

AVALIAÇÃO DAS PRESSÕES NORMAIS EM TREMONHA COM INCLINAÇÃO DE 15° INSTALADA EM UM SILO ESBELTO

WISNER COIMBRA DE PAULA¹, RÔMULO MARÇAL GANDIA², FRANCISCO CARLOS GOMES³, JOSÉ WALLACE BARBOSA DO NASCIMENTO⁴, ESTÁCIO ANTUNES DE OLIVEIRA JUNIOR⁵, LUIZ FELIPE SOUZA⁶

¹ Engenheiro Civil (UFOP), Mestre em Engenharia Civil (UERJ), Doutorando em Engenharia Agrícola (UFLA), (35)38291398, wisner.depaula@ufla.br

² Engenheiro Agrícola (UFLA), Mestre em Engenharia Agrícola, Doutorando em Engenharia Agrícola (UFLA), (35)988822405, romagandia@gmail.com

³ Engenheiro Agrícola (UFLA), Mestre em Engenharia Civil (USP), Doutor em Engenharia Civil (USP), (35)38291484, fcgomes@ufla.br

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

⁵ Graduando em Engenharia Agrícola, UFLA, (35)991542642, estacioantunes@estudante.ufla.br

⁶ Graduando em Engenharia Agrícola, UFLA, (35)991547405, lfsouza94@hotmail.com

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

RESUMO: Os silos verticais esbeltos são estruturas de armazenamento cujos esforços nas tremonhas ainda requerem estudos para seu completo conhecimento, pois há grande variabilidade nas pressões devidas ao produto armazenado e à geometria da boca de descarga. O objetivo deste trabalho é avaliar as pressões normais exercidas pelo armazenamento de milho em grãos nas paredes de tremonhas com 15° 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 lisas e onduladas. Estes resultados de pressões foram comparados com algumas normas estrangeiras de cálculo silos esbeltos (ISO 11697:2012, EN 1991-4:2006 e AS 3774:1996). Observaram-se valores máximos das pressões experimentais normais superiores aos calculados pelas normas, exceto no caso do carregamento do silo com parede ondulada. 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 15 ° SLOPE INSTALLED IN A SLENDER SILO

ABSTRACT: Slender vertical silos are storage structures whose efforts on hoppers still require studies for their complete knowledge, as there is great variability in pressures due to the stored product and the geometry of the discharge nozzle. The objective of this work is to evaluate the normal pressures exerted by the storage of grain corn on hopper walls with a 15 ° 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 hopper installed in a pilot silo, whose project 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 (ISO 11697: 2012, EN 1991-4: 2006 and AS 3774: 1996). Maximum values of normal experimental pressures were observed higher than those calculated by the standards, except in the case of loading the silo with a corrugated wall. 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: Palma (2005) afirma que a maioria dos silos existentes no mundo não apresenta condições ideais de operação, seus projetos são complexos e, muitas vezes, rodeados de incertezas, pois diversas são as variáveis que afetam o comportamento estrutural. O insuficiente conhecimento das pressões e do comportamento de fluxo dos produtos armazenados explica, também, o grande número de acidentes envolvendo silos através de ruínas, afundamentos, explosões, combustão, etc. Diversos autores (CALIL, 2007; PALMA, 2005; DECKERS, 2010; SCARAMAL, 2009) citam que há divergências entre as normas estrangeiras destinadas a projeto de silos, enquanto que no Brasil tal normal própria ainda se faz necessária. Tanaka (2009) relata em seu trabalho que as estruturas de armazenamento devem apresentar robustez e confiabilidade e, por isso, muitas vezes o paradoxo entre segurança e economia se desequilibra tendendo para o lado da segurança. Vasconcelos (2019) constata em seu trabalho que a utilização de *inserts* no interior do silo, além de minimizar a formação de arcos coesivos por diminuir as tensões na zona de transição, causa um alívio nas pressões normais e tangenciais de descarregamento. Portanto, devido às inúmeras possibilidades de geometrias de estrutura e dadas as importâncias econômica, científica e social relativas à questão, configura-se a necessidade do correto conhecimento da determinação das ações e 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: O estudo das pressões na tremonha foi realizado em um silo piloto com diâmetro interno de 70,6 cm quando ensaiado com parede lisa e 64,36 cm, com parede ondulada. Sua altura é de 600 cm, com capacidade de armazenamento de 2,3 m³ para produto granular. Consiste em 12 anéis independentes e suspensos por 3 pilares metálicos, medindo cada anel 49,5 cm de altura. Para a aferição das pressões de enchimento e descarga na tremonha com paredes de 15° de inclinação com a vertical foram utilizadas quatro células de pressão do tipo diafragma, com capacidade nominal de 70 kPa e diâmetro de 53 mm, conforme Figuras 1-A e 1-B. A altura de carregamento foi de 5,5m para todos os ensaios executados.

