



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

ORIENTADOR:

JOSÉ WALLACE BARBOSA DO NASCIMENTO

**DETERMINAÇÃO DA GEOMETRIA DA TREMONHA DE SILOS
PARA ARMAZENAMENTO DE PRODUTO GRANULAR**

ESTÁGIO SUPERVISIONADO

ALUNO: IBIRENALDO MARQUES FREIRE.

**CAMPINA GRANDE
MAIO/2002**



Biblioteca Setorial do CDSA. Abril de 2021.

Sumé - PB

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA DE CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIÊNCIA



ESTÁGIO SUPERVISIONADO
RELATÓRIO FINAL

TÍTULO DO PROJETO:

**DETERMINAÇÃO DA GEOMETRIA DA TREMONHA DE SILOS PARA
ARMAZENAMENTO DE PRODUTO GRANULAR**

ORIENTADO:

IBIRENALDO MARQUES FREIRE
IBIRENALDO MARQUES FREIRE

ORIENTADOR:

Prof. Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento
Prof. Dr. JOSÉ WALLACE BARBOSA DO NASCIMENTO

CO - ORIENTADOR:

Dermeval Araújo Furtado
Prof. M.Sc. DERMEVAL ARAÚJO FURTADO

MEMBRO DA MESA:

Marluce Araújo de Azevedo
Prof. MARLUCE ARAÚJO DE AZEVEDO

Campina Grande – PB, Maio de 2002

SUMÁRIO

	pág.
1 INTRODUÇÃO	01
OBJETIVO	02
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
2.1 A Cultura do Girassol	03
2.1.1 Comercialização.....	08
2.2 Aparelho de Cisalhamento de Jenike	08
2.2.1 Princípio do Ensaio de Cisalhamento Instantâneo.....	10
2.2.2 Princípio do Ensaio de Cisalhamento Instantâneo com a parede.....	15
2.3 Propriedades físicas dos produtos.....	15
2.3.1 Granulometria	16
2.3.2 Teor de Umidade	17
2.3.3 Densidade em função da consolidação.....	17
2.3.4 Ângulo de Repouso.....	18
2.3.5 Ângulo de atrito interno.....	18
2.3.6 Efeito do ângulo de atrito interno.....	19
2.3.7 Determinação do ângulo de atrito interno e do efetivo ângulo de atrito interno.....	19
3 MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Produtos Utilizados nos Ensaios	20
3.2 Material da Parede	20
3.3 Máquina de Ensaio (TRANSLATION SHEAR TESTER TSG 70-140)	21
3.4 Determinação das Propriedades físicas	23
3.4.1 Granulometria	23
3.4.2 Teor de Umidade	23
3.4.3 Densidade em Função da Consolidação	24
3.4.4 Metodologia de Ensaio para Determinação do Cisalhamento	24
3.4.4.1 Seleção da Célula de Cisalhamento	25
3.4.4.2 Seleção dos Níveis de Cargas Normais	25
3.4.4.3 Preparação da Amostra	26

3.4.4.3.1 Enchimento da Célula	26
3.4.4.3.2 Consolidação da Amostra	27
3.4.4.4 Otimização	29
3.4.4.5 Número de Rotações	29
3.4.4.6 Teste de Cisalhamento	29
3.4.4.6.1 Pré-cisalhamento (pré-shear)	29
3.4.4.6.2 Cisalhamento (shear)	30
3.4.6 Metodologia de Ensaio para Determinação do Ângulo de Atrito com a Parede Instantâneo	30
3.4.6.1 Célula de Cisalhamento Utilizada para Determinação do Ângulo de Atrito com a Parede	31
3.4.6.3 Seleção dos Níveis de Cargas Normais para Determinação do Ângulo de Atrito com a Parede	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
Tabelas	34
Gráficos	36
5 CONCLUSÃO.....	41
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1 - INTRODUÇÃO

O girassol é uma fonte importante de óleo comestível. Sua produção mundial ultrapassa 20 milhões de toneladas anuais de grãos.

O óleo de girassol vem despertando, nos últimos anos, o interesse de muitos consumidores pelo recente conhecimento científico de que ele reduz o nível do colesterol que traz risco à saúde humana, quando em excesso nos vasos sanguíneos.

Originária da América do Norte a planta do girassol se desenvolve e produz bem na maior parte do Estado de São Paulo.

As regiões muito úmidas do leste e do Sul do estado são inaptas para o seu cultivo. A incidência de doenças por excesso de umidade limita a produção nessas regiões.

A cultura do girassol tem boa resistência à seca e ao frio, podendo ser usada com vantagem como segunda cultura. Outra vantagem, é a sua total mecanização.

O rendimento de grãos na lavoura de girassol pode atingir e ultrapassar 2500 kg/ha, com a tecnologia nacional atualmente disponível. Em áreas experimentais há registro de rendimentos superiores a 3000 kg/ha.

A necessidade de aumentar a capacidade de armazenamento e de atender às solicitações das empresas de processamento, demonstra a importância do estudo da problemática de silos, para o desenvolvimento de novas tecnologias e soluções dos problemas existentes. O Brasil, assim como muitos países do mundo, ainda tem problemas com armazenamento de produtos agrícolas e outros, tendo grandes perdas devido à ineficiência da capacidade de armazenagem ou a utilização de técnica inadequada de armazenamento.

Os silos são estruturas difíceis de projetar com relação a fluxos contínuos e como estruturas econômicas e seguras, devidos aos produtos a serem armazenados terem propriedades diferentes daquelas dos líquidos. Para uma estrutura ser segura e econômica, é importante que as cargas não sejam subestimadas nem especificadas como maiores que as estritamente necessárias.

Problemas que comumente ocorrem na operação de silos de armazenamento, reduzem a sua capacidade abaixo dos valores especificados. Na maioria dos casos, os problemas que ocorrem na prática, são devidos a concepção de projetos inadequados juntos

com a falta de conhecimento das relevantes propriedades físicas dos produtos armazenados e do fluxo.

Calil Jr. (1990) comenta que após estudos das principais normas internacionais, verificou que existe uma grande discrepância dos critérios adotados entre as normas, e que as maiores ocorrem com relação às propriedades físicas dos produtos armazenados.

No que diz respeito ao Brasil, não existe uma norma específica de silos que possa orientar projetos e profissionais ligados a essa área. Encontra-se em fase de estudos uma proposta (Calil Jr., 1990).

OBJETIVO

Este trabalho tem o objetivo principal, a caracterização da semente de Girassol (*Helianthus annuus* L.) para determinação dos parâmetros necessários ao projeto de fluxo, através das seguintes propriedades físicas:

- granulometria;
- Densidade;
- Ângulo de atrito interno instantâneo;
- Efetivo ângulo de atrito interno instantâneo;
- Ângulo de atrito com a parede.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A CULTURA DO GIRASSOL

CLIMA E SOLO

A cultura do girassol é pouco exigente em calor, desenvolvendo-se em ampla faixa de temperatura. Como outras culturas, é sensível à geada, que danifica sua folhagem e provoca chochamento de grãos quando ocorre na época do florescimento. Há, entretanto, materiais resistentes à geada, que não sofrem a queima de folhas nem o chochamento de grãos.

Temperaturas elevadas na fase de formação e maturação das sementes podem acarretar redução no seu teor de óleo.

O desenvolvimento e a produção de girassol requer bom suprimento de água no solo no período que vai da germinação das sementes ao início do florescimento. Após a formação dos grãos a cultura é favorecida por período seco.

Os solos mais indicados para a produção de girassol são os de textura média, profundos, com boa drenagem, razoável fertilidade e pH de moderadamente ácido a neutro; superior a 5,2 (determinação em CaCl_2). Solos leves ou pesados podem também ser usados se não houver impedimento para o desenvolvimento do sistema radicular. Solos com acidez elevada ou acentuada pobreza química não devem ser usados para o cultivo do girassol sem a correção dessas deficiências.

CULTIVARES

Dois cultivares de girassol obtidos no Instituto Agrônomo (IAC) são recomendados para plantio no Estado de São Paulo: o IAC-Anhandy e o IAC-Uruguai. O primeiro é recomendado para a produção de óleo e o segundo para a alimentação de pássaros. Além desses cultivares, diversos híbridos, de empresas privadas são também recomendados.

O boletim "O Agrônomo" - V 34, 1982, traz as seguintes características do cultivar Anhandy:

"A altura média das plantas no plantio das águas é 182 cm e no plantio da seca é 150 cm. O diâmetro dos capítulos no plantio das águas é 18,0 cm e no plantio da seca 14,8 cm. Polinização cruzada e flores amarelas. Ciclo de 90 a 115 dias. A produtividade é 800 a 2400 kg/ha, dependendo principalmente, da época do plantio. As sementes são oblongas, com 11,43 mm de comprimento por 6,09 mm de largura e 3,94 mm de espessura. Testa preta, rajada de cinza. O peso médio de cem sementes é 6,11 g e o teor de óleo 45%. É resistente a geadas e ao tombamento e tolerante à ferrugem (*Puccinia helianthi*) e à alternaria (*A. zinniae*, *A. helianthi* e *A. alternata*).

PREPARO DO SOLO

Para o plantio do girassol, o terreno é preparado com aração profunda (25 a 30 cm) e gradeações. Essas operações são efetuadas após a limpeza do terreno, quando ela é necessária. A última gradeação realizada pouco antes do plantio contribui para o controle das ervas daninhas. Após a última gradeação o terreno deverá estar livre de ervas, de torrões e com a sua superfície uniforme.

CALAGEM

Nos solos ácidos, que requerem calagem, a quantidade de calcário recomendada com base na análise de terra deve ser usada. Essa quantidade é calculada para elevar o índice de saturação por bases para 70%. O calcário comum é aplicado sessenta dias, no mínimo, antes do plantio e o calcário semicalcinado com a antecedência de um mês.

O calcário pode ser incorporado ao solo com grade comum antes da aração e posteriormente incorporado mais profundamente com a aração. Pode também ser aplicado em duas vezes; metade da dose antes da aração e a outra metade após a aração. A forma mais comum de fazer a calagem tem sido a aplicação do calcário de uma só vez após a aração e antes das gradeações. Nessa forma de aplicação, o calcário fica pouco distribuído no perfil do solo.

ADUBAÇÃO

Produção elevada de girassol geralmente dependem da adubação química, que deve ser usada de acordo com a recomendação estabelecida mediante análise de terra.

Na adubação química, são aplicados no plantio 10 kg de N por hectare e o total das doses de fósforo e de potássio. O restante do nitrogênio é aplicado em cobertura trinta dias após a emergência das plantas.

Na falta da análise de terra, podem ser usados no plantio 200 kg por hectare da fórmula 5-25-25 ou a quantidade de qualquer outra fórmula que forneça doses correspondentes de N, P_2O_5 e K_2O . Em cobertura poderão ser aplicados 20 kg/ha de N.

Quando a acidez do solo é corrigida pela calagem, é necessário misturar ao adubo aplicado em cobertura oito quilos de ácido bórico por hectare, e antecipar a adubação em cobertura de 30 dias para 20 dias após a emergência das plantas.

PLANTIO

O plantio do girassol em São Paulo abrange o período de setembro a março, destacando -se duas épocas: a da primavera, a partir de meados de setembro, e a de verão, com início em fins de dezembro. A época mais favorável para o plantio situa-se entre fins de dezembro e meados de fevereiro.

O espaçamento de plantio de girassol pode variar de 60 a 90 cm entre linhas e de 30 a 40 cm entre as sementes na linha. Para materiais de porte médio, o espaçamento de 70 cm entre linhas apresenta bons resultados. O espaçamento de 80 cm tem sido empregado para a mecanização da colheita com colhedoras de milho adaptadas.

A profundidade de plantio recomendada é de 3 a 5 cm. Estabelecida à profundidade ela deve ser mantida constante em toda a operação de plantio para evitar falhas na linha.

A semeadura é realizada quando o solo esta com bom teor de umidade.

As sementes de girassol têm forma oblonga, sendo por isso difícil sua distribuição uniforme com os dosadores de sementes das semeadoras usadas em outras culturas. É, portanto, necessário usar dispositivos distribuidores de sementes específicos para o girassol para manter sua semeadura uniforme obter uniformidade na semeadura é de particular importância

porque há acentuada concorrência entre as plantas do girassol quando há excessos de plantas na linha.

