



Análise de pressões em silo vertical de alvenaria de tijolos

Marineide J. Diniz¹ & José W. B. Nascimento²

RESUMO

Objetiva-se com este trabalho, determinar as pressões verticais e horizontais nas paredes e no fundo de um silo cilíndrico, com altura/diâmetro igual a 1 e comparar as pressões teóricas obtidas através de normas internacionais. O silo foi construído em alvenaria de tijolos de 8 furos, fixando-lhe externamente nove cintas de aço. A metodologia e as técnicas aplicadas foram as indicadas pelas normas, com as devidas adaptações necessárias. Determinaram-se as propriedades de fluxo do produto na Máquina de Cisalhamento Direto Translacional (Jenike Shear Cell). Calcularam-se as pressões teóricas, de acordo com as recomendações das normas DIN 1055, ACI 313 e ISO 11697. O produto utilizado nos ensaios foi a areia, em razão da sua densidade ser aproximadamente duas vezes maior à maioria dos cereais. Para medição das pressões o silo foi instrumentado com 6 células de pressão, das quais 4 fixadas na parede e 2 no fundo do silo, além de conectadas a um sistema de aquisição de dados. Através da análise dos dados obtidos de forma experimental, juntamente com o conhecimento das propriedades do produto, conclui-se que o tipo de silo estudado apresenta potencial que permite a sua utilização para armazenamento de grãos nas propriedades rurais.

Palavras-chave: estruturas de armazenamento, células de carga, grãos

Analysis of pressures in vertical silo of masonry of bricks

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the vertical and horizontal pressures on the walls and at the bottom of a cylindrical silo with height/diameter equal to 1 and to compare the obtained theoretical pressures through international rules. The silo was built in masonry of bricks, with 8 holes fixing externally nine steel braces. The applied methodology and techniques had been the ones as indicated by the rules with the necessary adaptations. The stream properties of the product were determined in the shearing machine translational direct Jenike Shear Cell. The theoretical pressures were calculated in agreement with the recommendations of the rules DIN 1055, ACI 313 and ISO 11697. The product used in the tests was the sand due to its density being approximately two times higher than the values for most of the cereals. For determination of pressures the silo was equipped with 6 load cells, with 4 settled in the wall and 2 in the bottom, all of them connected to a data acquisition system. Through the analysis of the data obtained experimentally, together with the knowledge of the product properties the type of studied silo presents potential that allows its use for storage of grains in the farms.

Key words: structure of storage, load cell, grain

¹ UFCG, Rua.15 de Novembro 1740, CEP 58102-01, Campina Grande, PB – Fone: (83)3321-2272 – E-mail: mjdiniz80@hotmail.com (Foto)

² DEAg/UFCG. CEP 58109-930, Campina Grande, PB – Fone (83) 3101312 – E-mail: wallace@deag.ufpb.br

INTRODUÇÃO

O aumento contínuo da população mundial exige a mobilização de recursos substanciais para a produção de alimentos. Em consequência, a proteção dos produtos depois da colheita ocupa lugar de destaque. Métodos de armazenagem adequados são utilizados em países em vias de desenvolvimento e têm, como consequência, perdas em quantidade considerável.

Na Europa e nos Estados Unidos, em torno de 60% da produção de grãos são armazenados na propriedade rural, ficando o restante distribuído pelos sistemas coletores subterminais (junto aos eixos rodoferroviários e fluviais). No Brasil, embora não se disponha de números exatos, sabe-se que a armazenagem na lavoura é mínima, estimada em torno de 4 a 7%, dependendo da região (Weber, 1999).

O armazenamento na fazenda constitui prática de suma importância, tanto para complementar a estrutura armazenadora urbana quanto para minimizar as perdas em quantidade e qualidade a que estão sujeitos os produtos agrícolas colhidos. No Brasil, essas perdas chegam a 25% ou mais, ocasionadas pelo ataque de pragas, consequência da inadequação das instalações e da falta de conhecimentos técnicos (Souza & Silva, 1998).

A concentração da produção de grãos exige, em determinados períodos do ano condições adequadas para sua conservação. Para isto, necessita-se de uma boa estrutura de armazenagem próximo ou no local de produção.

Um dos problemas mais significativos em projeto de silos é a exata predição da distribuição de cargas no corpo do silo, com especial atenção para as pressões exercidas nas paredes em virtude do empuxo do produto armazenado. Essas distribuições de pressão dependem do comportamento do produto, da interação entre o produto armazenado e da parede do silo e, ainda, das propriedades de fluxo durante o processo de carregamento e descarregamento (Martinez et al., 2002).

A importância da classificação das estruturas de armazenamento de produtos a granel, segundo as suas dimensões, está no fato de que, de modo geral, a previsão das pressões estáticas ou dinâmicas está baseada segundo esta classificação. Embora algumas normas não façam tal classificação, na maioria das vezes prevêm pressões diferenciadas, em função da relação h/d (Freitas, 2001).

Em geral, os silos utilizados para a armazenagem em fazenda apresentam baixa relação entre a altura do silo e o seu diâmetro ou lado (0,75 a 1,5) e fundo plano. De acordo com Calil Jr (1987), isto se justifica pelo grande aumento da capacidade do silo com o aumento do seu diâmetro e, também, porque a manipulação de silos baixos é mais fácil e de menor custo.

Diferentes normas podem ser usadas para projetos de silos, todas se baseiam em métodos teóricos e empíricos e a grande maioria utiliza a teoria de Janssen, que propõe equações baseadas nas seções horizontais do produto armazenado que está em contato com a parede do silo (Ayuga et al., 2001).