Como dados de entrada para o cálculo das pressões normais às tremonhas preconizadas em normas, foram adotadas as propriedades físicas do milho constantes nos trabalhos de Cheung (2007), sendo apresentadas na Tabela 1.

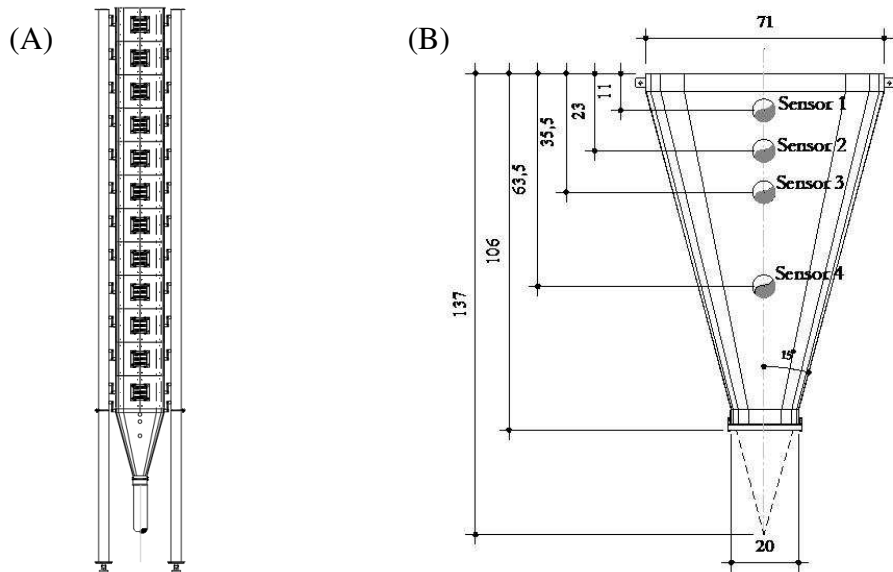


Figura 1 – Vista esquemática geral do silo piloto (A) e detalhe da tremonha (B).

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

Peso específico γ (kN.m ⁻³)		Ângulo de atrito interno ϕ_i (°)		Ângulo de atrito com a parede ϕ_w (°)		Efetivo ângulo de atrito interno ϕ_e (°)	
Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
7,46	8,7	23,10	35,30	10,65	16,32	25,90	35,30

RESULTADOS E DISCUSSÃO: De acordo com a Figura 2, onde se apresenta a variação de pressões normais nas paredes da tremonha, observa-se grande discrepância entre os valores experimentais e os calculados conforme definem as referidas normas supracitadas.