TRATOS CULTURAIS

O controle de ervas na cultura do girassol pode ser mecânico ou químico. Geralmente o controle mecânico é suficiente para manter a lavoura livre de ervas.

Os cultivos realizados com cultivador, e complementados com enxada, quando necessário, devem ser realizados com as ervas ainda pequenas.

No controle químico podem ser usados herbicidas à base de Trifluralina e Alachlor.

PRAGAS E CONTROLE

A praga que tem atacado a cultura de girassol com mais freqüência e mais intensidade é a lagarta preta das folhas, de nome específico *Chlosyne lacinia saundersii*. O besouro *Ciclocephala melanocephala*, de ocorrência bastante rara, danificam os capítulos provocando prejuízos consideráveis à produção. Outras pragas, como vaquinhas, cigarrinhas, besouros e outras lagartas são encontradas na cultura do girassol, porém os danos que causam não tem expressão econômica.

Para o controle da lagarta preta das folhas e do besouro dos capítulos são recomendados produtos à base de Triclorfom e Cartap.

DOENÇAS E CONTROLE

A principal doença da lavoura de girassol em São Paulo é a Mancha de Alternária, doença fúngica que caracteriza-se por pequenas pontuações necróticas de coloração castanha a negra, de forma arredondada ou angular, com cerca de 3 a 5mm de extensão, e halo de cor amarela em torno da lesão.

A ferrugem, outra doença fúngica cujo agente causal é o fungo *Puccinia helianthi* já causou sérios prejuízos à produção paulista. Os materiais atualmente utilizados têm apresentado tolerância à ferrugem, deixando essa doença de ser um risco para a produção.

Nos plantios tardios (abril), realizados em regiões úmidas e frias, ocorre a podridão de Sclerotinia, que se caracteriza por uma camada de micélio branco sobre o caule das plantas, escleródios no seu interior e podridão nos capítulos. O agente causal dessa doença é o fungo Sclerotinia Sclerotiorum.

Não há produtos químicos registrados no Ministério da Agricultura para o controle de doenças do girassol. As medidas de controle são culturais, destacando-se a rotação de culturas e o emprego de sementes sadias.

COLHEITA

A colheita pode ser totalmente mecanizada ou semi-mecanizada. Ela é realizada 100 a 130 dias após a emergência das plantas, quando o capítulo está com coloração castanha. O teor de umidade dos grãos para o armazenamento é de 11%, podendo o girassol ser colhido com 14% de umidade para posterior redução da umidade a 11%.

A mecanização total da colheita é obtida com a adaptação de plataformas em colhedoras automotrizes de cereais. Essas adaptações tem sido feitas em colhedoras de milho.

A colheita semi-mecanizada é semelhante à de feijão. Os capítulos são colhidos e amontoados junto à bateadeira estacionária para a operação de trilha.

BENEFICIO E ARMAZENAMENTO

Após a trilha, o girassol contém muita impureza e precisa passar por processo de limpeza (ventilação) para redução do seu teor de impureza a 4%, ou ao teor requerido pelo comprador.

A limpeza dos grãos é operação indispensável para a obtenção de boa qualidade do óleo e da torta.

2.1 COMERCIALIZAÇÃO

O girassol é destinado à alimentação de pássaros ou à indústria de óleo, dependendo do tipo de material usado no plantio.

Para a alimentação de pássaros sua cotação tem oscilado em torno de 500 dólares por tonelada. O mercado para o consumo por pássaros é restrito. O girassol destinado às indústrias de óleo tem cotação em torno de 200 dólares por tonelada.

2.2 Aparelho de Cisalhamento de Jenike

Segundo Roberts; Ooms (1987, p.2.1) devido ao grande desenvolvimento da mecânica dos sólidos, Jenike em 1952, iniciou seus estudos investigando a aplicabilidade dos equipamentos de testes disponíveis da mecânica dos solos (aparelho triaxial, aparelhos de cisalhamento diretos, aparelho de cisalhamento anelar) para medir as propriedades dos produtos armazenados. Visto que, todos estes equipamentos foram insatisfatórios, Jenike desenvolveu um método e um aparelho de cisalhamento direto para produtos armazenados, o qual chamou de "Jenike Shear Cell", mostrado na Figura 02.

O aparelho de cisalhamento de Jenike (Figura 02) é equipado com: uma célula de cisalhamento de forma circular, a qual é colocada sobre a base da máquina; um pendural com pesos, para aplicação de uma carga vertical por gravidade na célula; um suporte de carga acionado eletro-mecanicamente, o qual promove a ação de cisalhamento movendo-se horizontalmente numa velocidade entre 01 e 03mm/minuto; uma célula de carga para medir a força de cisalhamento e um registrador para indicação desta força.

Para determinação do efeito do tempo na consolidação de produtos armazenados, é utilizada uma bancada de consolidação em conjunto com o aparelho de cisalhamento são transferidas para permanecerem no tempo pré-determinado, sob ação de uma força vertical estática, por meio do pendural de pesos com cargas. Durante a consolidação, as células são colocadas dentro de coberturas impermeáveis para preservar a umidade contida na amostra.

2.2.1 Princípio do Ensaio de Cisalhamento Instantâneo

A célula de cisalhamento de Jenike, mostrada na Figura 02, consiste de: base (1); anel de cisalhamento (2); tampa de cisalhamento (3); suporte (4) e pino de carga (5). Antes do cisalhamento, o anel é colocado na posição off-set e uma força vertical (F_v) é aplicada na tampa, e conseqüentemente nas partículas do produto dentro da célula, por meio do pendural de pesos (6) com cargas (7).

Um procedimento especial é necessário para preparar a amostra no teste de cisalhamento. Inicialmente, o anel de cisalhamento é colocado em cima da base na posição off-set, mostrado na Figura 04, através de uma pressão suave do anel com os dedos contra o parafuso fixo (10), mostrado na Figura 06. O anel molde (11) é colocado sobre o anel de cisalhamento, a célula teste é enchida com o produto e o excesso é raspado e nivelado com o topo do anel molde. A tampa de operação de rotações (12) é colocada sobre a superfície do produto e uma força vertical (F_v) é aplicada por meio de um pendural de pesos (6) de peso total W_c , desta maneira, compactando o produto. Depois são removidos, o pendural com as cargas, a tampa de operação de rotações e o anel molde e o produto é novamente raspado e nivelado com o topo do anel de cisalhamento. A força horizontal é aplicada ao suporte, por uma haste de medida (8), acionada mecanicamente, a qual transmite a força em uma velocidade constante de 01 a 03 mm/minuto. A haste é fixada a um sistema de forças e, através de um transdutor, mede a força do cisalhamento F_s . Durante a operação de cisalhamento, o anel de cisalhamento move-se da posição off-set original, mostrado na Figura 04, para a posição off-set final apresentada na Figura 05. Nesta direção, o anel de cisalhamento pode percorrer até o fim, uma distância máxima correspondente à soma da espessura das paredes da base e do anel de cisalhamento (Milani, 1993, p. 59).

A força e respectiva tensão de cisalhamento registrada é inspecionada e, dependendo do grau de consolidação produzido no produto pela aplicação de cargas de peso W_p , podem ser obtidos três tipos de curvas de tensão de cisalhamento como mostra a Figura 03.

Se o produto sob o teste, o grau de consolidação é insuficiente (Figura 03 - curva 3). Portanto, a amostra é dita subconsolidada e a densidade na zona de cisalhamento aumenta durante o teste. Se o grau de consolidação é excessivo, a força de cisalhamento aumenta inicialmente, passando diretamente a um máximo e depois diminui (curva 1 Figura 03).

Portanto, a amostra será sobreconsolidada e a densidade do produto na zona de cisalhamento diminuirá um pouco depois de passar completamente pelo máximo.

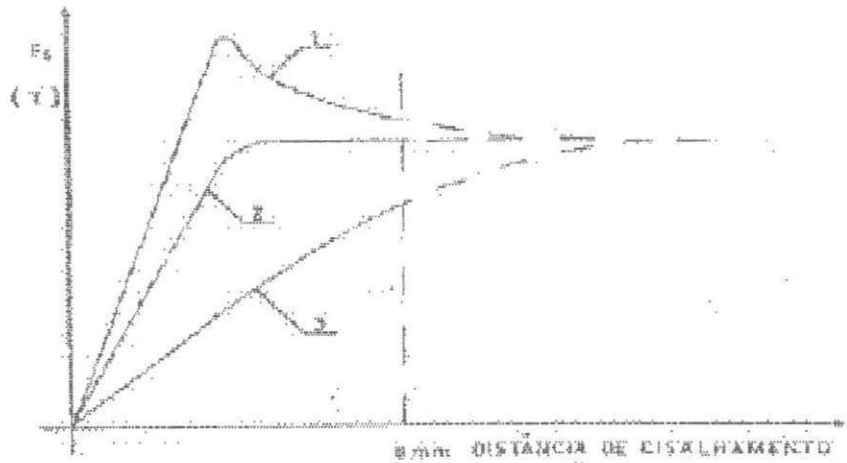


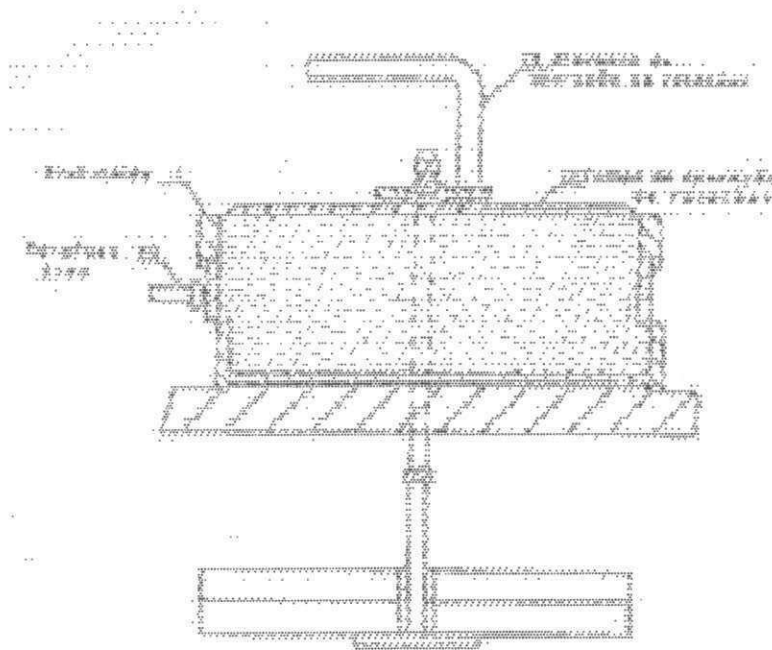
FIGURA 03 - Curvas Tensão de amostras sobreconsolidada (1); consolidada criticamente (2) e subconsolidada (3).

Durante o cisalhamento, dentro da célula, na amostra de um particular produto, desenvolve-se uma zona de cisalhamento. Visto que, a haste avança em velocidade constante, o registrador da força de cisalhamento versus tempo transforma essa força em tensão de cisalhamento. Portanto, é especialmente importante que a força de cisalhamento da haste de medida atue sobre o suporte no plano de cisalhamento (plano entre a base e o anel), nem acima ou abaixo deste plano.

estável na célula de cisalhamento com uma densidade do produto definida em zona de cisalhamento. Esta densidade é definida pelos valores das tensões normais e de cisalhamento e pelo fluxo de estado estável. Na segunda parte do teste, a medição real das tensões de cisalhamento é realizada com valores de cargas normais W_c , determinando as forças de cisalhamento necessárias para deslizamento do produto.

A célula de cisalhamento de Jenike é limitada a uma distância de cisalhamento de aproximadamente 6mm. Portanto, o fluxo de estado estável deverá ser alcançado dentro de uma distância de cisalhamento em torno de 4 - 5 mm, deixando sobrar uma distância para o teste real de cisalhamento. A técnica para obter um fluxo de estado estável em curta distância de cisalhamento desenvolvida por Jenike, chamado de consolidação, consiste de operações de rotações e de Pré-Shear.

