



**EFEITO DO TEMPO DE CONSOLIDAÇÃO NAS PRESSÕES HORIZONTAIS EXPERIMENTAIS E  
NORMATIZADAS EM SILOS VERTICAIS**

**EFFECT OF CONSOLIDATION TIME ON EXPERIMENTAL AND STANDARDIZED HORIZONTAL  
PRESSURES IN VERTICAL SILOS**

Ariadne Soares Meira<sup>1</sup>, Diego José Araújo Bandeira<sup>2</sup>, Márcia Janiele Nunes da Cunha Lima<sup>3</sup>, Keviane Pereira Aragão<sup>4</sup>, Patrício Gomes Leite<sup>5</sup>, Anúbes Pereira de Castro<sup>6</sup>, José Jorge da Silva Junior<sup>7</sup>, Eduardo Sérgio Soares Sousa<sup>8</sup>

e311029

<https://doi.org/10.47820/recima21.v3i1.1029>

**RESUMO**

O estudo das pressões que o produto armazenado exerce nas paredes do silo é um fator relevante, o presente trabalho possui o objetivo de determinar, empírica e experimentalmente, as pressões de carregamento e descarregamento ao longo da seção circular do silo vertical metálico exercidas pelo produto armazenado e a influência do tempo de consolidação. Para a determinação das pressões horizontais e de atrito, foram utilizados dispositivos compostos por pares de células de carga, fixados a seções quadradas do silo da parede lisa do silo com 2,5 m de altura de corpo e 0,64 m de diâmetro interno e tremonha com 0,51 m de altura e inclinação de aproximadamente 60° com a horizontal, confeccionados em aço liso com 1 mm de espessura. Os ensaios de carregamento e descarregamento do milho foram em quintuplicata, sendo adotados três tempos de consolidação sendo estes de 6, 12 e 24 horas. As pressões determinadas experimentalmente foram comparadas aos valores encontrados a partir das equações contidas nas normas AS 3774 (1990) e BS EN 1991/4 (2006). Foi evidenciado que os dados experimentais de pressão horizontal durante o carregamento foram sempre inferiores aos normatizados, tendo em vista que as normas majoram os valores devido a utilização de coeficientes de segurança e embora realizado os cálculos com a subtração deste coeficiente, não foi observado interferência dos tempos de consolidação analisados nas pressões.

**PALAVRAS-CHAVE:** Esbeltez. Milho. Tempo de consolidação.

**ABSTRACT**

*The study of the pressures that the stored product exerts on the silo walls is a relevant factor, the present work aims to determine, empirically and experimentally, the loading and unloading pressures along the circular section of the metallic vertical silo exerted by the stored product and the influence of consolidation time. To determine horizontal and friction pressures, devices composed of pairs of load cells were used, fixed to square sections of the silo's smooth wall silo with 2.5 m body height and 0.64 m internal diameter and hopper 0.51 m high and tilted approximately 60° to the horizontal, made of 1 mm thick plain steel. The corn loading and unloading tests were in quintuplicate, with three consolidation times being adopted, these being 6, 12 and 24 hours. The pressures determined experimentally were compared to the values found from the equations contained in the standards AS 3774 (1990) and BS EN 1991/4 (2006). It was evidenced that the experimental data of horizontal pressure during loading were always lower than the normalized ones, considering that the norms increase the values due to the use of safety coefficients and although the calculations were performed*

<sup>1</sup> Doutora em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande.

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande.

<sup>3</sup> Doutoranda em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande.

<sup>4</sup> Doutoranda em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande.

<sup>5</sup> Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande.

<sup>6</sup> Doutora em Saúde Pública pela Escola Nacional de Saúde Pública - ENSP/FIOCRUZ.

<sup>7</sup> Doutorando em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande.

<sup>8</sup> Doutor em Ciências Sociais pela Universidade Federal da Paraíba.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

EFEITO DO TEMPO DE CONSOLIDAÇÃO NAS PRESSÕES HORIZONTAIS EXPERIMENTAIS E NORMALIZADAS EM SILOS VERTICAIS  
Ariadne Soares Meira, Diego José Araújo Bandeira, Márcia Janiele Nunes da Cunha Lima, Keviane Pereira Aragão,  
Patrício Gomes Leite, Anúbes Pereira de Castro, José Jorge da Silva Junior, Eduardo Sérgio Soares Sousa

*with the subtraction of this coefficient, no interference of the Consolidation times analyzed in pressures.*

**KEYWORDS:** *Slenderness. Corn. Consolidation time.*

### INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma limitada capacidade de armazenamento que não acompanha o aumento da produção agrícola, assim, os silos verticais são alternativas para solução desse problema (MEIRA et al., 2019; BANDEIRA et al., 2020, BANDEIRA et al., 2021b). Os silos verticais são estruturas destinadas a armazenar e conservar produtos a granel, granulares ou pulverulentos (LIU et al., 2014; CARRIÓN, 2015; BANDEIRA et al., 2021a; DORNELAS et al., 2021).

