

## **AValiação DAS PRESSões NORMAIS EM TREMONHA COM INCLINAÇÃO DE 45° INSTALADA EM UM SILO ESBELTO**

**LUIZ FELIPE SOUZA<sup>1</sup>, WISNER COIMBRA DE PAULA<sup>2</sup>, RÔMULO MARÇAL GANDIA<sup>3</sup>, JOSÉ WALLACE BARBOSA DO NASCIMENTO<sup>4</sup>, LUIZ GUSTAVO DE CARVALHO CHERFÊN<sup>5</sup>, FRANCISCO CARLOS GOMES<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Agrícola, UFLA, (35)991547405, lfsouza94@hotmail.com

<sup>2</sup> Engenheiro Civil (UFOP), Mestre em Engenharia Civil (UERJ), Doutorando em Engenharia Agrícola (UFLA), (35)38291398, wisner.depaula@ufla.br

<sup>3</sup> Engenheiro Agrícola (UFLA), Mestre em Engenharia Agrícola, Doutorando em Engenharia Agrícola (UFLA), (35)988822405, romagandia@gmail.com

<sup>4</sup> Engenheiro Agrícola (UFPB), Mestre em Engenharia Agrícola (UFPB), Doutor em Engenharia Civil (USP), (83)21011482, wallace@deag.ufcg.edu.br

<sup>5</sup> Graduando em Engenharia Civil, UFLA, (32)999412917, luiz.cherfen@estudante.ufla.br

<sup>6</sup> Engenheiro Agrícola (UFLA), Mestre em Engenharia Civil (USP), Doutor em Engenharia Civil (USP), (35)38291484, fcgomes@ufla.br

Apresentado no  
XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020  
23 a 25 de novembro de 2020 - Congresso On-line

**RESUMO:** Estruturas de armazenamento como as dos silos verticais esbeltos ainda necessitam de estudos para um melhor entendimento dos esforços nas tremonhas, pois, devido às propriedades dos produtos armazenados e da geometria da boca de descarga há grande variabilidade nas pressões. O objetivo deste trabalho é avaliar as pressões normais exercidas pelo armazenamento de milho em grãos nas paredes de tremonhas com 45° de inclinação com a vertical, no caso de silos esbeltos (relação entre o diâmetro e a altura igual a 7,8 e 8,5). Propõe-se, portanto, a análise do comportamento estrutural da tremonha instalada em um silo piloto, cujo projeto baseia-se no princípio teórico do modelo de Pieper e Schütz (1980). Os estudos nessa tremonha foram concebidos quando submetida às cargas estáticas e dinâmicas (carregamento, armazenamento e descarregamento), sendo o corpo do silo revestido com chapas metálicas onduladas e lisas. Estes resultados de pressões foram comparados com duas das principais normas estrangeiras de cálculo silos esbeltos (EN 1991-4:2006 e AS 3774:1996). Observaram-se valores máximos das pressões experimentais normais superiores e inferiores aos calculados pelas normas. A conformação das paredes do silo também influenciou os valores máximos de pressão normal.

**PALAVRAS-CHAVE:** silo piloto, cargas estáticas e dinâmicas, normas estrangeiras de cálculo

## **EVALUATION OF NORMAL PRESSURES IN HOPPER WITH 45° SLOPE INSTALLED IN A SLENDER SILO**

**ABSTRACT:** Storage structures such as those of slender vertical silos still need studies for a better understanding of the efforts in hoppers, because due to the properties of the stored products and the geometry of the discharge nozzle there is great variability in pressures. The objective of this work is to evaluate the normal pressures exerted by the storage of corn grains on hopper walls with a 45 ° inclination to the vertical, in the case of slender silos (ratio between diameter and height equal to 7.8 and 8.5). Therefore, it is proposed to analyze the

structural behavior of the hopper installed in a pilot silo, whose design is based on the theoretical principle of the model by Pieper and Schütz (1980). The studies in this hopper were conceived when subjected to static and dynamic loads (loading, storage and unloading), the silo body being covered with smooth and corrugated metal sheets. These pressure results have been compared with some foreign standards for slender silos calculation (EN 1991-4: 2006 and AS 3774: 1996). Maximum values of normal experimental pressures higher and lower than those calculated by the standards were observed. The conformation of the silo walls also influenced the maximum values of normal pressure.

