

A INFLUÊNCIA DO MATERIAL DE PAREDE DE SILOS NOS COEFICIENTES DE ATRITO ESTÁTICO E DINÂMICO DOS GRÃOS DE CAFÉ EM PERGAMINHO DE DIFERENTES VARIEDADES

Rodrigo M. RIBEIRO¹ E-mail: ribeiro_rm@yahoo.com.br, Paulo C. AFONSO JÚNIOR², Paulo C. CORRÊA³, Francisco C. GOMES⁴ e Daniel M. de QUEIROZ⁵

¹Graduando de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, ²D. S. Pesquisador Embrapa Café, Brasília, DF, ³D. S. Prof. Adjunto, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, ⁴D. S. Prof. Adjunto, Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, ⁵Prof. Adjunto, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG

Resumo:

A qualidade do café é fator preponderante para o êxito no processo produtivo. O armazenamento do café é de fundamental importância para a qualidade final do produto, visto ser esta etapa a que antecede a comercialização e que se torna cada vez mais necessária em virtude da flutuação do mercado cafeeiro. Considerando-se a importância das estruturas de armazenamento para a qualidade final do café, assim como a necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias e de soluções dos problemas existentes, ressalta-se a importância de estudos sobre as possíveis opções para o armazenamento deste produto, destacando-se, dentre elas, a utilização de silos, ou seja, o armazenamento a granel. No presente estudo objetivou-se determinar os coeficientes de atrito estático e dinâmico dos grãos de café em diferentes materiais de parede, utilizados na confecção de silos. Foram utilizados grãos de café com pergaminho, da espécie *Coffea arabica* L., variedades Catuaí Vermelho e Amarelo, Mundo Novo, Rubi e Topázio, com umidade de 12% b.u.. O aparelho utilizado para a determinação dos coeficientes de atrito foi o TSG 70-140, equipamento de cisalhamento, construído com base no aparelho de cisalhamento de Jenike. A metodologia utilizada foi à proposta por MILANI (1993), e recomendações da norma inglesa – BMHB (1985), JENIKE e JOHANSON (1979) e o Manual de Operações da Máquina TSG 70-140. Com os resultados obtidos pôde-se observar que dentro das condições que foram utilizadas no presente estudo, os coeficientes de atrito, tanto estático como dinâmico, foram influenciados pela superfície do material de parede independentes das variedades. Observa-se que para cada material de parede não houve diferença significativa entre as variedades, salvo para o concreto rugoso, onde os coeficientes de atrito para Catuaí Amarelo e Vermelho diferiram dos valores de Mundo Novo, Rubi e Topázio. Os coeficientes de atrito estático e dinâmico mostraram uma tendência de serem maiores para o concreto rugoso e decrescendo na ordem aço rugoso, polietileno e alumínio.

Palavras-chave: armazenamento, café, Jenike, propriedades físicas de atrito.

THE INFLUENCE OF THE BIN WALL MATERIAL ON THE STATIC AND DYNAMIC FRICTION COEFFICIENTS OF DIFFERENT VARIETIES OF PARCHMENT COFFEE BEANS

Abstract:

The coffee quality is preponderant factor for the success in its production process chain. The coffee storage operation is a fundamental importance for achieving the final quality of the product since this stage precedes the marketing operation and this fact becomes necessary to take more care due to the coffee market price flotation. Thus considering the importance of the storage structures for the final coffee quality as well the need for development of new technologies and solutions of the real problems, the importance of these studies is to enhance and to visualize the possibility for storing green coffee beans in silos in bulk way. In the present study it was aimed to determine the coffee beans static and dynamic friction coefficients on different wall materials, normally used in silos. Parchment coffee beans were used, *Coffea arabica* L. species, Catuaí Vermelho and Amarelo, Mundo Novo, Rubi and Topázio varieties with 12% w.b. moisture content. The equipment used was the Testing Machine model TSG 70-140 based on Jenike Shear Test Equipment for determining the friction coefficients. The methodology used was that proposed by MILANI (1993), according to the English Standard – BMHB (1985), JENIKE e JOHANSON (1979) and the Manual of Operations of the Machine TSG 70-140. From the results obtained it could be observed that either Static or Dynamic friction coefficients were more affected by the silo wall surface type than from the different varieties of parchment coffee. Also it was observed that for each wall material there was no significant difference among the varieties except for the rough concrete, where the friction coefficients for Catuaí Amarelo and Vermelho they differed from the Mundo Novo, Rubi and Topázio varieties values. The static and dynamic friction coefficients showed a tendency to be higher for the rough concrete and decreasing from the rough steel to polyethylene and at last to the aluminum surfaces.

Key words: storage, coffee, Jenike, physical properties, friction.