Algumas normas estrangeiras tais como AS 3774 (1990) e BS EN 1991/4 (2006) fornecem equações para cálculo das pressões normais em um silo com carregamento e descarregamento. Com relação as pressões que o produto armazenado exerce sobre a parede do silo, Janssen (1895) considerou a distribuição uniforme desta ao redor de toda a circunferência, sendo tal afirmativa amplamente adotada pelas normas de silo vigentes, sendo possível a simetria nas pressões em torno de todo o perímetro durante o carregamento e descarregamento do silo (GOODEY, 2017).

Horais e Molenda (2017) ao realizarem carregamento e descarregamento de grãos em um silo, classificado como baixo por sua relação H/D, afirmam que quanto mais concêntrico o carregamento, maiores são as pressões de atrito no descarregamento, permanecendo as pressões horizontais sem alterações drásticas.

Couto et al. (2013) estudando o comportamento das pressões exercidas pelo milho em um silo vertical, afirma que o tempo de consolidação não apresenta influência significativa entre as pressões no descarregamento, sendo o principal fator da alteração das pressões a variação no peso específico consolidado durante o tempo de consolidação.

A exata predição da distribuição de cargas no corpo do silo se mostra um dos problemas mais significativos em projetos de silos, com especial atenção para as pressões exercidas nas paredes em virtude do empuxo do produto armazenado (MADRONA, 2009; LOPES NETO et al., 2017; MEIRA et al., 2020; BANDEIRA et al., 2021c). As pressões nas paredes do silo durante o carregamento e o armazenamento podem ser bem representadas por equações de pressão idealizadas por Janssen (1895), no entanto, segundo Yin (2015) e Fank (2015), não há consenso quanto à pressão no descarregamento devido ao tempo e as variações espaciais.

De acordo com estudos Ding (2014) e Fank et al. (2018), as pressões que ocorrem durante a descarga não são perfeitamente entendidas, levando-se em conta que a pressão no início da descarga é muito próxima da pressão no final da descarga. Também pode ser notada uma discrepância existente entre a pressão calculada e a medida experimentalmente na extremidade superior da tremonha.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

EFEITO DO TEMPO DE CONSOLIDAÇÃO NAS PRESSÕES HORIZONTAIS EXPERIMENTAIS E NORMATIZADAS EM SILOS VERTICAIS  
Ariadne Soares Meira, Diego José Araújo Bandeira, Márcia Janiele Nunes da Cunha Lima, Keviane Pereira Aragão,  
Patrício Gomes Leite, Anúbes Pereira de Castro, José Jorge da Silva Junior, Eduardo Sérgio Soares Sousa

Assim, o presente trabalho tem por objetivo a determinação experimental das pressões ao longo do corpo do silo vertical esbelto comparadas aos resultados teóricos das normas AS 3774 (1990) e BS EN 1991/4 (2006), além do efeito do tempo de consolidação do produto armazenado.

### MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Beneficiamento de Sementes, anexo ao Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas e no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente na Universidade Federal de Campina Grande, Campus I – Campina Grande/PB. Os ensaios foram realizados entre os meses de outubro de 2018 e fevereiro de 2019.

O presente trabalho utilizou grãos de milho adquiridos na Conab regional, com teor de umidade médio de 12,5%, e peso específico esteve entre 6,9 e 7,9  $\text{kN.m}^{-3}$ , apresentando uniformidade granulométrica, classificado como granular grosso, que apresenta fluxo livre, segundo classificação estipulada na norma AS 3774(1990).

O corpo do silo protótipo foi confeccionado em aço inox com 1 mm de espessura de parede, apresentando por dimensões de 2,50 m de altura e 0,64 m de diâmetro e volume de 0,8042  $\text{m}^3$ . A tremonha, também confeccionada em aço inox com 1 mm de espessura de parede, tem inclinação com a horizontal de aproximadamente 60°, com um volume aproximado de 0,0594  $\text{m}^3$  e orifício de descarga com diâmetro igual a 0,10 m, concêntrico. Assim, o conjunto corpo e tremonha do silo totalizam um volume armazenável de 0,8636  $\text{m}^3$ , onde, para o milho com um peso específico médio é de 7,5  $\text{kN.m}^{-3}$  tem-se aproximadamente 700 kg de grãos de milho armazenado.

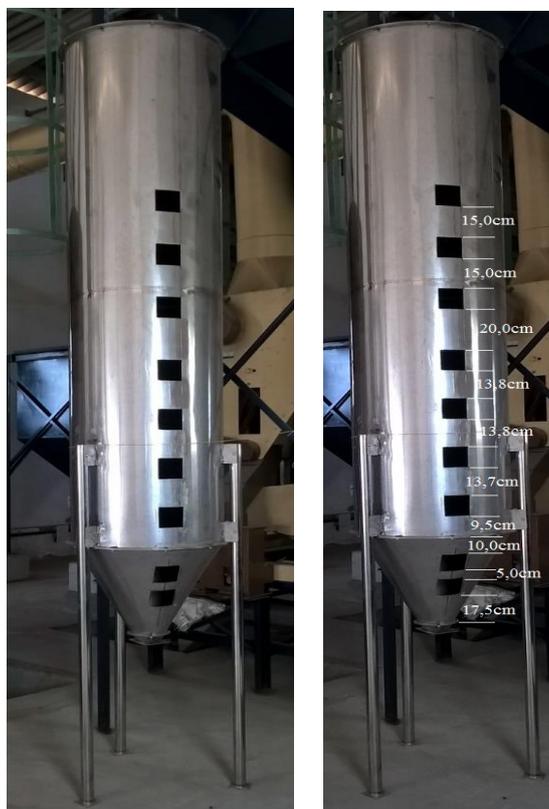
No corpo do silo foram realizados sete cortes em seções quadradas com dimensões de 0,098 x 0,098 m. Nestas seções foram instalados dispositivos compostos por pares de células de carga, espaçados conforme Figura 1 de maneira que possam seguir a assíntota de distribuição das pressões, existindo uma relação inversamente proporcional entre a altura do silo e as pressões.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

