



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



DISSERTAÇÃO
ANÁLISE DE PRESSÕES EM SILO VERTICAL DE ALVENARIA DE
TIJOLOS

MARINEIDE JUSSARA DINIZ

Campina Grande-PB
JUNHO-2001

Campina Grande - Paraíba



D585a	Diniz, Marineide Jussara. Análise de pressões em silo vertical de alvenaria de tijolos / Marineide Jussara Diniz. - Campina Grande, 2001. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2001. "Orientação: José Wallace B. do Nascimento". Referências. 1. Silos. 2. Silo - Pressão. 3. Silo - Alvenaria. 4. Construções Rurais. 5. Dissertação - Engenharia Agrícola. I. Nascimento, José Wallace B. do. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título
-------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

CDU 631.24(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

COPEAG - PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

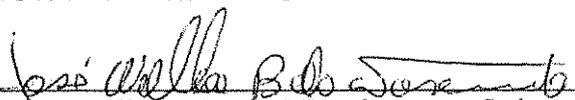
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DA MESTRANDA

MARINEIDE JUSSARA DINIZ

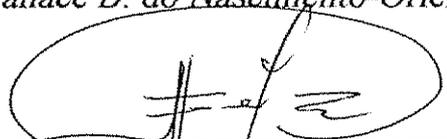
Título: "Análise de Pressões em Silo Vertical de Alvenaria de Tijolos".

BANCA EXAMINADORA

PARECER


Dr. José Wallace B. do Nascimento-Orientador

APROVADO


Dr. Francisco de Assis C. Almeida-Examinador

APROVADO


Dr. Aluisio Bras Melo-Examinador

APROVADO

Campina Grande, 13 de junho de 2001

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, João Diniz e Erminia.
À meus irmãos e amigos encarnados
e desencarnados, e ao amigo Jesus
companheiro de todas as horas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter colocado minha vida junto à de vocês, para vivermos as tristezas e as alegrias das conquistas do dia a dia e, como meta maior, por poder ajudar a sociedade a alcançar, pela pesquisa, o tão almejado paraíso.

Ao Prof. Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento, meu orientador, que pelo seu saber me orientou e me encorajou a lutar por este almejado título e que me mostrou a necessidade de lutar sempre e de me aprimorar como ser humano;

Aos professores e funcionários do Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola;

A amiga Valneide Rodrigues Silva pela amizade e preciosa colaboração;

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela bolsa concedida;

A Rivanilda, secretária da coordenação da pós-graduação, por estar sempre disposta a ajudar;

Ao Francisco Carlos Gomes, pela colaboração e concessão do equipamento utilizado nos ensaios;

Aos amigos Albanise, Daniel, Audenice, Chiara, Maria Betânia, Cláudia Germana pelo apoio e incentivo;

E a todos que, me ouviram, me ensinaram, me protegeram, me enriqueceram com suas sugestões, e que torcem por mim..

E em especial ao meu espírito guardião, luz da minha luz.

MARINEIDE JUSSARA DINIZ

**ANÁLISE DE PRESSÕES EM SILO VERTICAL DE ALVENARIA
DE TIJOLOS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Mestre.

Área de Concentração: Construções Rurais

Orientador: Prof.Dr.José Wallace Barbosa do Nascimento

Campina Grande - PB

Junho - 2001

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTAS DE TABELAS	iv
LISTA DE SIMBOLOS	v
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Unidades armazenadoras.....	6
2.2 Pequeno produtor.....	10
2.3 Material de construção - alvenaria.....	11
2.4 Pressão e células de pressão.....	14
2.5 O Valor de K.(relação entre as pressões horizontal e vertical).....	17
2.6 Segurança em silos.....	19
2.6.1 Cuidados na armazenagem de grãos.....	19
2.6.2 Intoxicações em unidades armazenadoras.....	20
2.6.3 Explosões em unidades armazenadoras.....	21
2.6.4 Asfixiamento em unidades armazenadoras.....	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1 Local dos ensaios.....	26
3.2 Silo.....	26
3.3 Produto Utilizado.....	31

3.4 Metodologia para determinação das propriedades de fluxo.....	32
3.4.1 Determinação do teor de umidade da areia.....	32
3.4.2 Granulometria.....	33
3.4.3 Ângulo de atrito interno e angulo de atrito do produto com a parede.....	33
3.5 Cálculo das Pressões - Sistema de aquisição de dados.....	34
3.6 Células de Pressão.....	36
3.7 Metodologia do ensaio para determinação da pressão.....	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1 Técnicas construtivas empregadas.....	40
4.2 Propriedades físicas.....	40
4.2.1 Teor de umidade.....	40
4.2.2 Granulometria.....	40
4.3 Propriedades de fluxo.....	41
4.3.1 Ângulo de atrito interno e ângulo de atrito do produto/parede.....	41
4.4 Determinação das Pressões.....	42
4.4.1 Pressões de carregamento e descarregamento calculadas.....	42
4.4.2 Pressões de carregamento - armazenamento - descarregamento - determinadas	47
4.5 Resultados das pressões.....	48
4.5.1 Pressão horizontal - na fase de carregamento.....	49
4.5.2 Pressão Vertical - na fase de carregamento.....	53
4.5.3 Pressão Horizontal - em função do tempo de armazenamento.....	54
4.5.4 Pressão Vertical - em função do tempo de armazenamento.....	57
4.5.5 Pressão Horizontal - durante o descarregamento.....	58
4.5.6 Pressão Vertical - durante o descarregamento.....	61
5 CONCLUSÕES.....	62
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CONSULTADAS.....	69
8 ANEXOS.....	72

LISTA DE FIGURAS

	pág.
FIGURA 01 - Ocorrência de afogamento mediante desmoronamento da superfície de grãos compactados.....	23
FIGURA 02 - Sufocamento de operário durante o carregamento de silos.....	24
FIGURA 03 - Afogamento decorrente do arraste do indivíduo pela massa de grãos em movimento durante o descarregamento.....	24
FIGURA 04 - Silo em fase de Construção.....	27
FIGURA 05 - Fundação em Pedra.....	27
FIGURA 06 - Cinta de Concreto.....	28
FIGURA 07 - Silo reforçado com barras de aço.....	28
FIGURA 08 - Rosca Transportadora.....	29
FIGURA 09 - Abertura da Rosca Transportadora.....	29
FIGURA 10 - Abertura da Rosca Transportadora por onde a areia é despejada.....	30
FIGURA 11 - Abertura no topo do silo.....	30
FIGURA 12 - Porta destinada a descarga.....	31
FIGURA 13 - Lugar geométrico de deslizamento.....	34
FIGURA 14 - Máquina para ensaio de cisalhamento(Jenike Shear Cell).....	34
FIGURA 15 - Sistema de aquisição de dados.....	35
FIGURA 16 - Célula de Pressão - Tipo Hidráulica.....	36
FIGURA 17 - Célula de Pressão e o cabo conector.....	37
FIGURA 18 - Curva de calibração das células de pressão.....	38

FIGURA 19 - Posição das células no interior do silo.....	39
FIGURA 20 - Curva granulométrica da areia.....	41
FIGURA 21 - Curva da pressão horizontal calculada pela norma DIN 1055.....	44
FIGURA 22 - Curva da pressão horizontal calculada pela norma ISO 11697.....	45
FIGURA 23 - Curva da pressão horizontal calculada pela norma ACI 313-77.....	46
FIGURA 24 - Curvas de pressões horizontal de carregamento das três normas utilizadas.....	46
FIGURA 25 - Curvas de pressão de descarregamento das três normas utilizadas.....	47
FIGURA 26 - Disposição das células no silo.....	48
FIGURA 27 - Carregamento Excêntrico.....	49
FIGURA 28 - Célula 01 e 03 - Comportamento da pressão horizontal durante o carregamento do silo.....	50
FIGURA 29 - Célula 02 e 04 - Comportamento da pressão horizontal durante o carregamento do silo.....	51
FIGURA 30 - Célula 01 e 02 - Comportamento da pressão horizontal durante o carregamento do silo.....	52
FIGURA 31 - Célula 03 e 04 - Comportamento da pressão horizontal durante o carregamento do silo.....	52
FIGURA 32 - Célula 01 a 04 - Comportamento da pressão horizontal durante o carregamento do silo.....	52
FIGURA 33 - Célula 05 e 06 - Comportamento da pressão vertical durante o carregamento do silo.....	53
FIGURA 34 - Célula 01 e 03 - Durante o Armazenamento.....	54
FIGURA 35 - Célula 02 e 04 - Durante o Armazenamento.....	55
FIGURA 36 - Célula 01 e 02 - Durante o Armazenamento.....	55
FIGURA 37 - Célula 03 e 04 - Durante o Armazenamento.....	56
FIGURA 38 - Células 01 a 04 - Durante o Armazenamento.....	56
FIGURA 39 Célula 05 e 06 - Durante o Armazenamento.....	57

FIGURA 40 -- Célula 01 e 03 - Durante o Descarregamento.....	58
FIGURA 41 - Célula 02 e 04 - Durante o Descarregamento.....	59
FIGURA 42 - Célula 01 e 02 - Durante o Descarregamento.....	59
FIGURA 43 - Célula 03 e 04 - Durante o Descarregamento.....	60
FIGURA 44 - Célula 01 a 04 - Durante o Descarregamento.....	60
FIGURA 45 - Célula 05 e 06 - Durante o Descarregamento.....	61
FIGURA 46 - Calibração da célula com nº de série 47090.....	73
FIGURA 47 - Calibração da célula com nº de série 47093.....	73
FIGURA 48 - Calibração da célula com nº de série 47095.....	74
FIGURA 49 - Calibração da célula com nº de série 47096.....	74
FIGURA 50 - Calibração da célula com nº de série 47097.....	75

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Classes de Produto - ISO 11697.....	19
TABELA 02 - Classificação dos produtos de acordo com a granulometria.....	32
TABELA 03 Dados da calibração da célula de carga referente ao número de série 47089	37
TABELA 04 - Propriedade de fluxo da areia com 1% T.U.....	42
TABELA 05 - Resultados da pressão teórica da Norma DIN 1055.....	43
TABELA 06 - Resultados da pressão teórica da Norma ISO 11697.....	44
TABELA 07 - Resultados da pressão teórica da Norma ACI 313 -77.....	45
TABELA 08 - Valores médios das pressões horizontais e verticais durante o carregamento, armazenamento e descarregamento.....	48
TABELA 09 - Resultado da análise granulométrica.....	75
TABELA 10 - Dados da Pressão de Carregamento.....	76
TABELA 11 - Dados da Pressão de Armazenamento.....	77
TABELA 12 - Dados da Pressão de Descarga.....	80

LISTA DE SÍMBOLOS

D	- diâmetro do silo (m);
D_{max}	- diâmetro máximo das partículas (mm);
H	- altura do silo (m);
H/D	- relação altura/diâmetro;
YL	- lugar geométrico de deslizamento;
WYL	- lugar geométrico de deslizamento com a parede
K	- relação entre as pressões horizontal e vertical;
K_a	- relação entre as pressões horizontal e vertical;
P_{hc}	- pressão horizontal de carregamento;
P_{hd}	- pressão horizontal de descarregamento;
P_{vc}	- pressão vertical de carregamento;
P_{wc}	- pressão de atrito por 1,00m de superfície de parede;
P_s	- peso seco da amostra (g);
P_U	- peso úmido da amostra (g);
R	- raio hidráulico (m);
TU	- teor de umidade (%);
z	- profundidade abaixo da superfície efetiva (m);
γ	- densidade (kg/m^3);
ϕ_I	- ângulo de atrito interno ($^\circ$);
ϕ_e	- efetivo ângulo de atrito interno ($^\circ$);
λ	- compressibilidade elástica do sólido;
σ_c	- resistência inconfínada (kPa);
σ_1	- tensão principal máxima (kPa);
θ	- ângulo de atrito interno ($^\circ$);
μ	- coeficiente de atrito do produto com a parede;

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ACI - American Concrete Institute
- CEAGESP - Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais do Estado de São Paulo
- DIN - Deutsche Norm
- ISO - International Organization for Standardization
- NIOSH - Instituto Nacional para Segurança Profissional e Saúde;

RESUMO

DINIZ, Marineide Jussara. **Análise de pressões em silo de alvenaria de tijolos.**
Campina Grande: Deag/CCT/UFPB, 2001. (Dissertação de Mestrado)

O projeto seguro e econômico das estruturas de armazenamento é função das ações impostas e da resistência destas estruturas. Entre as ações consideradas a de maior importância é a causada pela pressão dos produtos armazenados na parede e que foi objeto de estudo nesta pesquisa. Este trabalho foi desenvolvido em duas etapas, teórica e experimental, em um silo cilíndrico, com fundo plano e carregamento e descarregamento excêntrico. A metodologia e as técnicas aplicadas para o cálculo das pressões teóricas, com as devidas adaptações necessárias, foram as indicadas pelas normas internacionais DIN 1055, ACI 313-77 e ISO 11697. O produto utilizado no ensaio foi a areia, pela sua alta densidade. Determinou-se as seguintes propriedades da areia: o teor de umidade, granulometria; e também as propriedades de fluxo: como ângulo de atrito interno, ângulo de atrito do produto com a parede. Para obtenção das pressões experimentais utilizou-se o sistema de aquisição de dados, conectado as seis células de pressão, sendo quatro fixadas na parede e duas no fundo do silo. As pressões teóricas foram analisadas e comparadas entre si. As pressões experimentais foram estudadas e comparadas entre si, mediante o emprego de modelos teóricos.

Palavras-chave: silos; pressão; células de pressão; fluxo.

ABSTRACT

DINIZ, Marineide Jussara. **Analysis of pressures in silo of masonry of bricks.** Campina Grande, 2001. (Dissertação) Mestrado em Engenharia Agrícola - Universidade Federal da Paraíba.

The safe and economic project of the storage structures is function of the loads and of the strenght of these structures. Among the loads considered the most important is caused by the pressure of the products stored in the wall. This work is divided in two parts, theoretical and experimental, in a cylindrical silo, with plane botton and shipment and eccentric discharge. The methodology and the techniques applied for the calculation of the theoretical pressures by the international codes DIN 1055, ACI 313-77 and ISO 11697. The product used went sand, for its high density. It was determined the following properties of the sand: the humidity text, granulometria; and also the flow properties: as angle of internal friction, angle of friction of the product with the wall. For obtaining of the experimental pressures the system of acquisition of data was used connected the six pressure cells, being four fastened in the wall and two in the botton of the silo. The theoretical pressures were analyzed and compared.. The experimental pressures were studied and compared by means of the employment of theoretical models.

Keyword: silos; pressure; pressure cells; flow.

1 INTRODUÇÃO

Milhares de municípios brasileiros, têm na agropecuária a sua principal atividade econômica. Historicamente, o País passou por fases diferentes da economia, e sempre teve na agricultura uma expressiva participação.

O crescimento da população brasileira tem se dado à taxas elevadas nas últimas décadas, em 1940 havia 41,236 milhões, já em 1996, 157,079 milhões, diante desta explosão demográfica, cresce a necessidade de produção de alimentos e armazenagem adequada dos excedentes, de tal forma que se garanta o abastecimento normal na entressafra e nos anos de menor produção .

A concentração da produção de grãos em determinados períodos do ano exige condições adequadas para sua conservação. Para isso, necessita-se de uma boa estrutura de armazenagem próxima ao local de produção.

A armazenagem de grãos no Brasil se ressentem de uma política de estocagem da produção, bem como de programas permanentes de incentivo aos investimentos no setor agrícola e, em especial, no armazenamento de grãos em nível de produtor, onde as perdas chegam até 20% por falta de silos e técnicas de armazenamento. (WEBER, 1999).

A definição das características técnicas, bem como a localização ideal para uma unidade armazenadora, está estreitamente relacionada com a caracterização de sua área de influência. No caso específico de unidades em nível de fazenda, na caracterização da área deverá ser considerado diversos pontos, tais como: a área plantada, produtividade, tipos de grãos, previsão do tempo de armazenagem, condições de transporte nas diversas épocas do ano, nível de desenvolvimento tecnológico da propriedade e capacidade de adoção de novas tecnologias pelos proprietário.

A armazenagem está distribuída em propriedades dos Governos federais e estaduais, economias mistas, particulares e cooperativas. Nota-se que a política no setor de armazenagem, têm a sua participação bastante aumentada nos últimos anos. Não obstante, algumas redes estaduais de armazenagem têm uma participação e importante para a manutenção de estoques reguladores de mercados, como a CEAGESP, CASEMG, CASEMAT, CASEGO, CESA, e outras.

A finalidade do armazenamento é manter a qualidade do produto para ser consumido numa outra época e minimizar os efeitos das oscilações dos preços e continuidade do consumo. O armazenamento evita, portanto, as variações dos preços pagos ao produtor maximizando sua receita e garante o abastecimento dos produtos nos períodos de escassez.

Estes fatores, além de serem úteis na definição do tipo de unidade armazenadora, são de grande importância na escolha do treinamento que deve ser fornecido ao agricultor. No entanto, independentemente do padrão tecnológico da unidade, ela deverá apresentar as condições básicas para a manutenção das quantidades desejáveis do produto, que sejam economicamente viáveis.

A armazenagem pelo próprio produtor oferece inúmeras vantagens, pois minimiza os custos desde o frete durante a safra, a limpeza, a secagem e a armazenagem até o expurgo e aeração, quando estes serviços são contratados de terceiros e diminui os investimentos do governo em manutenção do estoque regulador.

Infelizmente não existe ainda, por parte do produtor rural, um perfeito entendimento da importância do armazenamento seguro por meio de silos. Isso tem feito com que os produtores passem a acumular sérios prejuízos durante as safras anuviando as suas perspectivas em termos de futuro.

O principal aspecto do projeto de uma unidade armazenadora é apresentar seguras recomendações que permitam a sua utilização racional isenta de obstruções e perturbações no que diz respeito a recepção, armazenamento e expedição de produtos agrícolas. Por constituir-se em um indispensável elemento no processo produtivo é necessário que os silos sejam utilizados em perfeitas condições técnicas.

Assim sendo, uma unidade armazenadora em nível de fazenda poderá ser simples e projetada utilizando-se conceitos e princípios elementares de

armazenagem, aproveitando-se os recursos locais, até um complexo armazenador, dependendo evidentemente, das possibilidades e necessidades daquela propriedade, ou comunidade produtora.

Atualmente, o estado da Paraíba é um dos poucos que não possui uma empresa, seja estadual ou mista, que intervenha no setor graneleiro do estado, estocando a produção na época da colheita ou armazenando grãos de outros estados como forma de regularizar o estoque regulador.

Com a finalidade de suprir a demanda interna e o crescimento populacional são necessários investimentos em estruturas de armazenamento, com um material de construção adequado, de forma a reduzir os custos.

E os objetivos específicos são:

- determinar as pressões na parede, especificamente, de uma unidade armazenadora, sob condições estáticas e dinâmicas, ou seja, estudar o comportamento mecânico de alvenaria de tijolos;
- estabelecer a máxima resistência das paredes com um menor custo;
- escolher o material para construção do silo determinada pela necessidade de estabelecer a integridade estrutural;
- evitar possíveis contaminação dos conteúdos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Estruturalmente, a rede de armazenagem de grãos brasileira é constituída de unidades armazenadoras, as quais podem ser classificadas sob três critérios: (a) entidades a que pertencem (órgãos governamentais, cooperativas e particulares), (b) localização (a nível de fazenda, coletoras, subterminais e terminais), e (c) tipos de edificação (convencional e a granel). No que se refere a tipos de edificação, as convencionais destinam-se à armazenagem de produtos acondicionados em um determinado tipo de embalagem, como por exemplo sacarias, enquanto as do tipo a granel dispensam o uso de embalagens e podem possuir como estruturas silos metálicos, em concreto e, ou, armazéns graneleiros (SILVA, 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 colhidos. Sabe-se, no Brasil, que essas perdas chegam a 25% ou mais, ocasionadas pelo ataque de pragas, conseqüente à inadequação das instalações e falta de conhecimentos técnicos (SOUZA e SILVA, 1998).