Introdução

Atualmente, o café é armazenado segundo o sistema convencional, em sacos de juta empilhados nos armazéns. Este tipo de armazenagem ainda é muito utilizado devido, principalmente, ao grande número de armazéns já construídos e em funcionamento no País. Entretanto, este sistema tem sido criticado devido aos custos da sacaria e de mão-de-obra indispensável para o seu manuseio. Outro fator econômico importante no manuseio do café é a redução nos gastos de transporte do produto beneficiado e a granel, devido à possibilidade de transportar maior quantidade, em volume igual àquele ocupado pelo café ensacado.

Ao longo dos anos, vários trabalhos comprovaram que o armazenamento do café a granel é viável e, muitas vezes superior ao tradicional, em armazéns onde o produto é estocado em sacos de juta. Ao manusear os produtos armazenados a granel, em silos com descarga por gravidade, é fundamental que os movimentos de entrada e saída desses produtos ocorram de forma efetiva e eficiente, sendo que, para isto, é necessário conhecer as relevantes propriedades físicas e de fluxo dos produtos.

As características de descarga do material armazenado, o tipo de segregação, a formação ou não de material sem movimento, o completo esvaziamento do silo, as distribuições de pressões nas paredes e fundações, a integridade e o custo da construção podem ser determinados, direta ou indiretamente, de acordo com o tipo de fluxo, o qual, por sua vez, deve ser determinado quando o silo está sendo selecionado, projetado e ou quando são previstas mudanças em suas estruturas. O primeiro passo para o projeto de fluxo e estruturas de silos verticais, consiste em determinar as propriedades físicas de produtos armazenados, o que deve ser realizado levando-se em conta as condições mais severas que possam ocorrer no silo.

De acordo com várias normas internacionais, o tipo de fluxo pode ser pré-definido a partir de dois gráficos, que relacionam o ângulo ou o coeficiente de atrito do produto com a parede e o ângulo de inclinação das paredes para dois tipos de tremonha, retangular ou em cunha e cônica. O tipo de fluxo determina as características de descarga do produto, o tipo de segregação, à formação ou não de zonas de produto sem movimento e se o silo pode ser esvaziado completamente. Também determinam a distribuição de pressões nas paredes do silo e fundação, a integridade e o custo da construção (CALIL JR., 1990).

O conhecimento das propriedades físicas dos produtos armazenados é importante para a determinação, por exemplo, do coeficiente K , que é definido como a relação entre a pressão horizontal e a vertical em qualquer ponto de uma massa granular, sendo também conhecido como coeficiente de pressão lateral. O coeficiente K é um dos parâmetros necessários para o cálculo das pressões que o produto exerce sobre as paredes e o fundo de um silo, sendo, como já visto indispensável para o cálculo das pressões e também totalmente dependente de algumas propriedades dos produtos armazenados.

Objetivou-se com o presente trabalho determinar os coeficientes de atrito do café da espécie *Coffea arabica* L., das variedades Catuaí Vermelho e Amarelo, Mundo Novo, Rubi e Topázio, para diferentes materiais de parede utilizados em construções de silos.

Material e Métodos

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Pré-Processamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) e no Laboratório de Propriedades Físicas e Avaliação de Qualidade de Produtos Agrícolas do Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (CENTREINAR), localizado no campus da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG.

Foram utilizados grãos de café com pergaminho da espécie *Coffea arabica* L., variedades Catuaí Vermelho e Amarelo, Mundo Novo, Rubi e Topázio, com umidade de 12% b.u.. O produto foi homogeneizado e colocado para secar em estufa com ventilação forçada de ar à temperatura de $40 \pm 1^\circ\text{C}$ para obtenção da umidade desejada, que foi determinada pelo método da estufa ($105 \pm 3^\circ\text{C}$) em um período de 24 horas (Brasil, 1992).

Os materiais de parede utilizados para a determinação dos coeficientes de atrito estático e dinâmico foram: aço rugoso, concreto rugoso, polietileno e alumínio, apresentando rugosidades, sendo estes os mais utilizados na confecção e revestimento de silos.

A determinação dos coeficientes de atrito estático e dinâmico do café foi feita, utilizando o equipamento de cisalhamento modelo TSG 70-140, construído com base no aparelho de cisalhamento de Jenike. A metodologia empregada para a determinação dos coeficientes de atrito estático e dinâmico foi a proposta por MILANI (1993), sendo que, para a execução do ensaio, foram utilizadas as recomendações da norma inglesa – BMHB (1985), JENIKE e JOHANSON (1979) e o Manual de Operação da Máquina TSG 70-140.

O produto contido dentro do anel e da tampa cisalhante foi cisalhado sob diferentes tensões normais (σ_w) de 0, 1, 2, 3, 4 e 5 Kgf e os valores das tensões de cisalhamento (τ_w) foram registrados. Com a ajuda de uma planilha de cálculos foram determinados os valores dos coeficientes de atrito estático e dinâmico das diferentes variedades de café.