EFEITO DO TEMPO DE CONSOLIDAÇÃO NAS PRESSÕES HORIZONTAIS EXPERIMENTAIS E NORMALIZADAS EM SILOS VERTICAIS  
Ariadne Soares Meira, Diego José Araújo Bandeira, Márcia Janiele Nunes da Cunha Lima, Keviane Pereira Aragão,  
Patrício Gomes Leite, Anúbes Pereira de Castro, José Jorge da Silva Junior, Eduardo Sérgio Soares Sousa

**Figura 1.** Vista dos cortes para inserção das células de carga no corpo do silo protótipo



**Fonte:** Acervo dos Autores.

Para a instrumentação do silo foram utilizados dispositivos compostos por pares de células de carga modelo TAL223 em liga de alumínio, do fabricante HXASTLP *Hi Sensor*, com alimentação entre 5 e 12 Vdc, e sinal de saída de 1.0mV/V, conectadas ao sistema de aquisição de dados *Spider 8*, do fabricante HBM, configurados para operar em uma frequência de 5Hz coletando e armazenando cinco dados por segundo durante toda a execução dos ensaios. O *software* utilizado para análise dos dados foi o *Catman*, versão 4.5.

A disposição das células de carga para obtenção das forças exercidas pelo produto armazenado sobre as paredes do silo, seguiram a metodologia sugerida por Couto et al., (2012, 2013) e aprimorada por Wojcik et al. (2017).

As células foram fixadas na seção quadrada retirada do silo, por meio de um parafuso de bitola 4mm, arruela e porca, como disposto na Figura 2. Esta mesma célula foi fixada na outra extremidade á um suporte horizontal com furo passante soldado a uma haste vertical principal.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

EFEITO DO TEMPO DE CONSOLIDAÇÃO NAS PRESSÕES HORIZONTAIS EXPERIMENTAIS E NORMATIZADAS EM SILOS VERTICAIS  
Ariadne Soares Meira, Diego José Araújo Bandeira, Márcia Janiele Nunes da Cunha Lima, Keviane Pereira Aragão,  
Patrício Gomes Leite, Anúbes Pereira de Castro, José Jorge da Silva Junior, Eduardo Sérgio Soares Sousa

**Figura 1.** Células de carga



**Fonte:** Acervo dos Autores.

Foram determinadas as propriedades de fluxo: peso específico consolidado ( $\gamma$ ), ângulo de atrito interno ( $\phi$ ), efetivo ângulo de atrito interno ( $\delta$ ) e ângulo de atrito do produto com a parede ( $\phi_w$ ). Adotando a metodologia recomendada pela OPERATING INTRODUCTION FOR THE TRANSLATIONAL SHEAR TESTER (TSG – 70/140) utilizando o aparelho “Jenike Shear Cell” (Figura 3).

**Figura 3.** Jenike utilizado para determinação das propriedades de fluxo.



**Fonte:** Acervo dos Autores.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

EFEITO DO TEMPO DE CONSOLIDAÇÃO NAS PRESSÕES HORIZONTAIS EXPERIMENTAIS E NORMALIZADAS EM SILOS VERTICAIS  
Ariadne Soares Meira, Diego José Araújo Bandeira, Márcia Janiele Nunes da Cunha Lima, Keviane Pereira Aragão,  
Patrício Gomes Leite, Anúbes Pereira de Castro, José Jorge da Silva Junior, Eduardo Sérgio Soares Sousa

Foram feitos dois ensaios: cisalhamento do produto e cisalhamento do produto com o material da parede (madeira, aço liso, aço rugoso, acrílico e alumínio), a fim de determinar o ângulo de atrito interno, efetivo ângulo de atrito interno, o ângulo de atrito com a parede e a coesão do produto.

Para realização do ensaio de cisalhamento todas as cargas utilizadas no experimento estão descritas na tabela 1.

**Tabela 1.** Níveis de carga utilizados nos ensaios de cisalhamento.

Carga para Pré <i>Shear</i> (N)	Cargas <i>Shear</i> (N)	Carga para Atrito com a Parede (N)
70	50 – 35 - 20	
50	35 – 20 - 10	50; 40; 30; 20; 10; 4,389
35	20 – 10 – 07	

**Fonte:** Adaptado de Lopes Neto et al., (2009).

Utilizando um programa de computação gráfica (Auto CAD) com os resultados, foram traçados os gráficos de tensão normal e versus tensão de cisalhamento, para as cargas utilizadas, traçando círculos de Mohr.