Quando a amostra se encontrar subconsolidada, uma carga maior (W_c) ou um número maior de rotações devem ser aplicados na tampa. Se a amostra é sobreconsolidada, a carga (W_c) ou o número de rotações deverá ser reduzido. Deste modo, é possível por tentativas encontrar uma combinação entre a carga (W_c) e o número de rotações, tal que a seleção de pesos W_t e a força de cisalhamento (tensão de cisalhamento) registrada indiquem a presença da consolidação crítica da amostra. Esta operação é chamada de otimização.



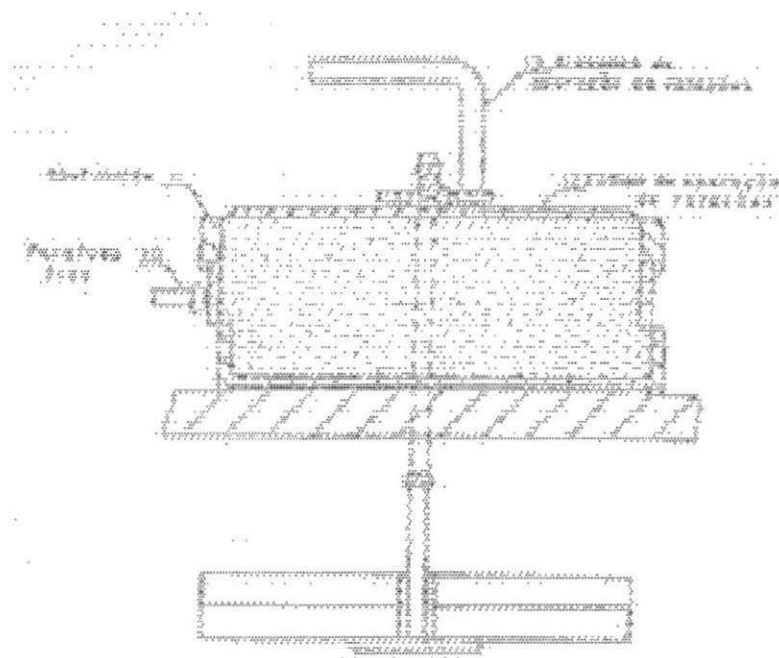


FIGURA 06 - Célula de cisalhamento com anel molde e tampa de consolidação

Tendo alcançado esta estabilidade, a haste de medida de força é retraída e portanto a força de cisalhamento cai a zero. Na segunda parte, a carga W_p é trocada por uma carga menor W_s , o motor é acionado novamente e a força é medida na haste na direção já desenvolvida. Quando a haste toca no suporte, a força de cisalhamento aumenta rapidamente, indo direto a um valor máximo, representando a força de cisalhamento de deslizamento e depois ela começa a diminuir. Esta parte do teste é chamada de cisalhamento.

A haste de medida de força mede a força de cisalhamento no plano de cisalhamento entre a base e o anel e conseqüentemente, a correspondente força normal neste plano será determinada. Na célula de cisalhamento de Jenike esta força normal (F_v) é a força vertical produzida pela combinação dos pesos: carga W_s ; pendural de pesos H ; tampa de cisalhamento W_L ; anel W_r e material dentro do anel de cisalhamento sobre o plano de cisalhamento (W_m).

Tensões de pré-shear são designadas por σ_p e τ_p (ponto de pré-shear, P) e as tensões de deslizamento por σ_s e τ_s (ponto de cisalhamento, S).

Quando planeja-se o teste de cisalhamento, é necessário selecionar os níveis de cargas de pré-shear e de cargas normal de cisalhamento, aos quais os testes são realizados. Estes são referidos como níveis de tensões, normais de pré-shear e normais de cisalhamento. (figura 07).

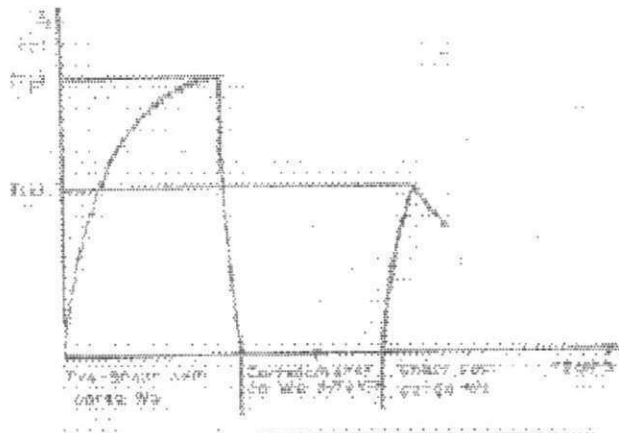


FIGURA 07 – Curvas Tensão, Pré-Shear e Shear

2.2.2 Princípio do Ensaio de Cisalhamento Instantâneo com a Parede

Quando se mede o atrito, entre um produto e uma amostra de material da parede do silo, no teste a base da célula de cisalhamento é substituída por uma amostra de material. A amostra contida na parte superior da célula de cisalhamento (o anel e tampa de cisalhamento) é cisalhada sobre a amostra de material da parede, sob diferentes tensões normais de parede σ_w e os valores das tensões de cisalhamento τ_w são medidos. O ângulo de atrito da parede, ϕ_w é obtido da relação τ_w/σ_w , por exemplo $\phi_w = \arctan(\tau_w/\sigma_w)$.

2.3 Propriedades Físicas dos Produtos

Entre os fatores que influenciam o comportamento de fluxo dos produtos armazenados, além da pressão de consolidação, estão as dimensões das partículas, a

temperatura, o teor de umidade do produto e o tempo de armazenamento (Calil Jr., 1984, p.102). A determinação das propriedades físicas é de fundamental importância para o cálculo de fluxo e de pressões em silos, por isto o estudo de produtos cujas propriedades ainda não foram determinadas devem ser realizados visando o aumento de dados disponíveis aos engenheiros projetistas. A norma DIN 1055 (1987) fornece algumas propriedades de produtos armazenáveis, apresentado na Tabela 02.

TABELA 02- Propriedades dos produtos armazenados segundo a DIN 1055 (1987)

Produto	Densidade	Atrito interno	Coeficiente de atrito com a parede		
			canaletas	rugosa	lisa
	kN/m ³	(°)			
Cimento	16	27	0,50	0,45	0,40
Farinha	7	42	0,50	0,35	0,25
Milho	8	30	0,60	0,40	0,25
Trigo	9	30	0,60	0,40	0,25
Cevada	8	27	0,50	0,35	0,25
Açúcar	9	30	0,55	0,50	0,45
Clinquer	18	36	0,60	0,55	0,45
Cal	6	25	0,50	0,40	0,35
Areia	16	36	0,60	0,50	0,40
Fosfato	22	27	0,55	0,50	0,40
Carvão	10	30	0,60	0,50	0,45
Soja	8	25	0,50	0,40	0,25
Calcário	13	27	0,55	0,50	0,40
Beterraba	7	30	0,55	0,45	0,35
Batatas	8	30	0,50	0,40	0,35
Carvão em pó	8	25	0,55	0,50	0,40

2.3.1 Granulometria

A análise da granulometria de um produto é muito importante, pois o estudo dos resultados nos mostra a relação de fluabilidade e a capacidade das partículas finas de

formar arcos, em comparação com o fluxo livre das partículas granulares (Calil Jr., 1984, p.105).

Como regra geral, os produtos que não contêm partículas menores que 0,25mm são produtos de fluxo livre. Evidentemente, existem exceções à regra, como por exemplo, os grãos que fermentam sob adversos teores de umidade e condições atmosféricas adquirindo resistência e deixando de ser de fluxo livre (Nascimento, 1996, p.32).

Calil Jr. (1984, p.106) diz que a classificação dos produtos armazenados é feita em função das dimensões do diâmetro (D) de suas partículas e classifica como segue:

$D \geq 1$ mm granulares;

$0,297 \leq D \leq 1$ mm pulverulentos e/ou pulverulentos coesivos;

$0,079 \leq D \leq 0,297$ mm pulverulentos coesivos finos;

$D \geq 0,079$ mm pulverulentos coesivos extrafinos.

2.3.2 Teor de Umidade

O fluxo de um sólido decresce conforme seu teor de umidade cresce, alcançando um valor máximo de aproximadamente 80 a 90% de saturação. Acima deste teor de umidade, o sólido adquire propriedades viscosas, e testes de cisalhamento podem ser inaplicáveis (Calil Jr., 1990, p. 2.14).

Para testes de fluxo, a amostra deve, entretanto, ser a mais úmida que possa ser encontrada em uso e, durante os testes, a amostra e a célula de cisalhamento devem ser manipuladas rapidamente para minimizar erros devidos à evaporação. Esta inconveniência na manipulação pode ser minimizada mantendo a sala dos testes em uma alta umidade relativa. O atrito na parede para o cálculo das pressões deve ser determinado utilizando o produto o mais seco e o mais úmido que possa ser usado (Calil Jr., 1990, p.2.14).

2.3.3 Densidade em Função da Consolidação

Segundo Calil Jr. (1984, p.104) a densidade do produto não pode ser usada como um fator de fluxo. Não há relação direta linear entre fluxo e densidade, entretanto, a densidade de um produto precisa ser calculada, pois é um parâmetro importante para determinação do fluxo e das pressões em silos.

Jenike (1964, p.49) mostra que a influência da compressibilidade de um produto (mudança de densidade com a pressão de consolidação) no processo de fluxo é desprezível.

Produtos pulverulentos de baixa densidade tem a vantagem de fluir com menor resistência à compactação na tremonha, mas tem a desvantagem da inércia em repouso e uma alta resistência ao ar. Um produto pulverulento de alta densidade pode compactar para uma maior resistência na tremonha, mas terá uma baixa inércia em repouso. O produto granular não é tão compressível e então não ganha muita resistência em sua boca de descarga do silo (Calil Jr., 1984, 104).

São definidos basicamente três diferentes valores de densidade, chamadas, “solta”, “compacta” e “aerada”, para os quais são usados os seguintes símbolos γ , γ_u e γ_a , respectivamente. O valor determinado na célula de cisalhamento corresponde à densidade compacta, (γ_c). Quando só um valor (γ) é disponível, então γ_a deverá ser tomado como $0,75\gamma$ e γ_u como $1,25\gamma$. O valor inferior, isto é, γ ou γ_c , deve ser na estimativa da capacidade de armazenamento do silo (Calil Jr., 1990, p.2.13).

2.3.4 Ângulo de Repouso

Quando um produto não é consolidado (não compactado) e é depositado sobre uma superfície horizontal, de modo a formar uma pilha, e a velocidade de carregamento é desprezada. As partículas do produto desliza sobre a pilha e forma uma inclinação com o plano horizontal, chamada ângulo de repouso. Os valores do ângulo de repouso variam de 30° a 40° e não é uma determinação da fluabilidade do produto. Este é usado somente para definir o contorno da pilha, é muito popular entre os engenheiros e pesquisadores devido a facilidade com o qual é determinado (Jenike, 1964, p.6).

2.3.5 Ângulo de Atrito Interno (ϕ_i)

Este é o ângulo em que o YL forma com a horizontal. Para um YL convexo para cima ele diminui com o aumento da tensão de compressão. Um método prático para determinar esse ângulo é encontrado na referência Jenike citado por Nascimento (1996, p.34).

2.3.6 Efetivo Ângulo de Atrito Interno (ϕ_e)

Este é o ângulo com a horizontal de uma linha entre a origem e a tangente ao YL no semicírculo de Mohr da maior tensão de consolidação. A variação desse parâmetro deve ser considerada, determinando-se o valor superior ($\phi_{e,u}$), o valor inferior ($\phi_{e,i}$) e, usando estes valores como indicados nas equações de fluxo e pressão. Desde que as tangentes às curvas do YL ao círculo de Mohr, tendem a ser incertas, o efetivo ângulo de atrito interno é, na prática, sempre construído, com uma linha entre a origem e o ponto final do YL (Nascimento, 1996, p.34). Quando somente um valor (médio) do efetivo ângulo de atrito interno é disponível, os valores do limite superior e inferior são determinados por adicionar e subtrair 5° , respectivamente (Calil Jr., 1984, p.2.12).