WEBER (1999) especifica vantagens para a armazenagem na propriedade, tais como:

- evita-se o congestionamento de caminhões descarregando produtos úmidos ao mesmo tempo, nas unidades coletoras, quer cooperativas particulares ou públicas;
- colhe-se, atualmente, mais cedo e a colheita estende-se por um período curto de 30 a 45 dias, contra 60 a 90 dias de antigamente. Os produtos vêm sendo colhidos com teor de umidade mais elevado, logo após o ponto

de maturação, para evitar o ataque dos fungos e insetos e da perda de peso de massa devido a reações químicas e oxidação;

- pode-se antecipar a colheita, especialmente se for secar na própria fazenda, garantindo melhor sanidade;
- evita-se os elevados custos de frete na época da safra e as longas horas de espera para descarregar em unidades públicas ou cooperativas.
- evita-se o duplo transporte dos grãos até a unidade de beneficiamento para limpeza e secagem, e posteriormente o retorno para a fazenda quando para consumo próprio, para ração, por exemplo. Elimina, neste caso, a incidência de qualquer taxa ou imposto sobre a produção, o que representa um ganho para o produtor.
- permite-se que o produto fique disponível para comercialização no momento em que o agricultor entender que obterá melhor preço, sem que com isso tenha custo de armazenagem para com terceiros;
- evita-se custo com limpeza e secagem de grãos. Só é computado o custo da mão-de-obra, geralmente familiar, mais a energia elétrica e a lenha como combustível;
- possibilita-se que os grãos sejam menos manipulados, pois serão secados como manda a boa técnica, submetidos a baixas temperaturas. A secagem se completará de forma lenta, através da aeração, no silo;
- deve-se evitar que grãos beneficiados sejam misturados com os colhidos, podendo-se manter o seu padrão de qualidade original e, naturalmente, o seu valor.

PUZZI (1977) afirma que o armazenamento correto de grãos na fazenda deve ser incentivado, considerando principalmente, que as deficiências de instalações adequadas de armazenagem que normalmente ocorrem neste nível é responsável por grande parte das perdas.

Na Europa e nos Estados Unidos, algo em torno de 40% a 60% da produção 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, sendo estimada em torno de 4% a 7%, dependendo da região (WEBER, 1999).

Dentre os diversos fatores que contribuem para o baixo índice de armazenagem nas fazendas no Brasil destacam-se as pequenas disponibilidades de tecnologia e recursos financeiros necessários à implantação das unidades armazenadoras, bem como o desconhecimento dos produtores sobre as vantagens de um sistema de processamento na fazenda (SOUZA e SILVA, 1998).

Para a armazenagem e o beneficiamento de grãos, diversos processos de engenharia são executados. Portanto, o conhecimento das características destes produtos são de fundamental importância. As características físicas são associadas as elaborações dos projetos de máquinas e de estruturas e às análises das características dos produtos submetidos a um determinado processo, as características mecânicas dizem respeito aos estudos dos efeitos da compressão, do impacto e do cisalhamento sobre os materiais, o que é aplicável aos processos de moagem e na adoção de medidas para evitar os danos mecânicos a grãos e sementes, as características térmicas definem parâmetros associados às trocas de calor e de massa em processos como: aquecimento, congelamento, refrigeração e secagem, as características elétricas especificam os produtos agrícolas segundo a condutividade elétrica, capacitância, propriedade dielétrica e reações ao eletromagnetismo e a radiação, sendo estas utilizadas no desenvolvimento de equipamentos de medição e de seleção, e as características ópticas estão relacionadas aos estudos da transmitância e da reflectância para diferentes comprimentos de ondas, o que tem sido aplicado no desenvolvimento de selecionadores eletrônicos e de equipamentos para tratamento térmico (SILVA, 1999).

2.1 Unidades armazenadoras

Nos últimos anos, o aumento do custo de mão-de-obra e a competição entre produtores traz como consequência uma automatização de projetos de silos, que vão desde a recepção, armazenagem e expedição de todos os produtos a granel, chegando

praticamente a eliminação da sacaria (RAVENET, 1975). Este tipo de processo, no caso de produtos granulares está totalmente resolvido.

Para PEREIRA (1986) as construções rurais devem ser executadas com simplicidade e economia visando o funcionamento desejável dentro da boa técnica. A elaboração do projeto, por mais simples que seja, requer conhecimentos de assuntos ligados à área agrônômica tais como: criação de animais, armazenamento e conservação de produtos agropecuários, indústrias rurais, saneamento, etc.

A rede de armazenagem de grãos apresenta-se como um elemento indispensável ao incentivo agrícola, sendo esta constituída de estruturas destinadas a receber a produção de grãos, conservá-los em perfeitas condições técnicas e redistribuí-los posteriormente (SILVA, 1999).

PUZZI (1977) afirma que o manuseio a granel dos grãos alimentícios e o seu armazenamento em silos adequados contribui eficazmente para o abastecimento de um país.

A existência de silos e armazéns na fazenda traz inúmeras vantagens, como comercialização das colheitas em épocas mais oportunas, possibilidade de obtenção de financiamento para estocagem, redução de perdas quantitativas que ocorrem na lavoura devido ao atraso na colheita, redução das perdas por ataque de fungos, ratos e insetos durante o armazenamento, alimentação dos animais com um produto de melhor qualidade (BULL, 1993).

Existem, de fato, caso de perdas de grãos armazenados na fazenda. Mas, essas perdas ocorrem também em grandes unidades armazenadoras. Num e noutro caso, estas perdas se dão geralmente por falta de qualificação dos operadores e da irresponsabilidade dos responsáveis. A solução, portanto, é simples, rápida e econômica e se chama: treinamento pela qualidade total em armazenagem de grãos (WEBER, 1999).

Nas pequenas unidades, o custo do investimento por tonelada armazenada é maior devido à pequena escala da instalação. Os fabricantes preferem as grandes obras às pequenas construções para fazenda. O fato pode ser resolvido com a implantação de várias unidades semelhantes simultaneamente para várias propriedades ou compartilhadas, tornando as encomendas das fábricas um negócio de

médio porte. Isto reduziria os preços dos equipamentos, e o valor em reais por tonelada armazenada (R\$/t) diminuiria (WEBER, 1999).

Em termos de projetos pode-se definir unidades armazenadoras de grãos como sendo complexos agro-industriais constituídos de estruturas e recursos para receber, pré-beneficiar, armazenar e expedir a produção agrícola de uma determinada área de abrangência. Isto faz demandar a condução de um conjunto de operações unitárias, tais como: pesagem, descarregamento, pré-limpeza, secagem, limpeza, tratamento químico, armazenagem e expedição. Ao projetar-se uma unidade armazenadora deve-se em primeiro lugar determinar os tipos e as quantidades de produtos a receber. Fatos que implicarão na condução de estudos, principalmente utilizando-se de dados históricos relativos a região onde pretende-se instalar o empreendimento (SILVA, 1999).

A construção de silos é um investimento compensador pelos reais benefícios que produz. O produtor, além da tranquilidade de ter sempre reserva de alimentos para seus animais no período de seca, observará que o plantel continua a produzir normalmente (PEREIRA, 1986).

Uma unidade armazenadora, tecnicamente projetada e convenientemente localizada, constitui uma das alternativas para aumentar os retornos econômicos dos sistemas produtivos de grãos, além de propiciar a comercialização da produção em melhores períodos, evitando as pressões naturais do mercado na época da colheita, e a retenção de produtos na propriedade (SOUZA e SILVA, 1998).

No desenvolvimento de um modelo ideal, o produto teria algumas propriedades físicas constantes. E para o pesquisador existem condições para o estudo de modelo efetivo, tais como:

- se o objetivo do modelo é investigar os perfis de velocidade do produto em silos com fluxo de massa, o fator de compressibilidade do sólido(λ) não é importante. Como os silos com fluxo de massa não possuem regiões de não fluxo e a estabilidade das regiões de não escoamento não é um fator, conseqüentemente o ângulo de atrito interno(ϕ_i) não precisa ser considerado;
- no modelo de características de fluxo em silos, sem fluxo de massa, λ e σ_1/σ_c devem ser previstas como $\sigma_1/\sigma_c > 10$ no modelo e no silo de tamanho real. Tais produtos são de fluxo livre e seus padrões de fluxo são determinados por

efetivo ângulo de atrito interno (ϕ_e), ângulo de atrito interno (ϕ_i) e pela geometria do silo;

- caso a característica do fluxo do produto sem fluxo livre dos sólidos seja para ser reproduzida no modelo, então os cinco parâmetros de menores dimensões (ϕ_i , ϕ_e , λ , σ_1/σ_c e γ) devem ser iguais para o modelo e extensão da pressão total;
- se a finalidade do teste é medir pressões no produto ou nas paredes do silo, então todos os cinco parâmetros são importantes. O fator de compressibilidade elástica (λ) é especialmente importante na distribuição da pressão inicial e em qualquer efeito permanente.

Devido ao alto custo das instalações em escala real, os silos devem ser projetados corretamente antes de serem construídos. As correções de ensaios e erros após a construção de um silo são muito dispendiosas, principalmente quando a perda de produção é considerada (JOHANSON, 1969).

Segundo HARA (1983), uma unidade armazenadora, independente de seu material de construção, deve satisfazer às condições técnicas e econômicas para a finalidade precípua de armazenar o produto por um período de tempo, mantendo as qualidades desejáveis para a futura destinação.

Os silos de pequena e média capacidade na sua maioria são metálicos, de chapa lisa, de aço ou de alumínio, montado sobre base de concreto. Além desses, podem ser citados os silos de alvenaria, que também começam a ser difundido e utilizados, em nível de fazenda. Esses silos também tem a vantagem de utilizar materiais e mão-de-obra mais simples, além do baixo custo de implantação (HARA, 1983).

O sucesso na utilização dos silos construídos em alvenaria está na possibilidade de se armazenar os cereais colhido com 14-15% de teor de umidade, completar a secagem com aeração natural e fazer o expurgo após os silos terem sido carregados (BULL, 1993).

O Nordeste permanecerá como área problema ainda por muito tempo. Se não houver um planejamento racional e um esforço concentrado e persistente jamais se conseguirá eliminar o desequilíbrio econômico Norte-Sul. A tarefa é gigantesca e os meios limitados. A recuperação do Nordeste é o maior desafio lançado à capacidade

da Nação. O Brasil pode enfrentá-lo e superá-lo sem sacrifício de outras áreas. A solução do problema assenta basicamente nos seguintes fatores: represamento máximo de águas; ampla irrigação; reflorestamento sistemático; estocagem de forragem; armazenamento de gêneros de alimentação; transposição de águas do Rio São Francisco; Como amparo à população, emprego de mão de obra na região, nos períodos críticos; Como objetivo da política nacional, diminuição do desequilíbrio regional Norte-Sul; Armazéns e Silos – Construir e gerir na sede dos municípios mais carentes de recursos armazéns e silos para estocagem de gêneros básicos à alimentação das populações para períodos de calamidade, renovando-os periodicamente; Orientar e apoiar os proprietários rurais na construção de silos e fenação de forragens para alimentar os rebanhos em períodos críticos; em anos de seca, empregar a mão de obra para a construção de silos (SERRA, 1998).

2.2 Pequeno produtor

A caracterização do pequeno produtor nordestino, apoiados em um conhecimento científico sobre a realidade agrícola local, é fundamental para elaborar políticas de difusão de tecnologia, programas e projetos de desenvolvimento agrícola para o nordeste (SERRA et al , 1999).

A complexidade do quadro rural nordestino, principalmente no que se refere ao pequeno produtor, é um fato conhecido. Esta complexidade, aliada a diferentes níveis tecnológicos dos pequenos produtores, gera propriedades agrícolas bastante diferenciadas entre si. Considerando-se que a eficiência de políticas agrícolas é diretamente proporcional ao grau de homogeneidade dos grupos a que se destinam, o conhecimento circunstanciado dos fatores que diferenciam as pequenas propriedades agrícolas pode determinar o sucesso de programas de difusão de tecnologia assim como contribuir para a priorização de ações de pesquisa (CPATSA, 1999).

O solo nordestino recebe 3000 horas de luz solar por ano e é castigado por ventos de 2 a 20km.h⁻¹, sendo a sua superfície aquecida até 60°C no verão e sujeita a um débito fluvial médio da ordem de 73000 m³ de água por km² de captação. As precipitações médias oscilam entre 200 e 700 mm por ano, concentradas nos meses

de dezembro a março, ocorrendo de forma aleatória. Esta aleatoriedade implica em irregularidade no regime de produção, principalmente das culturas de grãos, com estimativas da ordem de 20%, ou seja, duas colheitas normais em cada dez anos de atividades agrícolas (SUASSUNA, 1998)

O trópico semi-árido do Nordeste é composto por unidades de produção agrícolas que apresentam um amplo arco de diversidade, quer no que diz respeito ao quadro natural, como solo, clima, relevo e vegetação, como também no que diz respeito a fatores sócio-econômicos, como nível de alfabetização, estrutura fundiária, origem social do produtor, situação econômica etc. O semi-árido nordestino é formado por 20 unidades de paisagem e 110 unidades geoambientais distintas, gerando conseqüentemente, demandas políticas e tecnológicas bastante diferenciadas.

2.3 Material de construção – alvenaria

A alvenaria é seguramente um dos mais antigos sistemas estruturais concebidos pelo homem, havendo exemplos notáveis de sua utilização desde os primórdios da civilização, como, por exemplo, a pirâmide de Queops, com seus quase 150m de altura, que permanece integra até nossos dias, ou o farol de Alexandria, que tinha 165m de altura e que, por mais de 1500 anos, orientou os navegantes do Mediterrâneo, até ser destruído por um terremoto no século XIII de nossa era (RODRIGUES, 1985).

As alvenarias de tijolos e blocos cerâmicos são empregadas em larga escala na construção civil. Apesar da sua grande utilização, existe um desconhecimento geral da capacidade resistente da alvenaria e das características de seus componentes, bem como do desempenho global da alvenaria como estrutura de edifícios (FLEURY, 1998).

Conforme PEREIRA (1986), a alvenaria de tijolos é a de emprego mais corrente nas instalações rurais. Pode ser revestida ou com tijolos à vista. Os tijolos usados são: maciço, furado e os blocos de concreto vidrado.

Segundo BAUER (1994) as facilidades construtivas proporcionadas pelo emprego de um único elemento são diversas, podendo-se relacionar como principais vantagens: técnicas de execução simplificadas; menor diversidade de materiais empregados; redução do número de especializações da mão-de-obra empregada; redução de interferências no cronograma executivo, entre os subsistemas (estruturas e alvenaria são executados conjuntamente).

Há basicamente dois tipos de esforços que atuam na maioria das obras de alvenaria: compressão e flexão. Na maior parte dos casos esses tipos de esforços ocorrem concomitantemente. Mas no caso de edifícios, embora haja flexo-compressão, a compressão é predominante. Em muros de arrimo, caixas d'água, piscinas, é a flexão que predomina. A carga admissível de uma parede é definida a partir da resistência à compressão do prisma. O prisma é o corpo de prova que procura reunir em si as características dos três elementos da parede de alvenaria, ou seja, o bloco, a argamassa de assentamento e o graute (PUGA, 1998).

Segundo CARICCHIO (1958), a alvenaria deve oferecer condições de resistência, de durabilidade e de impermeabilidade, para bem corresponder aos objetivos da construção.

A alvenaria de tijolo é amplamente empregada, quer constituindo a própria estrutura do edifício, quer em combinação com as estruturas de concreto armado. Explica-se esta preferência pela boa qualidade do material, além da facilidade de transporte e de assentamento que reduz o custo da mão de obra (ALBUQUERQUE, 1957).

2.4 Pressão e células de pressão

O conhecimento insuficiente que se tem sobre as pressões e do fluxo de produtos explica o grande número de silos com problemas de fluxo e com deformações nas paredes. Portanto, é necessário que o projetista esteja familiarizado com as pressões que ocorrem nas paredes do silo e do comportamento do fluxo do produto dentro do silo (BENINK, 1989).

No estudo das pressões três fatores de interesse devem ser destacados; o primeiro, é o econômico, pois várias instalações foram e estão sendo construídas em todo o país e no mundo e requerem projetos mais elaborados. O segundo é o científico, pois os silos são estruturas complexas onde se combinam comportamentos estruturais de diferentes materiais, e mesmo após uma série de estudos, ainda existem grandes lacunas de conhecimento que estimulam vários pesquisadores a desenvolverem trabalhos no campo das pressões. O terceiro, é o social, pois vários problemas ocorreram devido ao não conhecimento do comportamento estrutural das estruturas de armazenamento. Nosso país é carente de uma norma que indique especificações e critérios de dimensionamento. Existem apenas duas referências (TB-374 e TB-377) da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1990), que tratam sumariamente o assunto, indicando a terminologia a ser adotada para os diversos tipos de estruturas de armazenamento (GOMES, 2000).

O tipo de fluxo determina as características de descarga do produto, o tipo de segregação, a formação ou não de zonas de produto sem movimento e se o silo pode ser descarregado completamente (CALIL JÚNIOR, 1989).

Também determina a distribuição de pressões nas paredes do silo, na fundação, na integridade e no custo da construção. É necessário a predição do tipo de fluxo na elaboração do projeto do silo.

Dois dos mais recentes métodos para predição de cargas nas paredes dos silos de fluxo de funil são devido a Jenike et al e ACI. Esses métodos usam o método de Janssen (ou o método de Reimbert) em casos de predição de carga estática ou carregamento inicial nas paredes verticais e aplica o fator de sobrepressão para o cálculo de incremento de cargas dinâmicas nas paredes ou condições de fluxo. Ambas as teorias assumem uma saída simétrica, simples, na qual permite o fluxo padrão do silo (ARNOLD et al, 1981).

A extensometria é uma técnica utilizada para a análise experimental das deformações em estruturas. Estas estruturas apresentam deformações que podem ser monitoradas de diversas formas, dentre as quais: relógio comparador, fotoelasticidade, e por extensômetros, dentre outros. As células de carga são estruturas mecânicas, planejadas à receber esforços e deformar-se dentro do regime elástico a que foram planejadas. Esta deformação, embora pequena, é suficiente para

gerar um sinal de saída linear e compatível a carga aplicada (MICRO-ANÁLISE, 1999).

As células de pressão tem um comportamento especial nas cargas das estruturas, são projetadas para produzir um sinal elétrico proporcional a carga aplicada. Elas são usualmente fixadas na parte inferior, suportando o conteúdo do silo armazenado e aplicando a força para a célula, causando mudança na estrutura interna do strain da célula de carga. As células de pressão são projetadas para aceitar forças verticais representando o peso e o conteúdo do silo armazenado (OOMS, 1981).

O autor, ainda afirma que a atuação da pressão normal nas paredes do silo armazenado deve variar de acordo com:

- método de carregamento;
- a velocidade do carregamento;
- enrijecimento da parede do silo;
- a variação das propriedades do fluxo do produto;
- imperfeição da parede do silo;
- segregação durante o carregamento;
- a temperatura do produto e a mudança da temperatura;
- um aumento na umidade do grão causando inchamento.

Segundo CALIL JÚNIOR et al (1997) as ações em silos, devido ao produto armazenado são variáveis no espaço e no tempo e, portanto, não podem ser calculadas com certeza absoluta. Todas as teorias existentes em silos, falham nessa consideração, pois todos os parâmetros relevantes e, mesmo aqueles que podem ser considerados com certeza absoluta, são sujeitos a variações.

Para o cálculos das pressões em silos altos, sugere-se a adoção da norma DIN 1055 (1987), pois é um dos itens de maior responsabilidade, e essa norma foi completamente reformulada de sua antiga versão datada de 1964, em vista de experiências práticas em sua utilização, baseadas em acidentes com silos reais (NASCIMENTO, 1996).

A norma DIN 1055 (1987) apresenta como campo de aplicação:

- qualquer material de construção do silo;

- silos verticais cilíndricos e prismáticos;
- dimensões do silo $H/D > 0,80$ e $P_{vc}/\gamma < 25m$;
- não é válida para produtos fortemente coesivos e produtos granulares que incham;
- o valor de K (relação entre as pressões horizontal e vertical) é definido pela expressão: $K = 1,2(1-\text{sen}\phi_i)$;
- as pressões de carregamento são dadas pelas expressões:

Pressão horizontal

$$P_{hc} = \frac{\gamma R}{\mu} \left(1 - e^{-\frac{\mu K}{R} z} \right) \quad (01)$$

sendo

P_{hc} - pressão horizontal de carregamento

γ - densidade

μ - coeficiente de atrito do produto com a parede

R - raio hidráulico

K - relação entre as pressões horizontal e vertical

z - profundidade abaixo da superfície efetiva

Pressão vertical

$$P_{vc} = \frac{\gamma R}{\mu K} \left(1 - e^{-\frac{\mu K}{R} z} \right) \quad (02)$$

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

$$P_{wc} = \gamma R \left(1 - e^{-\frac{\mu K}{R} z} \right) \quad (03)$$

De acordo com CALIL JÚNIOR (1989), há uma evidência incontestável de que as pressões atuantes nas paredes são fortemente influenciadas pelo tipo de fluxo.

As normas internacionais existentes para a estimativas das ações em silos apoiam-se basicamente em duas teorias: a teoria de Janssen para a estimativa das pressões iniciais ou de carregamento no silo e a teoria de Jenike para o estudo de fluxo em silos com fluxo de massa e de funil.

A norma ISO 11697 (1997), baseia-se na teoria de Janssen assumindo as seguintes condições:

- equilíbrio vertical estático;
- pressão vertical uniforme atuando em qualquer seção horizontal;
- em silos cilíndricos, as pressões laterais são simetricamente distribuídas em torno da circunferência da parede ;
- atrito na parede depende da pressão lateral;
- um coeficiente constante de atrito na parede.

