

## PRESSÕES EXERCIDAS PELOS GRÃOS EM CHAPAS LATERAIS DE SILO METÁLICO

**CÉSAR AUGUSTO GAIOSO FILHO<sup>1</sup>; WOLMER BROD PERES<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Engenharia Agrícola-UFPel 1 – cesaraugustogfilho@hotmail.com*

<sup>2</sup>*Engenharia Agrícola-UFPel – wolmerbp@gmail.com*

### 1. INTRODUÇÃO

A agricultura é uma garantia de superávit da balança comercial nacional. A colheita e os locais de armazenagem não são suficientes e não estão distribuídos adequadamente. Há graves problemas logísticos e os meios para escoamento da safra são precários. É necessário que o pequeno agricultor tenha em sua propriedade um sistema de armazenagem, evitando assim a saída do produto em época de safra, onde há um aumento significativo do frete, e, além disso, poderá esperar um preço melhor aumentando seu lucro.

A palavra silo origina do grego que significa lugar escuro, cavernoso (ARAUJO, 1997). Hoje em dia denomina-se como um grande depósito para armazenar e conservar produto sólido, a granel seja ele industrial ou agrícola. Seu projeto pode ter diversas formas, materiais e tamanhos dependendo da sua utilização e do processo que será requerido. No Brasil predominam os silos metálicos em chapa galvanizada, ondulada, calandrada e parafusada formando anéis. Freitas (2001) diz que o silo metálico é utilizado para o armazenamento de qualquer tipo de grão, tendo como vantagem a possibilidade de conseguir armazenar livre de ratos e pragas.

Porém, grandes partes dos silos mundiais não estão em condições adequadas de funcionamento, isso porque os projetos são complexos e incertos devido às diversas variáveis, afetando o comportamento estrutural. Uma boa explicação para essas falhas é o pouco conhecimento das pressões e do comportamento do material a ser armazenado. Contudo isso também explica a grande quantidade de acidentes e colapsos de silos.

Tendo em vista esses problemas por falta de analogia entre a teoria e prática foi elaborado esse exemplo de cálculos que nos permitem identificar como as forças provocadas pelo grão exercem pressões sobre as chapas laterais de silo metálico.

### 2. METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado na disciplina de Engenharia Agroindustrial II do curso de Engenharia Agrícola-UFPel, levando em consideração: algumas características:

a) Silo comercial, mais utilizado na região, com capacidade de aproximadamente 44.000 sacos com: altura do chapéu: 4,17 m; altura do cilindro (pé direito): 17,37 m; altura total: 21,54 m; altura útil de cada anel: 0,91 m; área: 167,41m<sup>2</sup>; diâmetro: 14,60 m; número de anéis: 19; número de chapas por anel: 16.

b) Armazenamento de grãos de trigo, por ser segundo Shedd (1953), a pior hipótese para cálculo, devido ao elevado valor de seu peso específico, comparado com outros grãos e possuir as seguintes

características: ângulo de atrito grão-parede ( $\phi''$ ):  $23,7^0$ ; ângulo de atrito interno ( $\phi'$ ):  $25^0$ ; ângulo de talude natural ( $\alpha$ ):  $26^0$ ; peso específico aparente ( $\gamma$ ):  $770 \text{ kgf/m}^3$ ; umidade inicial: 13%.

O dimensionamento foi realizado segundo Milman et al. (2014), adaptando a teoria de Reimbert (1979), para cálculo das pressões exercidas pelos grãos, sobre as paredes de um silo esbelto com esvaziamento normal.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando os parâmetros de cálculo:

#### a) Pressões horizontais

PRESSÃO HORIZONTAL MÁXIMA

$$Ph \text{ máx} = \frac{\gamma x D}{4 \tan \phi''}$$

Onde:  $ph \text{ máx}$  = pressão horizontal máxima ( $\text{kgf/m}^2$ )

$\phi''$  = ângulo de atrito grão-parede

$\gamma$  = peso específico do grão ( $\text{kgf/m}^3$ )