2.3.7 Determinação do Ângulo de Atrito Interno e do Efetivo Ângulo de Atrito Interno

De acordo com Milani (1993, p.105) através do lugar geométrico instantâneo, definido pela linha reta, são desenhados dois círculos de Mohr:

a) o primeiro é desenhado passando pela origem e tangente (no ponto A - Figura 11) ao lugar geométrico instantâneo. O ponto máximo de intersecção do círculo de Mohr com o eixo σ determina a resistência inconfineda σ_c do produto;

b) o segundo é desenhado passando através do ponto P (pré-shear) e tangente ao lugar geométrico instantâneo (no ponto B - Figura 11), sendo considerado válido só o círculo de Mohr com o ponto P situado a direita e coincidindo com o ponto de tangência (B). A tensão principal máxima σ_1 é definida pelo ponto maior de intersecção do círculo de Mohr com o eixo σ .

O Coeficiente angular do lugar geométrico é o ângulo de atrito interno ϕ_i . A linha reta passando através da origem e do ponto de tangência (B) do círculo de Mohr da tensão principal máxima σ_1 , define o efetivo lugar geométrico (EYL). O Coeficiente angular do efetivo lugar geométrico é o efetivo ângulo de atrito interno ϕ_e , como mostra a Figura 8, (Milani, 1993, p.106).

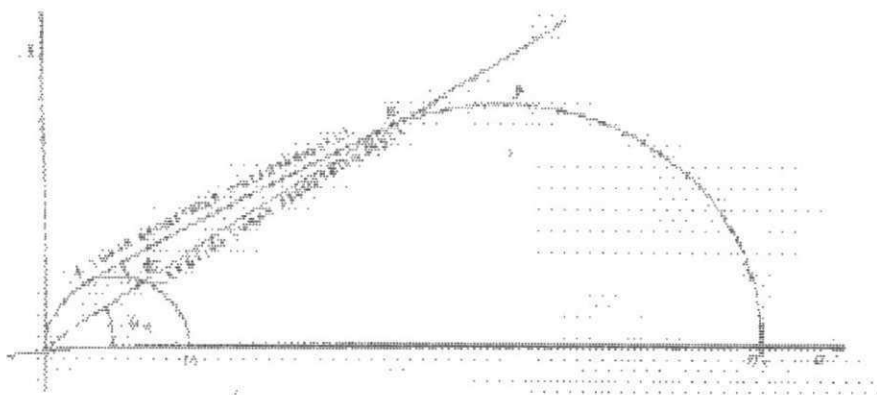


FIGURA 8 - Lugar geométrico (YL e EYL) e ângulos de atrito interno (ϕ_i e ϕ_o)

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente (LaCRA), do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal da Paraíba.

3.1 Produtos Utilizados nos Ensaios

As propriedades de fluxo em função do teor de umidade e do tempo de consolidação foram determinadas em sementes de Girassol (*Helianthus annus L.*) sendo que, durante o desenvolvimento de todos os ensaios utilizou-se produtos de mesma procedência e qualidade.

3.2 Materias da Parede

Os materiais de parede utilizados nos testes com as sementes de Girassol (*Helianthus annus L.*) foram: aço liso, aço rugoso, plástico, madeira, concreto e alumínio.

As amostras dos materiais das paredes escolhidas são planas para que sua superfície represente as condições reais, sobre a qual o produto armazenado deslizará.

3.3 Máquina de Ensaio (TRANSLATION SHEAR TESTER TSG 70-140)

A máquina de ensaio (TSG 70-140) foi construída com base no aparelho de cisalhamento de Jenike (Jenike Shear Cell), tanto quanto no procedimento de teste como no princípio de cisalhamento, diferenciando-se apenas pela unidade de entrada (dispositivo de empurar) que foi trocada por uma outra (dispositivo puxar). Esta alteração de mecanismo não tem nenhuma influência sobre o processo de cisalhamento, a não ser de assegurar um perfeito alinhamento do pino de cisalhamento, célula de cisalhamento, gancho de tração, transdutor de força e unidade de entrada, como é mostrada na Figura 02.

Esta máquina foi desenvolvida pela AVT Anlagen-und Verfahrenstechnik GmbH e adquirida pelo Prof. Dr. Carlito Calil Jr. do Departamento de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos-USP. Consta de três partes principais:

- Aparelho de cisalhamento mostrado na Figura 09;
- Bancada de consolidação VFB-70 mostrada na Figura 10;
- Aparelho registrador das forças de cisalhamento, mostrado na Figura 11.

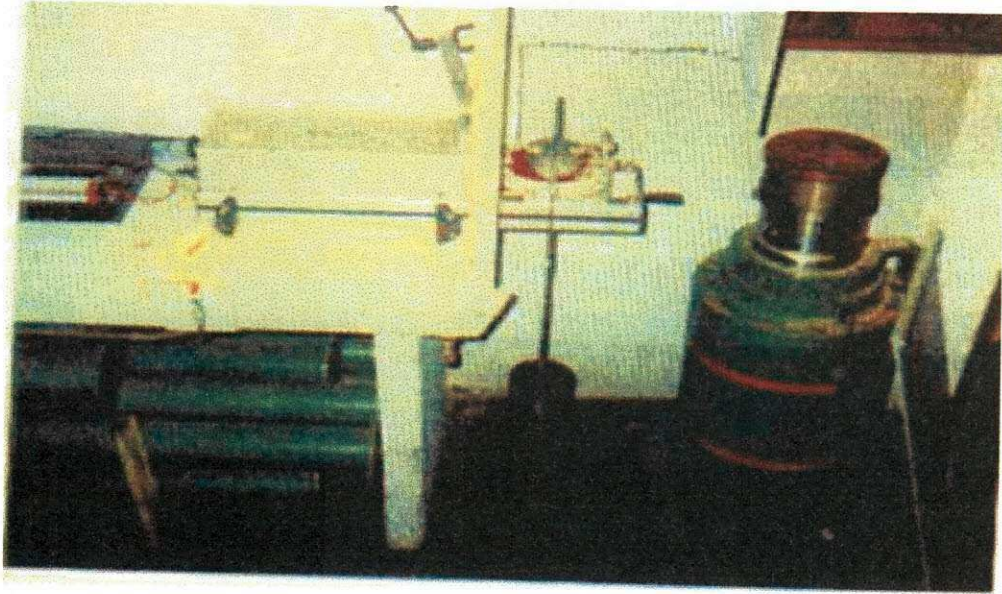


FIGURA 09 - Aparelho de cisalhamento

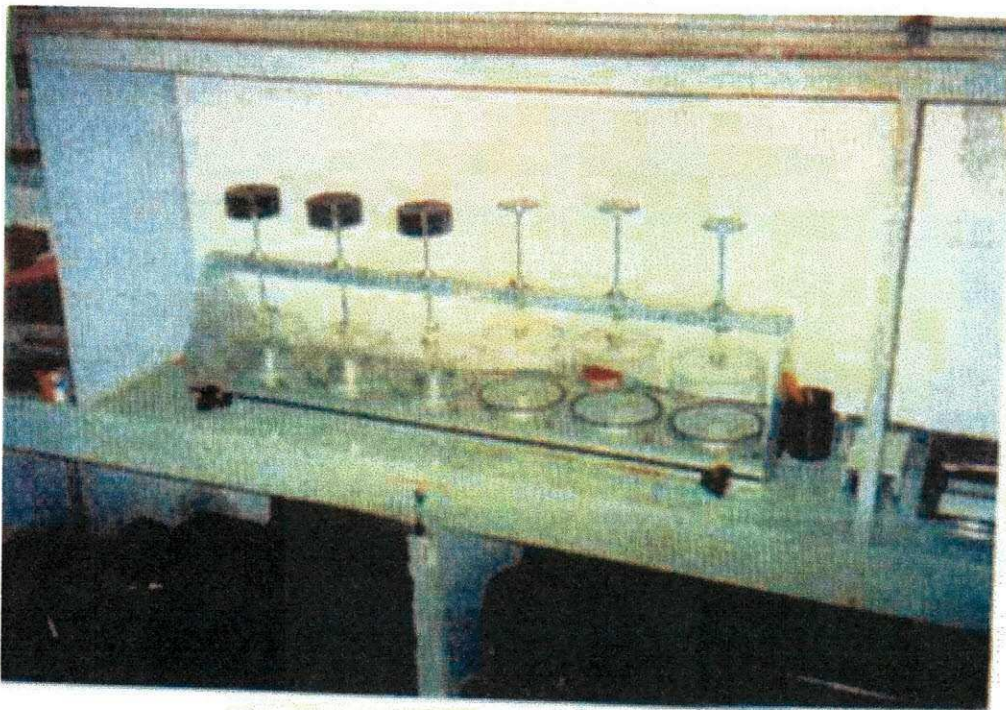


FIGURA 10- Bancada de consolidação VFB-70

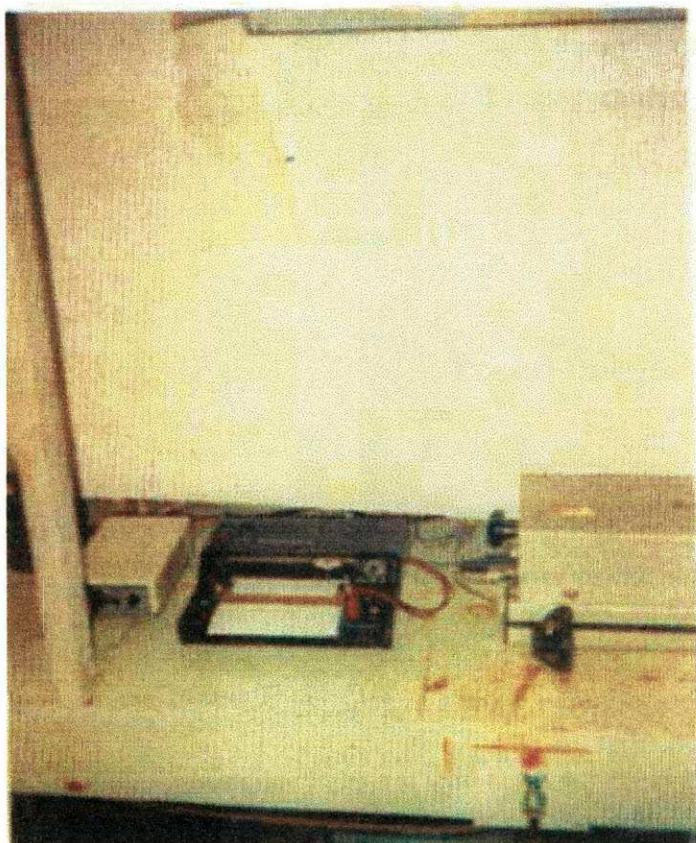


FIGURA 11 - Aparelho registrador das forças de cisalhamento

3.4 Determinação das Propriedades de Fluxo

3.4.1 Granulometria

A determinação da granulometria foi realizada, utilizando-se o método de peneiramento com amostra previamente pesada e passada num jogo de peneiras, (A.S.T.M – 4, 5 e 7) durante 10 minutos com velocidade de 50 cpm. No final, pesou-se a quantidade de produto retido em cada peneira e, determinou-se a granulometria.

3.4.2 Teor de Umidade

Foram analisados dois teores de umidades: 7,6 % e 4,8% bu. Para sementes de girassol com e sem casca respectivamente.

O grau de umidade dos produtos estudados foi determinado antes e durante os ensaios, foram coletadas amostras dos produtos ensaiados para determinação de seus teores de umidade. Com o objetivo de avaliar a influência da variação deste nas propriedades de fluxo dos produtos.

Os testes foram efetuados com três repetições, utilizando-se aproximadamente 10 gramas de produto para cada repetição. As amostras foram colocadas em recipientes de alumínio, pesados em balança digital com precisão de 0,001 g para se obter o peso úmido (P_u) do produto e levados a estufa, à temperatura de 105°C , com uma tolerância de $\pm 3^{\circ}\text{C}$, durante 24 horas, e em seguida foram resfriados em dessecador e novamente pesados, obtendo-se, assim o peso seco (P_s). Os teores de umidades foram calculados com uso da seguinte expressão:

$$U = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100$$

Para impedir grandes variações nos teores de umidade dos produtos armazenados, o que interferiria nos resultados dos ensaios, realizou-se as determinações das propriedades físicas, evitando dias chuvosos com grande variação da umidade relativa do ar.

