

ESTUDO DAS AÇÕES EM SILOS HORIZONTAIS

Francisco Carlos GOMES¹, Ari NEGRISOLI², Carlito CALIL JR.³

RESUMO: Entre as ações consideradas nos cálculos dos silos horizontais (peso próprio, peso de equipamentos, vento, recalques diferenciais de apoios), a de maior importância é a causada pelo empuxo dos materiais armazenados. Neste trabalho procurou-se avaliar estas ações, através das teorias de Coulomb e Rankine, considerando as pressões laterais em estruturas rígidas indeslocáveis e deslocáveis. Para isso foram consideradas a rigidez e a deslocabilidade da estrutura (rotação, translação) e a forma da deslocabilidade relativa entre a estrutura e o maciço.

PALAVRAS-CHAVE: Silos horizontais, ações, deslocabilidade

ABSTRACT: This paper presents study of the pressures and calculation of two types of walls horizontal silos. Actions was calculated using soil mechanics theory (Coulomb and Rankine). The relative displacement of the structure and agricultural material in storage was evaluated. In order to calculate the pressures on the horizontal silos wall, one must determine the physical properties of the product to be stored (grain). The basic parameters are : density, angle of internal friction and angle of friction wall. Using height of 2,7 m for the wall are presented the actions considering the calculation of stability.

KEYWORDS: Horizontals silos, actions, displacement

INTRODUÇÃO: Os silos horizontais, como estrutura de armazenamento, apresentam uma grande vantagem quanto ao custo por m³ de produto armazenado, mas requerem nos projetos uma análise criteriosa das ações, devido a simplicidade do sistema estrutural. As ações provocadas pelo material ensilado (empuxo), são avaliadas a partir das pressões laterais nas estruturas consideradas rígidas indeslocáveis e deslocáveis. Dessa forma, são verificadas a rigidez da estrutura e sua deslocabilidade (rotação, translação), bem como a forma da deslocabilidade relativa entre a estrutura e o maciço de material armazenado. Outras ações devem ser levantadas nos projetos; peso-próprio, peso dos equipamentos (máquinas, cabos e correias transportadoras), ventos e outros (recalques diferenciais de apoios, protensão, vibração de máquinas).

¹Professor M.Sc.,DEG-UFLA, Campus Universitário, CP-37, 37200.000, Lavras, MG, E-Mail esal@eu.ansp.br, Fone (035) 829.1486

²Engenheiro da ENGESILOS CONSULTORIA E PROJETOS DE ENGENHARIA S/C LTDA. R. Tiapira, 26, Fone (011) 212.4104 - São Paulo - SP - CEP 05578-000

³Professor Titular da EESC-USP, LaMEM, Av. Dr. Carlos Botelho, 1465, Fone (016) 274.9263, São Carlos, SP.

MATERIAL E MÉTODOS: Foram calculados os empuxos (KN/m), ou resultante das pressões laterais (KN/m²) exercidas pelo produto armazenado em três diferentes tipos de estruturas: paredes verticais deslocáveis e indeslocáveis pela teoria de Rankine e um terceiro tipo com paredes inclinadas pela teoria de Coulomb. Utilizou-se como parâmetros o ângulo de atrito interno (ϕ_i), que varia com o nível de pressão existente e o ângulo de repouso (ϕ_r), definido como ângulo formado pela superfície livre do monte com o plano horizontal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A tabela 1, ilustra os valores comparativos de empuxo ativo, utilizando as teorias de Coulomb e Rankine, em estruturas deslocáveis. Adotou-se o ângulo de repouso igual a 27⁰ e o ângulo de atrito interno igual a 30⁰, para um produto com peso específico de 8 KN/m³. Obteve-se valores de empuxo iguais para os dois métodos em questão, de acordo com a CFBC (1983) que aplica tais teorias com pequenas variações nos resultados. Para as estruturas indeslocáveis são calculadas as pressões laterais em repouso, conforme é mostrado na tabela 2, considerando a contribuição das pressões verticais provenientes da pilha triangular do produto. Pode-se observar que as pressões laterais resulta ser praticamente linear com a profundidade. Nos casos das estruturas de arrimo inclinada, utilizando-se o método de Coulomb, o valor do empuxo é de 7,52 KN/m, reduzindo-se para 50% do valor calculado nos paramentos verticais, o que pode ser observado na tabela 3.

CONCLUSÕES: Conforme comprova a experiência, as pressões laterais numa estrutura indeslocável são maiores que aquelas aplicadas a uma estrutura de arrimo que admite deslocamentos. As teorias de Rankine e Coulomb são aplicadas aos cálculos das ações em silos horizontais sendo que a primeira só se aplica a paramentos verticais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

CALIL Jr., C. **Recomendações de fluxo e de cargas para o projeto de silos verticais.** São Carlos, 1990. 198p. Tese de Livre Docência. LaMEM/EESC/USP.

CALIL Jr., C ; NASCIMENTO , J.W.B. **Combinação das ações para o projeto de silos.** In: XXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Bauru, 1996. Anais. Bauru, Faculdade de Engenharia e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, 1996. V.1, p.131-146.

CANADIAN FARM BUILDING CODE. 1983. Parte 2, Structural design, Ottawa, Canadá.

EUROCODE 1- ENV 1991-4, **Basis of design and action on structures / Actions on silos and tanks.** Bruxelas.

NEGRISOLI, A. **Exemplo de uma unidade de armazenamento de cereais.** ENGESILOS CONSULTORIA E PROJETOS DE ENGENHARIA S/C LTDA. 1997.

RAVENET, R. **Grain and meal silos in Latin America.** Espanha, Bulk solids handling, V.4, n.2, 1984, p. 363-372.

RAVENET, R. **Silos - Teoria, investigação e construcion.** Editores Tecnicos Associados S.A. , Barcelona, 375 p. V.1.

REIMBERT, M. e A. **Design and calculation of the walls of horizontal silos (and retaining walls).** França, Bulk solid handling, V. 7, n.4, 1987, p.561-571.

TABELA 1 - Valores obtidos para o empuxo ativo - métodos de Rankine e Coulomb

Rankine	Coulomb
$E_a = 0,22 H^2$	$E_a = 0,22 H^2$
$E_{av} = 0,10 H^2$	$E_{av} = 0,07 H^2$
$E_{ah} = 0,20 H^2$	$E_{ah} = 0,21 H^2$

TABELA 2- Cálculo das pressões laterais para o empuxo em repouso.

Z (m)	P_z (KN/m ²)	P_z (KN/m ²)	P_l (KN/m ²)
0	0	0	0
0,50	0,65	4,65	2,34
1,00	0,31	9,31	4,66
1,50	1,92	13,92	6,96
2,00	2,57	18,57	9,29
2,70	3,96	25,06	12,53

TABELA 3- Cálculo dos empuxos ativos de acordo com as teorias de Coulomb e Rankine em estrutura de arrimo lateral e inclinada(*) (h = 2,70 m)

MÉTODO DE CÁLCULO	EMPUXO ATIVO (KN/m)
Rankine	14,58
Coulomb	15,31
Em repouso	16,92
Coulomb (*)	7,52