

Caracterização das propriedades físicas e de fluxos do amendoim para o estudo de silos

Valneide Rodrigues da Silva¹, José Pinheiro Lopes Neto², Marineide Jussara Diniz³, José Wallace Barbosa do Nascimento⁴, Luiz Felipe de Almeida Lucena⁵

RESUMO

O objetivo desse trabalho é o de fornecer dados das propriedades físicas e de fluxo do amendoim para o projeto de silos. Para atingir tal objetivo, foi utilizado o aparelho de cisalhamento direto por translação TSG 70-140 conhecido como "Jenike Shear Cell. Foram medidos a granulometria, teor de umidade, densidade, ângulo e efetivo ângulo de atrito interno, coesão média, índice de ff_c e o ângulo de atrito existente entre o amendoim e quatro tipos de materiais de parede, o alumínio, aço liso e rugoso e o acrílico. De posse dos resultados obtidos através dos ensaios na TSG 70 -140, conclui-se que o amendoim é um produto granular sem características coesivas sendo classificado como de fluxo livre.

Palavras-chave: Jenike, atrito, grãos.

ABSTRACT

The objective this work is to supply given of the physical properties and flow of the peanut the design of silos. The device of direct shear for translation TSG was used 70-140, known as "Jenike Shear Cell". The size, content of humidity, density, angle of internal friction and effective angle of internal friction, average cohesion, index of ffc and the angle of existing attrition between the peanut and four types of wall materials, aluminum, smooth and rugosity steel and the acrylic, had been measured. Of the results one concludes that the peanut is granular product without cohesion characteristics being classified as of free flow.

Key-words: Jenike, friction, grains.

1 - INTRODUÇÃO

Atualmente, a produção mundial de grãos de amendoim atinge a marca de 23,5 milhões de toneladas anuais; deste total, 60% são destinados ao esmagamento para extração do óleo comestível, gerando ainda um subproduto industrial (torta ou farelo), utilizado em ração animal. Os 40% restantes, cerca de 8 milhões de toneladas, são utilizados como alimento humano, *in natura*, como componente de iguarias caseiras ou processadas pela indústria de confeitaria.

Os países em desenvolvimento são responsáveis por 80% da produção de amendoim, e aproximadamente, 67% é originária dos trópicos semi-áridos sendo a Índia, China,

Estados Unidos, Nigéria, Indonésia e Senegal os maiores produtores. O Brasil ocupa apenas a sétima colocação mundial com uma previsão de safra em torno de 179.148 mil toneladas (MACÊDO 2004).

Na Região Nordeste, o cultivo do amendoim tomou impulso no final da década de 80, onde a área cultivada em regime de sequeiro passou de 3.000 ha. para atuais 7.000ha; a produção cresceu na mesma proporção, contudo, ainda é baixa (algo em torno de 10.000 t), considerando a demanda regional para abastecer o mercado, que é superior a 50.000t de grãos (Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, 2005).

A caracterização de produtos sólidos para armazenamento em silos teve início com a teoria de JENIKE (1964) e através do desenvolvimento da máquina de cisalhamento por translação. Os silos são estruturas difíceis de se projetar com relação a fluxos contínuos de forma a assegurar sua economicidade e rigidez, principalmente, devido ao fato dos produtos a serem armazenados possuírem propriedades diferentes daquelas dos líquidos (BARRETO, 1997). Para que tal objetivo seja alcançado, (JENIKE & JOHONSON, 1979) citam que as cargas calculadas não sejam subestimadas nem superestimadas.

Na maioria dos casos, o não escoamento do produto nos silos deve-se a projetos inadequados e falta de conhecimento das propriedades de fluxo dos produtos sólidos armazenáveis, entre eles, os sólidos agrícolas (JENIKE, 1964 e JENIKE & JOHONSON, 1979). As propriedades de fluxo estudadas neste trabalho são de grande importância para os profissionais que trabalham com o desenvolvimento de equipamentos de fluxo tanto quanto para aqueles que elaboram projetos de silos verticais BARRETO (1997).

Segundo NASCIMENTO (1996), as propriedades de fluxo dos produtos armazenados são essenciais para o processamento dos sistemas de armazenagem durante o carregamento e o descarregamento. Segundo o mesmo autor, com o conhecimento de tais propriedades, ainda é possível a determinação e a predição das pressões que ocorrerão na estrutura e, principalmente, os tipos de fluxo, muito importantes para o processamento.