A maioria das normas adota a teoria de Janssen mas, também, diferentes valores para o K como, por exemplo, a

ACI 3133 adota $K = 1 - \sin\phi$; ISO adota $K = 1,1(1 - \sin\phi)$ e AS3774 acata a expressão de Walker (Ooi et al., 1996). A norma alemã, DIN 1055:1987, fornece o valor de K em duas tabelas para 24 produtos, variando entre 0,4 e 0,65. Para os produtos não listados, propõe a forma indireta pela expressão de Jaky, considerando um coeficiente de segurança igual a 1,2, onde ϕ_i , ângulo de atrito interno, deverá ser obtido em ensaio de cisalhamento direto, como o tipo Jenike: $K = 1,2 (1 - \sin\phi_i)$. Segundo a norma, o fator 1,2 foi escolhido para garantir que em pequenas alturas do produto armazenado, ou seja, na parte superior do silo, resultem curvas de pressões mais completas. Todavia, estudos recentes de pressões em silos mostram que desvios significativos da distribuição de pressão de Janssen podem ocorrer, os quais têm sido atribuídos a diversos fatores, como não homogeneização dos produtos armazenados, variação da rugosidade das paredes e da presença de imperfeições geométricas na parede do silo.

Janssen declarou explicitamente que a relação de tensão lateral, K , deveria ser medida para cada produto a ser armazenado, porém ocorre uma variedade de equações para calcular a relação de tensão lateral sem que medidas diretas tenham sido propostas (Lohnes, 1993).

De modo geral, a formulação básica para a previsão das pressões é obtida da teoria de Janssen, mas algumas normas propõem alterações na formulação original, como no caso da norma inglesa BMHB (1985) ou considerando uma região linearizada na parte superior do carregamento, como no caso das normas européias (1995) e ISO 11697 (1995), da australiana AS (1996). Para o caso das pressões horizontais e de atrito a norma DIN (1987) e a americana ACI (1991), não alteram a formulação de Janssen.

A teoria de Janssen foi desenvolvida somente para as condições estáticas; sua contribuição para a teoria de pressões em silos de grãos e para o conhecimento do atrito interno no comportamento de produtos granulares, é de grande significação. Até hoje, é a fórmula usada na maioria das normas sobre projeto de silos para o cálculo da pressão estática ou inicial no carregamento em silos de seções cilíndricas, senão em todas. Até mesmo para o cálculo das pressões durante o fluxo, um dos métodos é se aplicar fatores de multiplicação aos valores computados pela equação de Janssen, para obter os valores da pressão dinâmica.

Este artigo descreve os resultados experimentais das pressões atuantes na parede de um silo vertical de alvenaria de tijolos, com relação à altura/diâmetro igual a 1 e fundo plano, para armazenamento de grãos, nas fases de carregamento, armazenamento e descarga, e o compara aos experimentais aos resultados obtidos teoricamente, através das equações das principais normas internacionais de ações em silos.

MATERIAL E MÉTODOS

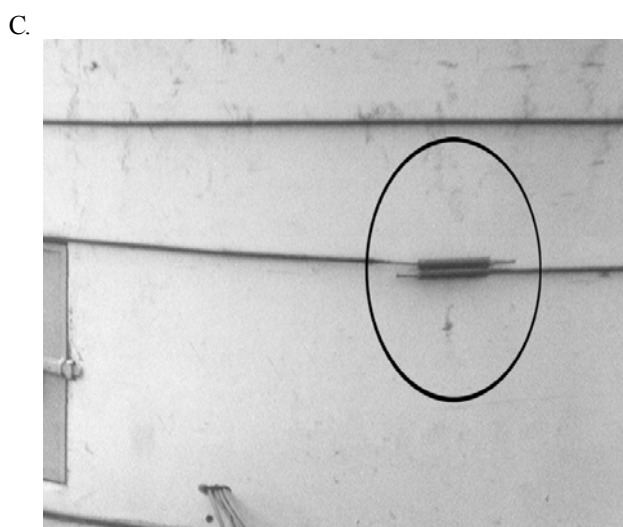
Para determinação das pressões confeccionou-se um protótipo de silo cilíndrico (Figura 1A), com 3 m de altura e 3 m de diâmetro ($H/D = 1,00$), utilizando-se alvenaria de tijolos de 8 furos, sendo rebocadas as paredes internas e externas do



Silo em fase de construção



Silo com cintas metálicas



Sistema para protensão

corpo do silo; sua fundação foi de alvenaria de pedra argamassada de forma circular e, sobre esta, fez-se uma viga de concreto armado, utilizando-se calha de concreto e duas barras de ferro CA-50 de 8 mm de diâmetro. No topo do silo também foi colocada uma viga semelhante à citada anteriormente. O corpo do silo, entre o topo e a base, foram colocadas nove cintas metálicas (Figura 1B) espaçadas 0,3 m e todos sob protensão (Figura 1C). A cobertura do silo foi feita de laje pré-moldada com 5% de inclinação, e o fundo plano, de concreto, independente da fundação, com sistemas destinados à ventilação.

Fez-se o carregamento, que foi excêntrico através de uma rosca transportadora e o descarregamento também foi excêntrico. O produto utilizado foi a areia, por proporcionar aproximadamente duas vezes a pressão exercida pela maioria dos cereais, devido à sua alta densidade. A areia foi secada e peneirada para não haver coesão.