3.4.3 Densidade em Função da Consolidação

O método utilizado para medir a densidade foi o de pesar a célula (célula + produto) após o ensaio de cisalhamento, e subtrair o peso próprio da célula e dividir-lo por seu volume (Nascimento, 1996, p.32).

3.4.4 Metodologia de Ensaio para Determinação do Cisalhamento

A metodologia de ensaio utilizada foi a proposta por Milani (1993, p.76). Através do aparelho de cisalhamento direto de movimento de translação.

A partir dos resultados obtidos através dos ensaios de cisalhamento direto pela máquina de ensaio TSG 70-140, utilizou-se um software YLOCUS, desenvolvido pelo Prof. Carlito Calil Jr. e pelo Aluno Eduardo J. H. Caliman Sato do Departamento de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos - USP, para obtenção dos ângulos de atrito interno e efetivo ângulo de atrito interno, função fluxo e densidade do produto.

3.4.4.1 Seleção da Célula de Cisalhamento

A célula de cisalhamento utilizada foi a de tamanho I com $67,9\text{cm}^2$ de área de seção transversal e em alumínio.

3.4.4.2 Seleção dos Níveis de Cargas Normais

Os níveis de cargas normais definidos para o teste de cisalhamento mostrados na Tabela 04, foram baseados em resultados obtidos por Milani (1993, p.143).

TABELA 04 - Níveis de cargas utilizados nos ensaios de cisalhamento instantâneo e com tempo de consolidação.

IYL#1	IYL#1	IYL#2	IYL#2	IYL#3	IYL#3
Pré-shear	shear	pré-shear	shear	pré-shear	Shear
10,0	7,0	7,0	5,0	5,0	3,5
10,0	5,0	7,0	3,5	5,0	2,0
10,0	3,5	7,0	2,0	5,0	1,0

3.4.4.3 Preparação da Amostra

3.4.4.3.1 Enchimento da Célula

Após a célula montada e ajustada na posição correta com o anel molde sobre a base da célula, a mesma foi preenchida uniformemente em pequenas camadas, com uma espátula sem a aplicação de força vertical à superfície do produto, até formar certa quantidade de produto acima do topo do anel molde. O preenchimento foi conduzido de tal maneira para que não ocorressem vazios na região onde o anel e base se sobrepõe. Retirou-se o excesso de produto em pequenas quantidades através da raspagem com uma espátula. A raspagem sobre o anel foi feita com a espátula em movimentos de ziguezague com cuidado para não modificar a posição do anel sobre a base. Esta raspagem é realizada com a espátula na posição inclinada conforme mostrado na Figura 12.

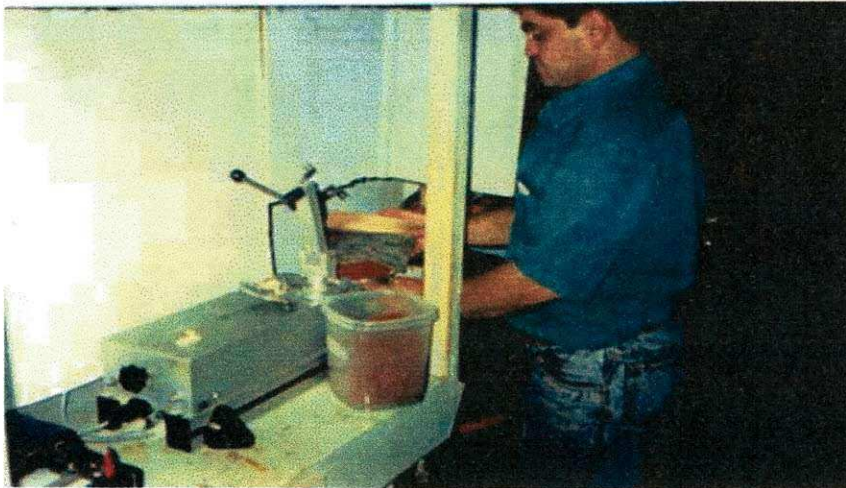


FIGURA 12 - Raspagem do excesso do produto

e) realizou-se os movimentos de rotação com a alavanca do dispositivo de rotações, fazendo rotação a 90° , em intervalos iguais de aproximadamente 1 segundo, de forma suave e contínua. Durante esta operação, o anel de cisalhamento é pressionado contra os parafusos fixos para prevenir o seu deslizamento da posição original, como mostra a Figura 14;

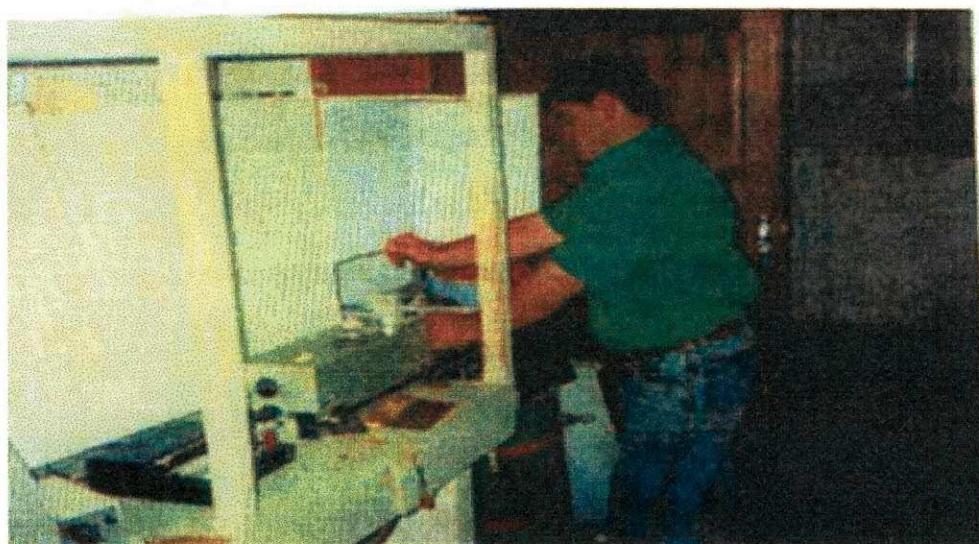


FIGURA 14 – Operação de rotação (twist)

f) em seguida o aparelho de operação de rotações é deslocado da posição superior;

g) depois o pendural de pesos da tampa de twists é cuidadosamente retirado;

h) cuidadosamente retira-se o anel molde, segurando levemente a tampa de operação de rotações para não afetar a posição original do anel de cisalhamento;

i) remove-se a tampa de operação de rotações, deslizando-a na direção da haste de medida da força, conservando a posição do anel de cisalhamento junto aos parafusos fixos;

j) retira-se o excesso de produto em pequenas quantidades, nivelando-se com o topo do anel de cisalhamento, com o mesmo procedimento adotado anteriormente;

3.4.4.4 Otimização

Após a definição da amostra, da célula de cisalhamento, dos níveis de cargas normais (pré-shear e shear) e da preparação da amostra, antes dos testes de cisalhamento definitivos, é feita a otimização. As otimizações são testes preliminares, feitos com a intenção de verificar o nível de consolidação da amostra e para que ela obtenha a “consolidação crítica”.

3.4.4.5 Número de Rotações

Para as sementes de girassol com e sem casca usou-se 25 rotações (twist). Este resultado foi obtido a partir de ensaios realizados na fase de otimização em função da “consolidação crítica” do produto (Figura 03).

3.4.4.6 Teste de Cisalhamento

Depois dos testes de otimização onde se obteve a carga normal para a operação de rotações e o número de rotações requerido para obtenção da “consolidação crítica” da amostra, os testes de cisalhamento foram realizados, em duas etapas: pré-shear (pré-cisalhamento) e shear (cisalhamento). Utilizou-se os níveis de cargas da Tabela 04 (item 3.4.4.2).

3.4.4.6.1 Pré-cisalhamento

Esta fase conduz a amostra a uma deformação plástica, desenvolvendo dentro dela uma zona de cisalhamento até ocorrer um fluxo de estado estável, com um valor da tensão de cisalhamento τ_p . Esta tensão de cisalhamento é mantida na célula, embora a distância de cisalhamento seja relativamente curta (varia em função do produto). Para determinar este valor e depois de transmitir este movimento a haste de medida de força é

parada e invertida, até que a mesma perca o contato com o suporte (força de cisalhamento caindo a zero).

A estabilidade dos valores da tensão de cisalhamento τ_p , obtidos em estado estável do pré-shear, são uma indicação da reprodutibilidade de consolidação. Com amostras consolidadas corretamente, os valores individuais das tensões de cisalhamento em estado estável não deverão variar mais do que $\pm 5\%$, a uma dada carga normal de pré-shear (Manual SSTT).

3.4.4.6.2 Cisalhamento (Shear)

Depois do pré-shear, as cargas normais correspondentes ao pré-shear são reduzidas conforme a Tabela 04, e o mesmo é iniciado pela partida do motor propulsor da haste de medida de força com movimento para frente. A tensão de cisalhamento aumenta, passando por um máximo e depois diminuiu. O cisalhamento é contínuo, até que toda distância sobreposta da célula tenha sido percorrida, na condição de desenvolver um plano de cisalhamento preciso.

3.4.6 Metodologia de Ensaio para Determinação do Ângulo de Atrito com a Parede Instantânea

As cargas normais foram colocadas sobre o pendural de pesos, selecionadas de maneira que pudessem ser removidas, atendendo às reduções pré-estabelecidas do nível de carga inicial do teste de cisalhamento. Inicialmente foi colocado o pendural de pesos sobre a tampa de cisalhamento, posicionada sobre a superfície nivelada do anel de cisalhamento. O próximo passo correspondeu à operação de cisalhamento e antes de ligar o motor que aciona a haste de força, o anel de cisalhamento foi levemente ergido (manualmente) da amostra de material da parede, para evitar que o anel se arraste com a amostra. Com o início do cisalhamento, as tensões de cisalhamento começam a aumentar e alcançam um estado estável

diretamente ou passaram por um máximo antes de estabilizarem-se. A tensão máxima de cisalhamento corresponde a um atrito de parede estático, enquanto os valores de estado estável correspondem ao atrito de parede cinemático.

Realizou-se o teste de cisalhamento com vários níveis de cargas normais, tendo como carga inicial o valor máximo e obtendo-se uma tensão máxima de cisalhamento. Quando a tensão máxima atingiu um valor constante, a carga inicial foi reduzida a um outro nível pré-estabelecido, com a haste de força em movimento, obtendo-se uma outra tensão de menor valor e que, ao atingir um valor constante, é registrada e novamente a carga foi reduzida. Este procedimento continuou do começo ao fim dos níveis de cargas selecionadas.

No término de cada teste, a amostra de produto foi pesada e novamente preparada para o ensaio seguinte ou nas repetições adotadas para cada um.

Algumas vezes, ocorreu uma rápida oscilação da indicação da força de cisalhamento por causa do comportamento de "Slip-Stick" (escorrega-para). Neste caso, usa-se a tensão de cisalhamento máxima registrada durante o ensaio para determinar o ângulo de atrito da parede ϕ_w .

3.4.6.1 Célula de Cisalhamento Utilizada para Determinação do Ângulo de Atrito com a Parede

A célula utilizada na determinação do ângulo de atrito com a parede, obedeceu aos mesmos critérios adotados na escolha dos testes de cisalhamento instantâneo, e foi diferenciada destes testes através da substituição do anel base por uma amostra de material da parede, conforme mostra a Figura 15.

