foram desenvolvidas, assim como ferramentas computacionais permitindo o avanço do estudo de confiabilidade estrutural. Há uma expansão do setor de agronegócio e uma necessidade de aprimoramento das construções para a armazenagem dos grãos; como por exemplo no ano de 2020 o Brasil teve a capacidade estática de armazenamento de 170,1 milhões de toneladas de grãos, enquanto que a produção foi de 268,7 milhões de toneladas, apresentando assim um déficit de 98,6 milhões de toneladas de armazenamento (CONAB, 2020). Neste trabalho propõe-se o estudo das pressões normais nas paredes do silo, devido ao carregamento e descarregamento com grãos, utilizando fundo plano no silo. Foram obtidas através do silo piloto as pressões horizontais que agem ao longo das paredes do silo. É através da relação altura/diâmetro que se classifica a esbeltez do silo. A vantagem no processamento de dados nas redes neurais é poder extrair modelos matemáticos e a aproximação de uma função não lineares (REIS, 2011). As RNAs visam construir circuitos (neurônios artificiais) e modelar esses circuitos (ensinando o computador) esperando uma resposta inteligente. Esses circuitos serão capazes de se auto-organizar em diversos ambientes distintos (BARRETO, 2002).

**MATERIAL E MÉTODOS:** Os ensaios foram conduzidos na Universidade Federal de Lavras no Departamento de Engenharia Agrícola no Centro de Pesquisa em Processamento de Produtos Agrícolas (CPPPA) no Laboratório de Propriedades Físicas e de Fluxo dos Produtos Armazenados. O silo-piloto é feito em estrutura metálica com geometria cilíndrica e padronizado pela norma DIN 1055: 1987. Nos ensaios no silo-piloto foi utilizado parede lisa, fundo plano e relação h/d 4. O produto utilizado nos ensaios foi o milho, por ser um produto de grande produção no Brasil, ter fácil aquisição e ser um produto granular e de fluxo no silo ser livre e foram feitas 3 repetições de carregamento e descarregamento. O silo é constituído por 12 conjuntos de anéis independentes suspensos de modo estaticamente determinado. Cada anel possui 50 cm de altura apresentando um diâmetro interno de parede lisa de 70,5 cm (Figura 1).

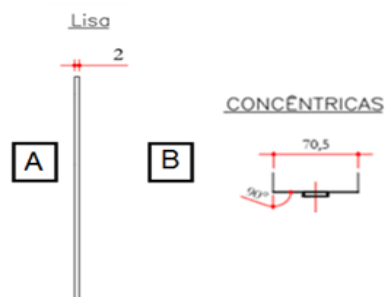


FIGURA 1. Modelo do e perfil da parede e tremonha utilizado no silo-piloto  
a) Configurações da parede do silo. b) Configuração da tremonha.

A altura total dos 12 anéis totaliza 6 metros e um volume de armazenamento de 2,35 m<sup>3</sup>. Cada anel é composto por 2 semicírculos simétricos e unidos por um conjunto de duas células de cargas tipo extensômetros, totalizando 24 extensômetros de 80kN, para determinação da força normal nas paredes do silo-piloto. Para obtenção dos dados será utilizado um sistema de aquisição de dados conectado a um computador portátil (Figura 2).



FIGURA 2. Estação experimental do silo-piloto no Centro de Pesquisa em Processamento de Produtos Agrícolas CPPPA da Universidade Federal de Lavras.

Com os dados obtidos nos ensaios e as equações das normas, foram feitas a modelagem das ações e o treinamento do sistema computacional usando Redes Neurais Artificiais, através de um algoritmo do tipo Perceptron de múltiplas camadas.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** De acordo com a Figura 3, onde se apresenta a variação da pressão normal nas paredes do silo para o carregamento e o descarregamento do silo-piloto, de acordo com os dados reais obtidos de forma experimental e os dados calculados com as equações da teoria de Janssen e as Normas Internacionais AS e DIN, percebe-se uma aproximação no valores utilizando o número de 200 épocas no algoritmo de RNA.

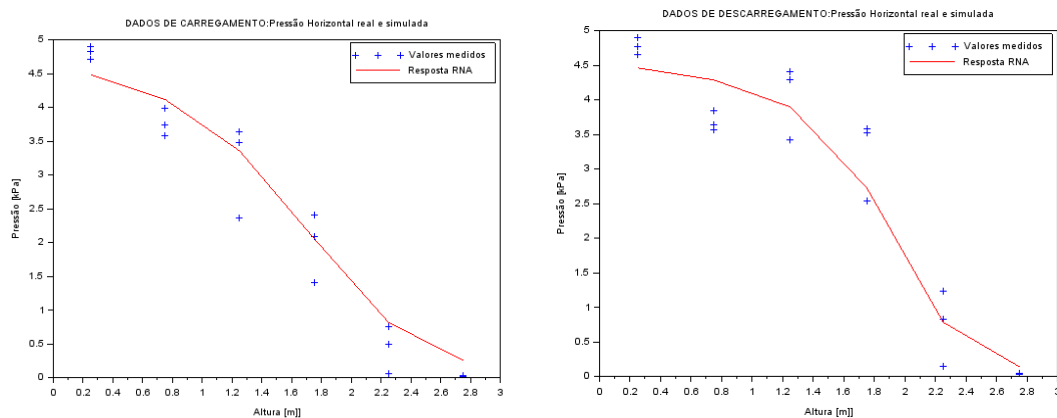


Figura 3. Variação das pressões normais de carregamento e descarregamento

Observa-se que as pressões normais (horizontais) nas paredes do silo têm um decrescimento proporcional à altura preenchida com os grãos de milho no silo. Quando se aumenta o valor da altura utilizada no silo observa-se um aumento também na pressão horizontal no silo. Uma das dificuldades da pesquisa foi o treinamento da rede com um número reduzido de amostra. Para amenizar e se possível resolver a situação, proponho a utilização de técnicas para o aumento de amostras no sistema de redes neurais, como por exemplo o Método de Inserção Controlada e o Método de Inserção Descontrolada.

**CONCLUSÕES:** Os valores das pressões normais no cilindro do silo no estado de descarregamento apresentados foram muito próximos dos valores das pressões normais de carregamento do silo. O que também é comprovado com os valores experimentais e os valores calculados através das equações.

**REFERÊNCIAS:**

AIRY, W. The pressure of grain. In: PROCEEDINGS OF INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS, CXXXI, 1897. **Anais.** London: Institution of civil engineers. v. 131, p. 507-512, 1897.

BARRETO, J. M. Introdução as redes neurais artificiais. **V Escola Regional de Informática. Sociedade Brasileira de Computação, Regional Sul, Santa Maria, Florianópolis, Maringá**, p. 5-10, 2002.

CONAB, C. N. DE A. **Acompanhamento da safra brasileira 2019/2020 Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2019/2020.** [s.l: s.n.]. Disponível em:  
<<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>>.

DIN. **DIN 1055-6: Basis of design and actions on structures – Part 6: design 623 loads for buildings and loads in silo bins.** Berlin, Verlaz: 2005

JANSSEN, H. A. Versuche uber getreidedruck in silozellen. **Zeitschrift/Verein Deutcher Ingenieure**, Dusseldorf, v. 39, p.1045-1049, Aug. 1895.

REIS, S. G. dos. **Determinação das ações atuantes nos silos através de redes neurais artificiais.** 2011. 76 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.