Para determinação do teor de umidade da areia adotou-se o método oficial da estufa a 120 °C, durante 24 h. A classificação granulométrica foi realizada em função das dimensões das partículas, utilizando-se o método do peneiramento.

Para determinação das pressões na parede e no fundo do silo, utilizaram-se células de pressão (Figura 2), tipo hidráulica – EPC 3500-1-100 (GEOKON, 1998) montadas com duas placas circulares de aço inoxidável com as duas faces ativas.

Na instalação dessas células deve-se tomar alguns cuidados, um dos quais é a colocação de uma manta de borracha entre a face da célula e a superfície da parede, o que permite melhor distribuição da pressão sobre a superfície da célula. A instalação das células de pressão depende do objetivo do ensaio, e devem ser instaladas de modo que o contato com a parede seja o melhor possível. A instrumentação é descrita a seguir, e esquematizada na Figura 3. Fixaram-se as seis células de pressão no silo, 4 células no corpo, distribuídas em pontos diametralmente opostas, a 0,76 e 1,52 m, tomando-se por base o ângulo de 30° com a horizontal e 2 células no fundo, eqüidistantes do eixo do silo.

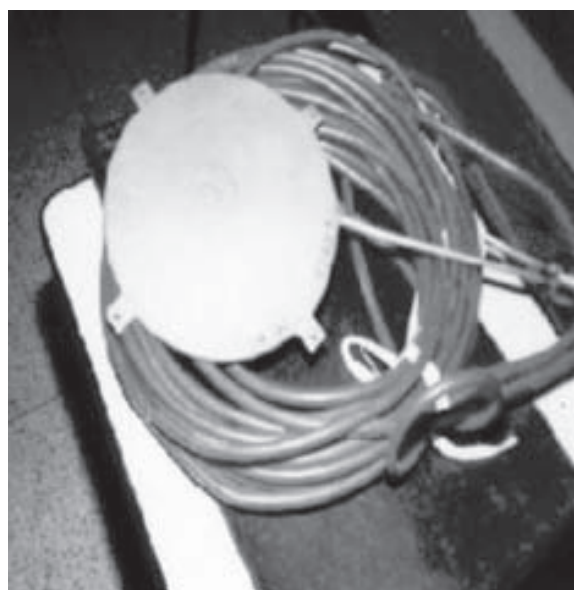


Figura 2. Célula de pressão – Tipo Hidráulica

Figura 1. Prototipo de silo utilizado no estudo

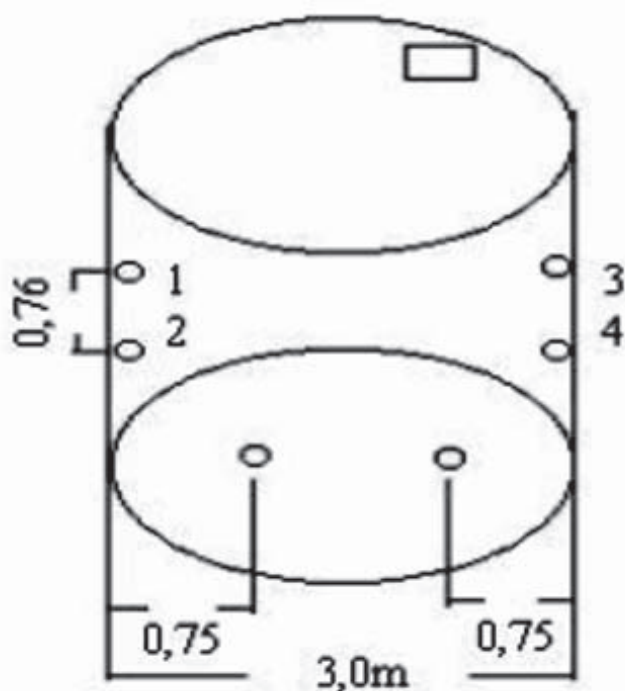


Figura 3. Disposição das células no silo

As células foram conectadas a um sistema de aquisição de dados AS-2160 da Lynx, cuja pressão era medida em intervalo de 10 min, durante as fases de carga, descarga e armazenamento (72 h). O ensaio consistiu de duas repetições para o ciclo completo: carregamento, armazenamento e descarga, e durante as três fases foi permitida a coleta de dados para as duas condições de carregamento, dinâmico e estático.

As pressões foram determinadas através das seguintes equações:

Pressões de carregamento

$$\text{Pressão horizontal} \quad P_{hc} = \frac{\gamma R}{\mu} \left(1 - e^{-\frac{\mu K}{R} z} \right) \quad (1)$$

sendo:

- P_{hc} – pressão horizontal de carregamento (Pa)
- γ – densidade (kN m^{-3})
- μ – coeficiente de atrito do produto com a parede
- R – raio hidráulico (m)
- K – relação entre as pressões horizontal e vertical
- z – profundidade abaixo da superfície efetiva (m)

$$\text{Pressão vertical} \quad P_{vc} = \frac{\gamma R}{\mu K} \left(1 - e^{-\frac{\mu K}{R} z} \right) \quad (2)$$

Pressão de atrito por 1,0 m de superfície de parede

$$P_{wc} = \gamma R \left(1 - e^{-\frac{\mu K}{R} z} \right) \quad (3)$$

As propriedades de fluxo da areia utilizada no ensaio foram determinadas na máquina de cisalhamento por translação Jenike Shear Test e seguiu a metodologia proposta por Milani (1993). Foram realizados três ensaios e se determinou o ângulo de atrito interno, o ângulo de atrito da areia com a parede e a densidade, para sua aplicação no cálculo teórico das pressões.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As propriedades de fluxo determinadas experimentalmente, conforme indicado na Tabela 1, estão de acordo com os valores recomendados pelas normas DIN 1055, ACI 313 e ISO 11697; e as propriedades devem, sempre que possível, ser determinadas, sobretudo quando se deseja projetar silos para armazenamento de produtos agrícolas granulares ou pulverulentos, principalmente este último.