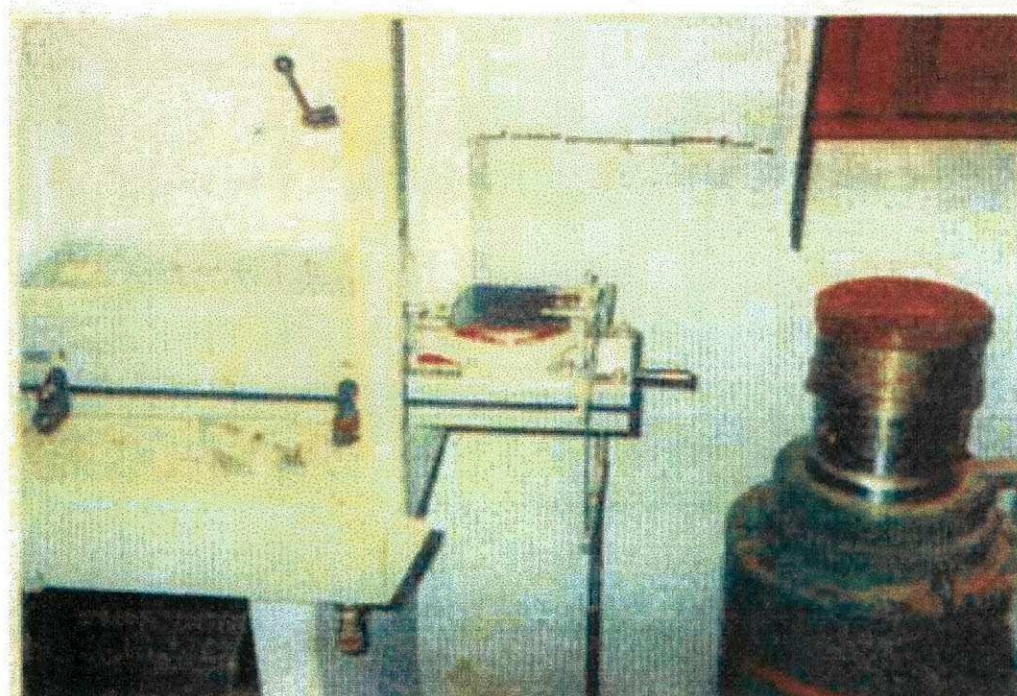


FIGURA 15 - Detalhe da preparação para o ensaio com a parede (aço rugoso)

A superfície da amostra do material da parede ficou paralela ao plano horizontal da haste de medida de força. O anel de cisalhamento foi colocado sobre a amostra da parede e ajustado de acordo com a posição do parafuso fixo, de tal forma que permitiu uma passagem máxima do anel sobre a amostra durante o teste.

3.4.6.3 Seleção dos Níveis de Cargas Normais para Determinação do Ângulo de Atrito com a Parede

Conforme o manual da máquina de Jenike adotou-se o nível máximo de carga normal igual 5 daN e, a partir desse valor, os outros níveis são obtidos através da remoção sucessiva de 1 daN, até o pendural de pesos ficar sem cargas (carga mínima).

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os resultados obtidos nos ensaios de granulometria Da semente de Girassol Tabela 1, verificou-se que as sementes de Girassol com casca tiveram os maiores percentuais retidos na peneira de malha 4,8mm, mas apresentaram também, grande quantidade de produto retido na peneira de malha 4,0 e 2,8mm, enquanto que as sementes de Girassol sem casca tiveram os maiores percentuais retidos na peneira de malha 2,8mm, mas apresentaram também, grande quantidade de produto retido na peneira de malha 4,0 e 4,8mm, que nos faz classificá-los como produto granular.

Nas tabelas 2, 3 e 4 são apresentado o resumo das propriedades de fluxo dos produtos estudados.

Como regra geral, deve-se utilizar os dois limites das propriedades determinadas para o dimensionamento de silos, sendo o limite superior para o projeto de fluxo e o limite inferior para o projeto das sementes de Girassol.

Da análise granulométrica pode-se concluir que a semente de Girassol com e sem casca é um produto granular sem característica coesiva, dentro da faixa de teor de umidade trabalhada, de acordo com a classificação de produtos armazenáveis em função do diâmetro das partículas proposta por CALIL (1984). As propriedades determinadas serão apresentas com dois valores, um limite inferior e o outro com limite superior, para que os engenheiros possam fazer seus projetos seguindo o método dos "estados limites", como também prédizer o tipo de fluxo. Analisando os dados da Tabela 02, percebe-se que com o incremento do teor de umidade o ângulo de atrito interno tanto do limite inferior como do superior diminuem, da mesma forma acontece com os limites do efetivo ângulo de atrito interno. Os materiais de paredes estudados são aquelas com maior possibilidades de uso nas construções de silos,

tanto em níveis de fazenda como de indústria. Observando os dados da Tabela 03, percebe-se que com aumento do teor de umidade, o ângulo de atrito das sementes de Girassol com e sem casca, para alguns materiais estudados são incrementados enquanto que para outros materiais aqui estudados ocorre uma diminuição. As densidade consolidadas determinadas foram 0,383 e 0,606 kNm^{-3} , para os respectivos teores de umidade 7,6 e 4,8% b.u., o que entende-se que com o aumento do teor de umidade das sementes de Girassol a semente também aumento o volume, conseqüentemente, deixando a massa mais poroso e diminuindo a densidade.

Tabela 1 – Granulometria das sementes de Girassol com e sem casca

Nº ABNT	Abertura (mm)	Peso da semente de girassol com casca (g)	Peso da semente de girassol sem casca (g)	Semente de girassol com casca Retida (%)	Semente de girassol sem casca Retido (%)
4,0	4,8	155,51	10,90	50,12	3,54
5,0	4,0	105,90	83,51	34,13	27,14
7,0	2,8	48,82	213,20	15,73	69,31

TABELA 2 – Ângulos internos e efetivos ângulos de atrito interno das sementes de girassol com e sem casca para os teores de umidade de 7,6% e 4,8% bu

T.U. (%)	Atrito Interno		Efetivo ângulo de	Atrito Interno
	INFERIOR (°)	SUPERIOR (°)		
7,6	30,0	32,0	32,0	33,0
4,8	39,0	42,0	41,0	43,0

TABELA 3ª ângulo de atrito das sementes de Girassol com e sem casca com os materiais de paredes para silos.

Teor de Umid		Paredes											
		Acrílico		Alumínio		Aço Liso		Aço Rugoso		Madeira		Concreto	
		I	S	I	S	I	S	I	S	I	S	I	S
7,6%	teorico	15,22	16,81	24,55	25,71	10,05	11,0	13,49	13,69	15,80	16,19	23,36	24,96
	Grafico	14,87	14,95	19,50	23,33	9,96	10,44	12,56	13,02	15,41	15,64	18,19	18,77
4,8%	teorico	14,78	15,60	12,97	14,25	16,20	16,53	17,72	18,44	22,55	23,15	30,61	30,85
	Grafico	13,11	14,26	11,70	12,17	14,87	14,87	17,07	18,26	22,01	22,71	29,86	30,48

I = Inferior; S = Superior.

TABELA 3b Dados para construção da Função Fluxo para os teores de umidade 7,6 e 4,8% bu

Teor de Umid	7,6%		4,8%	
	σ (Pa)	f (Pa)	σ (Pa)	f (Pa)
P ₁	22,1	1,4	25,5	2,5
P ₂	14,8	1,6	19,0	2,1
P ₃	12,9	0,8	15,1	1,1

σ = Tensão máxima de Consolidação

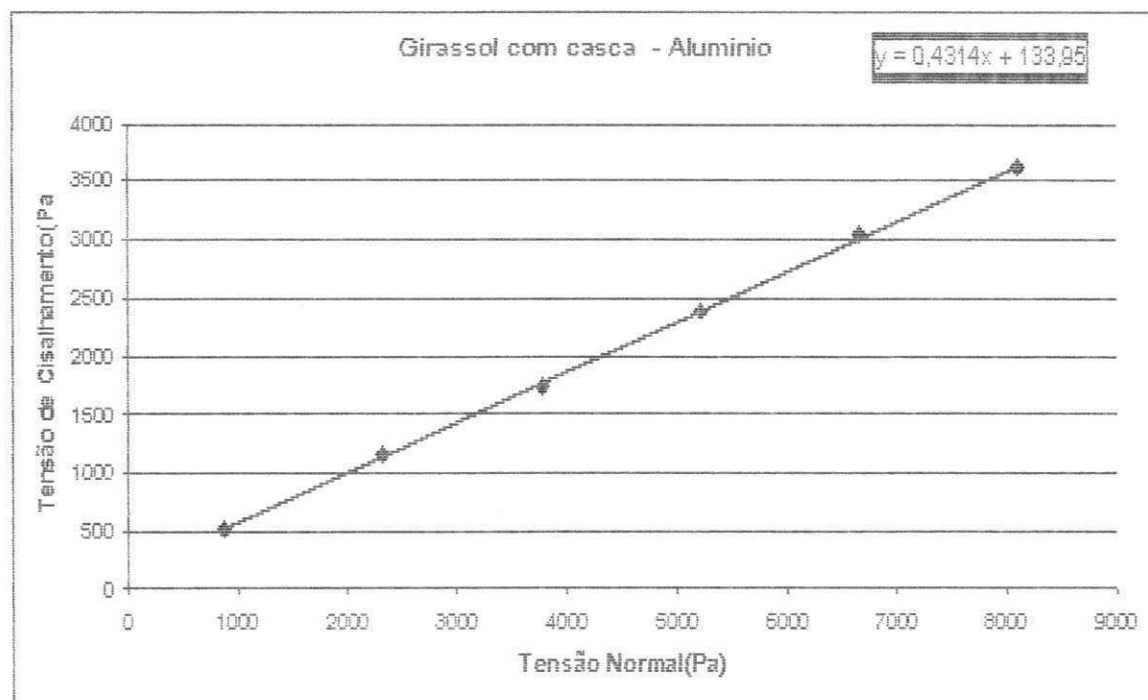
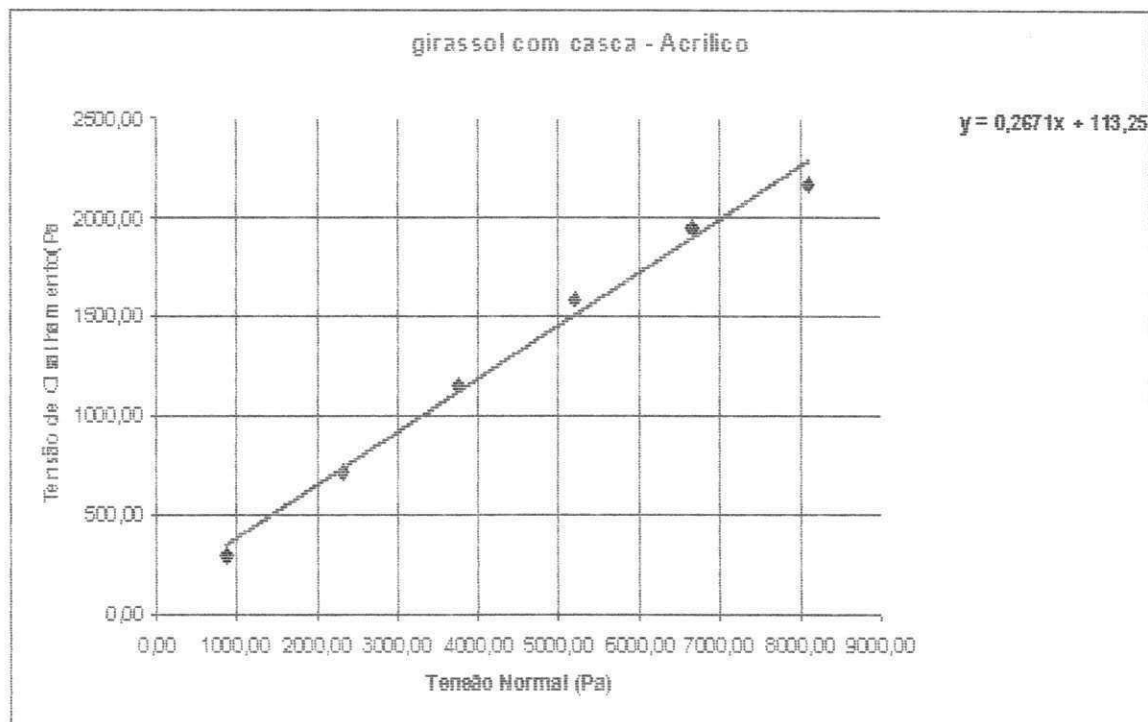
f = Tensão não confinada