**KEYWORDS:** pilot silo, static and dynamic loads, foreign standards of calculation

**INTRODUÇÃO:** O comportamento estrutural nos silos e a possibilidade da utilização de diferentes materiais para diversas situações fazem destas estruturas, estruturas realmente complexas. Segundo Palma (2005), grande parte dos silos existentes em escala mundial não apresentam condições ideais de operação, apresentando projetos complexos e rodeados de incertezas, levando em consideração uma gama de variáveis que afetam diretamente seu comportamento estrutural. Ainda temos um amplo campo de pesquisa em se tratando das pressões e do comportamento de fluxo dos produtos armazenados, explicando assim, o porque de tantos acidentes envolvendo estas estruturas através de ruínas, afundamentos, explosões, combustão, etc. Divergências entre as normas estrangeiras destinadas a projeto de silo ainda existem, afirmação esta citada por diversos autores (CALIL, 2007; PALMA, 2005; DECKERS, 2010; SCARAMAL, 2009). As estruturas devem apresentar robustez e confiabilidade, neste contexto, o paradoxo entre segurança e economia tende a se desequilibrar para o lado da segurança como mencionado por Tanaka (2009). Tendo em vista as inúmeras possibilidades de geometrias de estrutura e dadas as importâncias econômica, científica e social, necessita mais estudos relacionados a determinação das ações e as respectivas pressões que atuam nas tremonhas dos silos. Por sua vez, estas pressões atuantes são diretamente dependentes das propriedades físicas dos produtos armazenados, do padrão de fluxo e da forma geométrica do corpo do silo e de sua tremonha, entre outros fatores.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Para estudo das pressões na tremonha utilizou-se de um silo piloto apresentando diâmetro interno de 70,6 cm quando ensaiado com paredes lisas e 64,36 cm, com paredes onduladas. São 12 anéis independentes com 49,5 cm de altura cada e todos suspensos por 3 pilares metálicos, totalizando em 600 cm de altura e com uma capacidade de armazenagem de 2,3 m<sup>3</sup> para produtos granulares. Para as aferições das pressões de enchimento e descarga na tremonha com paredes de 45° de inclinação com a vertical, utilizaram-se duas células de pressão do tipo diafragma com capacidade de 70 kPa e diâmetro de 53mm (Figuras 1-A e 1-B). Para todos os ensaios padronizou-se a altura de 5,5m para carregamento.

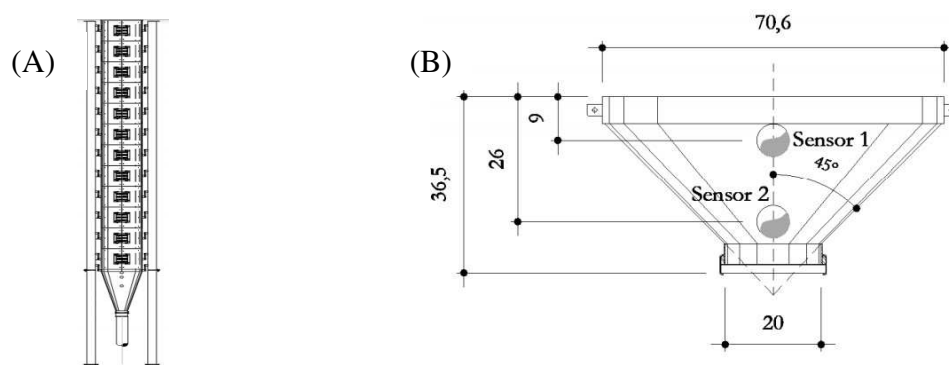


Figura 1 – Vista esquemática geral do silo piloto (A) e vista frontal da tremonha(B).

Os dados de entrada utilizados para o cálculo das pressões normais às tremonhas preconizadas em normas são apresentados na Tabela 1 e foram obtidos utilizando uma máquina de cisalhamento de Jenike, própria para ensaios com grãos.

Tabela 1 – Propriedades físicas experimentais adotadas para o grão de milho.

Peso específico $\gamma$ (kN.m <sup>-3</sup> )		Ângulo de atrito interno $\phi_i$ (°)		Ângulo de atrito com a parede $\phi_w$ (°)		Efetivo ângulo de atrito interno $\phi_e$ (°)	
Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
7,6082	7,9782	23,0	38,0	10,63	18,18	35,0	48,0

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Figura 2 são apresentadas as variações de pressão normal em toda a altura da tremonha durante o carregamento e descarregamento do silo, causadas pela carga dos grãos de milho.