Tabela 1. Propriedade de fluxo da areia com teor de umidade de 1%

| | Ângulo de atrito (°) | Efetivo Ângulo de atrito (°) | Coefficiente de atrito com a parede | Densidade (kN m^{-3}) |
|--------------|----------------------|------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| Experimental | 36,23 | 27 | 0,51 | 16 |
| DIN 1055 | 36 | 26,56 | 0,50 | 16 |
| ISO 11697 | - | 22 | 0,40 | 16 |
| ACI 313-77 | 25-40 | 22-35 | 0,40-0,70 | 16-20 |

Utilizou-se areia seca para determinação das pressões, visto tratar-se de um produto granular de fluxo livre, que possui peso específico de 16 kN m^{-3} , representando duas vezes a carga prevista. O teor de umidade da areia foi determinado antes e durante os ensaios, sendo o valor médio encontrado igual a 1%. Esta propriedade é importante, pois influencia o comportamento do fluxo do produto armazenado durante a descarga. No ensaio da granulometria, o maior percentual ficou retido na peneira de malha 0,6 mm, e apresentou valor superior a 60% de produto retido em peneira de malha entre $0,6 \leq D_{\max} \leq 2,4$. Segundo a escala granulométrica brasileira (ABNT, 1990) as dimensões da areia estão compreendidas entre 4,8 e 0,05 mm; portanto, a areia utilizada foi considerada com granulometria média, segundo proposta de Calil Jr. (1987) que classifica $D > 0,42 \text{ mm}$ – Granulares; $0,42 < D < 0,149$ – Pulverulentos coesivos; $0,149 < D < 0,079$ – Pulverulentos coesivos finos; $D < 0,079$ – Pulverulentos coesivos extra-finos.

Os resultados obtidos para as pressões calculadas estão dispostos na Figura 4 e ilustram o comportamento das curvas das pressões calculadas pelas normas citadas, considerando-se uma altura efetiva de 3 m. Observa-se que os valores máximos teóricos para o carregamento, são: norma DIN 1055, que forneceu o valor de 14,99 kPa, enquanto a norma ISO 11697, o valor é de 25,93 kPa, e a norma ACI 313-77 foi de 10,21 kPa; portanto, o intervalo das pressões horizontais varia de 10,21 a 25,93 kPa e, para o descarregamento, tem-se os seguintes valores: norma DIN 1055, 20,99 kPa, a norma ISO 11697, 25,94 kPa, e ACI 313-77, 13,78 kPa, e o

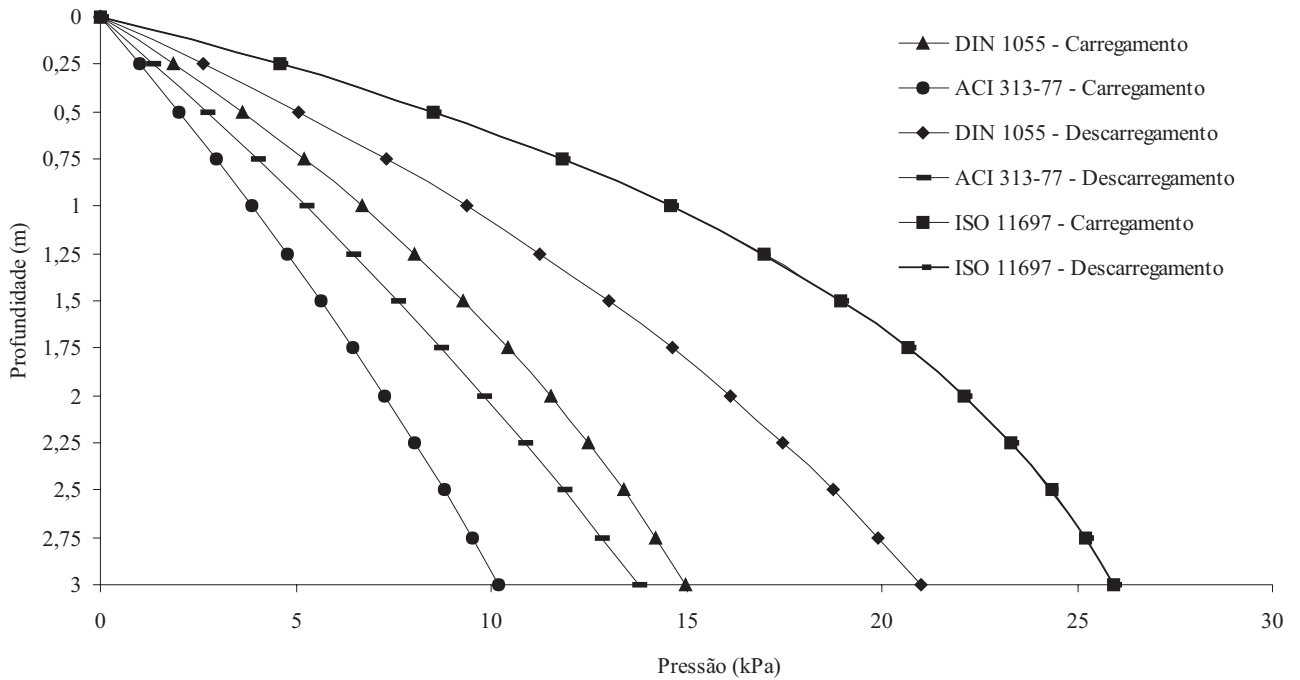


Figura 4. Curvas de pressões horizontais de carregamento e descarregamento das três normas utilizadas

intervalo varia de 13,78 a 25,94 kPa, confirmando a grande variabilidade nos cálculos, relacionada com a dependência do valor de K, e do ângulo de atrito.

