

PROPRIEDADES DE FLUXO DE DIFERENTES TIPOS DE AÇUCAR PARA PROJETO DE SILOS VERTICAIS

JORDÂNIO INÁCIO MARQUES*; PATRÍCIO GOMES LEITE²;
ARIADNE SOARES MEIRA³; VALNEIDE RODRIGUES DA SILVA⁴

¹Doutorando em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, jordanioinacio@hotmail.com;

²Doutorando em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, pgomesleite@gmail.com;

³Doutoranda em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, ariadnesm_eng@hotmail.com;

⁴Doutoranda em Engenharia de Processos, UFCG, Campina Grande-PB, rval707@gmail.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

RESUMO: A produção agrícola brasileira excede a capacidade armazenadora, com isso a construção de silo se torna imprescindível. As características físicas e de fluxo do produto analisado é essencial no projeto de silo. Diante disto o presente trabalho tem como objetivo determinar as propriedades físicas e de fluxo de diferentes tipos de açúcar para o dimensionamento de silos verticais. Os tipos de açúcar analisados foram: cristal e confeiteiro, aferindo-se as características físicas (teor de umidade, granulometria e densidade) e de fluxo (ângulo e efetivo ângulo de atrito interno, coesão média e ângulo de atrito existente entre o produto e a parede do silo). Concluiu-se que os produtos são classificados como pulverulento coesivo, para as paredes analisadas, o diâmetro do orifício não diferiu numericamente entre si, para inclinação da tremonha houve diferença numérica entre as paredes analisadas.

PALAVRAS-CHAVE: armazenamento, orifício de descarga, tremonha

FLOW PROPERTIES OF DIFFERENT TYPES OF SUGAR IN VERTICAL SILOS PROJECT

ABSTRACT: The brazilian agricultural production exceeds the capacity armazenadora, the construction of silo becomes essential. The physical characteristics and product flow analyzed is essential in the silo. On this the present work aims to determine the physical properties and flow of different types of sugar for the sizing of vertical silos. The types of sugar were analyzed: Crystal and confectioner, checking physical characteristics (moisture content, particle size and density) and flow (angle and effective angle of internal friction, cohesion and friction angle average between the product and the the wall of the silo). It was concluded that the products are classified as cohesive powder, to the walls examined, the diameter of the hole did not differ numerically to tilt the hopper numerical difference between the walls.

KEYWORDS: store, outlet, hopper

INTRODUÇÃO

Cultivada desde o período colonial, a cana-de-açúcar tornou-se uma das principais culturas da economia brasileira. O Brasil não é apenas o maior produtor de cana, mais também o primeiro do mundo na produção de açúcar (Mapa, 2015). É nesse aspecto de relevância deste setor agroindustrial que se justifica a necessidade do conhecimento e disseminação das informações pertinentes aos processos de armazenamento evitando qualquer tipo de risco à qualidade do produto.

Para o projeto de unidades armazenadoras para o açúcar é necessário o prévio conhecimento de suas propriedades de fluxo, com o intuito de evitar a obstrução do fluxo durante o descarregamento do produto. As propriedades físicas, de fluxo e condições externas como pressão, temperatura e umidade são as principais responsáveis por esse acontecimento (Teunou et al., 1999).

A capacidade de escoamento de produtos pulverulentos é definida como a capacidade de um pó fluir sob um determinado conjunto de condições. Em termos específicos, o conhecimento das

propriedades de fluxo de pós são importantes, tais como a resistência ao escoamento depende, fortemente e de forma não linear, do grau de consolidação instantâneo (Vasilenko et al., 2011).

Métodos de caracterização do fluxo são muitas vezes utilizados para escolher o material construtivo mais adequado para um determinado processo e como ferramentas preditivas para analisar o desempenho do processo de escoamento do produto. Por conseguinte, estes métodos têm um papel muito importante no processo de desenvolvimento de silos para o armazenamento desses produtos. Existem vários métodos para caracterizar as propriedades de fluxo dos produtos, tais como por meio de células de cisalhamento (Vasilenko et al., 2013).