As equações utilizadas para obtenção dos pontos que originaram a reta de coesão para construção dos círculos de Mohr onde foram mensuradas as tensões normais de consolidação e inconfineda, estão representadas abaixo:

$$\gamma = \frac{W_t - (W_b + W_r + W_L)}{V_t}$$

$$\tau_s = \tau \frac{\bar{\tau}_p}{\tau_p}$$

$$\tau_p = \frac{S_p}{A} g$$

$$\tau = \frac{S_s}{A} g$$

$$\sigma_p = \left( \frac{H + W_p + W_r + W_L + \gamma W_r}{A} \right) g$$

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_1^n \tau_p}{n}$$

$$\sigma_s = \left( \frac{H + W_s + W_r + W_L + \rho_b V_r}{A} \right) g$$

$$\bar{\sigma}_p = \frac{\sum_1^n \sigma_p}{n}$$

Sendo,



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

EFEITO DO TEMPO DE CONSOLIDAÇÃO NAS PRESSÕES HORIZONTAIS EXPERIMENTAIS E NORMALIZADAS EM SILOS VERTICAIS  
 Ariadne Soares Meira, Diego José Araújo Bandeira, Márcia Janiele Nunes da Cunha Lima, Keviane Pereira Aragão,  
 Patrício Gomes Leite, Anúbes Pereira de Castro, José Jorge da Silva Junior, Eduardo Sérgio Soares Sousa

$W_t$	Peso total da célula com o produto	(Kg)
$W_b$	Peso da base do anel	(Kg)
$W_r$	Peso do anel de cisalhamento	(Kg)
$W_L$	Peso da tampa	(Kg)
$V_t$	Volume total da célula de cisalhamento	(cm <sup>3</sup> )
$V_r$	Volume correspondente ao anel de cisalhamento	(cm <sup>3</sup> )
$A$	Área da seção transversal do anel de cisalhamento	(m <sup>2</sup> )
$G$	Aceleração da gravidade, 9,81 m/s <sup>2</sup>	(m/s <sup>2</sup> )
$H$	Peso do Pêndulo	(Kg)
$S_p$	Força de cisalhamento no pré-cisalhamento/estado de consolidação	(Kg)
$S_s$	Força de cisalhamento/início de consolidação	(Kg)
$W_p$	Peso no pendural durante o pré-cisalhamento	(Kg)
$W_s$	Peso no pendural durante o cisalhamento	(Kg)

Para a determinação do ângulo de atrito com a parede foram utilizadas as seguintes equações:

$$\sigma_w = \left( \frac{W_{wt} + W_w - W_m + H}{A} \right) g \quad \tau_w = \frac{S_w}{A} g \quad \varphi_w = \arctan \frac{\tau_w}{\sigma_w}$$

Sendo,

$\varnothing_w$	Ângulo de atrito com a parede	(°)
$W_{wt}$	Peso total da célula, inclusive anel, tampa e o produto	(Kg)
$W_m$	Peso da chapa do material da parede	(Kg)
$W_w$	Peso no pendural para o teste de atrito na parede	(Kg)
$S_w$	Força de cisalhamento	

As equações seguintes (1-6) foram utilizadas para a determinação das pressões no carregamento dos produtos armazenados.

$$Phc = Pho Yj$$

$$Pwc = \mu Pho Yj$$

$$Pvc = \frac{Pho}{K} Yj$$

$$Pho = \gamma K Z o$$



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

EFEITO DO TEMPO DE CONSOLIDAÇÃO NAS PRESSÕES HORIZONTAIS EXPERIMENTAIS E NORMALIZADAS EM SILOS VERTICAIS  
Ariadne Soares Meira, Diego José Araújo Bandeira, Márcia Janiele Nunes da Cunha Lima, Keviane Pereira Aragão,  
Patrício Gomes Leite, Anúbes Pereira de Castro, José Jorge da Silva Junior, Eduardo Sérgio Soares Sousa

Onde:

$$Z_0 = \frac{1}{K\mu} \frac{A}{U}$$

$$Y_j = 1 - e^{-\frac{Z}{Z_0}}$$

Para a determinação das pressões no descarregamento foram utilizadas as seguintes equações:

$$P_{hd} = C_h P_{hc}$$

$$P_{wd} = C_w P_{wc}$$

Para silos de paredes finas com uma relação  $D_c/t > 200$  e classificados segundo a norma Eurocode 1 como de classes 2 e/ou 3 tem-se os coeficientes de sobrepressão impostos numericamente sobre os valores de:

$$C_h = 1,15$$

$$C_w = 1,10$$

Com  $D_c$  sendo o diâmetro interno ao silo e  $t$  a espessura da chapa que compõe a parede do silo.

O primeiro descarregamento ocorreu após 6 horas posteriores ao processo de carregamento do silo, para que houvesse um tempo mínimo de consolidação. Este processo foi denominado Descarga 6 horas. O segundo processo de descarregamento ocorreu após 12 horas ao carregamento, sendo este denominado Descarga 12 horas. Já o último processo de descarregamento ocorreu após 24 horas ao carregamento, sendo este denominado Descarga 24 horas.