O sistema de carregamento utilizado foi um transportador helicoidal, com baixa velocidade e, conseqüentemente, baixa vazão de carregamento razão por que o tempo de carregamento foi longo e o sistema de aquisição de dados registrou a pressão exercida nas células de pressão pela areia, em intervalos de 10 min. A forma do carregamento usada foi excêntrica, o que ocasionou a formação de taludes, conforme observado na Figura 5.

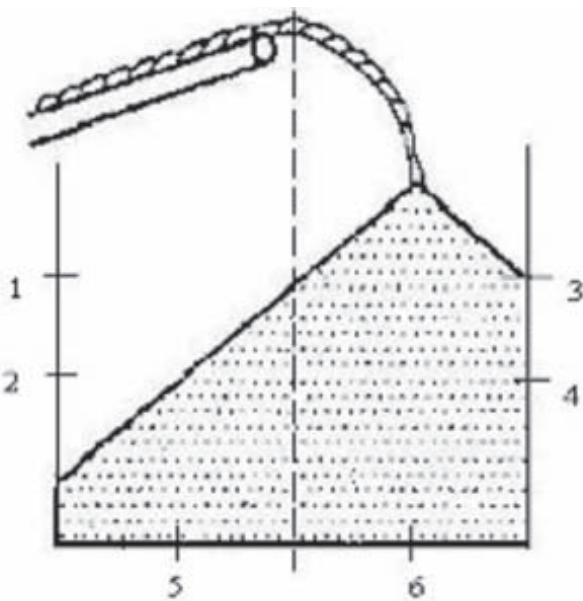


Figura 5. Forma de carregamento empregado – Excêntrico

As células 1 e 2, ambas diametralmente opostas às células 3 e 4, apresentaram curvas de pressão, Figura 6, crescendo gradativamente com a profundidade, no início do carregamento. As células 3 e 4 obtiveram as maiores pressões nesta fase, o que pode ser explicado pela forma de carregamento excêntrica e pela queda do produto próximo às mesmas. Estas células ficaram mais tempo submetidas a um constante impacto da queda do produto, devido a sua localização. A célula que obteve maior valor de pressão no início do carregamento foi a célula 4, o que pode ter sido ocasionado pela sua localização. Este mesmo comportamento é observado na célula 3, mas com menor intensidade, também em virtude da sua localização. Em silos com relação altura/diâmetro menor ou igual a 1,5, as maiores pressões são transmitidas ao fundo do silo. A célula 5 apresentou alguns picos