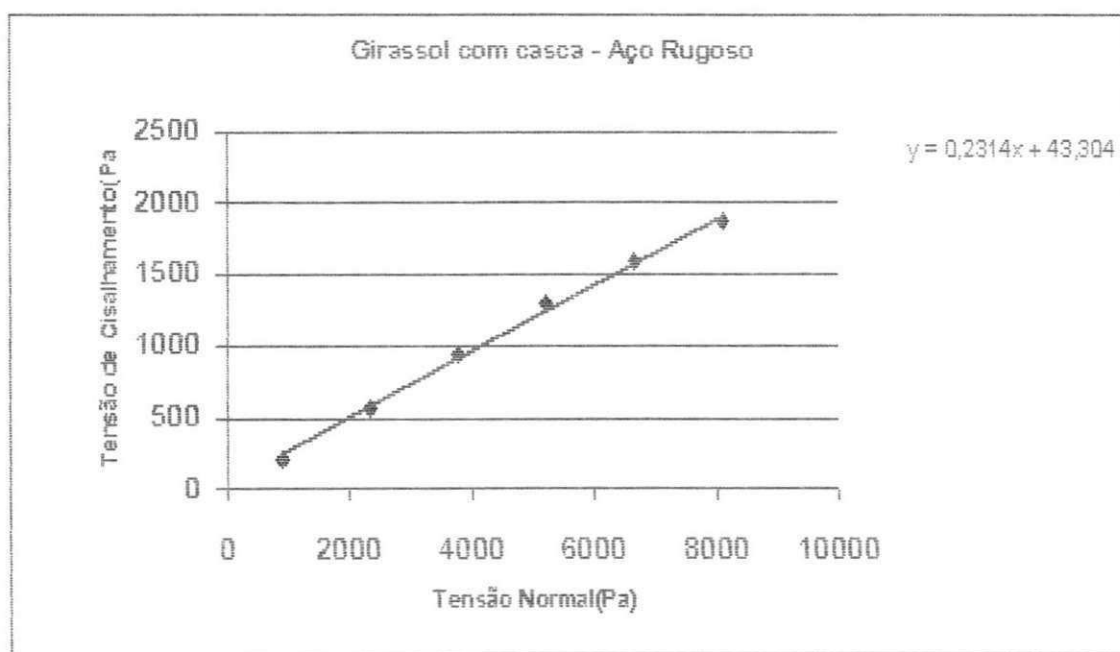
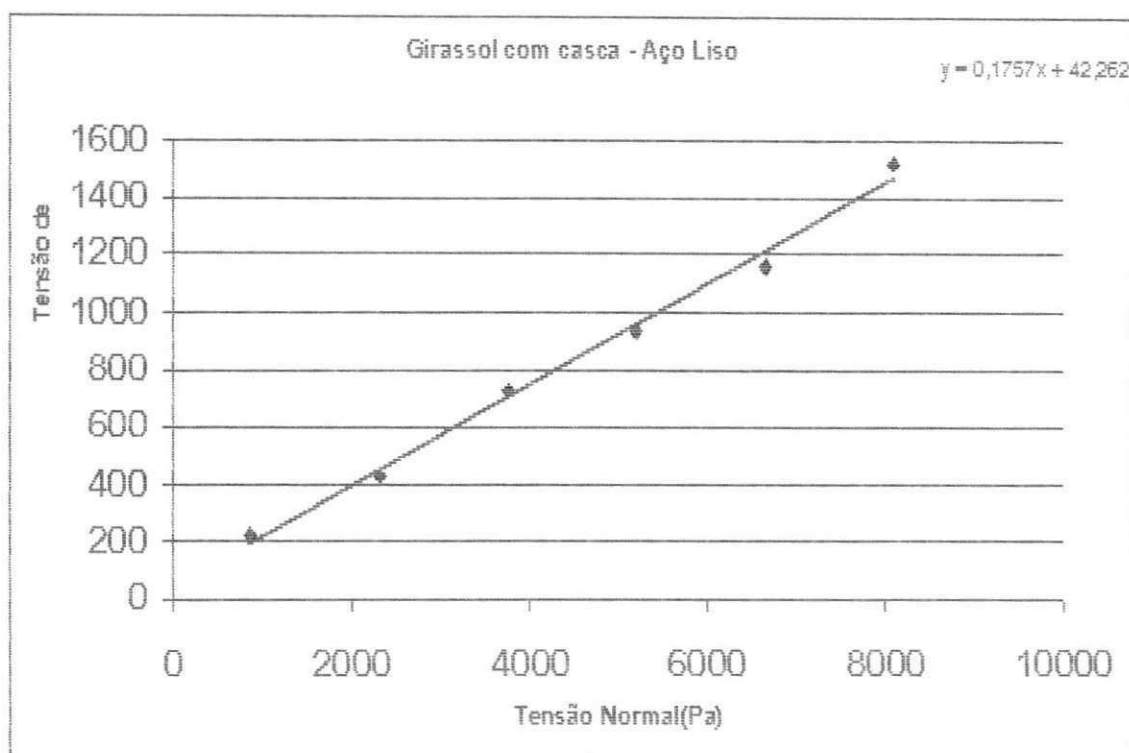
TABELA 4 – Densidade das Sementes de Girassol

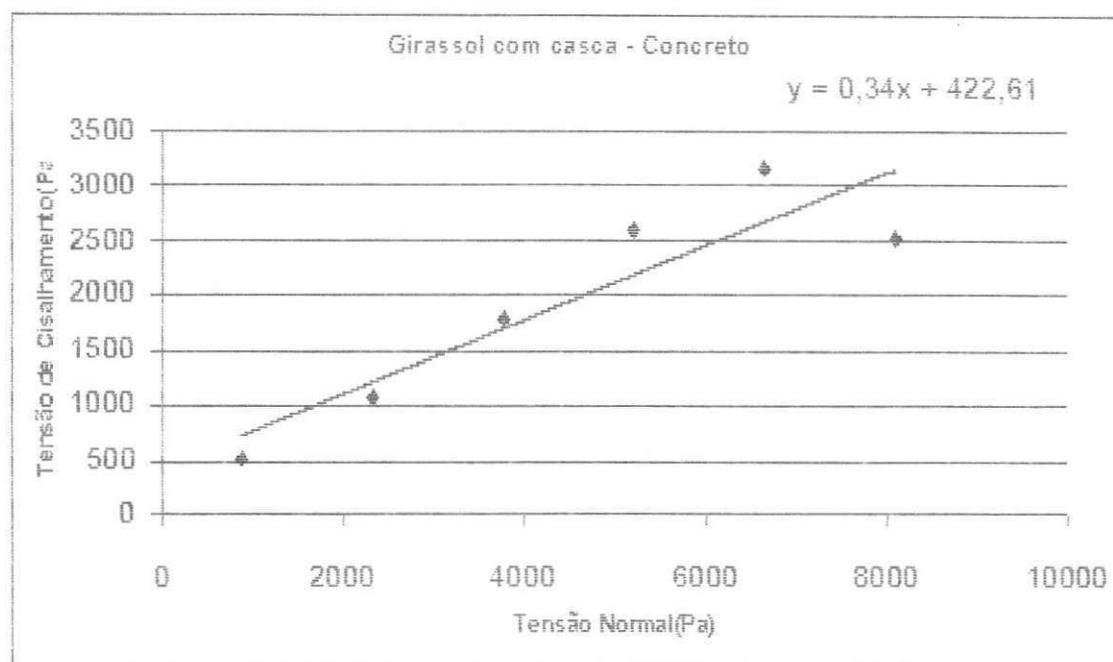
Teor de umidade (%)	Densidade (g/cm ³)
7,6	0,383
4,8	0,606

Em seguida são apresentados alguns gráficos das propriedades de fluxo determinadas.

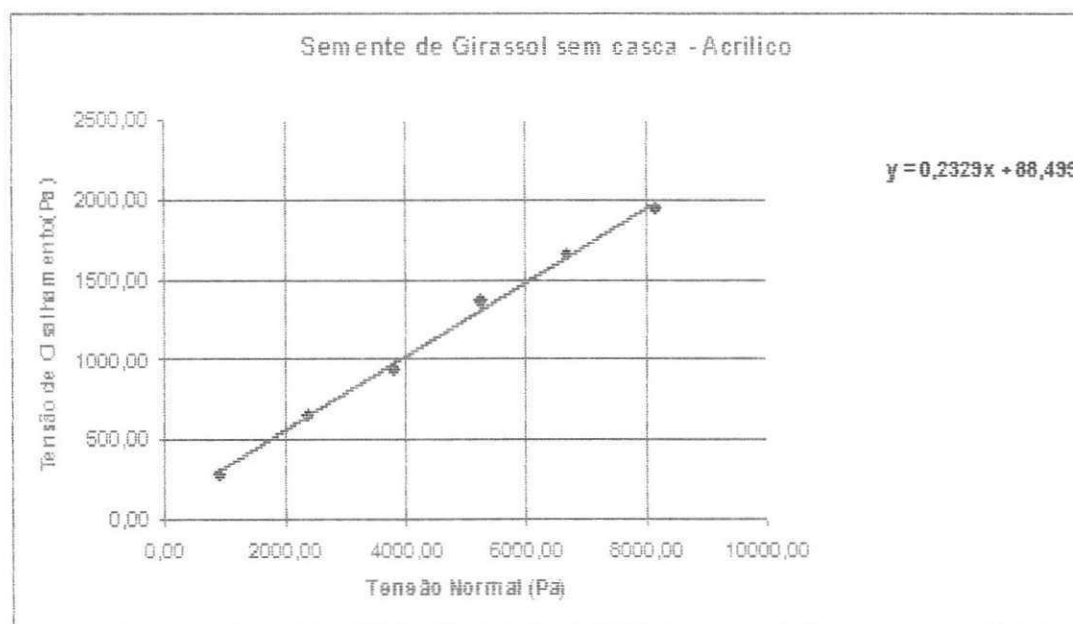
Gráficos das Sementes de Girassol com casca com os materiais de paredes estudados para o teor de Umidade de 7,6% bu.

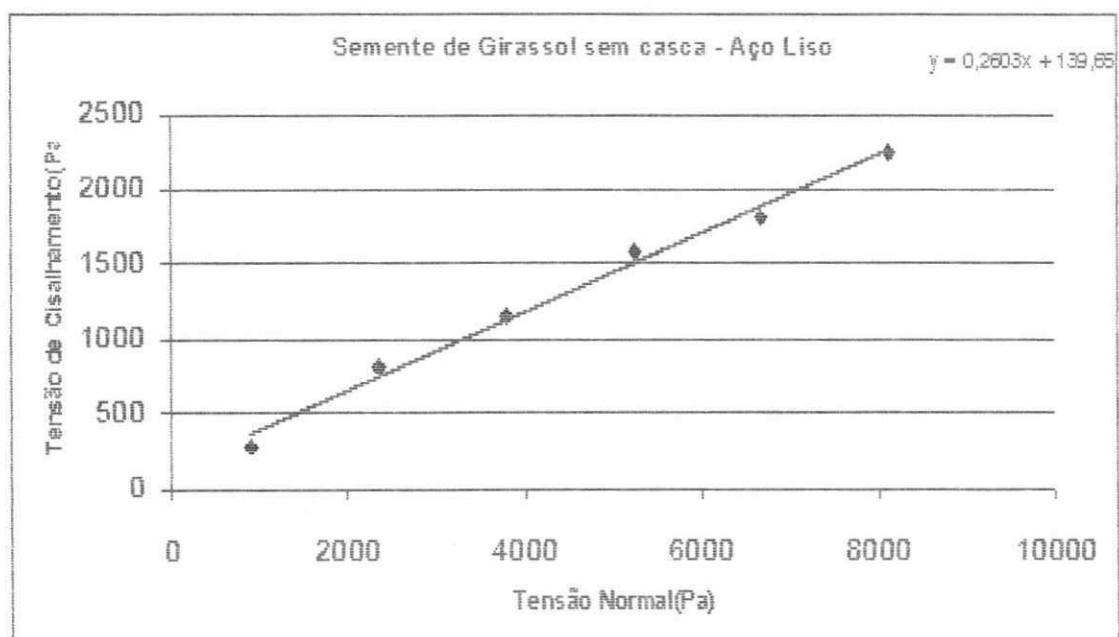
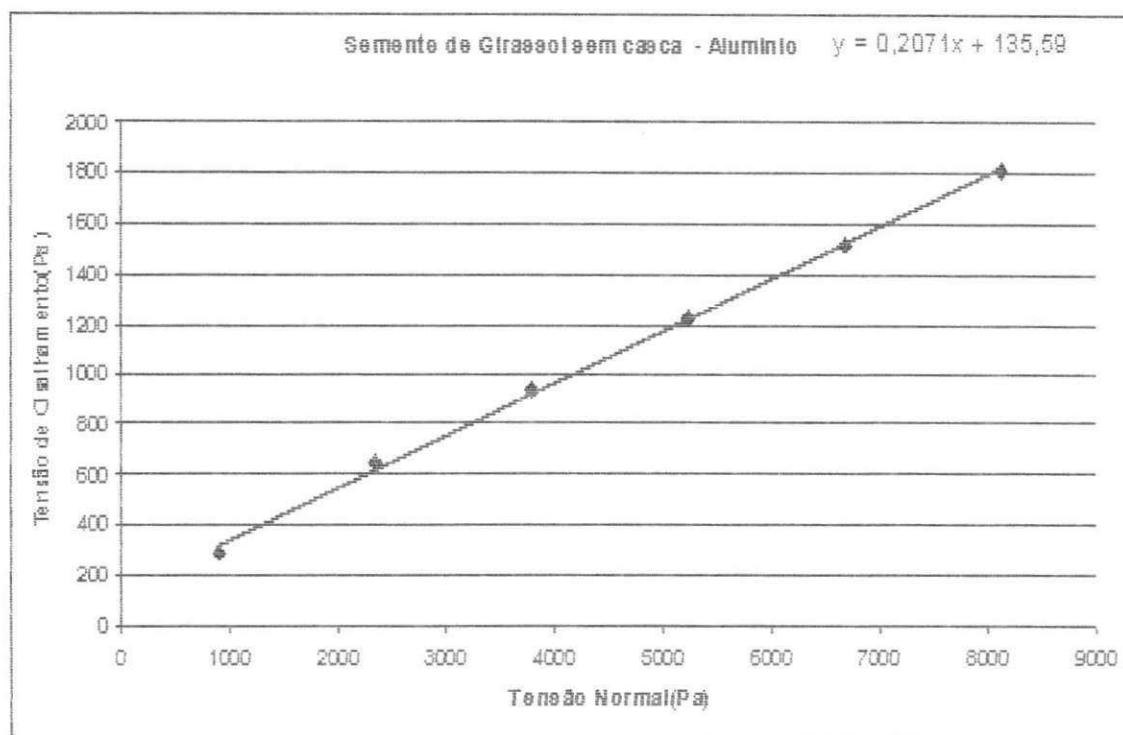