Posteriormente, as pressões obtidas experimentalmente foram comparadas aos valores das pressões determinadas empiricamente através de equações contidas nas normas estrangeiras AS 3774 (1990) e BS EN 1991/4 (2006) e plotadas em gráficos para a comparação simultânea.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

EFEITO DO TEMPO DE CONSOLIDAÇÃO NAS PRESSÕES HORIZONTAIS EXPERIMENTAIS E NORMATIZADAS EM SILOS VERTICAIS  
Ariadne Soares Meira, Diego José Araújo Bandeira, Márcia Janiele Nunes da Cunha Lima, Keviane Pereira Aragão,  
Patrício Gomes Leite, Anúbes Pereira de Castro, José Jorge da Silva Junior, Eduardo Sérgio Soares Sousa

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos ensaios realizados no “*Jenike Shear Cell*” as propriedades de fluxo (Tabela 2) foram determinadas com o intuito de serem utilizadas na determinação das pressões teóricas propostas pelas normas AS e BS.

**Tabela 2.** Propriedades de fluxo de grão de milho.

Tempo de Consolidação	$\gamma$		$\phi_i$		$\phi_e$		C
	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	
6 horas	7,1	7,6	12,6	20,3	20,0	23,2	724,61
12 horas	7,3	7,9	13,5	22,0	20,7	26,2	797,48
24 horas	7,4	7,9	19,3	24,2	22,1	27,0	800,45

**Fonte:** Acervo dos Autores.

Ao serem avaliadas as propriedades de fluxo do milho obtidas pelo programa Propriedades, fica evidenciado que, quanto maior o tempo de consolidação maior será o ângulo de atrito interno assim como a coesão do produto. Esta progressão pode ser observada também no trabalho de Teunou & Fitzpatrick (2000); Fitzpatrick et al., (2004); Fitzpatrick et al., (2007); Lopes Neto et al., (2009) e Fank et al., (2015) ao afirmarem que o durante o tempo de armazenamento, as forças envolvidas na coesão do produto sofrem acréscimo de forma gradativa.

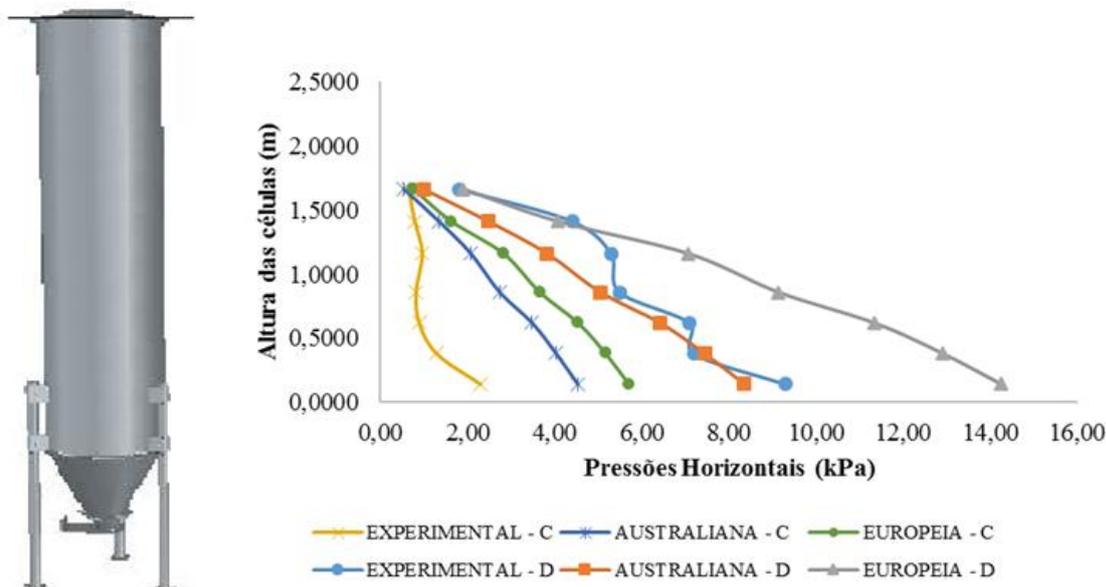
Com relação ao incremento no peso específico ao longo do tempo de armazenamento, Calil Jr & Cheung (2007) afirmam que esta propriedade é afetada pelo nível de tensão atuante e depende diretamente do grau de consolidação do produto.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

EFEITO DO TEMPO DE CONSOLIDAÇÃO NAS PRESSÕES HORIZONTAIS EXPERIMENTAIS E NORMATIZADAS EM SILOS VERTICAIS  
Ariadne Soares Meira, Diego José Araújo Bandeira, Márcia Janiele Nunes da Cunha Lima, Keviane Pereira Aragão,  
Patrício Gomes Leite, Anúbes Pereira de Castro, José Jorge da Silva Junior, Eduardo Sérgio Soares Sousa