O método de Janssen geralmente fornece melhores pressões verticais do que o método de Reimbert e, portanto força de atrito inferior (ACI 313-77, 1983).

A norma ACI 313-77(1983) afirma que os silos devem ser projetados para resistir todas as cargas aplicáveis, incluindo:

- carga permanente: Peso da estrutura e itens anexados que suportem a estrutura;
- carga variável: força do material armazenado incluindo outros impactos ou sobrepressões(qualquer dado resultante de grandes pressões), cargas variáveis do piso e do telhado, neve, ventos ou cargas sísmicas, e forças do vento ou de materiais armazenados contra o exterior do silo;
- pressões térmicas devido a diferenças de temperatura entre o material armazenado e o meio externo do silo.

Segundo NASCIMENTO (1996), as propriedades físicas dos produtos armazenados são essenciais para o processamento dos sistemas de armazenagem durante o carregamento e o descarregamento. E com os parâmetros conhecidos é

possível a determinação e a predição das pressões que ocorrerão na estrutura e, principalmente os tipos de fluxo.

Pressão do material armazenado - pressão do material deve ser considerado não somente a pressão estática, mas também todas os possíveis incrementos causados pelo carregamento, retraimento do material, arqueamento, colapso da arqueadura do material, aeração e descarga excêntricas (ACI 313-77, 1983).

ASAE (1994) citando Blight sugeriu que as variações no 1) fluxo padrão dentro de um silo; 2) tipo do produto armazenado; 3) qualidade da construção; e 4) variação das propriedades do material pode ter maior efeito na magnitude das pressões.

2.5 O Valor de K (relação entre as pressões horizontal e vertical)

A relação entre a pressão horizontal e vertical em qualquer ponto de uma massa granular é definida como a relação K, também conhecido como coeficiente de pressão lateral.

O valor de K é definido pela DIN 1055 (1987) pela expressão $K = 1,2(1 - \sin\phi_i)$; coeficiente de empuxo de solos multiplicado por 1,2. 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 ações mais completas.

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

Kebeli citando KETCHUM (1919), declarou que para uma massa de solo carregada contra uma parede, a relação de pressão é independente do peso do carregamento e da altura da parede, e depende da inclinação da parede, do ângulo de repouso, ângulo de sobrecarga e o ângulo que a força resultante faz com a normal na parte externa da parede. A relação de pressão na equação de Janssen poderia ser

avaliada determinando o ângulo interno de atrito para o produto e que o valor de K dado por Rankine pudesse ser usado como:

$$K = \frac{1 - \operatorname{sen} \theta}{1 + \operatorname{sen} \theta} \quad (04)$$

A norma americana para silos de concreto ACI 313-77(1991) assume o K de acordo com a equação 04, a norma australiana sugere a equação (04) ou a equação (05), ou o valor constante de 0,4. (LOHNES, 1993).

$$K_a = \frac{1 - \operatorname{sen}^2 \theta}{1 + \operatorname{sen}^2 \theta} \quad (05)$$

LOHNES(1993) ainda afirma que nenhuma das equações usadas para calcular K de produtos sólidos calcula a coesão no material armazenado e a aproximação de Rankine demonstra que a coesão diminuirá a relação ativa da pressão principal e aumentará a relação de tensão passiva.

Os resultados experimentais de PLEIZNER indicam que:

- a relação entre a pressão lateral e a vertical é maior para pequenas alturas do silo;
- o valor de K varia em função do tipo de parede e da rugosidade da mesma;
- a pressão lateral as vezes dobra quando se carrega o silo;
- no caso de carregamento excêntrico, a pressão aparece no lado oposto da boca de descarga (RAVENET, 1977).

A norma ISO 11697 (1995), apresenta uma tabela para 5 classes de produtos de acordo com o peso específico, coeficiente de atrito e o valor de K(Tabela 01). Pôr exemplo, areia tem a seguinte classificação: densidade, classe 5; relação entre pressões, classe 3 e coeficiente de atrito, classe 2.

TABELA 01 - Classes de produto - ISO 11697

Classe	Densidade KN/m ³	Relação entre pressões	Coefficiente de atrito com a parede
1	7,5	0,3	0,3
2	8,5	0,4	0,4
3	10,0	0,5	0,5
4	13,0	0,6	0,6
5	16,0	0,75	0,75

2.6. Segurança em silos

Uma das questões que muito preocupa junto as Unidades Armazenadoras, diz respeito aos acidentes que ocorrem causados pelos mais diferentes motivos, começando pelas falhas humanas, ou de operação. Estes se devem às condições de riscos que ocorrem na falta de organização, a guarda de acessórios e peças fora dos lugares, "pressa" em todos os serviços por ocasião dos picos de safra, o excesso de trabalho com sobrecarga de jornada. Outros acidentes ocorrem em função dos riscos ambientais, especialmente a poluição, poeiras, aerossóis e gases venenosos e explosivos (WEBER, 1995).

2.6.1 Cuidados na armazenagem de grãos

O controle de insetos e roedores, o controle da proliferação de fungos na massa de grãos fundamenta-se em cuidados a serem procedidos durante as operações de colheita, limpeza e secagem dos grãos; e na sanificação dos graneleiros, silos e equipamentos mecânicos. Desta forma, são descritos a seguir alguns recomendações (SILVA, 1999):

- realizar a colheita tão logo seja atingido o teor de umidade que permita proceder a operação;
- ajustar os equipamentos de colheita para proceder a máxima limpeza da massa de grãos e evitar danos mecânicos;
- desinfetar as instalações e os equipamentos de colheita. Limpar os silos e graneleiros removendo pó, lixo e outros materiais;
- proceder de forma correta as operações de pré-limpeza e limpeza, removendo: impurezas, grãos danificados, finos e materiais estranhos. Pois estes podem ser utilizados como substrato no desenvolvimento de fungos;
- proceder a operação de secagem de forma correta garantindo a redução do teor de umidade a níveis que não permitam o desenvolvimento de fungos;
- monitorar a temperatura da massa de grãos e aerar sempre que necessário, para uniformizar a temperatura; e
- adotar técnicas para o controle de insetos e roedores, pois geralmente a proliferação dos fungos esta associada ao ataque destas pragas.

2.6.2 Intoxicações em unidades armazenadoras

A partir da década de setenta, com o aumento da produção agrícola brasileira passou-se a demandar que maior parte desta fosse processada a granel. Assim, optou-se pela implantação de complexos agro-industriais dotados de equipamentos e infra-estruturas para receber, pre-beneficiar e armazenar esta produção. Como em outras agro-industriais, em unidades de beneficiamento e armazenagem de grãos utilizam-se de meios químicos e físicos para o alcance dos fins propostos. Desta forma, podem ser empregados e, ou, gerados agentes químicos que em ambientes confinados como: túneis, poços de elevadores, interiores de silos e câmaras de secadores, tendem a atingir concentrações que provocam intoxicações.

Em unidades armazenadoras de grãos a ocorrência dos agentes tóxicos pode estar relacionada a fatores como: estado de limpeza, falta de cuidados na conservação dos grãos, forma de operação e infiltração de água nas instalações. Associando estes

fatores a existência de ambientes confinados, os quais propiciam o acúmulo desses agentes, aumenta-se as probabilidades de ocorrência de intoxicações por via respiratória (SILVA, 1999).

As possibilidades de ocorrência de gases tóxicos dentro de unidades armazenadoras de grãos são várias. No entanto, com a observância de procedimentos simples pode-se minimizar a ocorrência de acidentes e óbitos. Desta forma, recomenda-se ao adentrar em ambientes confinados como: poços de elevadores, cisternas, túneis, silos e câmaras dos secadores, aerar estes ambientes previamente, ao dar acesso aos ambientes citados, deve-se sempre contar com equipamentos de segurança que permitam rápida remoção e a companhia de uma segunda pessoa; e ao proceder a remoção de uma vítima intoxicada, deve-se adotar de medidas de segurança de tal forma a não originar mais vítimas.

2.6.3 Explosões em unidades armazenadoras

De acordo com SILVA (1999), explosivos podem ser definidos como substâncias ou mistura destas suscetíveis a sofrerem bruscas transformações químicas sob influência de calor ou ação mecânica. Destas transformações geram-se gases aquecidos sob alta pressão que tendem a expandir rapidamente levando a: (a) romper estruturas, (b) destruir equipamentos e (c) ceifar vidas humanas.

As explosões em unidades armazenadoras, geralmente possuem como material explosivo a mistura das substâncias ar atmosférico e partículas solidas em suspensão, as quais neste caso são denominadas como os agentes comburentes e combustível, respectivamente. As partículas originam-se das impurezas que acompanham a massa de grãos ou do esfacelamento dos grãos.

Como medidas operacionais preventivas, recomenda-se:

- proceder cuidadosa limpeza da massa de grãos;
- fazer uso contínuo dos sistemas de captação de pó;
- limpar periodicamente os sistemas de captação de pó trocando os filtros nos períodos definidos pelos fabricantes;
- proceder a limpeza das instalações evitando o acúmulo de pó;

- treinar os operadores e demais funcionários quanto os potenciais riscos de explosões;
- fazer manutenções periódicas dos equipamentos eletro-mecânicos;
- certificar periodicamente o estado dos cabos elétricos;
- tomar os devidos cuidados ao utilizar aparelhos de solda nos serviços de manutenção;
- aspergir a massa de grãos em movimento com óleos minerais para reduzir a emissão de pó; e
- substituir as caçambas dos elevadores e pás dos transportadores correntes metálicas por componentes plásticos.

Aspectos Técnicos Construtivos

Como aspectos técnicos construtivos recomenda-se a observância dos seguintes cuidados quando da elaboração e implantação de projetos de unidades armazenadoras: dotar os ambientes como túneis, galerias e pontos de carga e descarga de grãos com sistemas de captação de pó; instalar sistema de captação de pó em elevadores de caçambas e tubulações de transporte de grãos; proceder o aterramento elétrico dos componentes eletro-mecânicos e pontos geradores de cargas eletrostáticas; projetar edificações que estruturalmente contemplem áreas de fácil ruptura caso ocorram explosões, isto minimizará danos a edificação, pois os gases em expansão serão lançados à atmosfera; instalar sistemas de pára-raios; instalar aspersores de óleo mineral em pontos do sistema de movimentação de grão passíveis de ocorrência de alta concentração de pó - valores superiores a $0,05 \text{ kg.m}^{-3}$; e projetar sistemas de iluminação apropriados aos ambientes com risco de explosão (SILVA, 1999).

2.6.4 Asfixiamento em unidades armazenadoras

O Armazenamento e processamento de grão, alimento, e outros produtos de tamanho podem apresentar perigos para os trabalhadores.

A maioria das estruturas de armazenamento de grão são redondas, de fundo achatado com capacidade de 68.400-240.200 metros quadrados de grão; muitas estruturas mais antigas são menores e podem armazenar menos ou igual a 5000 alqueires. A maioria das estruturas em fazendas são carregadas pela portinhola do telhado e descarregadas por uma abertura no centro no fundo. Os transportadores helicoidais mecânicos usados para descarregar podem mover o grão a uma taxa de até 84,95m cúbicos por hora, e uma pessoa pode ser completamente submergida em apenas 8 segundos. Por isso é que são projetadas portas interiores para abrir para dentro, e as portas laterais não podem ser abertas durante a operação de salvamento quando os níveis de grão estão sobre as portas de entrada (NIOSH, 1995).

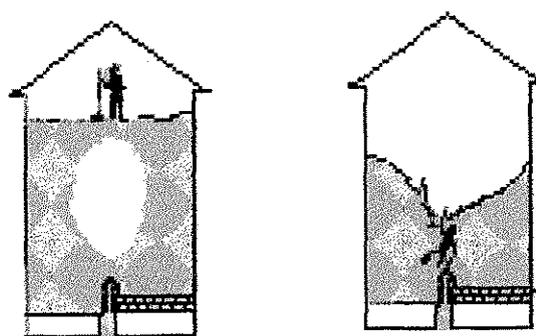


FIGURA 01 - Ocorrência de afogamento mediante desmoronamento da superfície de grãos compactados.

O Fluxo do grão pode rapidamente submergir um trabalhador e causar asfixiamento. De acordo com o Instituto Nacional para Segurança Profissional e Saúde (NIOSH, 1995), asfixia debaixo de silagem ou grão era a causa principal dos óbitos na manipulação de grãos entre 1985 e 1989. O carregamento e descarregamento de estruturas e caminhões, desmoronamento de superfícies encrostas, e o desmoronamento íngreme ou pilhas verticais de grãos podem provocar um movimento inesperado dos grãos. Um trabalhador pode ser pego pelo fluxo e enterrado em poucos segundos.

Afogamento e sufocamento são tipos de acidentes em que as vítimas são submetidas à asfixia mecânica por ação da massa de grãos. Sendo que no primeiro caso as vítimas são arrastadas enquanto no segundo as vítimas são encobertas (SILVA, 1999).

Asfixiamento nas estruturas normalmente acontecem quando estas estão sendo descarregadas. Durante o descarregamento, o fluxo do grão pode-se formar um cone invertido envolvendo forças que podem puxar uma pessoa para debaixo da superfície. Um trabalhador que caminha sobre o grão estacionário pode afundar apenas 0,305 metros; em comparação, o fluxo do grão tem características de areia movediça e que rapidamente induz a imersão (NIOSH, 1995).

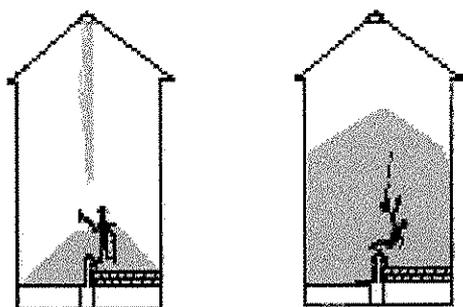


FIGURA 02 - Sufocamento de operário durante o carregamento de silos.

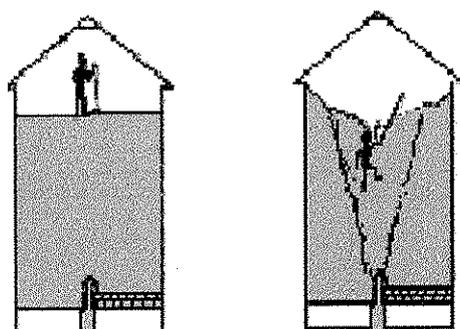


FIGURA 03 - Afogamento decorrente do arraste do indivíduo pela massa de grãos em movimento durante o descarregamento

Precauções de Segurança

Segundo NIOSHI (1995), as medidas aplicadas para evitar afogamento e sufocamento em silos armazenadores, podem ser estendidas a outros tipos de estruturas de acondicionamento de grãos como: moegas, silos-pulmão, silos de expedição e armazéns graneleiros. São também aplicáveis ao manuseio de materiais granulares, particulados e pulverulentos como: carvão, areia, cimento, sal, farinhas e rações. Os trabalhadores corretamente treinados e preparados e uma manutenção adequada do equipamento de segurança é essencial para a segurança do trabalhador. Algumas recomendações de segurança são sugeridas, tais como:

1. nunca entrar em uma estrutura quando descarregando, ou seja, paralisar a carga e, ou, descarga de produtos;
2. desligar a alimentação de energia elétrica dos equipamentos de transporte de grãos;
3. ser especialmente cauteloso quando trabalhando com grão em condições precárias; moldes, fluxo bloqueado, crostas de superfície em cima de cavidades, avalanches de grão, e gases tóxicos são os mais comuns em grão de baixa qualidade.
4. equipar os operários com cintos e, ou, coletes de segurança. E estes devem ser atados a cabos, que preferencialmente sejam tracionados por carretilhas mecânicas que permitam a rápida elevação dos indivíduos em casos de acidentes;
5. ser cauteloso ao redor de superfícies de crostas; a crosta pode desmoronar, e o trabalhador pode ser puxado para o grão.
6. não confiar que uma pessoa fora da estrutura possa ajudar a que está dentro. Estar atento que o ruído da máquina possa interferir na comunicação entre colegas de trabalho; mais adiante, o salvamento de um trabalhador dentro da estrutura pode requerer pelo menos dois trabalhadores fora da estrutura;
7. ser cauteloso sobre pilhas íngremes de grão; grão instável pode causar avalanche;
8. fixar a avisos alertando os perigos de ocorrência de afogamento e sufocamento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local dos ensaios

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Construções Rurais e Ambiência - LaCRA, do Departamento de Engenharia Agrícola, do Centro de Ciências e Tecnologia, da Universidade Federal da Paraíba.

3.2 Silo

Para a determinação das pressões confeccionou-se um protótipo de silo cilíndrico, com 3m de altura e 3m de diâmetro ($H/D=1.00$), como mostra a Figura 04. O material utilizado para a construção foi a de alvenaria de tijolos de 8 furos.

O tipo de fundação depende basicamente das condições locais e das características da estrutura. A fundação em questão foi feita na forma de um muro, ou seja, um anel circular. O silo teve uma fundação de alvenaria de pedra argamassada (Figura 05), e foi reforçado com cinta de concreto armado acima da fundação (Figura 06).

Destaca-se a importância da cinta de amarração porque os maciços de alvenaria estão sujeitos a movimentos ocasionados por acomodação devido a pequenos recalques do terreno, ou por modificações repentinas das cargas a que estão sujeitas. O silo foi reforçado por nove barras de aço colocadas externamente e firmados, por fora, ao redor do silo, distanciadas de aproximadamente 30cm (Figura 07).

O corpo do silo foi construído com alvenaria de meia vez com tijolos cerâmicos de oito furos, sendo rebocadas as paredes internas e externas do corpo. Os anéis foram protendidos antes do carregamento. A cobertura foi executada com laje de concreto armado. O fundo do silo é plano.



FIGURA 04 - Silo em fase de construção



FIGURA 05 - Fundação em pedra

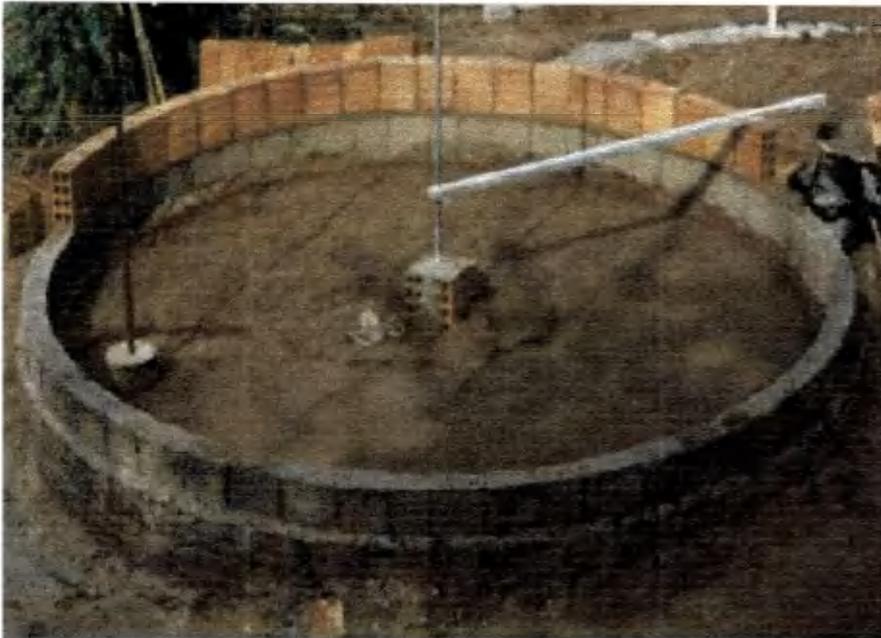


FIGURA 06 - Cinta de concreto



FIGURA 07 - Silo reforçado com barras de aço

O silo foi carregado através de uma rosca transportadora (Figura 08 - 09 - 10 e 11) sendo o descarregamento excêntrico, através da abertura na parede. Observa-se que, ao final do descarregamento permanece uma certa quantidade de produto cujo volume está limitado pelo ângulo do talude natural. Na parede do silo foi construída uma pequena abertura de 0,60x0,40m, destinada à descarga do silo (Figura 12). O motor utilizado para o funcionamento da rosca foi o de 3Cv.