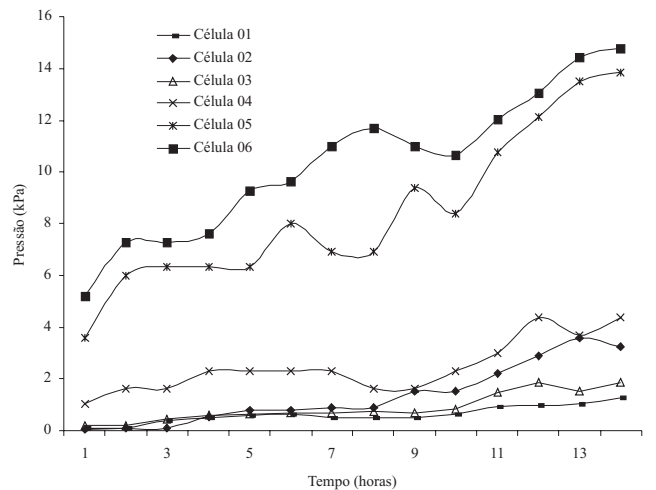


Figura 6. Células 1 a 6 – Carregamento

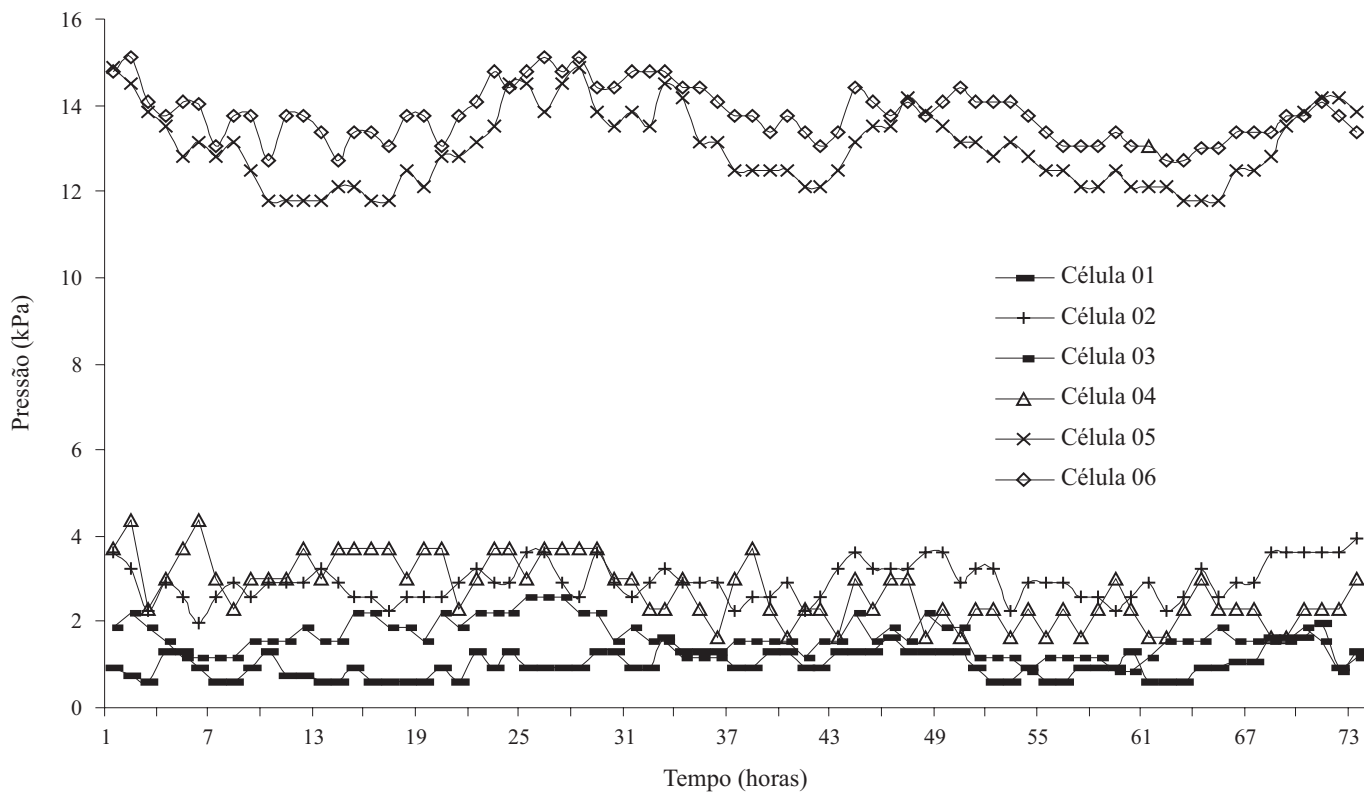


Figura 7. Células 1 a 6 – Armazenamento

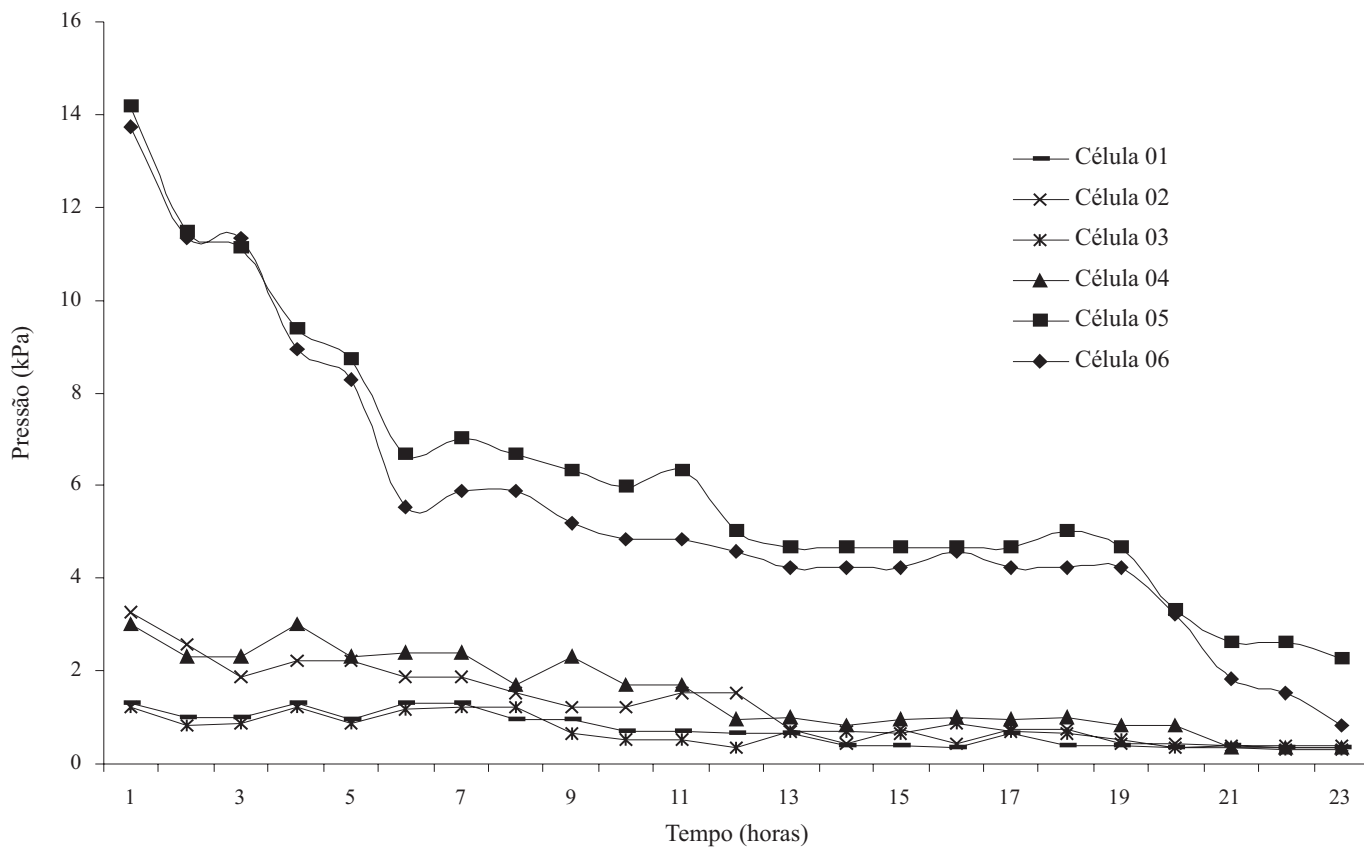


Figura 8. Células 1 a 6 – Descarregamento

de pressão na metade do carregamento e isto pode ser explicado pelo fato de que o silo teve carregamento excêntrico, formando taludes, que desmoronavam a certa altura, ocasionando esses picos. A célula 6 obteve maiores pressões, devido ao impacto direto do produto sobre ela.

As pressões de armazenamento do produto foram obtidas no período de 72 h. Entre as células 1 e 2, diametralmente opostas as células 3 e 4, Figura 7, observa-se que as maiores pressões ocorreram nas células 3 e 4, sem dúvida em razão do carregamento excêntrico, que provocou maior compactação da areia, devido a energia de queda, durante o carregamento, e também a vibração nessas zonas, que propicia o fenômeno. Com as pressões no fundo do silo, registradas pelas células 5 e 6, equidistantes do eixo do silo, constata-se semelhança das curvas em função do tempo. As pressões obtidas pela célula 6 foram um pouco superiores às da célula 5, pelo fato desta estar localizada do lado em que ocorreu o carregamento do silo, mesmo assim, o incremento pode ser considerado pequeno.