CALIL JUNIOR (1984) afirma que, para a previsão de fluxo de instalações armazenadoras, é necessário conhecer as características do produto. Normalmente, esses valores são adotados ou estimados a partir de normas internacionais por motivo de inexistência de regulamentações nacionais específicas.

De acordo com CLANCY & EBNER (1994), existem fatores que podem causar importantes variações no tipo de fluxo desejado tais como: teor de umidade, temperatura, vazão de carregamento e tempo de armazenamento. CALIL JUNIOR (1990) complementa que as dimensões das partículas, aeração da massa armazenada, coesão e vibração das instalações também exercem influência significativa no tipo de fluxo por alterarem as propriedades do produto armazenado.

Um projeto confiável de um silo pode ser possível se as propriedades do produto forem determinadas em ensaios com a máquina denominada Jenike Shear Cell. Segundo RAVENET (1981) apud BANDEIRA (1997), na hora de executar projeto de silo, é muito importante realizar ensaios em laboratório com o produto e determinar fundamentalmente a densidade e o ângulo de atrito com a parede, já que as tabelas existentes apresentam diferenças de até 70% ao aplicar as expressões que determinam as pressões nas paredes.

O objetivo deste trabalho foi determinar as propriedades físicas (granulometria, peso específico consolidado e teor de umidade) e de fluxo de grãos de amendoim (ângulo de atrito interno, ângulo efetivo de atrito interno, ângulo de atrito do produto com as paredes, coesão, índice de fluxo, fator fluxo da tremonha e função fluxo do produto) e dimensionar os parâmetros geométricos de silos para seu armazenamento (menor ângulo de inclinação da tremonha).

2 - MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente - LaCRA, da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologia, da Universidade Federal de Campina Grande.

A metodologia de ensaio adotada para determinação das propriedades de fluxo do amendoim foi a de MILANI (1993). A máquina utilizada foi a de cisalhamento por translação TSG 70-140 desenvolvida especialmente para estas determinações.

A determinação da granulometria foi realizada utilizando-se o método de peneiramento, com amostra previamente pesada (500g) e peneirada em jogo de peneiras ABNT durante 10 minutos em conjunto de peneiras vibratórias. Ao final do peneiramento, pesou-se a quantidade de produto retido em cada peneira determinando-se assim, a percentagem final retida.

Foi utilizado, para a obtenção do peso específico consolidado (γ), um anel de cisalhamento de 93 mm de diâmetro sendo aplicadas 25 rotações com 3 níveis de carga como indicado na Tabela 1.

Tabela 1: Níveis de carga utilizados nos ensaios de pré-cisalhamento e cisalhamento.

| Cargas de cisalhamento (kg) | Cargas de pré-cisalhamento (kg) | Número de repetições |
|-----------------------------|---------------------------------|----------------------|
| 10 | 7 | 3 |
| | 5 | |
| | 3,5 | |
| 7 | 7 | 3 |
| | 5 | |
| | 3,5 | |
| 5 | 7 | 3 |
| | 5 | |
| | 3,5 | |

O teste do teor de umidade (w) foi efetuado com 3 repetições, utilizando 10g do produto para cada repetição. As amostras foram colocadas em recipientes de alumínio. Em seguida, foram pesados em balança previamente tarada com precisão de 0,001g para se obter o peso úmido (P_u) do produto e levado a estufa com circulação forçada de ar a temperatura de 105° C, com uma tolerância de $\pm 5^\circ$ C por 24h, e em seguida foram resfriados em dessecador e, novamente, pesados obtendo-se o peso seco (P_s). O método utilizado para medir a densidade foi o de pesar a célula (célula + produto) após o ensaio de cisalhamento, e em seguida subtrair o peso próprio da célula e dividir por seu volume.

Após os testes de otimização para obtenção da consolidação crítica da amostra, os testes de cisalhamento foram realizados em duas etapas (pré-cisalhamento e cisalhamento). Através da plotagem dos dados em gráficos e da criação de círculos de tensões de Mohr, foram obtidos o Lugar Geométrico de Deslizamento (LGD), Efetivo Lugar Geométrico de Deslizamento (ELGD), Ângulo de Atrito Interno (\emptyset), Ângulo Efetivo de Atrito Interno (δ), Tensão Principal de Consolidação (σ_M), Tensão Inconfinada de Deslizamento (σ_C) e valor médio da Coesão (C), para cada nível de carga ensaiado conforme Figura 1.