FIGURA 08 - Rosca transportadora



FIGURA 09 - Abertura da rosca transportadora

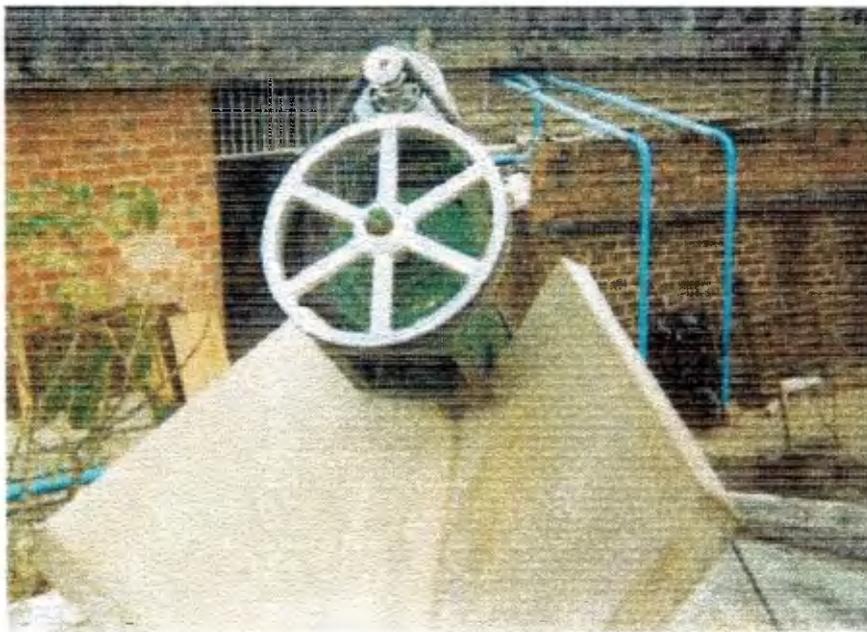


FIGURA 10 - Abertura da Rosca Transportadora por onde a areia é despejada.



FIGURA 11 - Abertura no topo do silo.



FIGURA 12 - Porta destinada a descarga

3.3 Produto utilizado

O produto utilizado para simular o carregamento e descarregamento do silo foi a areia seca ao sol. A escolha deste material para este estudo é porque representa pelo menos duas vezes a carga prevista e possui alta densidade. A areia completamente seca foi peneirada para evitar que pedras prejudicassem o movimento da rosca transportadora.

A utilização da areia se justifica, pois este produto apresenta peso específico elevado, com características de produto granular e apresentando melhor distribuição das pressões.

O produto foi considerado granular de fluxo livre de acordo com a classificação feita em função das dimensões do diâmetro de suas partículas, baseada nas considerações de CALIL JR. (1984).

TABELA 02 - Classificação dos produtos de acordo com a granulometria

$D_{max} > 0,42\text{mm}$	Granulares
$0,42\text{mm} < D_{max} < 0,149\text{mm}$	Pulverulentos coesivos
$0,149\text{mm} < D_{max} < 0,079\text{mm}$	Pulverulentos coesivos finos
$D_{max} < 0,079\text{mm}$	Pulverulentos coesivos extra-finos

3.4 Metodologia para determinação das propriedades de fluxo

As propriedades de fluxo dos produtos armazenados são extremamente importantes na determinação das pressões. As normas internacionais destacam as propriedades e informam sobre sua importância, variabilidade, métodos e equipamentos para determinação.

3.4.1 Determinação do teor de umidade da areia

Para a determinação do teor de umidade da areia adotou-se o método oficial da estufa a 120°C, com uma variação de até $\pm 3^\circ\text{C}$ por um período de 24 horas. A metodologia de ensaio consiste em pesar amostras, de aproximadamente 30g, acondicionando-se em recipientes de alumínio, previamente taradas e em seguida, pesa-as através de balança digital (Marte(R) Balanças Eletrônicas e Equipamentos) com precisão de 0,01 gramas para obter-se o peso úmido (P_u). Após o tempo de exposição na estufa, retira-se o produto, resfria-o em um dessecador por um período de 20 a 30 minutos e em seguida pesa-o novamente, obtendo-se assim o peso final (P_s).

Com os valores iniciais do peso úmido (P_u) e finais do peso seco (P_s) das amostras, calcula-se os teores de umidade através da seguinte expressão:

$$TU(\%) = \frac{P_u - P_s}{P_u} \times 100 \quad (06)$$

3.4.2 Granulometria

A classificação granulométrica foi realizada em função das dimensões das partículas, utilizando-se o método do peneiramento.

As peneiras utilizadas apresentam as seguintes dimensões, segundo a ABNT, 8, 16, 30, 50, 100 e 200.

O método do peneiramento consiste em retirar uma amostra do produto, previamente pesada com aproximadamente 1000g, em seguida, passadas por um jogo de peneiras e agitadas em um tempo determinado de 10 minutos. Após o peneiramento, pesa-se os produtos retidos em cada peneira e determina-se a granulometria.

3.4.3 Ângulo de atrito interno e ângulo de atrito do produto com a parede

A metodologia utilizada para a determinação das propriedades de fluxo foi a proposta por MILANI(1993). A determinação dos ângulos depende dos lugares geométricos de deslizamento, definidos com a tensão de cisalhamento e a tensão normal, Figura 13. Os lugares geométricos são o lugar geométrico de deslizamento(YL - Yield Locus) e o lugar geométrico de deslizamento da parede(WYL - Wall Yield Locus). Os testes realizados são instantâneos, onde o produto é conduzido à uma condição de deformação estável sob pressão normal predefinida num plano de cisalhamento.

Para a determinação dos ângulos utilizou-se a máquina para ensaio de cisalhamento (TRANSLATION SHEAR TESTER TSG), Figura 14. A máquina é constituída de duas partes principais:

- aparelho de cisalhamento (Figura 14);
- aparelho registrador de tensões.(Figura 14).

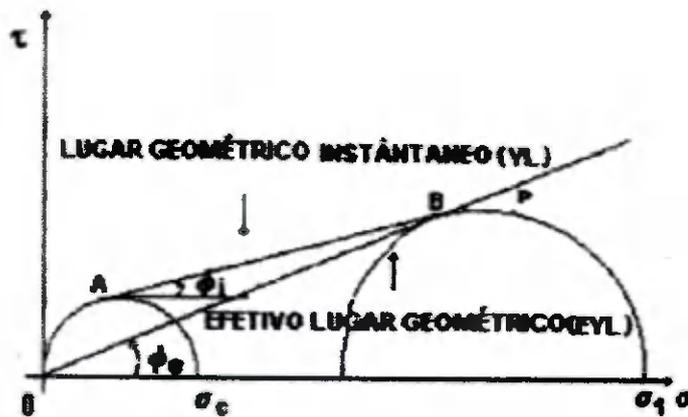


FIGURA 13 - Lugar geométrico de deslizamento

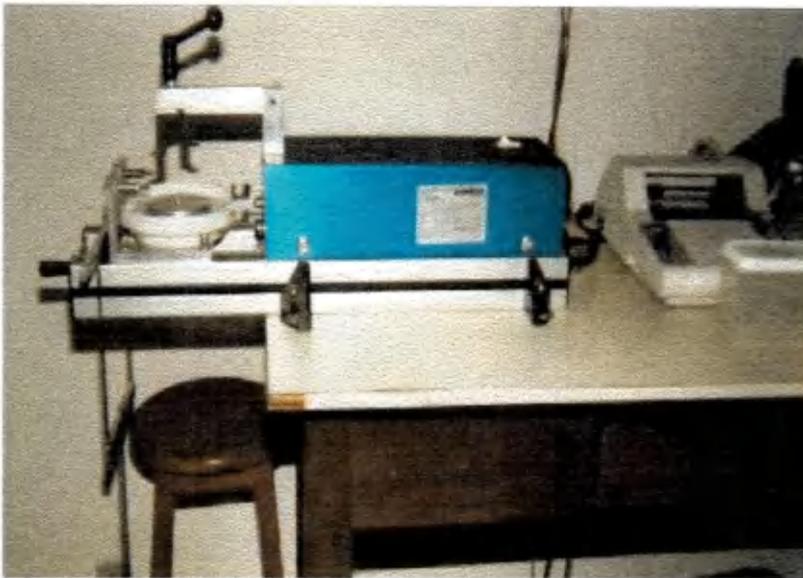


FIGURA 14 - Máquina para ensaio de cisalhamento (Jenike Shear Cell)

3.5 Cálculo das Pressões - Sistema de aquisição de dados

○ Sistema de aquisição de dados (Figura 15) foi desenvolvida pela LYNX(ADS - 2000) Tecnologia, que concebeu um sistema de aquisição de dados, e este sistema possui um conversor A/D e um software. A escolha deste sistema foi pela sua

aplicabilidade em ensaios de carregamento estáticos e dinâmicos, bem como a sua disponibilidade no LaCRa

O software se chama AqDados, é um aplicativo para aquisição de sinais, que permite o armazenamento em arquivos e manipulação dos dados gravados.

O sistema de Aquisição de Dados é composto por 4 partes principais:

- Sensores ou Transdutores
- Condicionador
- Conversor A/D
- Programas de Aquisição de Dados

O programa de Aquisição de Dados é o responsável pelo controle do sistema, permitindo ao usuário parametrizar, comandar e monitorar o processo de aquisição de dados. O aparelho para leitura é uma ponte de Wheaststone que permite formar dois circuitos em ponte fornecendo as leituras.



FIGURA 15 - Sistema de aquisição de dados

3.6 Células de pressão

As células utilizadas no ensaio (Figura 16 e 17) são feitas de aço inoxidável e são hermeticamente seladas, isto significa que elas são completamente protegidas contra umidades e intempéries. De forma geral, as células de pressão são compostas por duas partes: sensor e transdutor. Foram utilizadas 06(seis) células de carga, do tipo hidráulica - EPC 3500-1-100(GEOKON) montadas com duas placas circulares de aço inoxidável - 304, soldadas em seu contorno com diâmetro de 22,86cm e espessura de 6,35mm. Apresentam uma faixa de pressão que varia de 0 a 700KPa, com sensibilidade de 0,175KPa(700/400) com duas faces ativas, gentilmente cedidas pela EESC/USP, e especificadas pelos seguintes números de série: 47089, 47090, 47093, 47095, 47096, 47097. As células tem capacidade de carga de 100psi. Todas as células apresentam semelhanças quanto à curva de calibração (Tabela 03 e Figura 18). Alguns cuidados na instalação destas células devem ser tomados. Um dos cuidados é a colocação de uma manta de borracha entre a face da célula e a superfície da parede, o que permite a melhor distribuição da pressão sobre a superfície da célula.

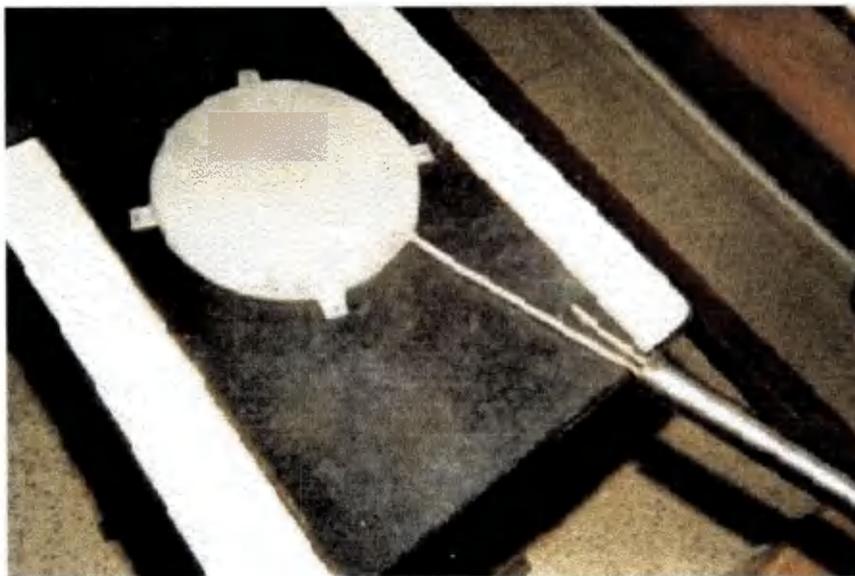


FIGURA 16 - Célula de pressão - Tipo Hidráulica



FIGURA 17 - Célula de Pressão e o cabo conector

TABELA 03 - Dados da calibração da célula de carga referente ao número de série 47089

Leitura (div)	Carga (Kgf)	Leitura		
		Pressão (Kgf/cm ²)	Pressão Teórica (psi)	Pressão média (psi)
0	0,00	0,00	0,000	0,000
100	181,50	0,44	6,317	6,2
200	363,00	0,88	12,635	13
300	544,50	1,33	18,952	19,5
400	726,00	1,77	25,270	25,8
500	907,50	2,21	31,587	31,8
600	1089,00	2,65	37,904	38,4
700	1270,50	3,10	44,222	44,6
800	1452,00	3,54	50,539	51
900	1633,50	3,98	56,857	57,3
1000	1815,00	4,42	63,174	63,6
1100	1996,50	4,86	69,492	70

Calibração das células de pressão

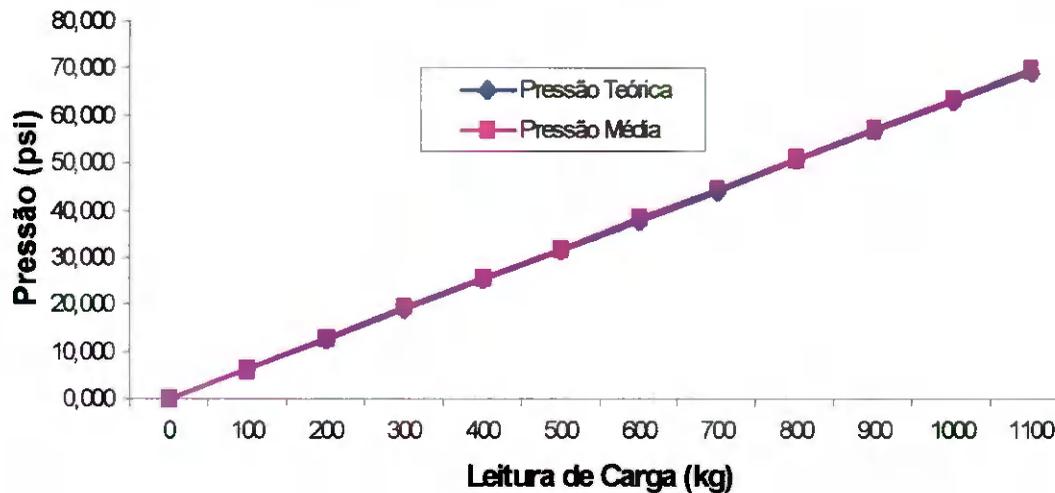


FIGURA 18 - Curva de calibração das células de pressão.

3.7 Metodologia do ensaio para determinação da pressão

No ensaio o produto armazenado foi conduzido através de uma rosca transportadora, 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 19.

Esse tipo de ensaio seguiu a seguinte metodologia

- a) fixou-se as seis células de carga na estrutura (Figura 19): sendo 04 (quatro) na parede e 02 (duas) no fundo tomando por base o ângulo de 30° com a horizontal. As células 1 e 3 estão a uma profundidade de 1,52m, as células 2 e 4 de 2,28m de profundidade, e a 5 e 6 estão à 1,10m e 1,80m respectivamente. As células foram fixadas nas paredes e no fundo por meio de parafusos sobre pressão. Entre a parede do silo e a face da célula colocou-se uma manta de borracha para permitir um contato perfeito de toda a superfície da célula e a superfície da parede;

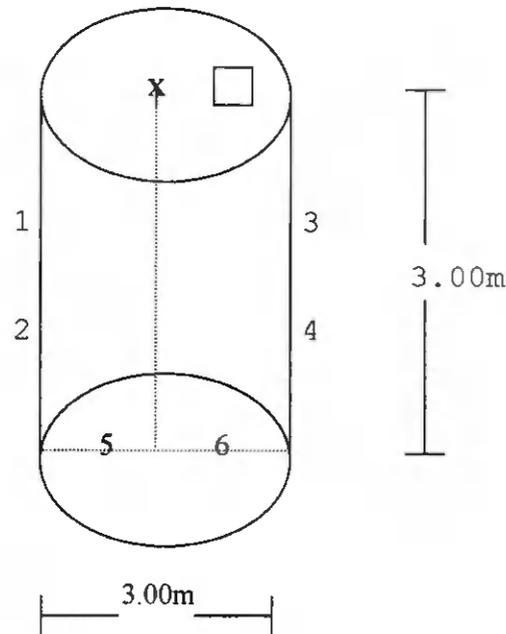


FIGURA 19 - Posição das células no interior do silo

- b) conectou-se as respectivas células de carga através de cabos conectores ao sistema de aquisição de dados e este ao computador calibrando-as adequadamente;
- c) após a calibração, iniciou-se a primeira etapa de carregamento do silo, e simultaneamente ligou-se o sistema para então obter a devida pressão de carregamento num intervalo de 10 em 10 minutos;
- d) após terminado o carregamento, o produto ficou armazenado por um certo período de 72 horas, coletando-se também a pressão, que foi obtida no mesmo intervalo;
- e) e após o tempo de armazenagem terminado, teve o descarregamento do produto, registrando a pressão.

O tratamento de dados foi feito pelo software AQD5(LINX) para ambiente WINDOWS.

O ensaio consistiu de duas repetições para o ciclo completo - carregamento, armazenamento e descarga, e durante as três fases foi permitido a coleta de dados para as duas condições de carregamento, dinâmico e estático. Para a avaliação de dados do carregamento estático, coletou-se dados durante 72 horas de armazenagem.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Técnicas construtivas empregada

As técnicas construtivas utilizadas nessa pesquisa, são adequadas para o pequeno produtor rural, pois não ocorreu aparecimentos de fissuras e/ou rachaduras na estrutura, durante as fases de ensaio.

4.2 Propriedades físicas

4.2.1 Teor de umidade

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.

4.2.2 Granulometria

Os resultados obtidos no ensaio de granulometria são apresentados na tabela 09 do anexo, e na Figura 20. Observa-se que o maior percentual ficou retido na peneira de malha 0,6mm, e apresentaram um 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) as dimensões da areia estão compreendidas entre 4,8 e 0,05mm. Portanto a areia utilizada é considerada com granulometria média.

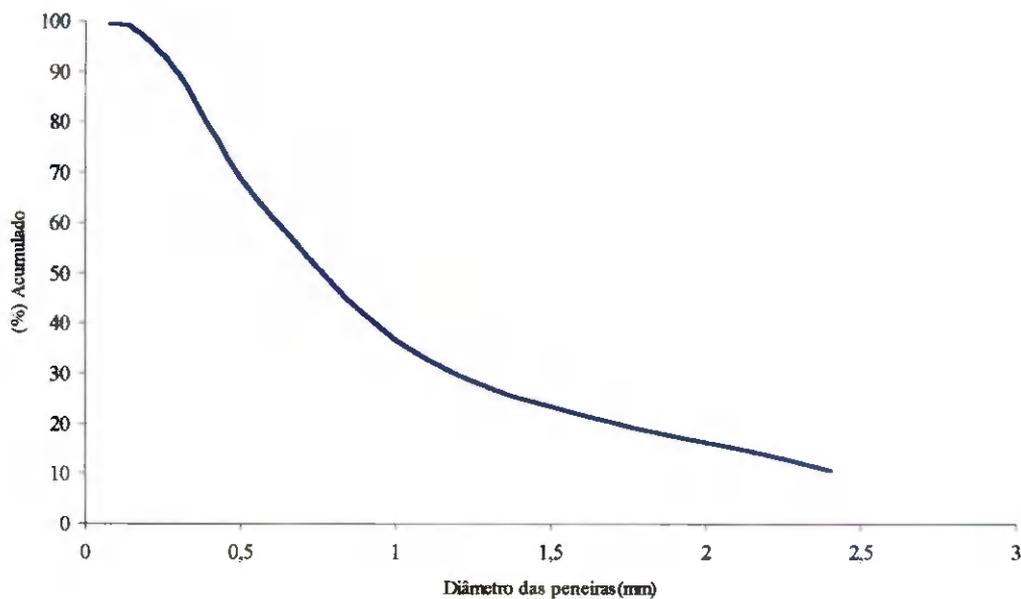


FIGURA 20 - Curva granulométrica da areia

4.3 Propriedades de fluxo

4.3.1 Ângulo de atrito interno e ângulo de atrito produto/parede

Os resultados obtidos do ensaio de cisalhamento são apresentados na Tabela 04 e fazendo uma análise comparativa com as Normas DIN 1055, ISO 11697 e ACI 313-77 observa-se que os resultados não foram discrepantes, considerando-se a densidade constante.

TABELA 04 - Propriedade de fluxo da areia com 1% T.U.

	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	21,8-35	0,40-0,70	16-20

Os resultados das propriedades físicas e de fluxo da areia estão de acordo com os valores recomendados pelas normas internacionais citadas. Estas propriedades devem, sempre que possível, ser determinadas, principalmente quando se deseja projetar silos para armazenamento de produtos agrícolas, devido a sua enorme variedade. Estas determinações devem seguir a metodologia recomendada pela ISO 11697 e utilizar a máquina de cisalhamento transversal por translação "Jenike Shear Cell".