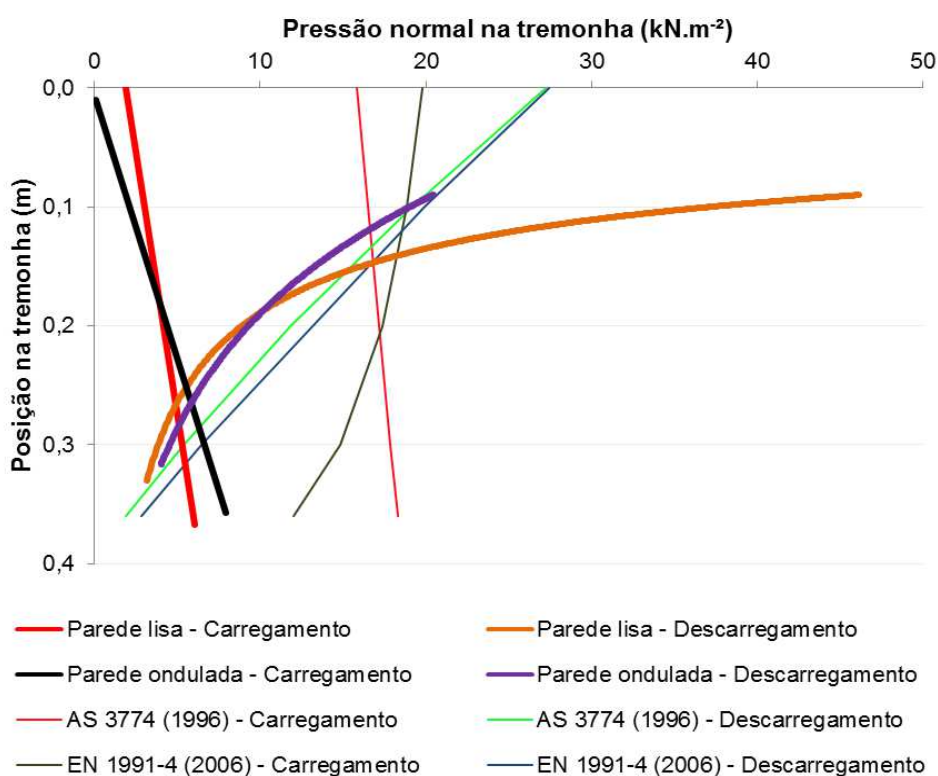


Figura 2 – Variação das pressões normais à tremonha.

Observa-se que as maiores pressões durante o carregamento ocorrem próximas à boca de descarga da tremonha e sofrem abrupta queda com início do descarregamento. Este fato se deve à mudança do estado de pressões ativo para o passivo, a qual promove o fluxo do produto. Simultaneamente a esse alívio instantâneo de tensões próximas à boca de descarga, as pressões na região de transição apresentam grande acréscimo de valores, devido ao fluxo do produto que passa a atuar como carregamento dinâmico nessa região. Em comparação com as normas internacionais avaliadas, as pressões normais empíricas obtidas na tremonha de 45° de inclinação com a vertical pouco se aproximaram delas, porém, tendendo ao comportamento preconizado pela norma AS3774:1996 na condição estática dos ensaios. Entretanto, na condição dinâmica, os valores máximos de pressão normal na tremonha, quando o silo foi ensaiado com a parede lisa, superaram significativamente os valores recomendados pelas normas, na região de transição.

**CONCLUSÕES:** Os ensaios com a tremonha com 45° de inclinação e com o corpo do silo com parede lisa apresentaram picos de pressão no descarregamento na região próxima à transição, com valores de aproximadamente duas vezes aqueles calculados pelas normas AS3774:1996 e EN1991-4:2006. Já para o descarregamento com parede ondulada, os valores máximos de pressões normais atingiram valores bem próximos aos preconizados pelas normas. No carregamento com parede lisa e parede ondulada, os valores máximos de pressões ficaram bem abaixo dos calculados pelas normas internacionais consideradas nesse trabalho, exceto na região próxima à boca de descarga da tremonha. O experimento com o silo piloto demonstrou claramente que a conformação das paredes do corpo do silo exerce influência nas pressões normais que ocorrem na tremonha, sendo maiores os valores obtidos com a parede lisa.

#### **REFERÊNCIAS:**

- AUSTRALIAN STANDARD. **AS 3774. Loads on bulk containers.** Sydney. AS 3774 Supplement 1 (1997). Loads on bulk containers – Commentary. Sydney, 1996.
- CALIL JR., C.; CHEUNG, A. B. **Silos: pressões, fluxo, recomendações para projeto e exemplos de cálculo.** São Carlos: EESC, 2007, 232 p.
- CHEUNG, A. B. (2007) **Modelo estocástico de pressões de produtos armazenados para a estimativa da confiabilidade estrutural de silos esbeltos.** Tese de doutorado. EESC/USP – São Carlos – SP. 305p.
- EUROPEAN COMMITTEE OF STANDARTIZATION. **Eurocode 1. EN 1991-4 Part 4: Actions on silos and tanks.** Brussels, 2006.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDART. **ISO 11697. Bases for design of structures: Loads due to bulk materials.** London, 2012.
- MADRONA, F. S., CALIL JÚNIOR, C. **Análise das pressões em silos esbeltos com descarga excêntrica.** Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v. 11, n. 49, p. 37-56, 2009.
- NASCIMENTO, F. C. (2008) **A relação entre as pressões horizontais e verticais em silos elevados: o parametro K.** Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Orientador: Carlito Calil Junior.
- PALMA, G. (2005) **Pressões e fluxo em silos esbeltos (H/D >1,5).** São Carlos. 109 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. USP. Orientador Prof. Titular Carlito Calil Júnior.
- PIEPER, K.; SCHÜTZ, M. **Bericht Über das Forschungsvorhaben - Norm-Mess-Silo für Schüttguteigenschaften.** Technische Universität Braunschweig - Lehrstuhl für Hochbaustatik, Deutschland. 1980.