Jenike (1964) desenvolveu um aparelho de cisalhamento direto com o objetivo de se determinar as propriedades de fluxo de produtos granulares, denominado "Jenike Shear Cell", sendo seu uso recomendado pela maioria das normas internacionais. Além disso, através de uma análise bidimensional dos esforços, é possível também o desenvolvimento de uma metodologia matemática para o dimensionamento da tremonha com a determinação do ângulo mínimo da tremonha e dimensão de seu orifício de descarga (Lopes Neto & Nascimento, 2013).

Ante o exposto, objetivou-se com este trabalho a determinação as propriedades de fluxo e as características de atrito do produto com a parede do silo, para dois tipos de açúcar (cristal e confeiteiro), utilizando a técnica de células de cisalhamento.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente (LaCRA) da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB.

Foram determinadas as propriedades físicas e de fluxo, dos açúcares do tipo cristal e de confeiteiro, adquiridos no mercado local da cidade de Campina Grande – PB.

Para a determinação da granulometria dos produtos foi utilizado um conjunto de peneiras padrão ABNT/ASTM, as quais foram montadas em ordem decrescente, em função da malha, e agitadas em um vibrador elétrico por um período de 5 minutos.

O teor de umidade foi aferido seguindo orientações do ICUMSA (International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis), em triplicata, utilizando-se 30 g do produto para cada repetição, levadas a estufa com circulação forçada de ar a temperatura de $105 \pm 3^\circ\text{C}$, durante um intervalo de tempo de 3 horas.

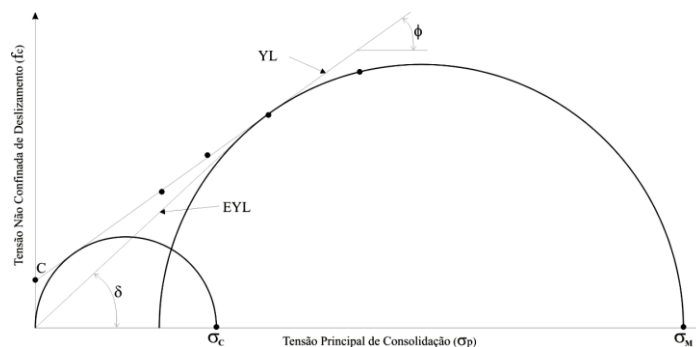
As propriedades de fluxo inquiridas neste trabalho foram: peso específico, em função da consolidação (γ), ângulo de atrito interno (ϕ_i), efetivo ângulo de atrito interno (δ), coesão (C), ângulo de atrito com a parede (ϕ_w). Para determinação das propriedades de fluxo adotou-se a metodologia recomendada pela British Materials Handling Board – BMHB (1985) e, para aquisição dos dados, utilizou-se o aparelho de cisalhamento translacional (TSG 70-140), conhecido internacionalmente como “Jenike Shear Cell” (Figura 1), acoplado ao *datalogger Spider 8*, utilizando o software *Catman 4.5*.

Figura 1. Célula de cisalhamento direto e aparelho TSG 70-140



De posse dos resultados e com o auxílio de um software de computação gráfica, foram traçadas as curvas de tensão normal versus tensão de cisalhamento (σ , τ), para as cargas utilizadas, o que possibilitou traçarem-se os círculos de tensões de Mohr (Figura 2).

Figura 2. Lugares geométricos e ângulos de atrito interno



Fonte: Adaptado de LOPES NETO (2009)

O ângulo de atrito com a parede (ϕ_w) foi determinado pelo mesmo equipamento descrito na Figura 1, tendo uma mudança na base do anel inferior da célula de Jenike pela amostra do material de parede, e também a carga adotada. Os materiais de parede utilizados neste experimento foram o aço rugoso, aço inox, alumínio e acrílico por serem frequentemente empregados na construção de silos.

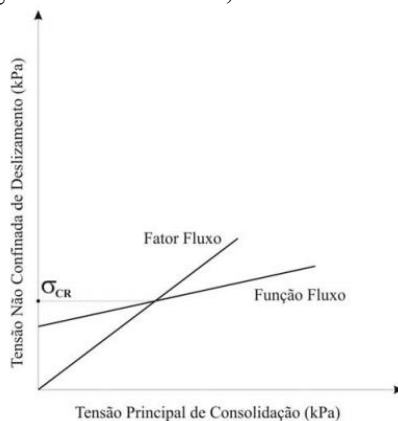
Os níveis de cargas normais adotados neste trabalho estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Níveis de cargas normais utilizadas no ensaio de cisalhamento direto