Resultados e Discussão

Os valores médios dos coeficientes de atrito estático e dinâmico dos grãos de café da espécie *Coffea arabica* L., variedades Catuaí Vermelho e Amarelo, Mundo Novo, Rubi e Topázio, determinados em diferentes materiais de parede estão apresentados nas Tabelas 1 e 2 respectivamente.

Tabela 1 – Valores médios dos coeficientes de atrito estático dos grãos de café com pergaminho da espécie *Coffea arabica* L., variedades Catuaí Vermelho e Amarelo, Mundo Novo, Rubi e Topázio, para os materiais de parede alumínio, aço rugoso, concreto rugoso e polietileno.

Variedades	Material de Parede			
	Alumínio	Aço Rugoso	Concreto Rugoso	Polietileno
Catuaí Amarelo	0,1573 a	0,4587 c	0,4647 c	0,2556 b
Catuaí Vermelho	0,1443 a	0,4803 c	0,4853 c	0,2184 b
Mundo Novo	0,1483 a	0,4403 c	0,4988 d	0,2411 b
Rubi	0,1440 a	0,4635 c	0,5008 d	0,2203 b
Topázio	0,1476 a	0,4629 c	0,4933 d	0,2283 b

Para cada teste realizado, as médias seguidas pela mesma letra nas linhas e colunas não diferem estatisticamente a 1% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 2 – Valores médios dos coeficientes de atrito dinâmico dos grãos de café com pergaminho da espécie *Coffea arabica* L., variedades Catuaí Vermelho e Amarelo, Mundo Novo, Rubi e Topázio, para os materiais de parede alumínio, aço rugoso, concreto rugoso e polietileno.

	Alumínio	Aço Rugoso	Concreto Rugoso	Polietileno
Catuaí Amarelo	0,1471 a	0,4417 c	0,4566 c	0,2275 b
Catuaí Vermelho	0,1250 a	0,4668 c	0,4798 c	0,1675 b
Mundo Novo	0,1330 a	0,4152 c	0,4901 d	0,1871 b
Rubi	0,1254 a	0,4472 c	0,4977 d	0,1882 b
Topázio	0,1390 a	0,4524 c	0,4901 d	0,2121 b

Para cada teste realizado, as médias seguidas pela mesma letra nas linhas e colunas não diferem estatisticamente a 1% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

De acordo com SHERWOOD, citado por MOSHENIN (1986), a força de atrito pode ser considerada como sendo composta por duas componentes principais, uma força necessária para deformar e cisalhar as “asperezas” das superfícies em contato e uma outra força necessária para superar a adesão ou coesão entre as superfícies.

Os valores dos coeficientes de atrito estático e dinâmico apresentados nas Tabelas 1 e 2 aumentaram com a elevação da rugosidade dos materiais de parede, crescendo na ordem, alumínio, polietileno, aço rugoso e concreto rugoso, concordando com SILVA (2003) que determinou para grãos de café com pergaminho da espécie *Coffea arabica* L., variedade Catuaí Vermelho para diferentes teores de umidade. Tal fato também foi constatado por vários autores.

Pode-se verificar também que para cada material de parede não houve diferença significativa entre as variedades, salvo para o concreto rugoso, onde os coeficientes de atrito para Catuaí Amarelo e Vermelho diferiram dos valores de Mundo Novo, Rubi e Topázio.

Conclusão

Os resultados obtidos no presente trabalho permitiram concluir que:

- Os coeficientes de atrito estático e dinâmico foram influenciados pela superfície dos materiais de parede independente das variedades de café analisadas.
- Os coeficientes de atrito estático e dinâmico foram menores para o alumínio e apresentaram e maiores para o concreto rugoso.
- Os coeficientes de atrito estático e dinâmico mostraram diferença entre as variedades apenas para o material de parede concreto rugoso.

Referências bibliográficas

- Brasil. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Regras para análise de sementes. Brasília: DNDV/CLAV, 1992. 365p.
- British Materials handling Board – BMHB. Draft code of practice for the design of silos, bins, bunkers and hoppers. Inglaterra, 1985, 101p.
- Calil jr., C. Recomendações de fluxo e de cargas para o projeto de silos verticais. São Carlos, USP, 1990. 198p.
- Calil jr., C.; Araújo, E.C.; Nascimento, J.W. Silos Metálicos Multicelulares. São Carlos, USP, 1997, 178p.
- Jenike, A.W.; Johanson, J.R. Flowfactor tester and consolidating bench operating instructions. Jenike & Johanson, Inc, North Billerica, Massachusetts - USA, 1979, 40p. (Manual Técnico).
- Milani, A.P. Determinação das propriedades de produtos armazenados para projetos de pressões e fluxo em silos. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1993. 272p. (Tese de Doutorado).
- Moshenin, N.N. Physical properties of plant and animal materials. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986. 841p.
- Silva, F. S. Propriedades físicas dos grãos de café como subsídio em projetos de equipamentos e de silos utilizando a metodologia de Jenike. Viçosa: UFV, 2003. 117p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.