**Figura 4.** Comparação com tempo de consolidação de 6 horas



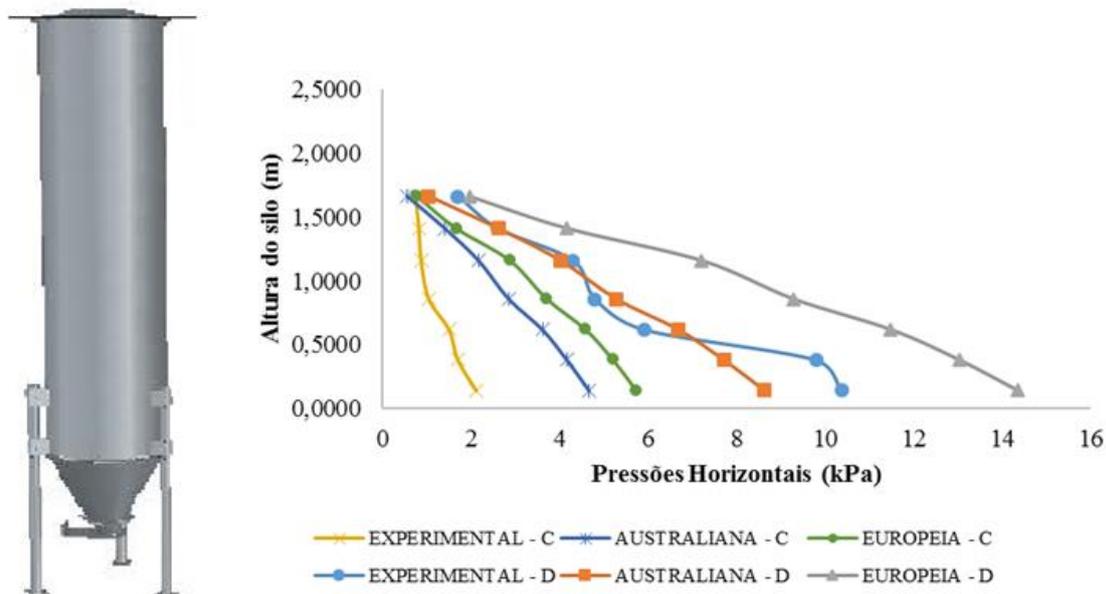
**Fonte:** Acervo dos Autores.

Comparando os resultados gerados com os dados experimentais com tempo de armazenamento de uma hora (Instantâneo) e de seis horas (Figura 4), é notório que as pressões durante o carregamento nestas duas situações de tempo de armazenamento são similares, havendo diferença apenas nas pressões de descarregamento pelo fato de haver acomodação e consolidação do produto armazenado.

Couto et al. (2013) encontram variações similares com relação ao aumento dos valores obtidos através da norma BS EN 1991/4 quando comparados aos valores experimentais, sendo os valores normatizados até 150% superiores aos experimentais durante o descarregamento. No presente trabalho, esta diferença também foi de aproximadamente 150% entre os valores normatizados e experimentais.

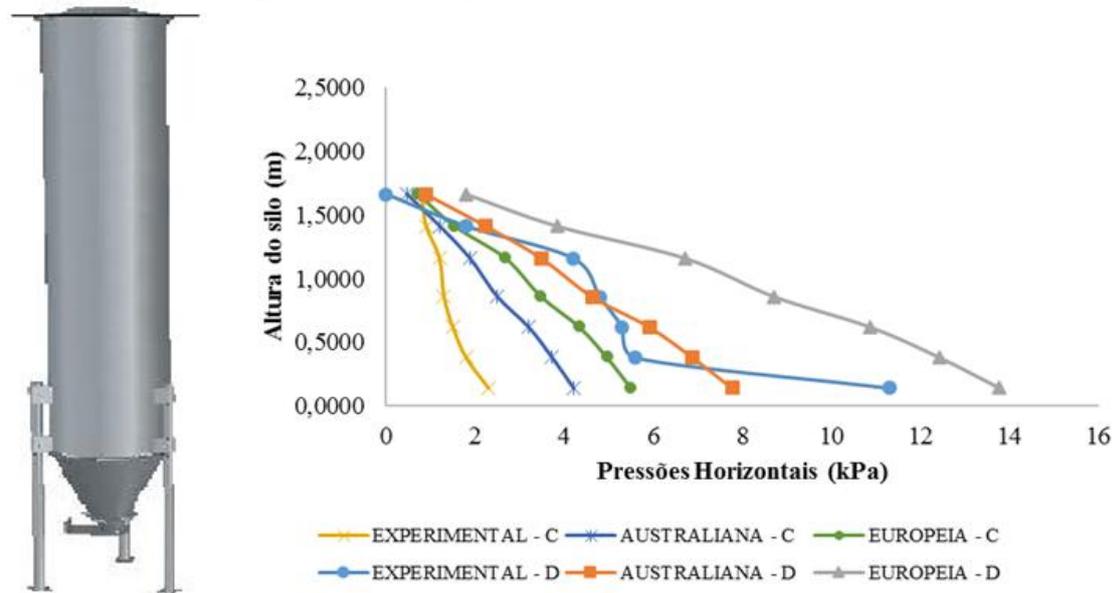
A norma AS 3773 também majora seus valores de pressões no descarregamento, porém, apresentando aumento de até 80% entre os valores experimentais e normatizados, sendo possível assim, afirmar que, no uso de normas estrangeiras para determinação das pressões horizontais em um silo com características de parede lisa, relação H/D igual a 4 e tempo de armazenamento de instantâneos a 6 horas, a norma AS 3774 é a mais indicada entre as duas normas utilizadas como parâmetro.