4.4 Determinação das pressões

4.4.1 - Pressões de carregamento e descarregamento - calculadas

Os resultados obtidos para as pressões calculadas estão dispostos nas Tabelas 05, 06 e 07 e Figuras 21, 22, 23 e 24, verifica-se que houve grande discrepância, devido a diferença da relação entre as pressões horizontais e verticais (K). A norma Din 1055 utiliza o ângulo de atrito interno para o cálculo do coeficiente K, que ficou aproximadamente $K = 0,49$, enquanto a norma ISO 11697 a relação é especificada pela classe do material, que de acordo com a Tabela 01 fica em torno de $K = 0,50$ e a norma ACI 313-77 o K é calculado pela equação 04, que fornece um valor de 0,22-0,40, além da diferença existente entre os coeficientes de atrito com a parede. Como pode ser observado na Figura 24 e 25, os gráficos ilustram o comportamento das

curvas das pressões calculadas pelas normas citadas, e considerando-se uma altura efetiva de 3m, observa-se que os valores teóricos para o carregamento são: norma DIN 1055, forneceu um valor de 14,99kPa, enquanto que a norma ISO 11697 o valor foi de 25,93kPa, e a norma ACI 313-77 foi de 10,21kPa, portanto o intervalo das pressões horizontais varia de 10,21 a 25,93kPa; e para o descarregamento têm-se os seguintes valores: norma DIN 1055, 20,99kPa, a norma ISO 11697, 25,94kPa, e ACI 313-77, 13,78kPa, e o intervalo varia de 13,78 a 25,94kPa. confirmando a grande variabilidade nos cálculos, relacionada a dependência do valor de K, e do ângulo de atrito.

TABELA 05 - Resultados das pressões teóricas da Norma DIN 1055.

z (m)	Phc (kPa)	Pvc (kPa)	Pwc (kPa)	Phd (kpa)
0	0	0	0	0
0,25	1,88	3,84	0,94	2,63
0,50	3,62	7,39	1,81	5,06
0,75	5,21	10,64	2,61	7,30
1,00	6,69	13,65	3,34	9,36
1,25	8,04	16,42	4,02	11,26
1,50	9,30	18,98	4,65	13,01
1,75	10,45	21,33	5,23	14,63
2,00	11,51	23,50	5,76	16,12
2,25	12,50	25,50	6,24	17,48
2,50	13,40	27,33	6,70	18,75
2,75	14,23	29,03	7,11	19,92
3,00	14,99	30,60	7,50	20,99

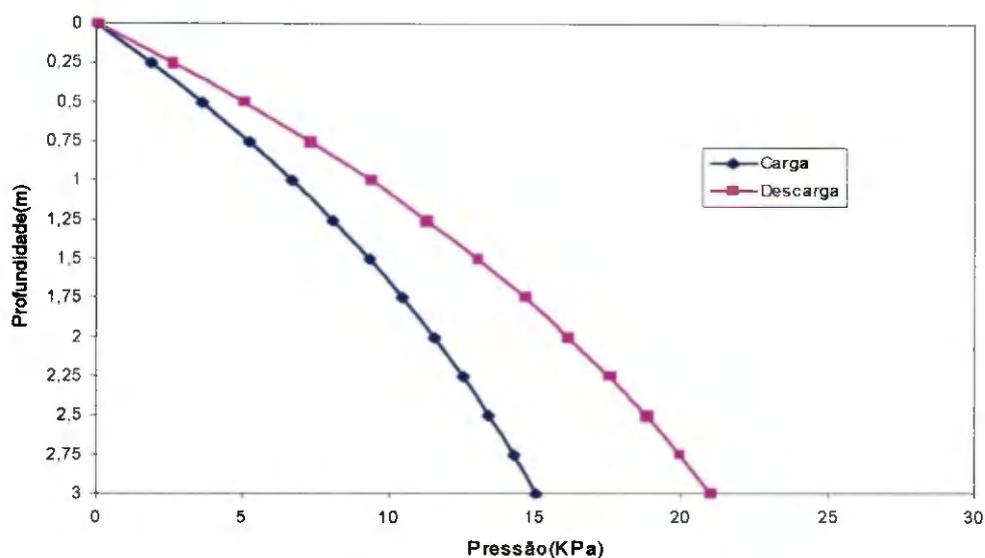


FIGURA 21 - Curva da pressão horizontal calculada pela norma DIN 1055

TABELA 06 - Resultados das pressões teóricas da Norma ISO 11697.

z (m)	Pwc (kPa)	Phc (kPa)	Pvc (kPa)	Phd (kPa)
0	0	0	0	0
0,25	1,84	4,60	9,21	4,60
0,50	3,40	8,50	17,00	8,50
0,75	4,72	11,80	23,61	11,80
1,00	5,84	14,60	29,19	14,60
1,25	6,79	16,96	33,92	16,96
1,50	7,58	18,96	37,93	18,96
1,75	8,26	20,65	41,31	20,65
2,00	8,84	22,09	44,18	22,09
2,25	9,32	23,30	46,61	23,30
2,50	9,73	24,33	48,67	24,33
2,75	10,08	25,20	50,41	25,20
3,00	10,37	25,94	51,88	25,94

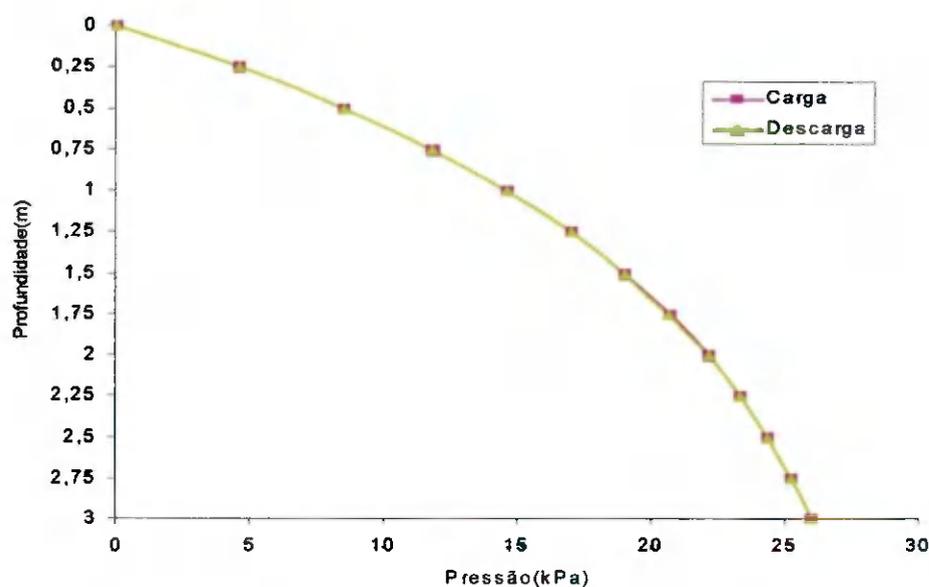


FIGURA 22 - Curva da pressão horizontal calculada pela norma ISO - 11697

TABELA 07 - Resultados das pressões teóricas da Norma ACI 313-77

z (m)	Phc (kPa)	Pvc (kPa)	Pwc (kPa)	Phd (kPa)
0	0	0	0	0
0,25	1,02	3,98	0,64	1,34
0,50	2,01	7,73	1,36	2,71
0,75	2,96	11,41	2,16	4,00
1,00	3,88	14,94	3,04	5,24
1,25	4,77	18,36	3,98	6,44
1,50	5,63	21,67	4,99	7,60
1,75	6,46	24,86	6,08	8,73
2,00	7,26	27,95	7,23	9,8091
2,25	8,04	30,93	8,44	10,85
2,50	8,79	33,80	9,72	11,86
2,75	9,51	36,58	11,05	12,84
3,00	10,21	39,27	12,44	13,78

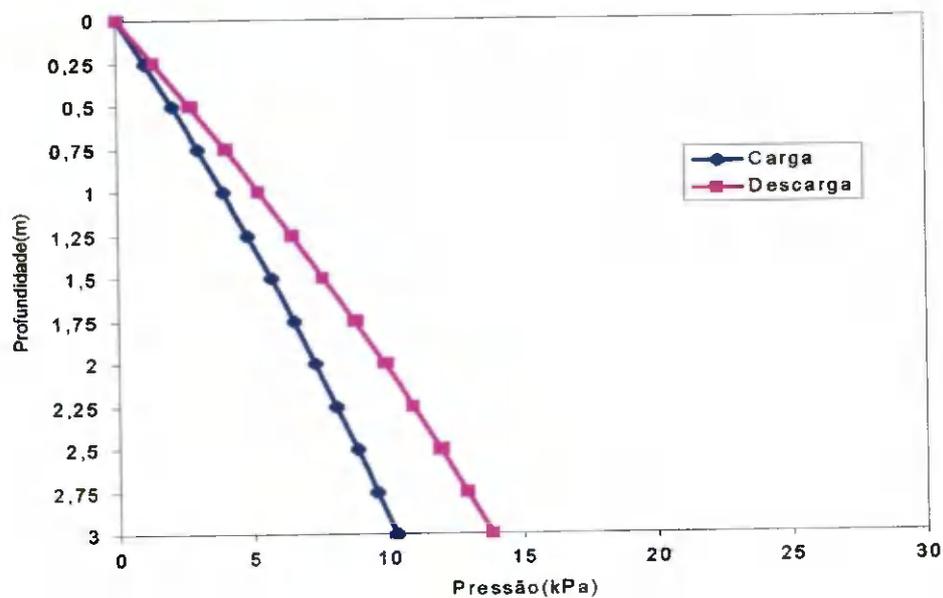


FIGURA 23 - Curva da pressão horizontal calculada pela norma ACI 313-77

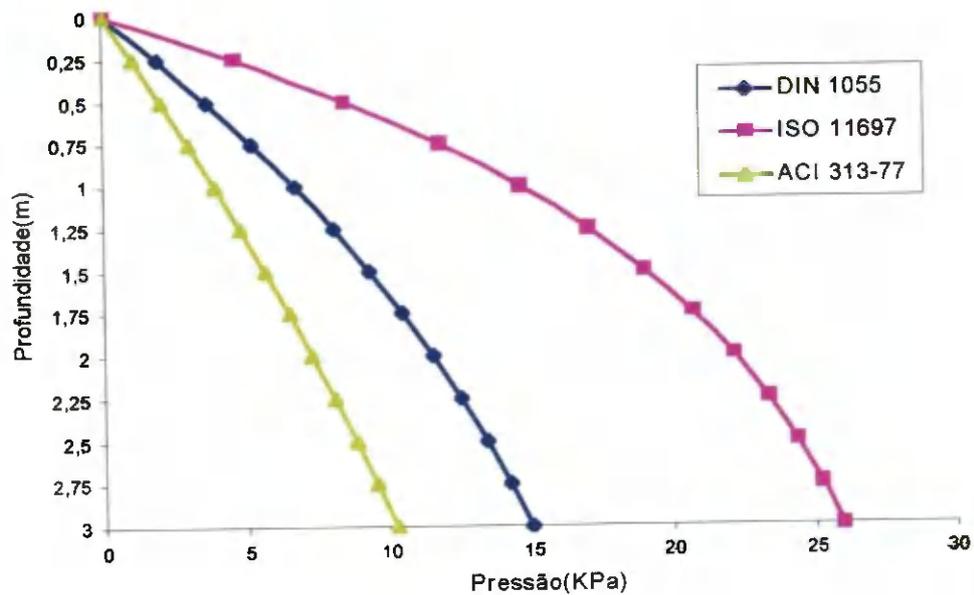


FIGURA 24 - Curvas de pressões horizontais de carregamento das três normas utilizadas

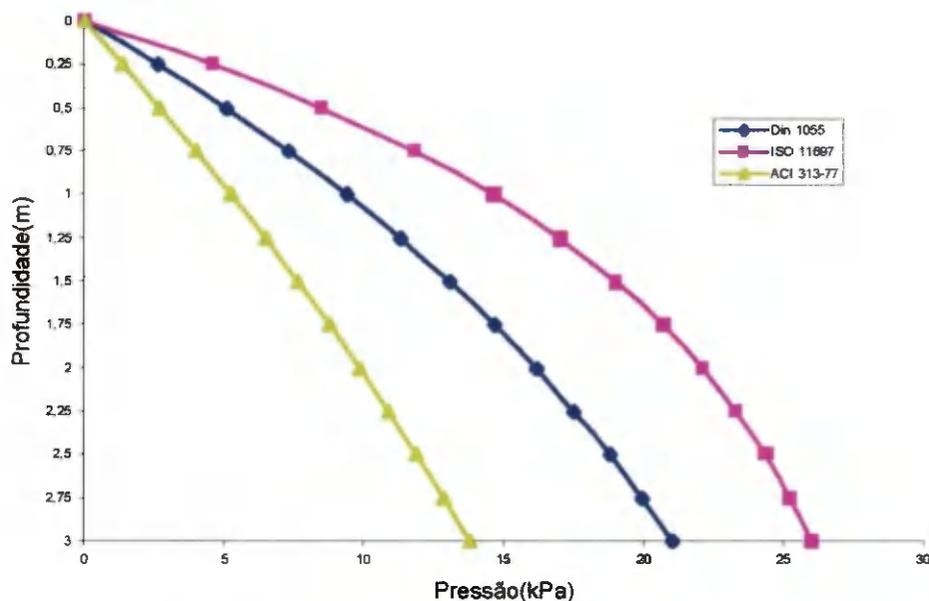


FIGURA 25 - Curvas de pressão de descarregamento das três normas utilizadas

4.4.2 - Pressões de carregamento - armazenamento - descarregamento - determinadas

As pressões obtidas experimentalmente são apresentados nas Tabelas 10 a 12, no anexo, e Figuras 28 a 45. Observou-se que durante a carga, para cada célula, a pressão de carregamento incrementou gradativamente com a profundidade; nas pressões durante o período de armazenamento as oscilações observadas podem estar ligadas ao carregamento excêntrico e ao grau de compactação da areia em função do tempo e como era de se esperar, o peso da areia é quase que totalmente suportado pelo fundo. Devido a relação altura/lado, as pressões de descarregamento indicaram uma tendência de diminuição mais pronunciada à medida que se diminui a altura do produto. Os dados foram comparados com os valores das pressões teóricas das normas DIN 1055- ISO 11697 e ACI 313-77. As maiores variações significativas, com relação as pressões de carregamento horizontais obtidas no ensaio, foram observadas na norma ISO 11697, observando-se que a discrepância cresce com a altura, e que a norma ACI 313-77 é a que melhor concorda com os resultados

experimentais, e observa-se também que a norma DIN 1055 não apresentou valores discrepantes; nas pressões de descarga houve variações consideráveis com as normas, que pode ter sido influenciado pelo tipo de carregamento e descarregamento excêntrico.

4.5 - Resultados das pressões

A partir dos dados coletados durante os ensaios, calculou-se os valores médios mostrados na Tabela 08.

TABELA 08 - Valores médios das pressões horizontal e vertical durante o carregamento(1), armazenamento(2) e descarregamento(3)

Células	Pressão (1) (kPa)	Pressão (2) (kPa)	Pressão (3) (kPa)
01/02	0,80 - 1,40	1,02 - 2,93	0,72 - 1,29
03/04	0,83 - 2,47	1,62 - 2,74	0,74 - 1,52
05/06	8,45 - 10,34	12,99 - 13,80	6,20 - 5,56

Os resultados dos valores de pressão obtidos nos ensaios são mostrados no Anexo. Foram obtidos os valores de pressão horizontal e vertical, nas fases de carregamento, armazenamento e descarregamento nas posições indicadas na Figura 26.

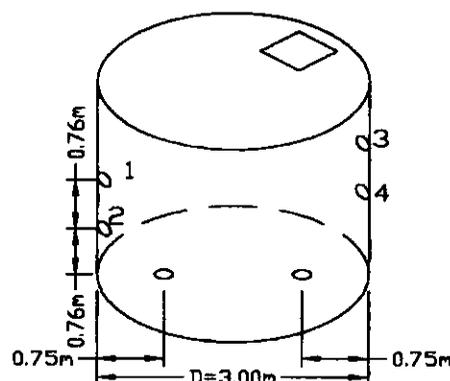


FIGURA 26 - Disposição das células no silo.

4.5.1 Pressão horizontal - na fase de carregamento

O sistema de carregamento utilizado foi um transportador helicoidal, com baixa velocidade e conseqüentemente baixa vazão de carregamento. Por isso 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 10min.

As células 01 e 03, Figura 28, ambas a 1,52m de profundidade, em relação ao tipo do silo registraram variações nos valores medidos durante esta fase. Na célula 03, a pressão foi crescendo gradativamente com aumento da profundidade, ocorrendo um pico de pressão no final do carregamento. Isto pode ser explicado pela forma do carregamento empregado, que foi excêntrico ocasionando a formação de taludes (Figura 27). Na célula 01, as pressões obtidas foram bem uniformes, mas o pico de pressão ocorreu no final do carregamento, e que pode ter sido ocasionado pelo desmoronamento do talude, pressionando assim a parede em que estava fixada a mesma.

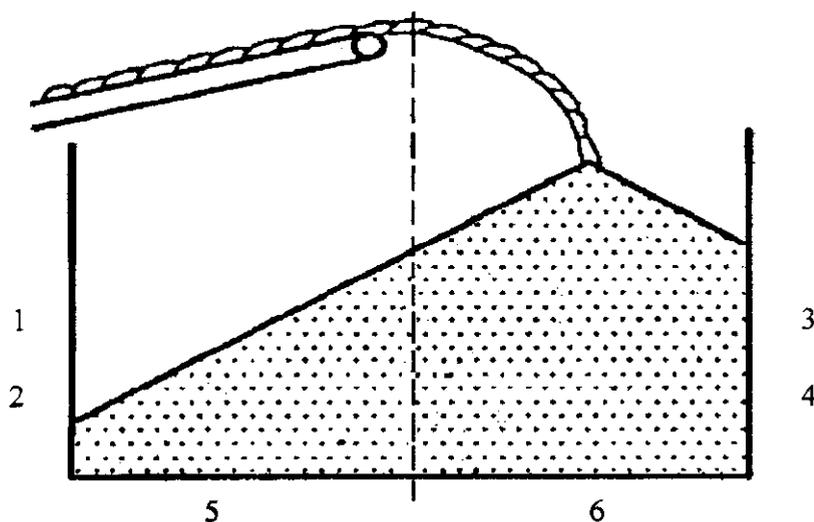


FIGURA 27 - Carregamento Excêntrico

Da mesma forma ocorreu entre as células 02 e 04, de acordo com as curvas de pressões, indicadas na Figura 29, ambas também diametralmente opostas e a 2,28m de

profundidade. A célula 04 teve comportamento idêntico a célula 03, apresentando uma pressão crescente com o aumento de camadas de produto e um pico no final do carregamento, só que diferentemente da célula 03, este pico pode ter sido ocasionado pelo acomodamento do produto. Na célula 02, as pressões obtidas cresceram de forma semelhante a célula 04, e os picos de pressão existentes podem ter ocorrido devido ao desmoronamento do talude.

As células 01 e 02, ambas diametralmente opostas as células 03 e 04, Figura 32, apresentaram curvas de pressão crescendo gradativamente com a profundidade, no início do carregamento. As células 03 e 04, obtiveram as maiores pressões nesta fase, e isto pode ser explicado pela forma de carregamento excêntrico e a queda do produto próximo a elas. Estas células ficaram mais submetida a um constante impacto da queda do produto, devido suas localizações. A célula que obteve maior valor de pressão foi a célula 04, no início do carregamento pode ter sido devido estar localizada próxima ao fundo do silo e no lado do carregamento da areia. Este mesmo comportamento é observado na célula 03, mas com menor intensidade, devido a sua posição.