Pré-Cisalhamento (N)	Cargas Normais	
	Cisalhamento (N)	Atrito com a parede (N)
50	35 ; 20 ; 10	
35	20 ; 10 ; 7	50 ; 40 ; 30 ; 20 ; 10 ; 4,4
25	10 ; 7 ; 4,4	

A determinação da Função fluxo do produto (FF) foi realizada plotando-se os pontos da σ_M versus σ_C obtidos através do conhecimento dos círculos de tensões de Mohr. Com a interceptação de FF pelo Fator fluxo da tremonha (ff), determinou-se a tensão crítica (σ_{cr}) a fim de se projetar um orifício de descarga que evite a formação de arcos coesivos que provocam obstrução durante a descarga (Figura 3).

Figura 3. Curvas de ff, FF e valor de σ_{cr} .



RESULTADOS E DISCUSSÃO

O açúcar cristal possui quase que a totalidade de suas partículas com dimensão imediatamente superior a 0,296 mm enquanto o açúcar confeiteiro apresenta maior distribuição das partículas nas demais peneiras.

Os teores de umidade verificados durante os ensaios para o açúcar cristal foram de 0,304% (b.u) nas amostras coletadas no início do experimento e de 0,244% (b.u) das amostras coletadas no final do experimento, para o açúcar confeiteiro verifica-se o teor de umidade 0,323 % (b.u.) no início e 0,256% (b.u.) no final dos ensaios, em concordância com o esperado em função de seu processo de fabricação. Durante o período dos ensaios, os produtos permaneceram em ambiente com temperatura controlada de 20°C e reduzido teor de umidade do ar.

As propriedades de fluxo dos produtos se encontram na Tabela 2, na qual é importante destacar uma variação maior entre os limites inferior e superior, obtida para o ângulo de atrito interno (ϕ_i) do açúcar confeiteiro, em torno de 11% enquanto que para o açúcar cristal esta variação não ultrapassou os 6%. Conforme Lopes Neto & Nascimento (2013) que afirmam que quanto maiores os limites para ϕ , maior será a facilidade de cisalhamento e, conseqüentemente o fluxo. Nota-se que o açúcar cristal possui maiores limites para (ϕ_i), com isso terá maior facilidade no fluxo, quando comparado ao açúcar confeiteiro.

Corroborando com a afirmativa, tem-se que a coesão de partículas (C) em que se obteve o maior resultado para o açúcar confeiteiro indicando tratar-se de um produto de alta coesão, podendo desenvolver problemas em seu descarregamento, sob diferentes condições de armazenagem.

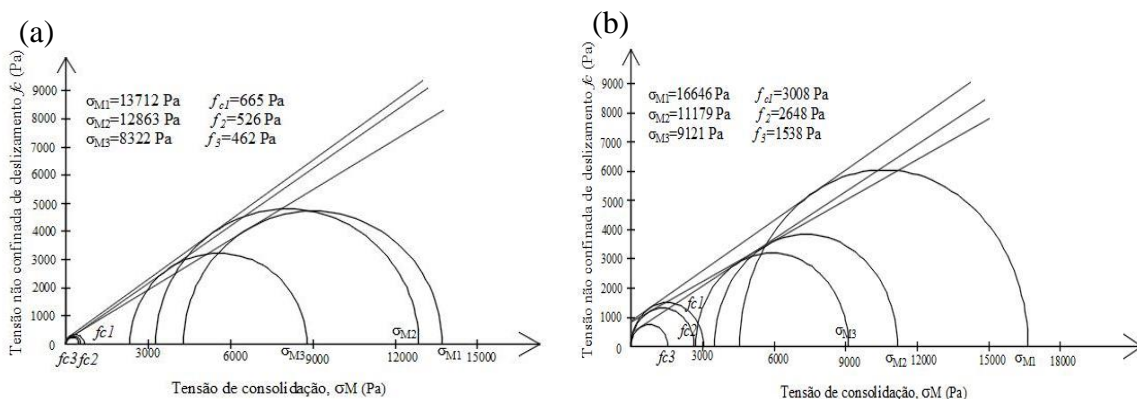
Tabela 2. Propriedades de fluxo dos açúcares