Figura 5. Comparação com tempo de consolidação de 12 horas



Fonte: Acervo dos Autores.

Figura 6. Comparação com tempo de consolidação de 24 horas



Fonte: Acervo dos Autores.

Embora tenha existido aumento do tempo de armazenamento, as pressões experimentais de descarregamento, tanto quando o tempo de armazenamento foi de 12 (Figura 5) quanto 24 horas (Figura 6), foram, na média, similares as pressões obtidas através da norma AS 3774. Porém, os



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

EFEITO DO TEMPO DE CONSOLIDAÇÃO NAS PRESSÕES HORIZONTAIS EXPERIMENTAIS E NORMATIZADAS EM SILOS VERTICAIS  
Ariadne Soares Meira, Diego José Araújo Bandeira, Márcia Janiele Nunes da Cunha Lima, Keviane Pereira Aragão,  
Patrício Gomes Leite, Anúbes Pereira de Castro, José Jorge da Silva Junior, Eduardo Sérgio Soares Sousa

valores das pressões obtidos pela norma BS EN 1991/4 quando comparada com os valores experimentais, continuam sendo superiores.

Embora Wojck et al. (2017) não tenham imposto tempos de armazenamento em seu trabalho, o aumento das pressões determinadas pela norma BS EN também é constatada pelos autores, afirmando que tal majoração é uma determinação segura das pressões pelo fato do silo experimental ser relativamente pequeno e as pressões normalizadas serem determinadas em relação a silos em verdadeira grandeza onde o nível de pressão que o produto armazenado impoe as paredes é mais alto.

### CONCLUSÃO

Quando comparadas as normas AS 3774 e BS 1991/4, as pressões experimentais apresentam valores até 70% inferiores aos normatizados, porém, durante o descarregamento, as pressões experimentais se aproximaram numericamente das pressões teóricas.

Concluiu-se ainda que não houve efeito do tempo de consolidação de 6, 12 e 24 horas nas pressões analisadas experimentalmente.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AS 3774. **Australian Standard**: loads on bulk containers. Sydney: Australian Standard, 1990. 62 p.
- BANDEIRA, D. J. A.; LEITE, P. G.; ARAGÃO, K. P.; OLIVEIRA, A. N. de; "Vertical silo pressure analysis with unusual building materials". **International Journal of Development Research**, v. 11, n. 10, p. 50875-50878, 2021c.
- BANDEIRA, D. J. A.; LIMA, M. J. N. da C.; OLIVEIRA, A. N. de; BRANCO, R. R. C.; NASCIMENTO, K. L. do; COSTA, R. F.; NASCIMENTO, J. J. da S. Physical and flow properties of common bean cultivars for the design of vertical silos. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 12, e208101220347, 2021a. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20347>
- BANDEIRA, D. J. A.; MEIRA, A. S.; LEITE, P. G.; OLIVEIRA, A. N. de; LIMA, M. J. N. da C.; ARAGÃO, K. P.; BRANCO, R. R. C.; CASTRO, A. P. "Analysis of pressures in a storage silo of bean cultivars with different types of steel". **International Journal of Development Research**, v. 11, n. 09, p. 51278-51281, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.37118/ijdr.23004.10.2021>.
- BANDEIRA, D. J. A.; NASCIMENTO, J. J. da S.; NASCIMENTO, J. W. B. do. Flow analysis of poultry feed in slender vertical silos with inverted cone insert. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, e63091110369, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.10369>
- BS EN 1991-4. **Eurocode 1**: actions on structures – part 4: silos and tanks. [S. l.]: The European Union, 2006. 112 p.
- CALIL JUNIOR, C.; CHEUNG, A. B. **Silos**: Pressões, fluxo, recomendações para o projeto e exemplos de cálculo. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2007. 240 p.
- CARRIÓN, A. A. **Grandes silos de almacenamiento de clínker**: análisis y priorización. 2015. 732p. Tese (Doutorado) - Universitat Politècnica de València, Valencia, 2015.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

EFEITO DO TEMPO DE CONSOLIDAÇÃO NAS PRESSÕES HORIZONTAIS EXPERIMENTAIS E NORMALIZADAS EM SILOS VERTICAIS  
Ariadne Soares Meira, Diego José Araújo Bandeira, Márcia Janiele Nunes da Cunha Lima, Keviane Pereira Aragão,  
Patrício Gomes Leite, Anúbes Pereira de Castro, José Jorge da Silva Junior, Eduardo Sérgio Soares Sousa

COUTO, A.; RUIZ, A.; AGUADO P. J. Design and instrumentation of a mid-size test station for measuring static and dynamic pressures in silos under different conditions – Part I: Description. **Computers and Electronics in Agriculture**, p.164-173, 2012.