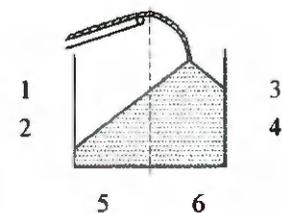
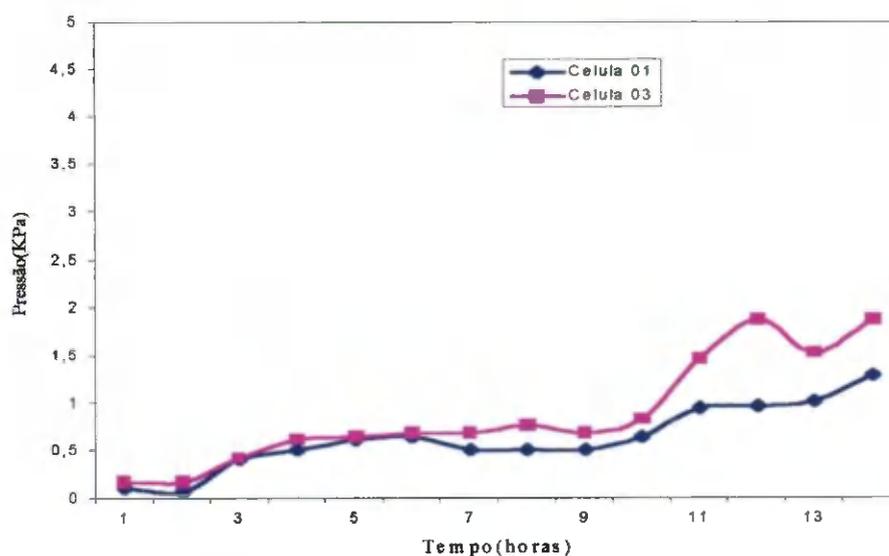


FIGURA 28 - Célula 01 e 03 - Comportamento da pressão horizontal durante o carregamento do silo

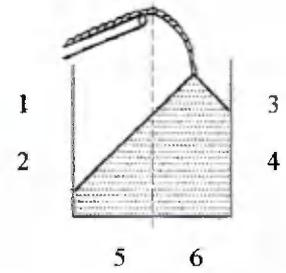
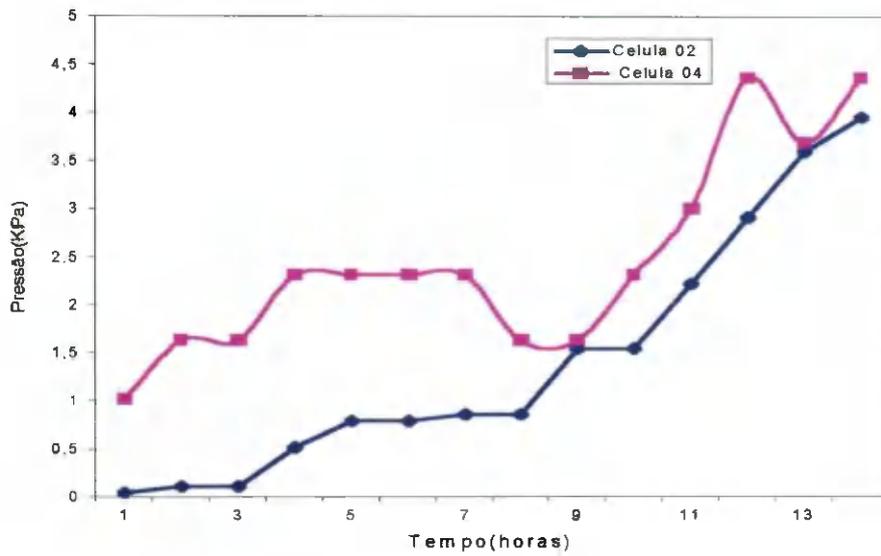


FIGURA 29 - Célula 02 e 04 - Comportamento da pressão horizontal durante o carregamento do silo

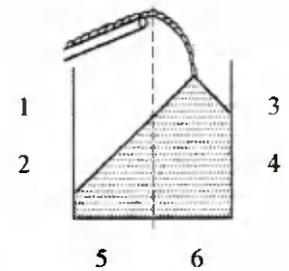
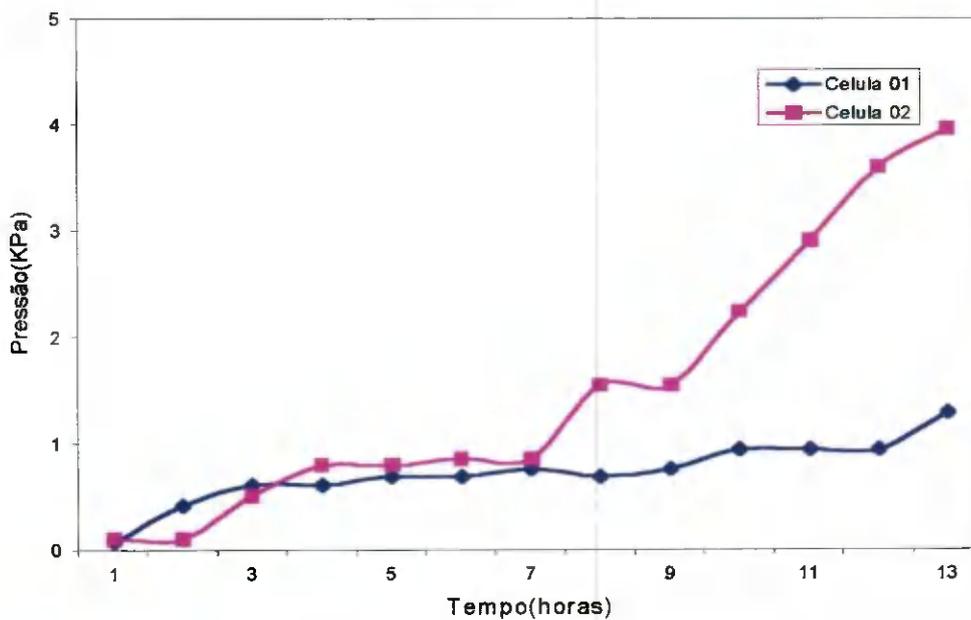


FIGURA 30 - Célula 01 e 02 - Comportamento da pressão horizontal durante o carregamento do silo

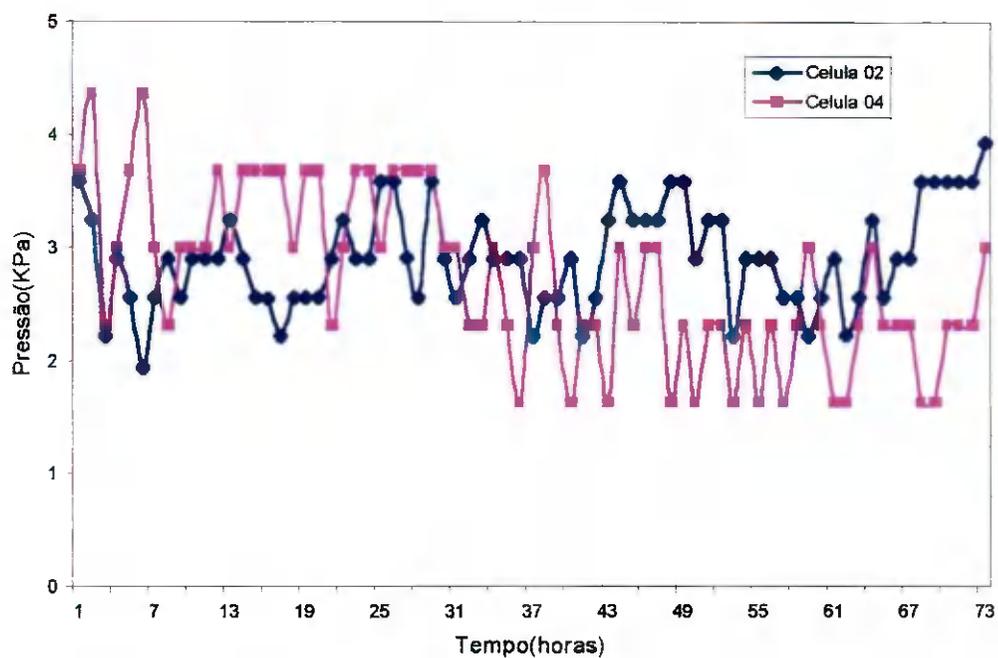


FIGURA 35 - Célula 02 e 04 - Durante o Armazenamento

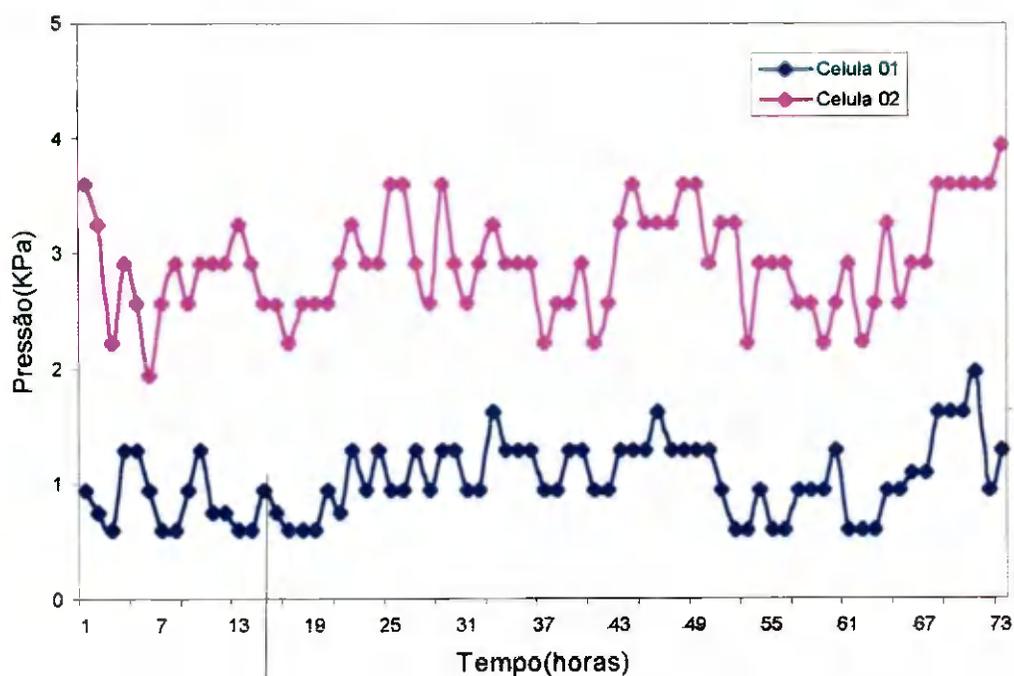


FIGURA 36 - Célula 01 e 02 - Durante o Armazenamento

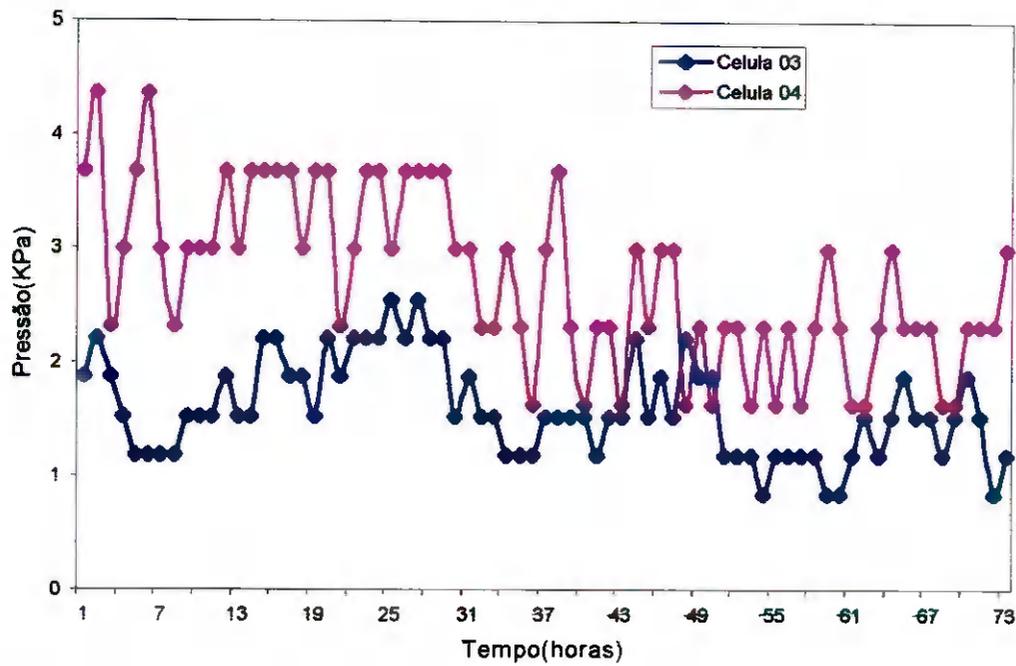


FIGURA 37 - Célula 03 e 04 - Durante o Armazenamento

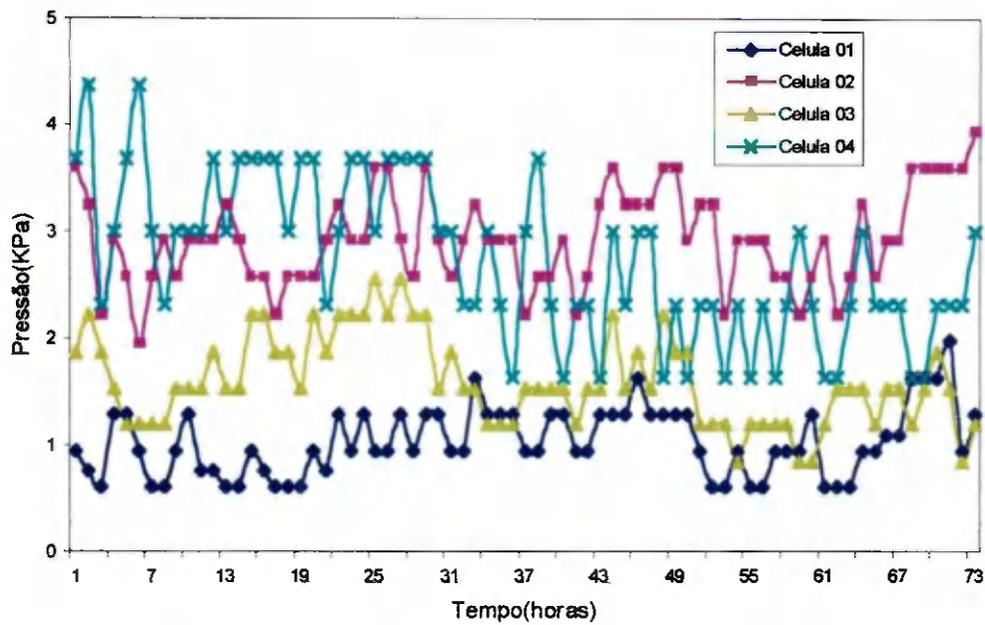


FIGURA 38 - Células 01 a 04 - Durante o Armazenamento

4.5.4 Pressão Vertical - em função do tempo de armazenamento

Na Figura 39 são apresentadas as pressões no fundo do silo, registradas pelas células 05 e 06. Como estão equidistantes do eixo do silo, observa-se uma semelhança das curvas em função do tempo.

As pressões registradas pela célula 06 foi um pouco superior a célula 05, pelo fato desta estar localizada do lado que ocorreu o carregamento do silo, que foi excêntrico. Mesmo assim o incremento pode ser considerado pequeno.

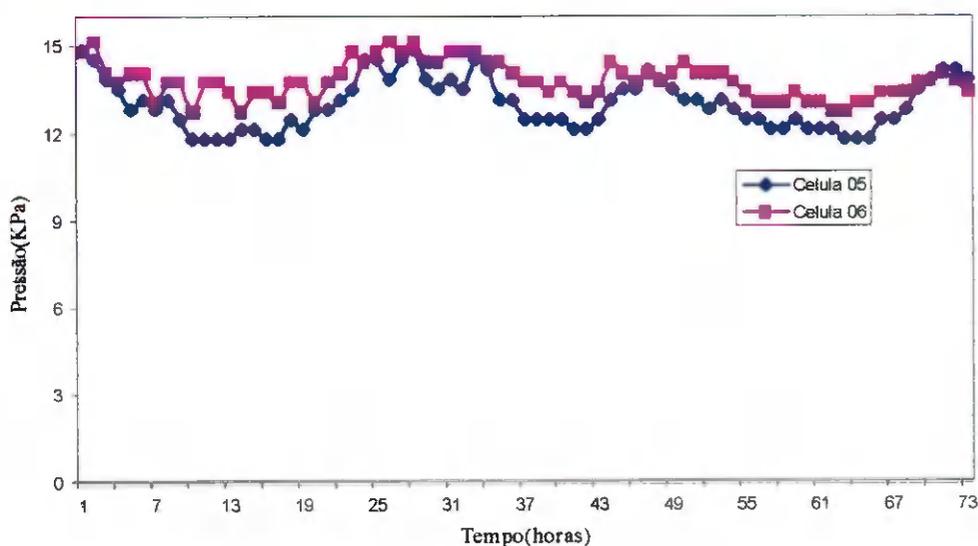


FIGURA 39 - Célula 05 e 06 - Durante o Armazenamento

4.5.5 Pressão Horizontal durante o descarregamento

O descarregamento do silo foi iniciado após às 72 horas de armazenamento.

Entre as células 01 e 03, Figura 40, observa-se que ocorreu semelhanças quanto à variação de pressão. Ocorreram quedas bruscas de pressão nesta fase, devido ao descarregamento excêntrico e que também foi muito lento.

Em relação as células 02 e 04, Figura 41, observou-se que também teve a ocorrência de quedas de pressão não tão bruscas, com a pressão se estabilizando no final da descarga.

As células 01 e 02 diametralmente opostas as células 03 e 04, Figura 44, observa-se que as maiores pressões obtidas nesta fase ocorreu nas células 01 e 02. As células 03 e 04, tiveram uma estabilização de pressão mais rápida.

Muitos pesquisadores já descreveram que no início da descarga ocorre uma sobrecarga de pressão horizontal. Se o descarregamento for excêntrico, isto ocorrerá no lado oposto. Mesmo utilizando as células de pressão muito sensíveis, conectadas ao sistema de aquisição de dados, não foi registrada sobre-pressão. Acredita-se que isto se deu por causa da descarga ter sido muito lenta.