D = diâmetro do silo (m)

PRESSÃO UNITÁRIA HORIZONTAL

$$Pz = Ph \text{ max} \left\{ 1 - \left[ \frac{Z}{X} + 1 \right]^2 \right\}$$

ÁREA

$$A = \frac{D}{4 \tan \phi'' x \tan (45 - \frac{\phi'}{2})} - \frac{h}{3}$$

Onde:  $pz$  = Pressão horizontal a uma profundidade Z ( $\text{kgf/m}^2$ )

Z=ordenada de carga (m)

X=abscissa característica (m)

A= área ( $\text{m}^2$ )

$\phi''$  = ângulo de atrito grão-parede.

$\phi'$  = ângulo de atrito interno

h= altura do cone de carga

PRESSÃO VERTICAL  
UNITÁRIA

$$P_{vz} = \gamma \left\{ Z \left[ \frac{Z}{X} + 1 \right]^{-1} + \frac{h}{3} \right\}$$

Onde:  $p_{vz}$ = profundidade vertical a uma profundidade  $Z$  (kgf/m<sup>2</sup>)

$\gamma$ = peso específico do grão (kgf/m<sup>3</sup>)

$h$ = altura do cone de carga

$Z$ =ordenada de carga (m)

$X$ =abscissa característica (m)

### b) Pressões verticais

## PRESSÃO VERTICAL MÁXIMA

$$P_{hmáx} = p_{vzmáx}$$

## FORÇA DE ATRITO MÁXIMA

$$F_{atmáx} = \frac{\pi x D^2}{4} \left[ (Hxy) + \frac{hx\gamma}{3} - p_{vzmáx} \right]$$

Onde:  $F_{atmáx}$ = força de atrito máxima (kgf)

$p_{vzmáx}$ = pressão vertical máxima (kgf/m<sup>2</sup>)

$H$ =altura da carga nivelada, igual ao pé direto do silo (m)

$D$ =diâmetro do silo (m)

$\gamma$ =peso específico do grão (kgf/m<sup>3</sup>)

$h$ =altura do cone de carga (m)

FORÇA DE ATRITO À  
PROFUNDIDADE Z

$$F_{atz} = \frac{\pi x D^2}{4} \left[ (Zxy) + \frac{hx\gamma}{3} - p_{vz} \right]$$

Onde:  $F_{atz}$ = força de atrito à profundidade  $Z$  (kgf)

$D$ =diâmetro do silo (m)

$Z$ =ordenada de carga (m)

$\gamma$ =peso específico do grão (kgf/m<sup>3</sup>)

$h$ =altura do cone de carga (m)

$p_{vz}$ = pressão vertical a uma profundidade  $Z$  (kgf/m<sup>2</sup>)

A partir destes parâmetros foram obtidos os resultados apresentados na planilha a seguir:

<u>Cota do anel</u>	<u>(m)</u>	<u>Pressão horizontal unitária</u>	<u>Kgf/m<sup>2</sup></u>	<u>Pressão vertical unitária</u>	<u>Kgf/m<sup>2</sup></u>	<u>Força de atrito (kgf)</u>
<u>Z19</u>	0,914	<u>PZ19</u>	6385,72	<u>Pvz19</u>	1739,81	297.000
<u>Z18</u>	1,828	<u>PZ18</u>	6335,39	<u>Pvz18</u>	2347,14	414.820
<u>Z17</u>	2,742	<u>PZ17</u>	6251,50	<u>Pvz17</u>	2900,57	532.640
<u>Z16</u>	3,656	<u>PZ16</u>	6134,06	<u>Pvz16</u>	3406,97	650.460
<u>Z15</u>	4,570	<u>PZ15</u>	5983,06	<u>Pvz15</u>	3872,08	768.280
<u>Z14</u>	5,484	<u>PZ14</u>	5798,51	<u>Pvz14</u>	4300,77	886.100
<u>Z13</u>	6,398	<u>PZ13</u>	5580,40	<u>Pvz13</u>	4697,14	1.003.921
<u>Z12</u>	7,312	<u>PZ12</u>	5328,74	<u>Pvz12</u>	5064,73	1.121.741
<u>Z11</u>	8,226	<u>PZ11</u>	5043,52	<u>Pvz11</u>	5406,55	1.239.561
<u>Z10</u>	9,140	<u>PZ10</u>	4724,74	<u>Pvz10</u>	5725,22	1.357.381
<u>Z9</u>	10,054	<u>PZ9</u>	4372,42	<u>Pvz9</u>	6023,02	1.475.202
<u>Z8</u>	10,968	<u>PZ8</u>	3986,53	<u>Pvz8</u>	6301,94	1.593.022
<u>Z7</u>	11,882	<u>PZ7</u>	3567,09	<u>Pvz7</u>	6563,71	1.710.842
<u>Z6</u>	12,796	<u>PZ6</u>	3114,10	<u>Pvz6</u>	6809,87	1.828.662
<u>Z5</u>	13,710	<u>PZ5</u>	2627,55	<u>Pvz5</u>	7041,77	1.946.482
<u>Z4</u>	14,624	<u>PZ4</u>	2107,45	<u>Pvz4</u>	7260,62	2.064.302
<u>Z3</u>	15,538	<u>PZ3</u>	1553,79	<u>Pvz3</u>	7467,48	2.182.123
<u>Z2</u>	16,452	<u>PZ2</u>	966,58	<u>Pvz2</u>	7663,33	2.299.943
<u>Z1</u>	17,366	<u>PZ1</u>	345,81	<u>Pvz1</u>	7849,01	2.417.763

#### 4. CONCLUSÕES

Este trabalho visa a apresentação de metodologia de cálculo para avaliação das pressões exercidas pelos grãos em chapas laterais de silo metálico.

As pressões exercidas são inversamente proporcionais à altura do silo;

Os anéis inferiores estão sujeitos aos maiores esforços.

O dimensionamento exigirá maior resistência nas chapas laterais a medida que aumentam os esforços.

Mesmo com o aperfeiçoamento no cálculo das ações do grão armazenado em silos, outros parâmetros como: forma de carga e descarga, fatores climáticos, etc, também devem ser analisados para evitar colapsos nas estruturas armazenadoras.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, E. C. (1997). Estudo teórico experimental de tremonhas piramidais para silos metálicos elevados. São Carlos. 318 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- FREITAS E.G. (2001). Estudo teórico e experimental das pressões em silos cilíndricos de baixa relação altura/diâmetro e fundo plano. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 2001.
- LUZ, C.A.S.; PERES, W.B.; LUZ, M.L.G.S.; GADOTTI, G.I. Armazenamento de grãos e sementes. Pelotas: Santa Cruz, 2015. 192p.
- MILMAN, M.J.; PERES, W.B.; LUZ, C.A.S.; LUZ, M.L.G.S. Equipamentos para pré-processamento de grãos. Pelotas: Santa Cruz, 2014. 244p.
- PERES, W.B. Manutenção da qualidade de grãos armazenados. 2. ed. Pelotas: UFPel, 2000. 54p.
- PALMA, G. (2005). Pressões e fluxo em silos esbeltos ( $h/d \geq 1,5$ ). São Carlos, 2005. Exame de Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- REIMBERT, M.; REIMBERT, A. Silos: teoria y práctica. Buenos Aires. Américalee. Buenos Aires. 1979. 473p
- SHEDD, C.K. Some new data on resistance of grains to airflow. Agricultural Engineering, v.32, p.493-495, 195.
- PROF. Dr. CARLITO CALIL JUNIOR- Silos Metálicos de Chapa Corrugada (DEZEMBRO 1989)  
<[http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/1990ME\\_PauloEstevesJunior.pdf](http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/1990ME_PauloEstevesJunior.pdf)>
- SCALABRIN, L.A. Dimensionamento de Silos Metálicos para Armazenagem de Grãos. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2008.