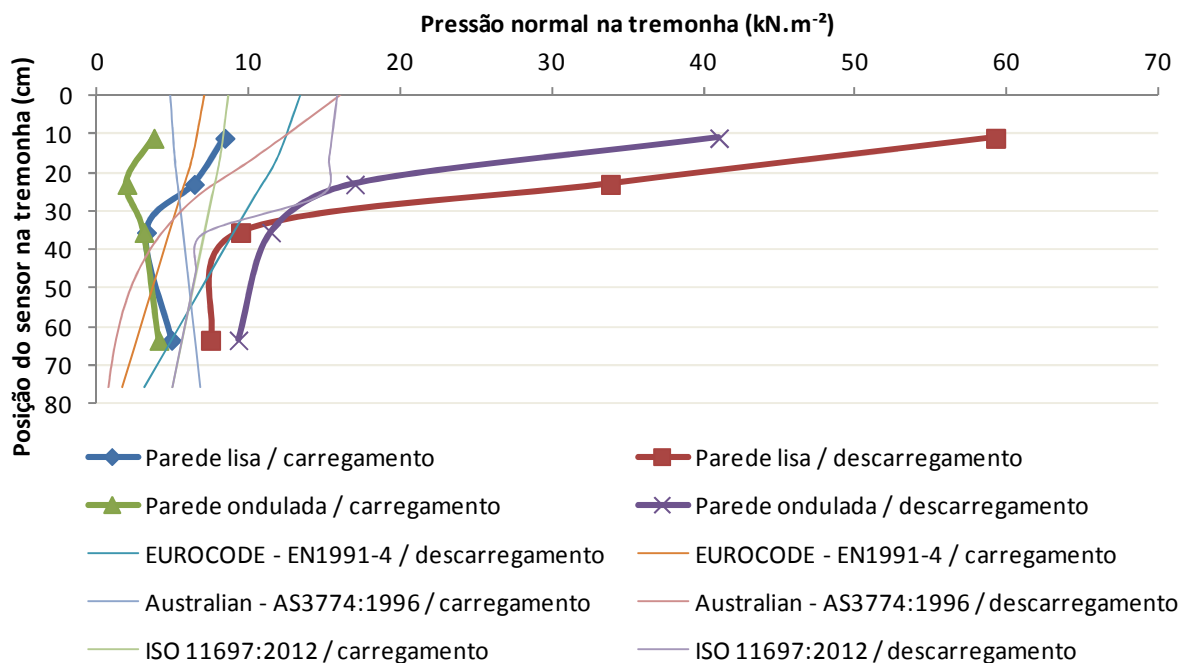


Figura 2 – Variação das pressões normais à tremonha inclinada.

Fonte: Autor (2020).

Esta referida diferença é notada nas pressões durante o carregamento do silo e acentuada no descarregamento, sendo obtidos valores experimentais máximos superiores aos valores normativos. Pela análise do gráfico anterior nota-se que a situação de descarregamento ocasiona sobrepressões na tremonha, notadamente na região de transição entre o corpo do silo e a tremonha. Esta constatação é consenso no estudo de silos com fluxo de massa e se mostrou coerente na aplicação do silo piloto para sua análise. Nota-se, no entanto, que a distribuição de pressões experimentais não tendeu ao padrão daquelas definidas em normas. Ressalta-se, também, a influência da rugosidade da parede do corpo do silo nas pressões normais atuantes na tremonha. O silo constituído por parede de aço liso oferece menor resistência ao deslizamento das partículas de milho durante o processo de carregamento e descarregamento do que aquele feito com chapas de aço onduladas, tendendo a apresentar maiores valores de esforços máximos aquela estrutura com paredes lisas (sendo mantidas as mesmas características dos grãos). Cheung (2007), em seu trabalho com milho e soja, também observou esse comportamento estrutural em um silo piloto quando se avaliava a influência da geometria das chapas do corpo do silo. Corroborando conjuntamente com os resultados aqui apresentados o trabalho de Nascimento (2008), onde se conclui que a rugosidade da parede do silo exerce influência em função da relação altura/diâmetro na determinação do parâmetro K.

CONCLUSÕES: Os valores máximos das pressões experimentais normais à tremonha de 15° de inclinação foram superiores aos calculados pelas normas EN1991-4, AS3774:1996 e ISO11697:2012, exceto no caso do carregamento do silo com parede ondulada. O experimento com o silo piloto demonstra, então, que pode haver situações em que o dimensionamento pelas normas subestima as pressões normais atuantes em tremonhas. A conformação das paredes do silo também exerce influência nos valores máximos, os quais ocorrem na região de transição.

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 ($H/D \geq 1,5$).** 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.