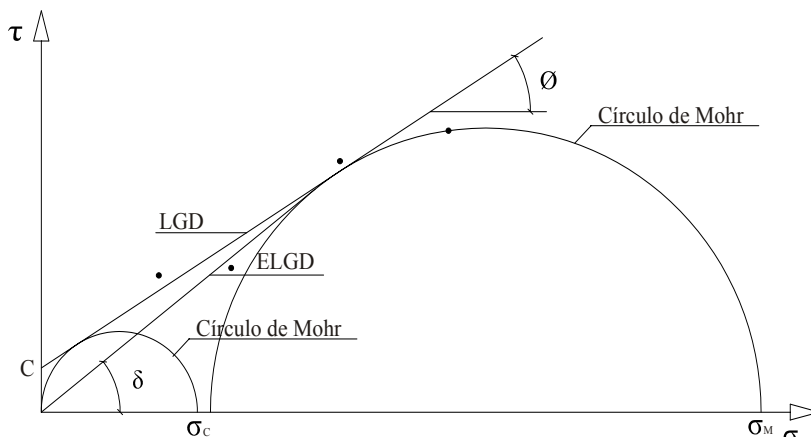


Figura 1: Círculos de tensões, ângulos de atrito e coesão de produtos sólidos.

Realizou-se, em seguida, o teste de cisalhamento com vários níveis de cargas normais, tendo como carga inicial o valor máximo, mantendo-se uma tensão máxima de cisalhamento até atingir um valor constante. Posteriormente, a carga inicial foi reduzida a um outro nível pré-estabelecido, com a haste de força em movimento, obtendo-se outra tensão de menor valor e que, ao atingir um valor constante, foi registrada e, novamente, a carga foi reduzida. Tal procedimento foi contínuo do começo ao fim dos níveis de cargas selecionadas. Ao 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 rápida oscilação da indicação da força de cisalhamento devido ao comportamento conhecido como slip-stick (escorrega-para). Neste caso, a tensão de cisalhamento máxima registrada durante o ensaio foi usada para determinar ao ângulo de atrito com a parede.

Os materiais de paredes utilizados nos ensaios foram aqueles com maior possibilidade de uso nas construções de silos, tanto em níveis de fazenda como industriais, sendo eles alumínio, aço liso, aço rugoso e acrílico. Todos os ângulos de atrito foram apresentados com seus limites superior e inferior para que os projetistas possam utilizar o método dos estados limites para o cálculo das pressões atuantes no corpo e na tremonha do silo.

Para a obtenção do ff_c (Índice de escoabilidade do produto), utilizou-se o valor médio das razões entre σ_M e σ_C e classificou-se cada produto ensaiado de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2: Classificação da escoabilidade de produtos sólidos (JENIKE, 1964).

| Classificação | Índice ff_c |
|---------------|-----------------|
| Sem fluxo | $ff_c < 2$ |
| Coesivo | $2 < ff_c < 4$ |
| Fluxo fácil | $4 < ff_c < 10$ |
| Fluxo livre | $ff_c > 10$ |

Para o fator fluxo da tremonha (ff), que é uma função da forma da tremonha e das propriedades dos produtos armazenados, sendo determinado um valor para cada material de parede ensaiado, conforme recomendações da Norma Britânica (BMHB, 1985).

A determinação da função fluxo do produto (FF) foi realizada plotando-se os pontos da σ_M versus σ_c , obtidos a partir dos lugares geométricos de deslizamento (LGD).

Para a determinação do menor ângulo de inclinação da tremonha com a horizontal (θ_m), adotou-se as recomendações de cálculos da norma BRITISH MATERIALS HANDLING BOARD (1985).

No dimensionamento do orifício de descarga (D) utilizou-se, para cada material de parede estudado, um valor de Tensão Crítica (σ_{cr}) obtido através da intersecção das curvas de ff e FF (Figura 2) e a equação desenvolvida por JENIKE (1964), sendo:

$$D = \frac{H(\theta)\sigma_{cr}}{\gamma}$$

Onde: $H(\theta)$ é uma constante para tremonhas cônicas (2,3).