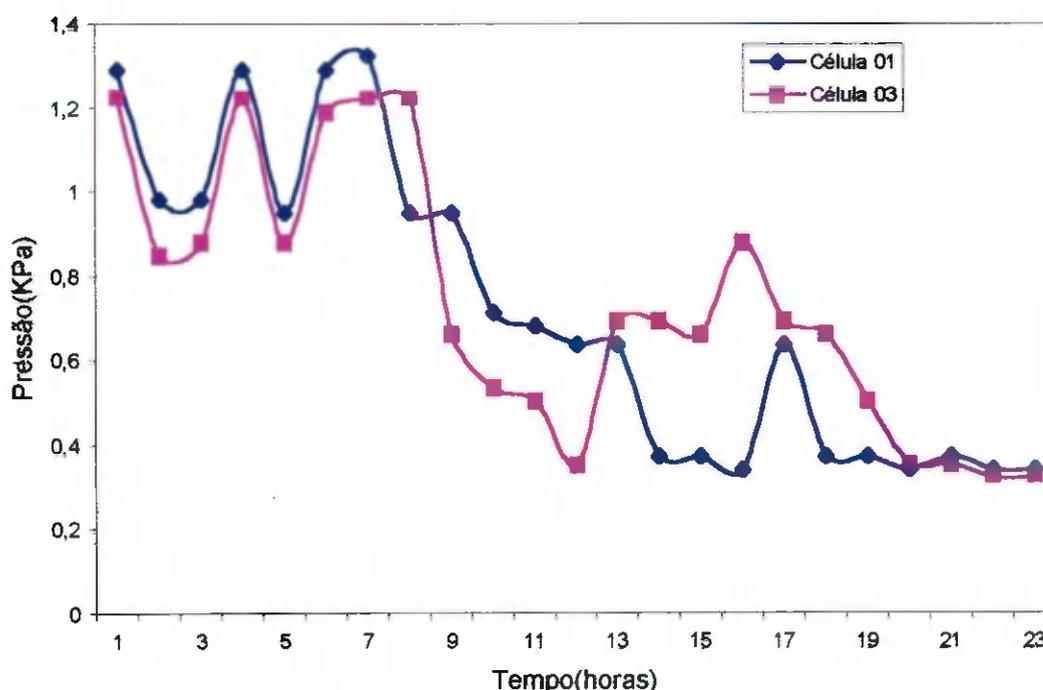


FIGURA 40 - Célula 01 e 03 - Durante o Descarregamento

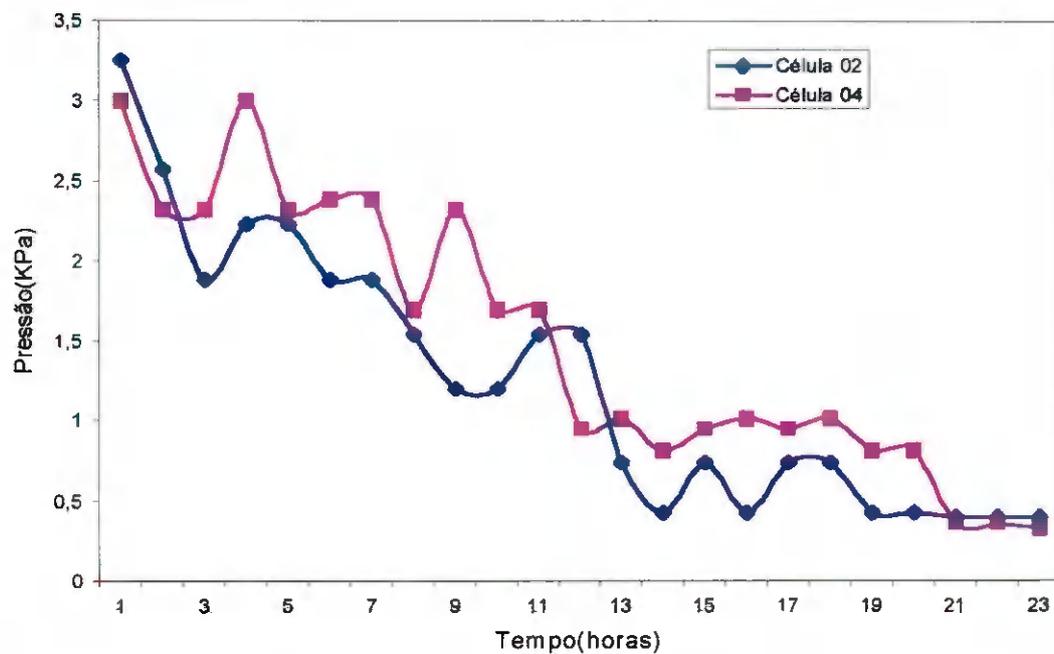


FIGURA 41- Célula 02 e 04 - Durante o Descarregamento

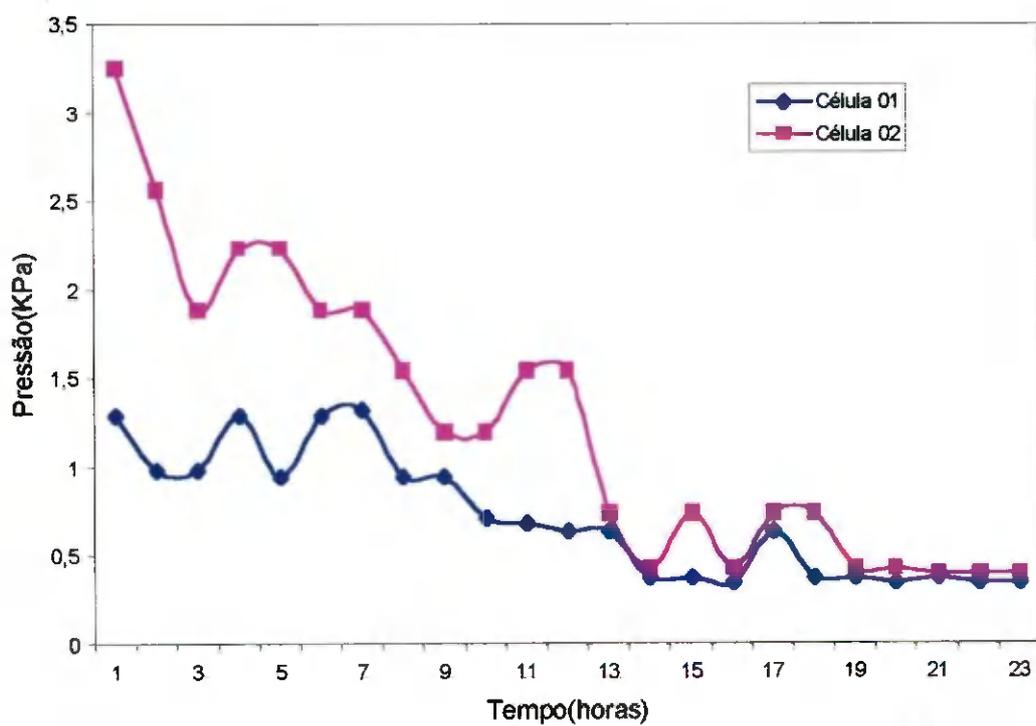


FIGURA 42 - Célula 01 e 02 - Durante o Descarregamento

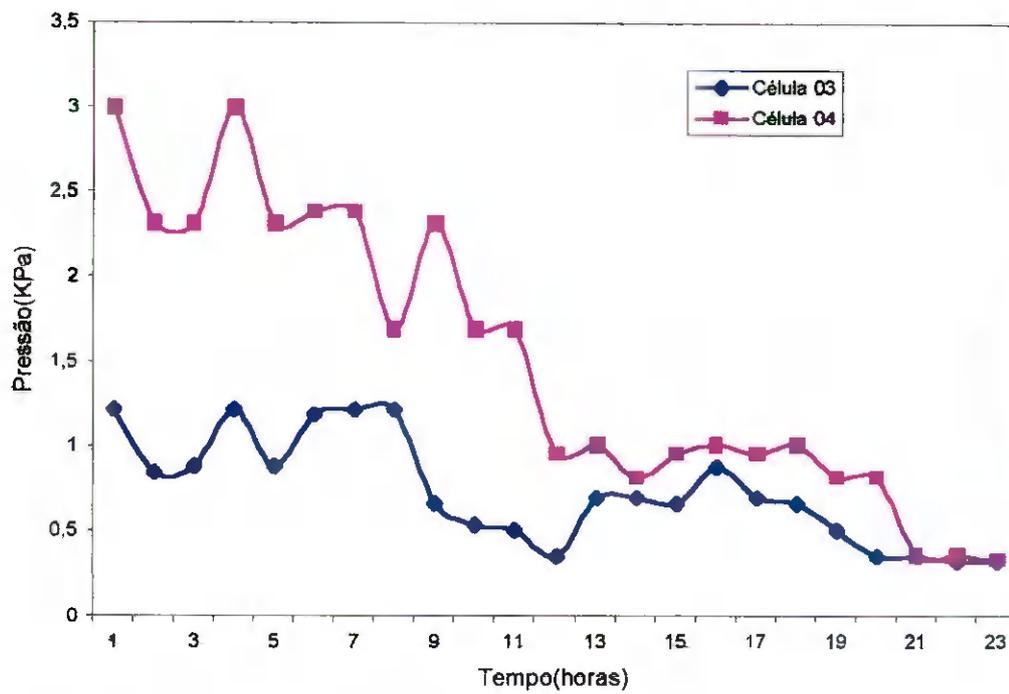


FIGURA 43 - Célula 03 e 04 - Durante o Descarregamento

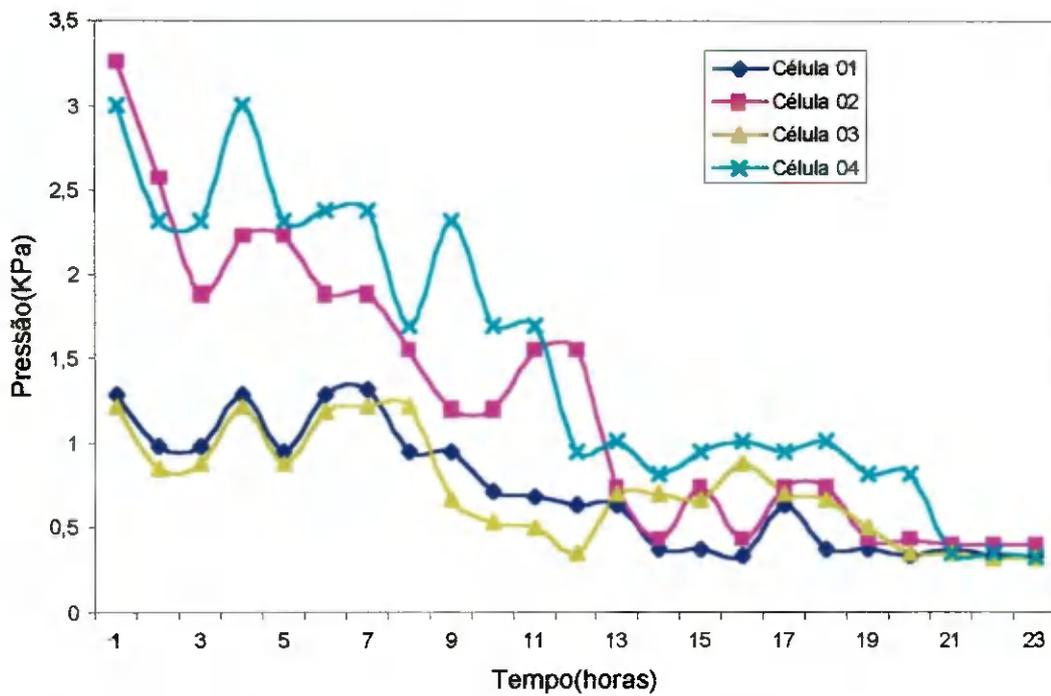


FIGURA 44 - Célula 01 a 04 - Durante o Descarregamento

4.5.6 Pressão Vertical durante o descarregamento

As células 05 e 06, Figura 45, apresentaram queda brusca de pressão no início da descarga e em seguida depois as pressões foram decrescendo lentamente até o final da descarga.

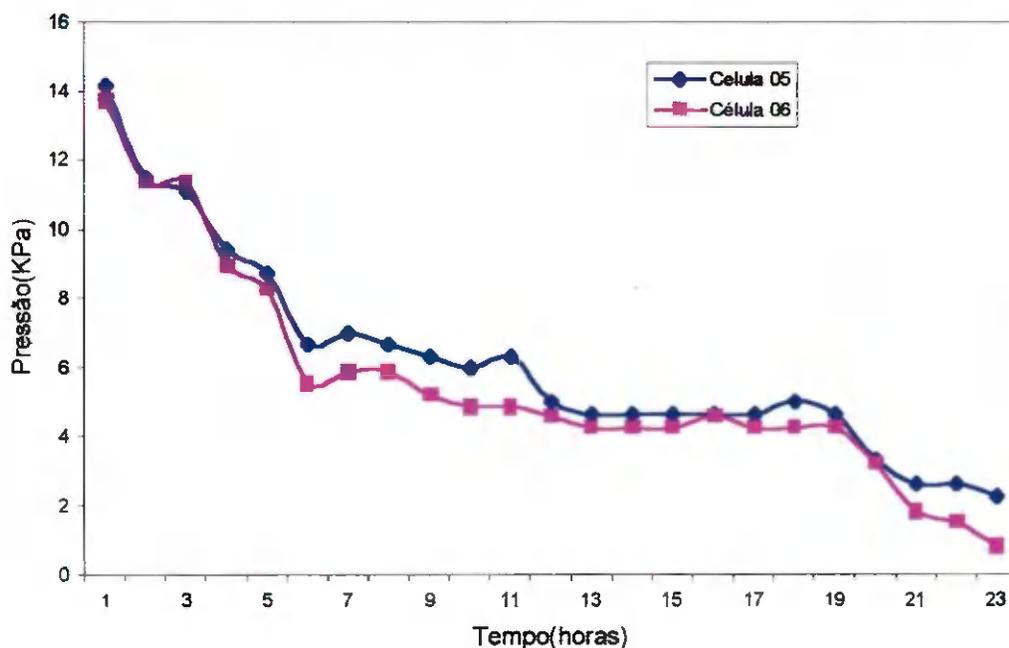


FIGURA 45 - Célula 05 e 06 - Durante o Descarregamento

5 CONCLUSÕES

Baseado nos dados coletados e analisados durante o experimento, chegou-se a alguns aspectos conclusivos :

1. Em função das vantagens que a unidade armazenadora apresentou, pode-se considerar o desempenho bastante satisfatório, pois como esperado, nenhuma falha ou fissura foi observada na estrutura durante os ensaios, podendo este tipo de estrutura ser recomendada para pequenos produtores.
2. Considerando que as pressões e a fluibilidade estão diretamente relacionadas com as propriedades dos produtos, é necessário maior domínio destas.
3. - A utilização da areia, apresentando características de alta densidade e de fluxo livre, permitiu a boa avaliação das pressões horizontais e verticais. O que possibilitou realizar o cálculo do valor de K, para o silo vertical de alvenaria de tijolos proposto.
4. A utilização de células de pressão para medições de pressões estáticas e dinâmicas em silos é viável e permite um bom monitoramento das pressões horizontais e verticais.
5. Os resultados obtidos experimentalmente mostraram-se compatíveis com as normas internacionais DIN 1055 e ACI 313-77.
6. A utilização das normas DIN 1055 e ACI 313-77 para cálculo estrutural de silos de alvenaria com relação altura/diâmetro menor que 1,5 é aplicável.

7. Com o estudo das pressões, juntamente com o conhecimento das propriedades do produto, o tipo de silo estudado apresenta potencial que permite a sua utilização racional.

Sugestões para futuros trabalhos

1. Estudo experimental utilizando células de pressões inseridas na massa de grãos.
2. Determinação do valor de K a partir das pressões obtidas experimentalmente;

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Commentary on Recommended Practice for Design and Construction of Concrete Bins, Silos, and Bunkers for storing Granular Materials”, American Concrete Institute, - ACI 313-77.1983.

ARNOLD, P.C. The design of storage bins for bulk solids handling". Bulk Solids Handling, v.1, n.1, Fev/1981.

ALBUQUERQUE, A . Construções Cívicas. 5 ed. São Paulo: Empresa Gráfica da Revista dos Tribunais LTDA, 1957.

BARROS, M.S. Tecnologia de Ensilagem adaptada ao Pequeno Produtor Rural: EMATER-MG. http://www.agridata.mg.gov.br/tecnicas_agropecuarias/pecuaria/tapesilocincho.htm#item1. 21/10/1999.

BAUER, L.A.F. Materiais de Construção. Rio de Janeiro, LTC Editora, 1994 – 5ª edição v.2.

BULL, L.T. Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, 301p. 1993.

BENINK, E.J. Flow and stress analysis of cohesionless bulk materials in silos related to codes. 1989. 162p. Tese (doutorado) - Universiteit Twente, The Netherlands..

CALIL JÚNIOR, C. Recomendação de fluxo e de carga para o projeto de silos verticais. Tese de Livre Docência. EESC - USP. 1989. 100p.

CALIL JÚNIOR, C.; NASCIMENTO, J. W.B. do; ARAÚJO, E.C. de. Silos metálicos multicelulares. São Carlos, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 1997. 177p.

CAPUTO, H.P. Mecânica dos solos e suas aplicações- Fundamentos. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1983. 219p.

CARICCHIO, L.M. Construção Civil II. Rio de Janeiro - Gráfica Olímpica Editora . 1958.

CPATSA. Tipificação dos pequenos produtores do nordeste brasileiro. [http:// www.cnptia.embrapa.br/bdud/Cptasa/ajuda.htm](http://www.cnptia.embrapa.br/bdud/Cptasa/ajuda.htm) 27/março/1999..

CORRÊA, P.C. Necessidade de uma estrutura de armazenagem em nível de fazenda. Inf. Agropec., Belo Horizonte, v.9. março-1983.

DIN 1055. Lastannahment fur Bauter, Blatt 6, Lasten in silozellen. Alemanha, 1987. 12p.

FLEURY, S. V.; GUIMARÃES, G. N. Resistência à Compressão Simples de Prismas de Alvenaria - Escola de Engenharia Civil, UFG -1998.

GOMES, F.C. Estudo Teórico e Experimental das Ações em Silos Horizontais. São Carlos. 206f. Tese (Doutorado). EESC - Universidade de São Paulo. 2000.

HARA, T; CORRÊA, P.C. Armazenagem de milho a granel na fazenda. Inf. Agropec. Belo Horizonte. 1983.

ISO 11697 . Bases for design of structures - Loads due to bulk materials. International Standard, Switzerland, 1997.

JOHANSON, J.R. Modeling flow of bulk solids. American Institute of Chemical Engineers. Jenike and Johansen, Inc., Winchester, Massachusetts, 1969, 12p.

KEBELI, H.V. The effects of changes in grain moisture content on the loads in grain bins.. University of Florida, 1998.

KEPLIN, L.A S. Silagem de grãos úmidos. Depto. Nutrição Animal, Pioneer Sementes Ltda, 1991.

LOHNES, R.A. Lateral stress ratios for particulate materials. Powder Handlings Processing, v. 5. n.4. November 1993.

MICRO-ANÁLISE. Indústria, Comércio e Serviços Ltda,. [http:// www.microanalise.com. br/](http://www.microanalise.com.br/). 19/09/1999.

NASCIMENTO, J.W.B. Estudos dos silos metálicos prismáticos para fábricas de ração. São Carlos, EESC – Universidade de São Paulo, 1996. 152p. (Tese de Doutorado).

NIOSH. (1995) Instituto Nacional para Segurança Profissional e Saúde Asfixiamento em estrutura de grão. Minnesota, 1992-1996, CDC, MMWR 45[39];837-841 - Atlanta, GA 30333.

OOMS, M. Determination of Contents in Storage Bins and Silos. Department of Mechanical Engineering, The University of Newcastle, 2308 N.S.W., Austrália, 1981.

PEREIRA, M.F. Construções Rurais. 1921 – P493c – São Paulo; Nobel, 1986 – 4º ed.

PUGA, C.C. Conceituação dos projetos de estrutura: implicações e detalhes. http://www.cobracon.org.br/ht/cursos/resumo_sem001. 21/07/1998..

PUZZI, D. Manual de Armazenamento de Grãos – Armazéns e Silos. Editora Agronômica Ceres Ltda- São Paulo – 1977.

RAVENET, J. Graneles continuous – El almacenaje de materiales cohesivos a granel. Manutencion y Almacenaje.n.75-76, p.115-120, 1975.

RAVENET, J. Silos – Teoria, Investigation, Construction. Editores técnicos asociados,s.a. Maignón, 26 - Barcelona - 12 - Espanha, 1977.

RODRIGUES, P.P.F. Alvenaria armada de blocos de concreto; prática recomendada. 2.ed. São Paulo, ABCP, 1985.

SERRA, A B.R. Uma solução para o Nordeste. [http:// www. geocities. com.br/Heartland/Valley/5990/seca.html](http://www.geocities.com.br/Heartland/Valley/5990/seca.html) . 21/11/99.

SERRA, R., OLIVEIRA, C.A V. Bancos de dados do pequeno produtor do Nordeste semi-árido. EMBRAPA Semi-árido, EMBRAPA Informática Agropecuária, <http://www.agrosoft.com/ag97/papers/c4w1530.htm> . 10/01/2001.

SILVA,L.C. Armazenagem de grãos. [http:// www. unioeste. br/ agais/armagraos.html](http://www.unioeste.br/agais/armagraos.html). 16/11/1999..

SILVA,L.C. Afogamento e sufocamento em silos. [http:// www. unioeste. br/ agais/armagraos.html](http://www.unioeste.br/agais/armagraos.html). 22/12/1999.

SILVA,L.C. Explosões em unidades armazenadoras. [http:// www. unioeste. br/ agais/](http://www.unioeste.br/agais/) 22/12/1999.

SILVA,L.C.Intoxicações por gases em unidades armazenadoras [http:// www. unioeste. br/ centros/ dea/ agais/armagraos.html](http://www.unioeste.br/centros/dea/agais/armagraos.html). 22/12/1999.

SOUZA E SILVA, J. Armazenamento de grãos na fazenda. Revista – Mat.Tec.- Armazenagem grãos. UFV. 1998.

SUASSUNA J. Difusão de Tecnologia Agrícola: uma experiência no Nordeste brasileiro. Fundação Joaquim Nabuco, 1998.

WEBER, E.A . Armazenagem Agrícola. Porto Alegre: Kepler Weber Industrial, 1995. 400p.

WEBER, E.A . Investindo dentro da propriedade ? **A Granja**, (1999) ed. 02/99, págs.30 e 31 – nº 602. <http://www.armazenagem.com.br> .23/06/1999..

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CONSULTADAS

AYUGA, F. Los empujes del material almacenado en silos. Informes de la Construcción. v. 46. no. 436, março/abril 1995.

BEARD, R. Grain silos in reinforced brickwork. Reinforced and prestressed masonry. Thomas Telford Ltd. Londres. 1982.

BORGES, A. C.; MONTEFUSCO, E.; LEITE, J.L. Prática das pequenas construções. v.1, 8ª ed. revista e ampliada, Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo. 1996.

BRIASSOULIS, D., CURTIS, J., Design and analysis of silos for friction forces. Journal of Structural Engineering, v. 111, n.6, junho, 1985.

BLIGHT, G.E., HALMAGIU, A. R., Calibration pressure cells to measure pressures in silos. Bulk Solids Handling, v 16, n 1. Janeiro/Março 1996.

BLIGHT, G.E., Design implications of measured pressures and strains in silos. Journal of structural Engineering. v 118, n 10. outubro, 1992.

FILHO, J.F. Uma Introdução ao Estudo dos Silos. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos - Departamento de Estruturas, São Carlos. julho/1985.

HARTLÉN, J. The wall pressure in large grain silos. Swedish Council for Building Research to Soil Mechanics and Foundation Engineering, The lund Institute of Technology. Lund. 1984.

HATFIELD, F.J., BARTALI, E.H., Static forces and moments in a grain silo. Journal of Structural Engineering, v.114, n.12, Dezembro, 1988.

LAW, G.J., NEGI, S.C., JOFRIET, J.C. A method for measurement of horizontal to vertical pressure ratios of wheat and barley in a circular bin. Canadian Agricultural Engineering, v.35, n.1 Janeiro/Fevereiro/Março 1993.

MALLAGH, T.J.S. Prestressed blockwork silos. Reinforced and prestressed masonry. Thomas Telford Ltd, Londres, 1982.