COUTO, A.; RUIZ, A.; HERRÁEZ, L.; MORAN, J.; AGUADO, P. J. Measuring pressures in a slender cylindrical silo for storing maize. Filling, static state and discharge with different material flow rates and comparison with Eurocode 1 part 4. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 96, p. 40-56, 2013.

DING, S.; JI, Y.; SENBIN, Y.; ROTTER, J. M.; LI, Q. Measurements of pressure and frictional tractions along walls of a large-scale conical shallow hopper and comparison with Eurocode1991-4:2006. **Thin-Walled Structures**, p. 231-238, 2014.

DORNELAS, K. C.; SILVA, V. R.; PESSOA, Y. C. C.; NASCIMENTO, J. W. B. Propriedades físicas e de fluxo de produtos granulares para projeto de silo. **Research, Society and Development**, v. 10, n.10, e234101018754, 2021.

FANK, M. Z.; CHRIST, M. Z. D.; CARDOSO, D. L.; WILLRICH, F. L.; LORENZI, V. Coeficiente de transferência de carga nas fundações de silos verticais cilíndricos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 887-891, 2015.

FANK, M. Z.; NASCIMENTO, J. W. B.; CARDOSO, D. L.; MEIRA, A. S.; WILLRICH, F. L. Vertical pressures and compressive friction force in a large silo. **Scientific Paper, Agricultural Building and Environment Eng. agric.**, v. 38, n. 4, 2018.

FITZPATRICK, J. J.; BARRY, K.; CERQUEIRA, P. S. M.; IQBAL, T.; O'NEILL, J.; ROOS, Y. H. Effect of composition and storage conditions on the flowability of dairy powders. **Journal of Food Engineering**, v. 17, p. 328-392, 2007.

FITZPATRICK, J. J.; IQBAL, T.; DELANEY, C.; TWOMEY, T.; KEOGH, M. K. Effect of powder properties and storage conditions on the flowability of milk powders with different fat contents. **J. Food Eng.**, v. 64, p. 435-444, 2004.

GOODEY, R. J.; BROWN, C. J.; ROTTER J. M. Rectangular steel silos: Finite element predictions of filling wall pressures. **Engineering Structures**, v. 132, p. 61-69, 2017.

HORABIK, J.; MOLEND, M. Distribution of static pressure of seeds in a shallow model silo. **Int. Agrophys.**, v. 31, p. 167-174 2017.

JANSSEN, H. A. Versuche über Getreidedruck in Silozellen. **Z. Ver. Dtsch. Ing.**, p. 1045–1049, 1895.

LIU, S. D.; ZHOU, Z. Y.; ZOU, R. P.; YU, D.; PINSON, A. B. Flow characteristics and discharge rate of ellipsoidal particles in a flat bottom hopper. **Powder technology**, v. 253, p. 70-79, 2014.

LOPES NETO, J. P.; MEIRA, A. S.; NASCIMENTO, J. W. B. Flow properties and pattern flow prediction of food industrial powders. **Scientific Paper, Agricultural Building and Environment. Eng. agric.**, v. 37, n. 04, 2017.

LOPES NETO, J. P.; SILVA, V. R. da; NASCIMENTO, J. W. B. do. Propriedades de fluxo de produtos pulverulentos alimentícios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 639-644, 2009.

MADRONA, F. S.; CALIL JUNIOR, C. Análise das pressões em silos esbeltos com descarga excêntrica. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, p. 37-56, 2009.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

EFEITO DO TEMPO DE CONSOLIDAÇÃO NAS PRESSÕES HORIZONTAIS EXPERIMENTAIS E NORMATIZADAS EM SILOS VERTICAIS  
Ariadne Soares Meira, Diego José Araújo Bandeira, Márcia Janiele Nunes da Cunha Lima, Keviane Pereira Aragão,  
Patrício Gomes Leite, Anúbes Pereira de Castro, José Jorge da Silva Junior, Eduardo Sérgio Soares Sousa

MEIRA, A. S.; MOTA, E. L.; BANDEIRA, D. J. A.; SILVA, V. R.; SILVA, L. A. Propriedades de fluxo e pressões para projeto de silo vertical armazenador de açúcares. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 2, p.104-110, 2019.

MEIRA, A. S.; NASCIMENTO, J. W. B.; SILVA, V. R.; NASCIMENTO, R. T.; SOARES, H. R. Análise comparativa de pressões horizontais durante o carregamento em silos verticais metálicos. **Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza**, v. 4, e1539, 2020.

TEUNOU, E.; FITZPATRICK, J. J. Effect of storage time and consolidation on food powder flowability. **Journal of Food Engineering**, v. 43, p. 97-101.

WOJCIK, M.; SONDEJ, M.; REJOWSKI, K.; TEJCHMAN, J. Full-scale experiments on wheat flow in steel silo composed of corrugated walls and columns. **Powder Technology**, p. 85-92, 2017.

YIN, Wang; LU, Yong; OOI, Jin Y. A numerical study of wall pressure and granular flow in a flat-bottomed silo. **Powder Technology**, p. 43-54, 2015.