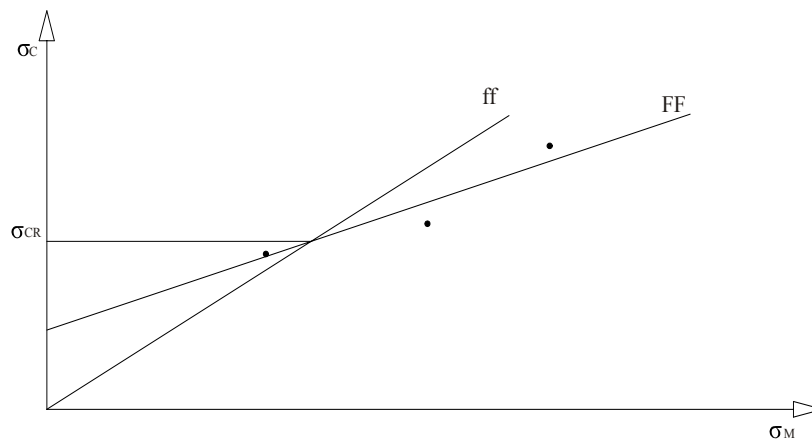


Figura 2: Curvas de ff, FF e valor de σ_{cr} .

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 observam-se os resultados obtidos na análise granulométrica feita por peneiramento referente aos ensaios realizados. Observou-se, que o maior percentual retido foi na peneira de malha 8 mm (35,53%). Com base nestes dados, de acordo com a classificação de produtos armazenáveis em função do diâmetro das partículas proposta por CALIL JUNIOR (1984) e JENIKE & JOHONSON (1979), classifica-se o amendoim como sendo um produto de característica granular.

Tabela 3: Granulometria do amendoim.

| Peneiras ABNT | Abertura da malha (mm) | % de grãos retidos |
|---------------|------------------------|--------------------|
| 3/8" | 9,52 | 1,01 |
| 5/16" | 8,00 | 35,53 |
| N. 4 | 4,76 | 14,40 |

Na Tabela 4, pode-se observar que o teor de umidade (w) e peso específico consolidado (γ) do amendoim foram de 6,84 % e 6,16 kN/m³, respectivamente. Ainda na Tabela 4, encontram-se os resultados obtidos para os limites inferior e superior do ângulo de atrito interno sendo de 36,97° e 55,21°, respectivamente. Para o efetivo ângulo de atrito interno, os limites foram de 43° e 56,57°.

Em observação a norma AUSTRALIAN STANDARD AS3774 (1996), para grãos de soja destacam-se valores de 7,5 kN/m³, 20° e 27° para peso específico consolidado e limites inferior e superior do ângulo de atrito interno, respectivamente. Para o efetivo ângulo de atrito interno, são encontrados na referida norma valores entre 25° e 32°. Vale salientar que apesar de tanto o amendoim quanto a soja serem classificados como grãos agrícolas, as diferenças entre os valores de suas propriedades devem-se principalmente ao fato de variações na forma e dimensão entre os dois grãos.

Na Tabela 4 são apresentados os ângulos de atrito do amendoim com alguns materiais de parede de silo, sendo que os maiores valores foram encontrados para o aço rugoso (30,68° -30,85°). Para o mesmo material de parede, FREIRE (2004) encontrou, ao estudar o feijão macassar, valores iguais a 15,3° 15,73° para os limites inferior e superior, respectivamente. Novamente, parâmetros como teor de umidade, forma, granulometria e peso específico podem ser responsáveis por tal variação.

Tabela 4: Ângulos de atrito interno do produto para os diferentes materiais de parede.

| Cultivar | Alumínio | | Aço liso | | Aço rugoso | | Acrílico | |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | ϕ_{wi} | ϕ_{ws} | ϕ_{wi} | ϕ_{ws} | ϕ_{wi} | ϕ_{ws} | ϕ_{wi} | ϕ_{ws} |
| Amendoim | 13,27 | 13,92 | 20,95 | 21,17 | 30,68 | 30,85 | 14,92 | 17,40 |

Para a coesão média e índice ff_c , os valores encontrados foram de 1272,3N/m² e 3,25, respectivamente, sendo o amendoim, portanto, classificado quanto a sua escoabilidade como um produto coesivo (Tabela 5). Ao determinar as propriedades de fluxo de farinha de soja, FITZPATICK et al. (2004) encontrou para o índice ff_c valor igual a 2 (produto sem fluxo a coesivo), enquanto que FREIRE (2004) obteve valor igual a 6,8 (fluxo fácil) para o feijão macassar explicando, desta forma, a classificação do amendoim já que o mesmo situa-se em razão de sua forma entre um produto pulverulento (farinha de soja) e um produto de dimensões mais uniformes, como é o caso da soja.