OLIVEIRA, L. A. P. de. Construção mais resistente - Alvenaria. Fatec - Faculdade de Tecnologia de São Paulo, 1993.

PITMAN, R.M., WRIGHT, M.E. Lateral pressures in bulk bins. Transactions of the ASAE - 1973.

ROBERTS, A. W. 100 Years of Janssen. Bulk Solids Handling, v.15, n.3, julho/setembro 1995, Austrália.

SILVA, M.C. A., Dynamic pressures in silo structures: na overview. ASAE Annual International Meeting, Agosto, 1997.

SILVA, M.C. A., CALIL JÚNIOR, C. Statical analysis of pressures in a model silo. Relpowflo II, Oslo, Agosto 1993.

THOMPSON, S. A., GALILI, N. WILLIAMS, R. A., Lateral pressures during filling of a full-scale grain bin. American Society of Agricultural Engineers. v.38(3):919-926. 1995.

TYSON, A. W., MANBECK, H.B., Interaction between bin wall stiffness and emptying pressures. ASAE American Society of Agricultural Engineers, 1980.

WOHLBIER, R.H. Silos, Hoppers Bins and Bunkers for Storing Bulk Materials. The Best of bulk solids handling 1981-1985, v.a/86, Trans Tech Publications, 1986.

ANEXOS

Células de Pressão

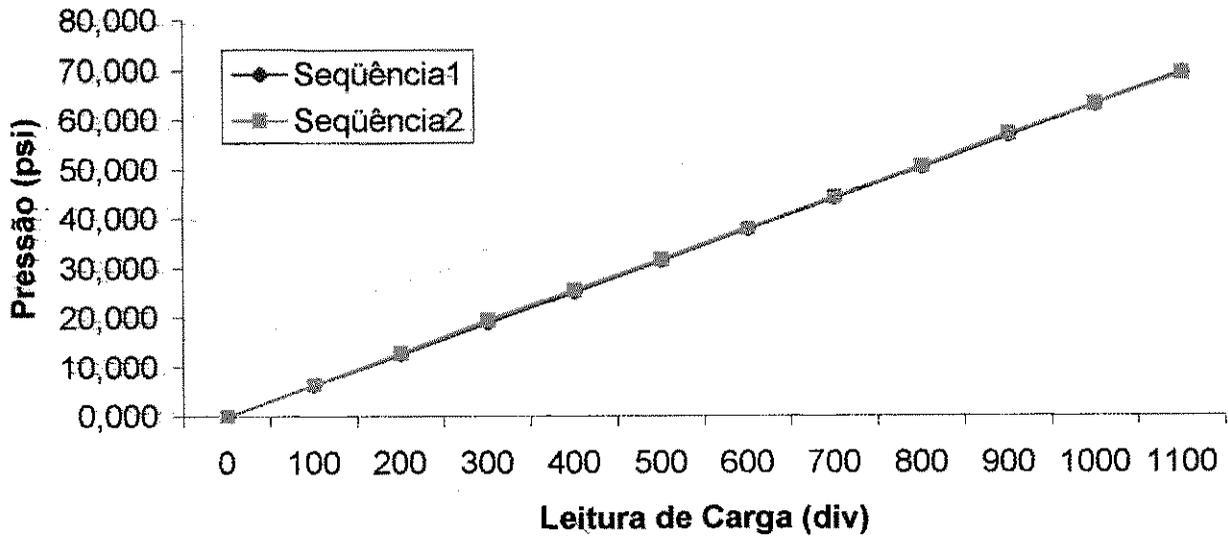


FIGURA 46 - Calibração da célula com nº de série 47090.

Células de Pressão

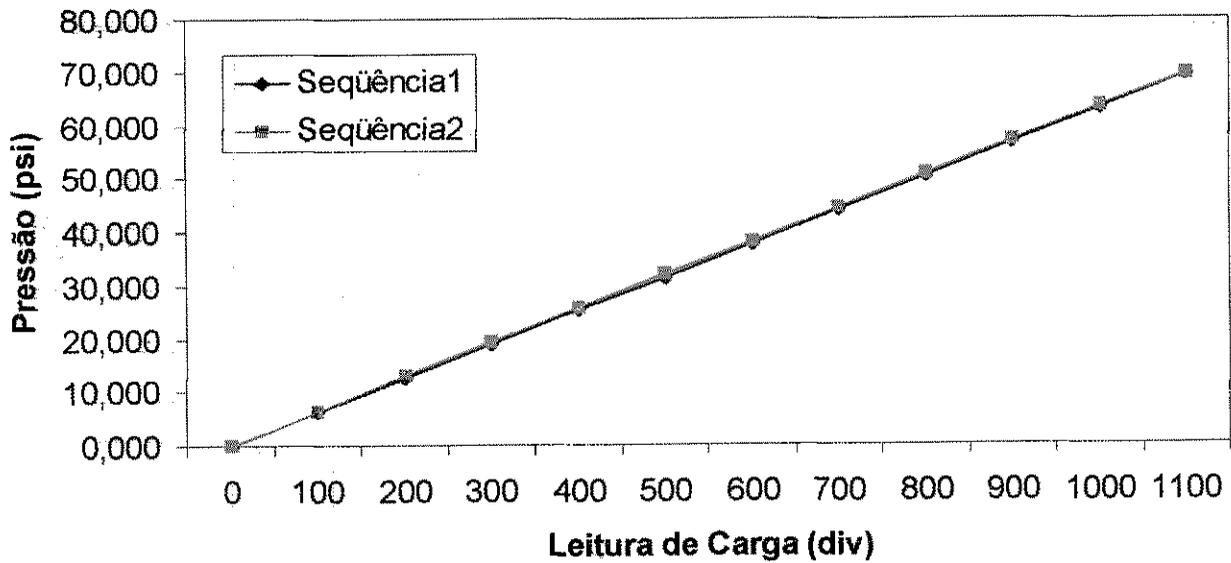


FIGURA 47 - Calibração da célula de nº de série 47093.

Células de Pressão

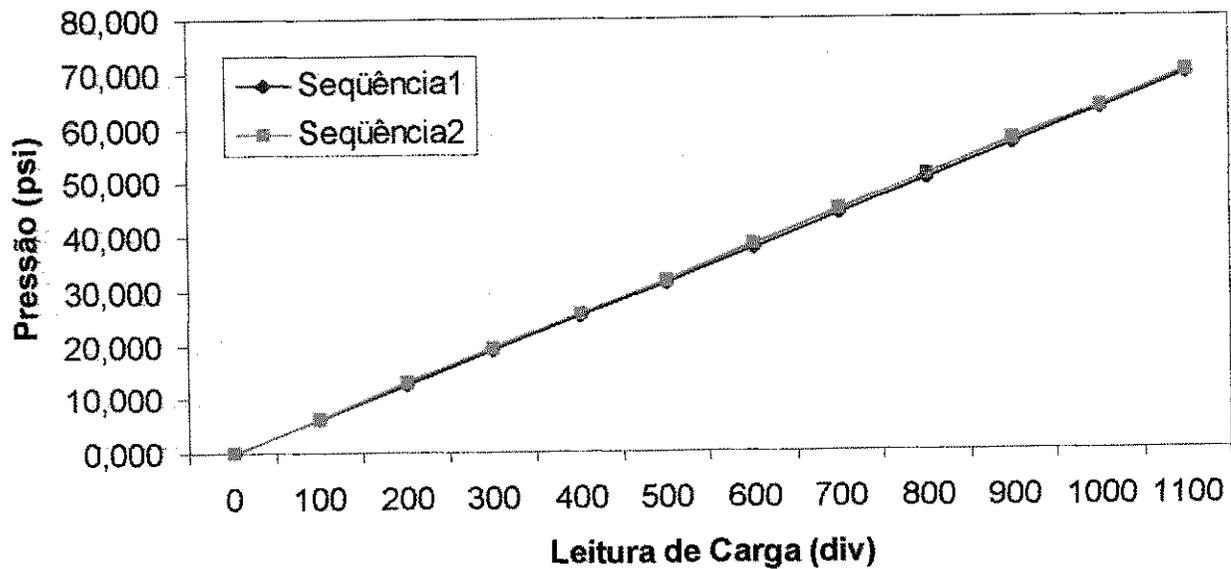


FIGURA 48 - Calibração da célula de nº de série 47095

Células de Pressão

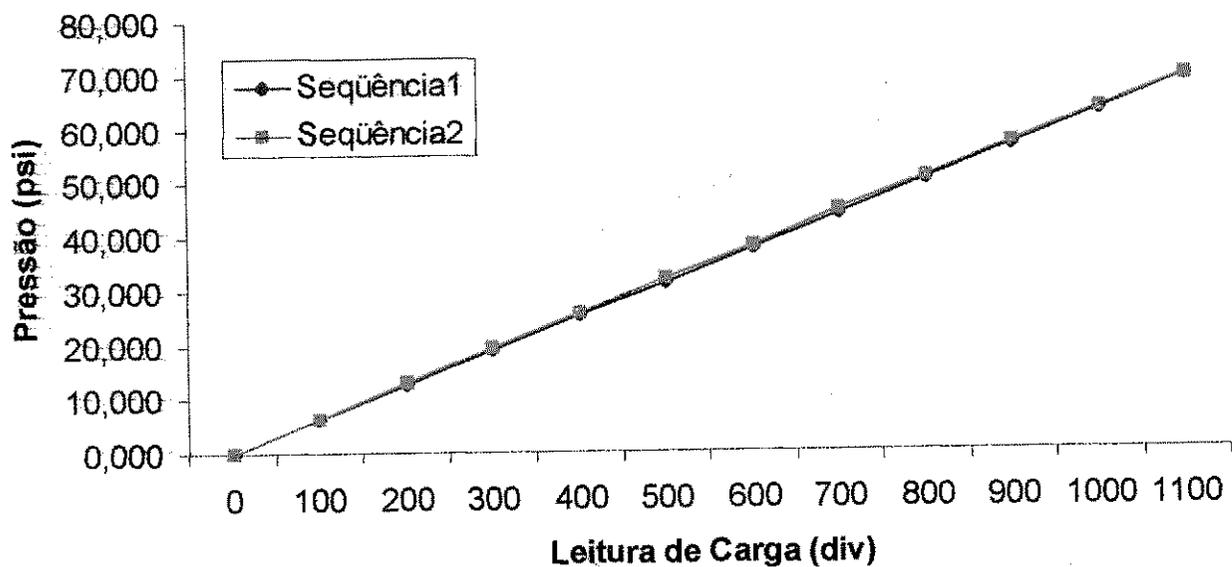


FIGURA 49 - Calibração da célula de nº de série 47096

Células de Pressão

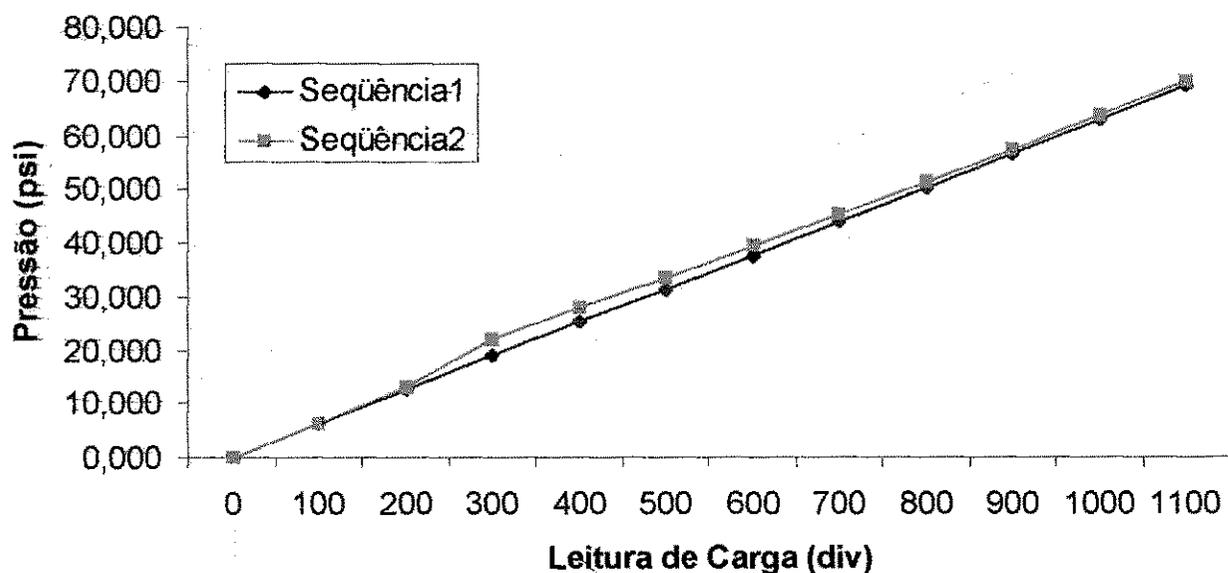


FIGURA 50 - Calibração da célula de nº de série 47097

TABELA 09 - Resultado da análise granulométrica

Peneira		Produto	
Nº ABNT	Malha (mm)	Amostra Total (%)	Acumulado (%)
8	2,4	10,88	10,88
16	1,2	18,83	29,71
30	0,6	31,51	61,22
50	0,30	28,15	89,37
100	0,15	9,28	98,65
200	0,074	0,94	99,59

TABELA 10 - Dados da Pressão de Carregamento

Tempo (horas)	Célula 01 (kPa)	Célula 02 (kPa)	Célula 03 (kPa)	Célula 04 (kPa)	Célula 05 (kPa)	Célula 06 (KPa)
1	0,11	0,50	0,17	1,01	3,58	5,19
2	0,07	0,11	0,17	1,63	5,97	7,24
3	0,41	0,11	0,41	1,63	6,31	7,24
4	0,51	0,52	0,61	2,31	6,31	7,58
5	0,61	0,79	0,64	2,31	6,31	9,29
6	0,65	0,79	0,68	2,31	8,02	9,63
7	0,51	0,86	0,68	2,31	6,91	11,00
8	0,51	0,86	0,75	1,63	6,91	11,68
9	0,51	1,54	0,68	1,63	9,39	11,00
10	0,65	1,54	0,82	2,31	8,37	10,66
11	0,94	2,22	1,46	3,00	10,76	12,02
12	0,96	2,91	1,87	4,37	12,12	13,05
13	1,02	3,59	1,53	3,68	13,49	14,42
14	1,29	3,95	1,87	4,37	13,83	14,76

TABELA 11 - Dados da Pressão de Armazenamento

Tempo (horas)	Célula 01 (kPa)	Célula 02 (kPa)	Célula 03 (kPa)	Célula 04 (kPa)	Célula 05 (kPa)	Célula 06 (kPa)
1	0,95	3,60	1,87	3,69	14,86	14,76
2	0,76	3,25	2,22	4,37	14,52	15,10
3	0,61	2,23	1,87	2,32	13,84	14,08
4	1,29	2,91	1,53	3,00	13,49	13,74
5	1,29	2,57	1,19	3,69	12,81	14,08
6	0,95	1,95	1,19	4,37	13,15	14,04
7	0,61	2,57	1,19	3,00	12,81	13,05
8	0,61	2,91	1,19	2,32	13,15	13,74
9	0,95	2,57	1,53	3,00	12,47	13,74
10	1,29	2,91	1,53	3,00	11,79	12,71
11	0,76	2,91	1,53	3,00	11,79	13,74
12	0,76	2,91	1,87	3,69	11,79	13,74
13	0,61	3,25	1,53	3,00	11,79	13,38
14	0,61	2,91	1,53	3,69	12,13	12,71
15	0,95	2,57	2,22	3,69	12,13	13,40
16	0,61	2,56	2,22	3,69	11,79	13,40
17	0,61	2,23	1,87	3,69	11,79	13,05
18	0,61	2,57	1,87	3,00	12,47	13,74
19	0,61	2,57	1,53	3,69	12,13	13,74
20	0,95	2,57	2,22	3,69	12,81	13,05
21	0,61	2,91	1,87	2,32	12,81	13,74
22	1,29	3,25	2,22	3,00	13,15	14,08
23	0,95	2,91	2,22	3,69	13,50	14,76
24	1,29	2,91	2,22	3,69	14,52	14,42

25	0,95	3,60	2,56	3,00	14,52	14,76
26	0,95	3,60	2,56	3,69	13,84	15,10
27	0,95	2,92	2,56	3,69	14,52	14,76
28	0,95	2,57	2,22	3,69	14,86	15,10
29	1,29	3,60	2,22	3,69	13,84	14,42
30	1,29	2,91	1,53	3,00	13,50	14,39
31	0,95	2,57	1,87	3,00	13,84	14,76
32	0,95	2,91	1,53	2,32	13,50	14,76
33	1,63	3,25	1,53	2,32	14,52	14,76
34	1,29	2,91	1,19	3,00	14,18	14,42
35	1,29	2,91	1,19	2,32	13,15	14,42
36	1,29	2,91	1,19	1,64	13,15	14,08
37	0,95	2,23	1,53	3,00	12,47	13,74
38	0,95	2,57	1,53	3,69	12,47	13,74
39	1,29	2,57	1,53	2,32	12,47	13,40
40	1,29	2,91	1,53	1,64	12,47	13,74
41	0,95	2,23	1,19	2,32	12,13	13,40
42	0,95	2,57	1,53	2,32	12,13	13,05
43	1,29	3,26	1,53	1,64	12,47	13,40
44	1,29	3,60	2,22	3,00	13,15	14,42
45	1,29	3,26	1,53	2,32	13,50	14,08
46	1,63	3,26	1,87	3,00	13,50	13,74
47	1,29	3,26	1,53	3,00	14,18	14,08
48	1,29	3,60	2,22	1,64	13,84	13,74
49	1,29	3,60	1,87	2,32	13,50	14,08
50	1,29	2,91	1,87	1,64	13,15	14,42
51	0,95	3,26	1,19	2,32	13,15	14,08
52	0,61	3,26	1,19	2,32	12,81	14,08
53	0,61	2,23	1,19	1,64	13,15	14,08
54	0,95	2,91	0,85	2,32	12,81	13,74
55	0,61	2,91	1,19	1,64	12,47	13,40

56	0,61	2,91	1,19	2,32	12,47	13,05
57	0,95	2,57	1,19	1,64	12,13	13,05
58	0,95	2,57	1,19	2,32	12,13	13,05
59	0,95	2,23	0,85	3,00	12,47	13,40
60	1,29	2,57	0,85	2,32	12,13	13,05
61	0,61	2,91	1,19	1,64	12,13	13,05
62	0,61	2,23	1,53	1,64	12,13	12,71
63	0,61	2,57	1,53	2,32	11,79	12,71
64	0,95	3,26	1,53	3,00	11,79	13,02
65	0,95	2,57	1,87	2,32	11,79	13,02
66	1,10	2,91	1,53	2,32	12,47	13,36
67	1,10	2,91	1,53	2,32	12,47	13,36
68	1,63	3,60	1,53	1,64	12,81	13,40
69	1,63	3,60	1,53	1,64	13,50	13,74
70	1,63	3,60	1,87	2,32	13,84	13,74
71	1,97	3,60	1,53	2,32	14,18	14,08
72	0,95	3,60	0,85	2,32	14,18	13,74
73	1,29	3,94	1,19	3,00	13,84	13,40

TABELA 12 - Dados da Pressão de Descarga

Tempo (horas)	Célula 01 (kPa)	Célula 02 (kPa)	Célula 03 (kPa)	Célula 04 (kPa)	Célula 05 (kPa)	Célula 06 (kPa)
1	1,29	3,25	1,22	3,00	14,18	13,74
2	0,98	2,57	0,85	2,32	11,44	11,34
3	0,98	1,89	0,88	2,32	11,10	11,34
4	1,29	2,23	1,22	3,00	9,39	8,95
5	0,95	2,23	0,88	2,32	8,71	8,27
6	1,29	1,89	1,19	2,38	6,66	5,53
7	1,32	1,89	1,22	2,38	7,00	5,88
8	0,95	1,55	1,22	1,70	6,66	5,88
9	0,95	1,20	0,66	2,32	6,32	5,19
10	0,72	1,20	0,53	1,70	5,98	4,85
11	0,68	1,55	0,51	1,70	6,32	4,85
12	0,64	1,55	0,35	0,95	5,01	4,58
13	0,64	0,74	0,70	1,02	4,67	4,24
14	0,37	0,43	0,70	0,82	4,67	4,24
15	0,37	0,74	0,66	0,95	4,67	4,24
16	0,34	0,43	0,88	1,02	4,67	4,58
17	0,63	0,74	0,70	0,95	4,67	4,24
18	0,37	0,74	0,66	1,02	5,01	4,24
19	0,37	0,43	0,50	0,82	4,67	4,24
20	0,34	0,43	0,35	0,82	3,30	3,21
21	0,37	0,40	0,35	0,35	2,62	1,85
22	0,34	0,40	0,32	0,36	2,62	1,50
23	0,34	0,40	0,32	0,33	2,27	0,82