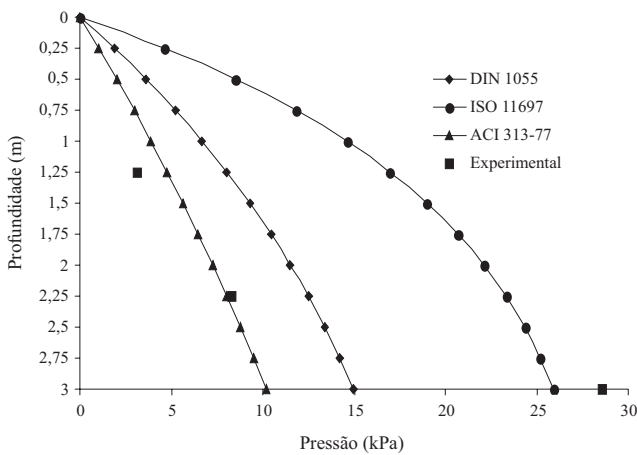


Figura 9. Comparação entre as pressões teóricas e experimentais – carregamento

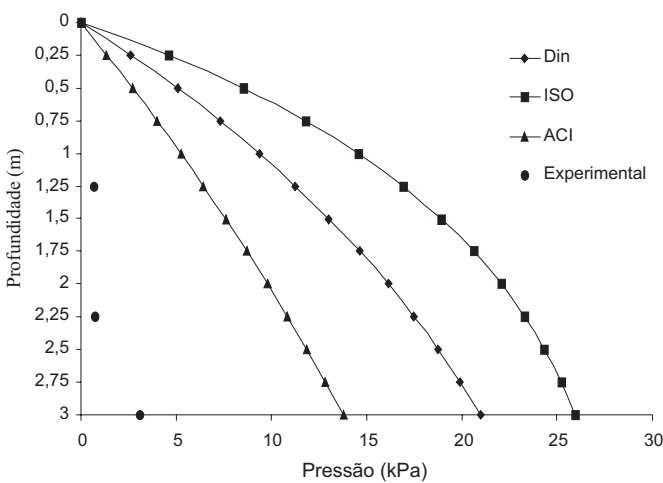


Figura 10. Comparação entre as pressões teóricas e experimentais – Descarregamento

Durante a fase de descarga, observa-se na Figura 8 que as maiores pressões horizontais obtidas nesta fase ocorreu nas células 1 e 2, e as células 3 e 4 tiveram uma estabilização de pressão mais rápida. Muitos pesquisadores já descreveram que no início da descarga ocorre uma sobrepressão horizontal. Quando o descarregamento for excêntrico, isto ocorrerá no lado oposto. Mesmo utilizando as células de pressão muito sensíveis, não foi registrada sobre-pressão. Acredita-se que isto se deu por causa da descarga ter sido muito lenta. As células 5 e 6 apresentaram queda brusca de pressão no início da descarga e em seguida as pressões foram decrescendo lentamente até o final da descarga.

Ao comparar as pressões experimentais com as encontradas teoricamente por meio das normas DIN 1055, ACI e ISO 11697, vê-se na Figura 9, que a pressão horizontal de carregamento apresenta maior desvio em relação a ISO 11697, enquanto a DIN 1055 apresentou boa concordância, mas a ACI 313-77 é a que melhor se ajustou às pressões horizontais experimentais.