Tabela 5: Propriedades físicas e de fluxo do Amendoim.

| Produto | w (%) | γ (kN/m ³) | ϕ_i (°) | ϕ_s (°) | δ_i (°) | δ_s (°) | C (N/m ²) | ff_c |
|----------|---------|-------------------------------|--------------|--------------|----------------|----------------|-------------------------|--------|
| Amendoim | 6,84 | 6,16 | 36,97 | 55,21 | 43 | 56,57 | 1272,3 | 3,25 |

i: Limite inferior, s: Limite superior;

Na Tabela 6, destacam-se o maior e menor valor de inclinação da tremonha cônica para parede de alumínio e aço rugoso iguais a 57,82° e 76,35°, respectivamente. Quanto ao orifício de descarga não pode se determinar porque não houve interceptação entre as curvas do fator fluxo e da função fluxo.

Tabela 6: Características da tremonha cônica para diferentes materiais de parede.

| | Amendoim | | |
|------------|----------|--------------------|----------------|
| | ff | σ_{cr} (Pa) | θ_m (°) |
| Alumínio | 1,18 | 1160,5 | 57,82 |
| Aço liso | 1,16 | 1159,2 | 65,7 |
| Aço rugoso | 1,12 | 1156,1 | 76,35 |
| Acrílico | 1,17 | 1158,6 | 61,59 |

4 - CONCLUSÕES

- O amendoim foi classificado como produto de fluxo livre;
- Para os materiais de paredes estudados, os maiores valores foram obtidos para a parede de aço rugoso;
- O valor mais elevado para a inclinação da tremonha foi de 76,35° (aço rugoso);

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AUSTRALIAN STANDARD. AS3774 (1996). *Loads on bulk containers*. Sydney.

BANDEIRA, I. S. A. *Análise de fluxo de ração e farelo de trigo em silos prismáticos industriais*. Campina Grande, 1997. 71p. (Dissertação), Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

BARRETO, R. L. *Determinação das propriedades físicas do colorau e dos grãos do urucum (Bixa orellana L.) para elaboração de projetos de pressões e fluxo em silos*. Campina Grande-PB, 1997, 94p. (Dissertação) – Universidade Federal da Paraíba.

BRITISH MATERIALS HANDLING BOARD. BMHB. *Draft code of practice for the design of silos, bins, bunkers and hoppers*. Berkshire: 1985.

CALIL JUNIOR, C. *Sobrepreciones en las paredes de los silos para almacenamiento de productos pulverulentos cohesivos*. São Carlos-SP, 1984, 184p. (Tese) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

CALIL JUNIOR, C. *Recomendações de fluxo e de cargas para o projeto de silos verticais*. São Carlos: USP, 1990. Tese de Livre Docência, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1990.

CLANCY, M. B; EBNER, P. B. *Silos*. Tecnologia para la fabricacion de alimentos balanceados. Kansas State, cap. 4: American Feed Industry Association, Inc. 1994.

FITZPATRICK, J. J. et al. *Flow property measurement of food powders and sensitivity of Jenike's hopper design methodology to the measured values*. Journal of Food Engineering, Elsevier Science, n.61, p.399-405, 2004.

FREIRE, I. M. *Propriedades de fluxo do feijão macassar (Vigna unguiculata (L.) Walp.) para o dimensionamento de silos*. Campina Grande-PB, 2004, 83p. (Dissertação) – Universidade Federal de Campina Grande.

JENIKE, A. W. *Storage and flow of silos*. Bulletin of the Utah Engineering Experimental Station n. 123. Salt Lake. Utah, 1964, 197p.

JENIKE, A. W. & JOHONSON, J. *Flow factor Tester and consolidating bench operating instructions*. Jenike & Johnson, Inc, North Billerica, Massachusetts – USA, 1979. 40p.

LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA. IBGE 2005. Disponível em:<<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em 21 jan. 2005.

MACÊDO, M. H. G. *Análise da perspectiva de mercado do amendoim Safra 2004-2005*. Disponível em:<<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em 12 abr. 2005.

MILANI, A. P. *Determinação das propriedades de produtos armazenados para o projeto de pressões e fluxo em silos*. São Carlos: USP, 1993. (Tese), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

NASCIMENTO, J. W. B. *Estudos de silos metálicos prismáticos para fábricas de ração*. São Carlos: USP, 1996. (Tese), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

¹Graduanda de Engenharia Agrícola (UFCG): rval707@yahoo.com.br.

²Engenheiro Agrícola, mestrando em Construções Rurais e Ambiente (UFCG): neto@deag.ufcg.edu.br.

³Doutoranda em engenharia de Processo (UFCG): mjdiniz2@yahoo.com.br.

⁴Prof. Dr. da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UFCG): wallace@deag.ufcg.edu.br.

⁵Doutorando em Recursos Naturais (UFCG): lufelpe@bol.com.br