Produto	γ		ϕ		δ		ϕ_w		C (Pa)	
	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf	Sup
Açúcar Cristal	970,7	999,2	31,2	36,5	34,0	38,0	14,9	21,2	107,8	177,2
Açúcar Confeiteiro	862,3	875,2	25,0	36,0	32,0	39,0	20,8	27,3	141,0	886,0

γ - peso específico consolidado ($N m^{-3}$); ϕ - ângulo de atrito interno ($^{\circ}$); δ - efetivo ângulo de atrito interno ($^{\circ}$); ϕ_w - ângulo de atrito interno com parede de aço liso ($^{\circ}$); C - média da coesão de partículas (Pa); Inf, Sup - limites inferior e superior, respectivamente.

As Figuras 4a e 4b representam as tensões de consolidação (σ_M) e tensões não confinadas de deslizamento (f_c) para as séries de cargas de 50, 35 e 25 N para os produtos analisados. Observa-se que os maiores valores de σ_M foram obtidos para o açúcar confeiteiro (Figura 4b) entre 9121 e 16646 Pa, demonstrando que este produto desenvolve maior estado de tensão ativa.

Figura 4. Círculos de tensões de Mohr para: (a) o açúcar cristal; e (b) Açúcar confeiteiro



Na Tabela 3 se encontram as características geométricas da tremonha cônica com diferentes tipos de materiais, podendo-se ressaltar uma inclinação máxima com a horizontal foi de 79,01° para o açúcar confeiteiro para parede de aço liso, seguido da parede de acrílico com 76,67°. O maior valor de ff foi obtido para o açúcar confeiteiro demonstrando ineficiência da tremonha em promover o fluxo, juntamente com a maior abertura de descarga encontrada (0,295 m), o que é justificado pela alta coesão do açúcar confeiteiro, mostrando-se mais suscetível a impedimento no fluxo. Para o açúcar cristal, o diâmetro do orifício não ultrapassou os 0,08m.

Tabela 3. Características geométricas da tremonha

Paredes	ff	Tensão crítica (Pa)	θ (°)	H(θ)	Dm(m)
Aço liso	1,58	194,75	63,406	2,46	0,0768
Aço Rugoso	1,53	194,5	71,256	2,3	0,0704
Alumínio	1,57	194,75	63,672	2,53	0,078
Acrílico	1,61	195	59,354	2,55	0,0784
Aço liso	1,55	1134	79,01	2,25	0,295
Aço rugoso	1,66	1130	63,61	2,25	0,294
Acrílico	1,57	1131	76,67	2,25	0,294
Alumínio	1,58	1131	74,29	2,25	0,294

CONCLUSÃO

Os açúcares foram classificados como pulverulentos e o açúcar de confeiteiro em especial, pode apresentar problemas de fluxo devido a sua coesão ser considerada alta quando comparado ao açúcar cristal.

A inclinação da tremonha para o açúcar confeiteiro foi 10% maior que para o açúcar cristal, assim como o orifício de descarga.

AGRADECIMENTOS

A Capes pela concessão de bolsa de pesquisa dos autores.

REFERÊNCIAS

- British Materials Handling Board. Draft code of practice for the design of silos, bins, bunkers and hoppers. London: 1985.
- Jenike, A.W. Storage and flow of silos. Salt Lake City. University of Utah. Bulletin 123. Engineering Experiment Station (1964).
- Lopes Neto, J. P.; Nascimento, J. W. B. . Características de fluxo e projeto de tremonhas cônicas em silos verticais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online), v. 17, p. 339-345, 2013.
- Ministério da Agricultura Pecuária e Armazenamento (MAPA). Cana-de-açúcar. 2015.
- Teunou, E.; Fitzpatrick, J. J.; Synnott, E. C. Characterisation of food powder flowability. Journal of Food Engineering, Elsevier Science, n.39, p.31-37, 1999.
- Vasilenko, A.; Koynov, S.; Glasser, B. J.; Muzzio, F. J. Role of consolidation state in the measurement of bulk density and cohesion. Powder Technology, v.239, p.366-373, 2013.
- Vasilenko, A.; Glasser, B. J.; Muzzio, F. J. Shear and flow behavior of pharmaceutical blends – Method comparison study. Powder Technology. v.208, p.628-636, 2011.