Na fase de descarga foi observado na Figura 10, variações consideráveis entre as pressões experimentais e as calculadas pelas normas fato que provavelmente deve ter ocorrido devido a excentricidade na descarga. Pode-se ainda avaliar o coeficiente K, que é a relação das pressões horizontal e vertical e foi observado que há grande discrepância neste valor, entre as normas utilizadas, pois a norma DIN 1055 utiliza o ângulo de atrito interno para o cálculo, que é aproximadamente $K = 0,49$, enquanto a norma ISO 11697 é em função da classe do produto, o qual é 0,50 e a norma ACI 313-77 fornece o seguinte intervalo $K = 0,22-0,40$.

Os Limites inferiores e superiores das pressões obtidas durante os ensaios estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Limites inferiores (P_i) e superiores (P_s) das pressões horizontal e vertical medidas experimentalmente durante as fases de carregamento (1), armazenamento (2) e descarregamento (3)

| Célula | Pressão (1) (kPa) | | Pressão (2) (kPa) | | Pressão (3) (kPa) | |
|--------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|
| | P_i | P_s | P_i | P_s | P_i | P_s |
| 01 | 0,11 | 1,97 | 0,61 | 1,63 | 0,34 | 1,29 |
| 02 | 0,11 | 3,95 | 1,95 | 3,60 | 0,40 | 3,25 |
| 03 | 0,17 | 1,87 | 0,85 | 2,56 | 0,32 | 1,22 |
| 04 | 1,01 | 4,37 | 1,64 | 4,37 | 0,33 | 3,00 |
| 05 | 3,58 | 13,83 | 11,79 | 14,86 | 2,27 | 14,18 |
| 06 | 5,19 | 14,76 | 12,71 | 15,10 | 0,82 | 13,94 |

CONCLUSÕES

1. As pressões nas paredes do silo, obtidas experimentalmente utilizando-se células de pressão, mostraram-se compatíveis com as calculadas pelas normas ACI 313-77 e a DIN 1055.
2. Essas normas podem ser aplicadas no cálculo das pressões teóricas em silos com relação altura/diâmetro igual a 1 e fundo plano.
3. Conclui-se também que as células de pressão utilizadas produzem resultados confiáveis, pois permitem um bom monitoramento das pressões horizontais e verticais.

4. A utilização da areia apresentando características de alta densidade e de fluxo livre, permitiu a boa avaliação das pressões horizontais e verticais possibilitando, assim, que se determine o valor teórico de K, para o silo vertical de alvenaria de tijolos proposto.

5. Em função das vantagens que a unidade armazenadora apresentou, considera-se o desempenho bastante satisfatório de vez que nenhuma falha ou fissura foi observada na estrutura durante os ensaios.

LITERATURA CITADA

- ACI – American Concrete Institute. Standard practice for design and construction of concrete silos and stacking tubes for storing granular materials. Detroit: American Concrete Institute. 1991. p.313-377. Revised. ACI 313
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Tb-374 – Silos cilíndricos para grãos vegetais. Rio de Janeiro. 1990. 3p.
- AS – Australian Standard. AS-3774. Loads on bulk containers. Sydney. AS 3773 Supplement 1. Loads on bulk containers – Commentary. Sydney: Standards Association of Australia. 1996. 77p.
- Ayuga F., Guaita M., Aguado P. Static and dynamic silo Loads using finite element models. *Journal of Agricultural Engineering*. v.78, n.3, p.299-308. (2001). SE – Structures and Environment.
- BMHB – British Materials Handling Board. Draft code of practice for the design of silos, bins, bunkers and hoppers. Berkshire: British Materials Handling Board. 1985. 213p.
- Calil Jr, C. Estudo Teórico e experimental das pressões em silos verticais cilíndricos de pequena relação altura/diâmetro. In: *Colloquia*, Porto Alegre. (1987). Anais. Porto Alegre:UFRS, 1987. v.3, p.229-243.
- DIN 1055. Lastannahment fur bauter, Blatt 6, Lasten in silozellen. Berlin: Beuth Verlag. 1987. 12p.
- Freitas, E. G. A. Estudo teórico e experimental das pressões em silos cilíndricos de baixa relação altura/diâmetro e fundo plano. São Carlos: USP/EESC. 2001. 197p. Tese Doutorado.
- GEOKON Incorporated <http://www.geokon.com> Vibrating wire pressure transducers. Lebanon. 1998.22.05.2001.
- ISO – 11697. Bases for design of structures Loads due to bulk materials. Switzerland: International Classification for Standards. 1995. 15p.
- Lohnes, R. A. Lateral stress ratios for particulate materials. *Powder Handlings Processing*, Michigan, v. 5, n.4, p. 331-336, 1993.
- Martinez M. A.; Alfaro I.; Doblaré; M. Simulation of axisymmetric discharging in metallic silos. Analysis of the induced pressure distribution and comparison with different standards. *Engineering Structures*. Zaragoza, v. 24, p.1561-1574, 2002.
- Milani, A. P. Determinação das propriedades de produtos armazenados para o projeto de pressões e fluxo em silos. São Carlos: USP. 1993. 272p. Tese Doutorado
- Ooi, J. Y.; Chen J. F.; Lohnes R. A.; Rotter J. M. Prediction of static wall pressures in coal silos. *Construction and Building Materials*, Amsterdam, v.10, n.2, p.109-116, 1996.
- Souza, E. Silva, J. Armazenamento de grãos na fazenda. *Revista Matéria Técnica- Armazenagem Grãos*, Viçosa, v.5, p. 12-19, 1998,
- Weber, E. A. Investindo dentro da propriedade? *A Granja*. ed. 02/99, p.30-31, n.602. <http://www.armazenagem.com.br> .23/06/1999.