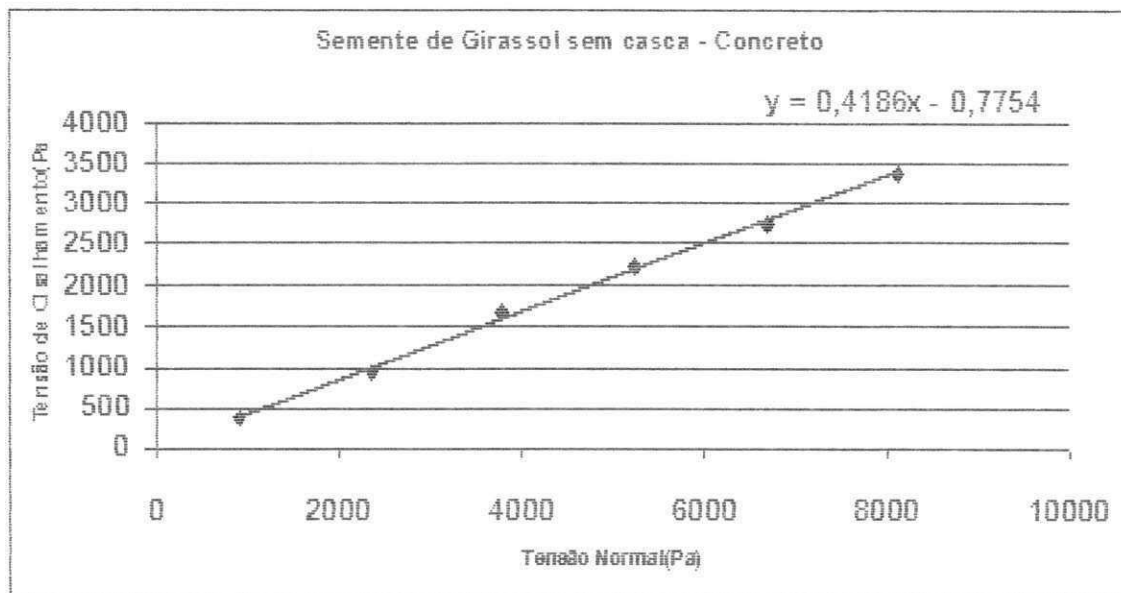
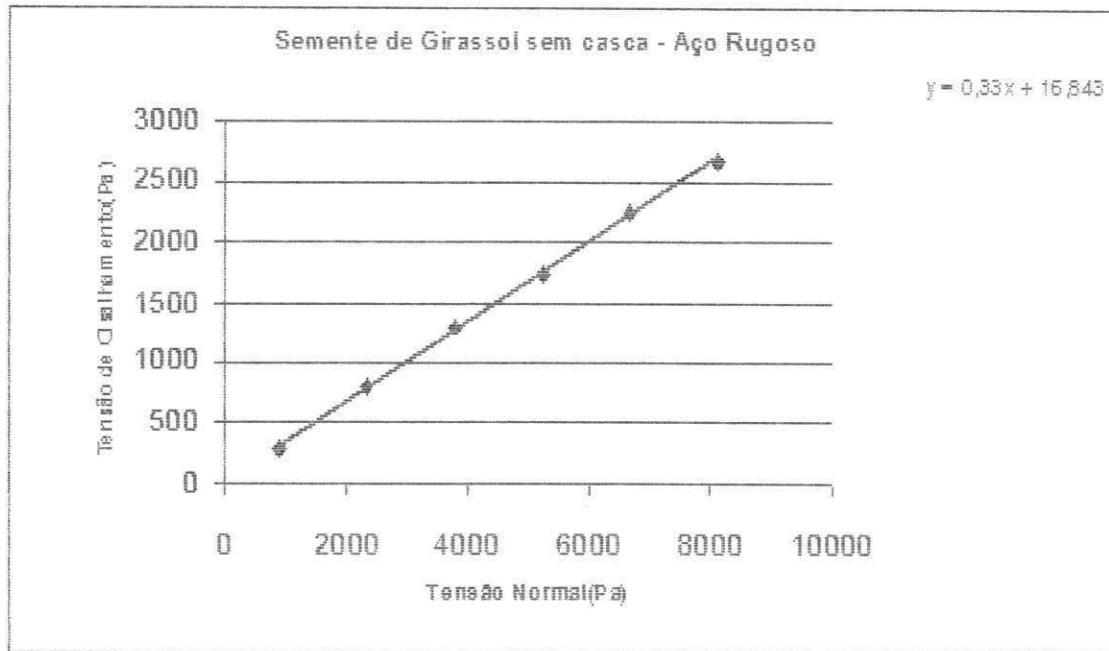




Gráficos das Sementes de Girassol sem casca com os materiais de paredes estudados para o teor de Umidade de 4,8% bu.







5 CONCLUSÃO:

Para as condições que foram realizados os testes observaram-se que a densidade consolidada variou de 0,383 a 0,606 Nm^{-3} ; o ângulo de atrito interno e o efetivo ângulo de atrito interno apresentaram-se num intervalo de 30 a 42° e 32 a 43°, respectivamente. O ângulo de atrito da semente de girassol com os materiais de parede de silo utilizados apresentou tanto uma tendência de aumento como uma tendência de diminuição com o acréscimo do teor de umidade.

Todas as propriedades de fluxo foram apresentadas com limite superior e inferior, para que os projetistas possam utilizar o método dos estados limites para calcular as pressões atuantes no corpo e na tremonha do silo. Recomendamos, para melhor esclarecimento do uso dos limites destas propriedades a norma australiana AS3774(1990) e o Calil et al. (1997). Acredita-se que estes sejam os primeiros dados determinados no país e que os profissionais que trabalham com processamento de produtos agropecuário possam utilizá-los nos projetos de silos e desenvolvimento de equipamentos e, predição do tipo de fluxo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, J.P.P. de et al. **Cultura do caupi, Vigna unguiculada (L.) Walp.:** Descrição recomendações técnicas, De cultivo. Goiânia: EMBRAPA - CNPAF, 1984. 82p. (EMBRAPA - CNPAF. Circular técnica, 18).
- AVT. **Operating Instructions for the Translational Shear Testes TSG-70-140.** AVT Anlagen und Verfahrenstechnik GmbH, Weigarten - Alemanha, s.d., 65p. (Manual técnico).
- BMHB. **British materials handling board. Draft Code of Practice for the Design of Silos, Bins, Bunkers and Hoppers.** Inglaterra, 1985. 101p.
- CALIL JR., C. **Sobrepressões en las paredes de los silos para almacenamiento de productos pulverulentos cohesivos.** Barcelona, 1984, 184p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidad Politécnica de Barcelona - UPB.
- EMBRAPA. Departamento Técnico Científico (Brasília, DF). **Programa Nacional de pesquisa de feijão.** Brasília, 1981. 117p.
- JENIKE, A. W. **Storage and flow of solids.** Boletim 123. Utah Engineering Experiment Station. University of Utah. Salt Lake City. Utah. Estados Unidos, 1964, 197p.
- MILANI, A.P. **Determinação das propriedades de produtos armazenados para projeto de pressões e fluxo em silos.** São Carlos, 1993. 272p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estrutura) Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- NASCIMENTO, J.W.B. **Estudos dos silos metálicos prismáticos para fábrica de ração.** São Carlos, 1996. 152p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estrutura) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- NCSE. **Guidelines for the assessment of loads on bulk solids containers.** National Committee on Structural Engineering. The Institution of Engineers Australia. Austrália. 1987. 59p.
- ROBERTS, A. W., OOMS, M. **Flow properties of bulk solids.** Paper 4. Storage, flow and handling of bulk solids. Ed. A. W. Roberts. University of Newcastle, 1987.
- SSTT. **Standard shear testing technique for particulate solids using the Jenike Shear Cell.** The Institution of Chemical Engineers, George E. Davis Building. Inglaterra, 1989. 40 p. (Manual Técnico).

TEIXEIRA, S.M.; MAY, P.H.; SANTANA, A. C. de. **Produção e importância econômica do caupi no Brasil.**In: ARAÚJO, J. P. P. de WATT, E. E. (Org.) *O caupi no Brasil*. Brasília: EMBRAPA - CNPAF, 1988. Cap. 4, p. 99 -136.

ALMEIDA, A.M.R.; MACHADO, C.C & PANIZZI, M.C.C. - **Doenças do girassol: descrição de sintomas e metodologia para levantamento.** Londrina, EMBRAPA-CNP de Soja, 1981. 24p. (Circular Técnica 6).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Pesquisa de Soja - **Indicações técnicas para o cultivo do girassol.** Londrina, 1983, 40 p. (Documentos, 3).

GIRASSOL "IAC ANHANDY". *O Agrônomo*, Campinas, IAC, 34 (tomo único): 13, 1982 (separata).

LA CULTURE DU TOURNESOL. Paris, CETION, 1981. 16p.

MORAES, S.A.; UNGARO, M.R.G. & MENDES, B.M.J. "*Alternaria helianthi*" agente causal de doença em girassol. Campinas, Fundação Cargill, 1983, 20 p.

ROSSI, R.O. *O girassol*. São Miguel do Oeste (SC), Rogobrás Sementes, 1991, 59 p.
SEMENTES CONTIBRASIL. *Girassol: manual do produtor*. São Paulo, 1981, 30 p.

UNGARO, M.R.G. - **Instruções para a cultura do girassol.** Campinas, IAC, 1986, 26 p. (Boletim Técnico 105)
MANUAL DE CULTURAS CATI

Campina Grande, 22 de maio de 2002.

RELATÓRIO


O aluno Ibireinaldo Marques Freire apresentou o relatório de conclusão de estágio Supervisionado no Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal da Paraíba, perfazendo uma carga horária de 150 horas e obteve a nota 8,0 (oito). O título do projeto desenvolvido para o referido estágio foi DETERMINAÇÃO DA GEOMETRIA DA TREMONHA EM SILOS PARA ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS GRANULAR.



Prof. José Wallace Barbosa do Nascimento



Prof. Marluce Araújo de Azevedo



Prof. Dermeval Araújo Furtado