

ESCOABILIDADE DE GRÃOS E PÓ DE CAFÉ: EFEITO DA TORREFAÇÃO, DA MOAGEM E DO ARMAZENAMENTO

GABRIEL H. H. OLIVEIRA¹, PAULO C. CORRÊA², ANA P. L. R. OLIVEIRA³,
CARLITO CALIL JUNIOR⁴, GUILLERMO A. VARGAS-ELÍAS⁵

¹ Eng^o Agrícola e Ambiental, Prof. Doutor, Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais, Manhuaçu-MG, Fone: (33) 3333-0100, gabriel.oliveira@ifsudestemg.edu.br.

² Eng^o Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa-MG

³ Bacharel em Química, Prof^a Doutora, Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais, Manhuaçu-MG.

⁴ Eng^o Civil, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, SP.

⁵ Eng^o Agrícola, Doutor, Centro de Investigaciones en Granos y Semillas, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

Apresentado no
XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020
23 a 25 de novembro de 2020 - Congresso On-line

RESUMO: A escoabilidade dos produtos agrícolas é importante fator a ser considerado na pós-colheita, impactando diretamente no número de operações e no dimensionamento de maquinários. Assim, objetivou-se avaliar e determinar o coeficiente K e a função fluxo de grãos de café em função de diferentes níveis de torra, granulometria, temperatura e tempo de armazenamento. Foram utilizados grãos de café cru (*Coffea arabica* L.), descascados e secos, sendo torrados em dois níveis: média clara e moderadamente escura. Após a torrefação, os grãos foram moídos em três granulometrias (fina, média e grossa), sendo mantido um lote de grãos inteiros, e armazenados a 10 e 30°C por 6 meses. As amostras de café inteiras foram caracterizadas como de fluxo livre, sendo que quanto maior o grau de moagem, mais o produto se aproxima de fluxo de produto coesivo. As amostras de café torradas média clara, inteiras e armazenadas a 30 °C foram as que necessitam de estruturas de armazenagem que suportem maiores pressões, relatadas pelos valores do coeficiente K.

PALAVRAS-CHAVE: fluxo, Jenike, dimensionamento

FLOWABILITY OF COFFEE BEANS AND COFFEE POWDER: EFFECT OF ROASTING, GRINDING AND STORAGE

ABSTRACT: Flowability of agricultural products is an important factor to be considered at post-harvest, impacting directly on number of operations and the design of machinery. Thus, the objective was to evaluate and determine the K coefficient and the flow function as a function of different levels of roasting, granulometry, temperature and storage. Raw coffee beans (*Coffea arabica* L.), dehulled and dried, were roasted at two levels: medium light and moderately dark. After roasting, the beans were ground in three sizes (fine, medium and coarse), and a batch of whole grains was kept, and stored at 10 and 30°C for 6 months. Whole coffee samples were characterized as free flow, being that at higher grinding, the product approaches cohesive flow. Coffee samples roasted at medium light degree, stored at 30 °C are the ones that requires storage structures that supports higher pressures, reported by the K coefficient values.

KEYWORDS: flow, Jenike, design

INTRODUÇÃO: A escoabilidade de produtos interfere diretamente no custo operacional, uma vez que influencia o tempo de processamento bem como a periodicidade de manutenção dos equipamentos utilizados. O transporte e manuseio do café torrado e moído de forma adequada requer o conhecimento da escoabilidade do produto em diferentes situações. Para entender a escoabilidade, o coeficiente K e a função fluxo fornecem importantes parâmetros para o dimensionamento dos maquinários. O coeficiente K 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, e é utilizado para o cálculo das pressões que o produto exerce sobre as paredes e o fundo de um silo. A função fluxo é uma medida da resistência do produto em fluir em uma superfície livre, apresentando a função da máxima pressão de consolidação. Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar e determinar o coeficiente K e a função fluxo de grãos de café ao longo do armazenamento, bem como avaliar a influência de diferentes níveis de torra e granulometria sobre essas propriedades.

MATERIAL E MÉTODOS: Foram utilizados frutos de café (*Coffea arabica* L.), bica corrida, secos e descascados. Os grãos foram submetidos a uma triagem para eliminar os grãos deteriorados, danificados e brocados, a fim de se obter uma matéria-prima homogênea e com o mínimo de defeitos. O teor de água médio inicial dos grãos foi de 12,61 % (b.s.), tendo sido determinado pelo método gravimétrico, utilizando uma estufa com circulação forçada de ar a 105 ± 1 °C por 24h. Os grãos de café foram torrados em torrefador de queima direta de gás GLP, com cilindro rotativo a 45 rpm e capacidade de 350 g de café cru. Dois níveis de torra foram obtidos: média clara (MC) e moderadamente escura (ME), cujos números Agron correspondentes são, respectivamente, SCAA#65 e SCAA#45. Após o processo de torrefação, os grãos foram processados em moinho Mahlkönig, em três granulometrias diferentes: fina (0,59 mm), média (0,84 mm) e grossa (1,19 mm), além de mantido um lote de café inteiro. As amostras foram então colocadas em sacos de polipropileno e mantidas em câmaras tipo B.O.D. em duas temperaturas de armazenamento (10 e 30 °C). Sendo analisadas em cinco tempos de armazenamento (0, 30, 60, 120 e 180 dias). A determinação do efetivo ângulo de atrito interno do produto (ϕ_e), da tensão máxima de consolidação (σ_1), e da resistência inconfínada de deslizamento (σ_{1c}) foi realizada utilizando-se um equipamento de cisalhamento modelo TSG 70/140, construído com base no aparelho de cisalhamento de Jenike. As equações 1 e 2 foram utilizadas para a determinação da Função Fluxo (FF) e do coeficiente K (NASCIMENTO E CALIL JUNIOR, 2009), respectivamente.

$$FF = \sigma_1 / \sigma_{1c} \quad (1)$$

em que,

FF - função fluxo, adimensional;

σ_1 - tensão máxima de consolidação, kPa; e,

σ_{1c} - resistência inconfínada de deslizamento, kPa.

$$K = 1,2 * (1 - \text{sen } \phi_e) \quad (2)$$

em que,

K - coeficiente de pressão lateral, adimensional; e,

ϕ_e - efetivo ângulo de atrito interno do produto, grau.

O experimento foi instalado em um esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas o tempo de armazenamento e nas subparcelas um fatorial $2 \times 4 \times 2$ (dois níveis de torrefação, quatro níveis de granulometria e duas temperaturas de armazenamento), em triplicata. Os dados

experimentais foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey adotando-se um nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Observando-se a Figura 1, nota-se que o coeficiente K aumenta com o tamanho das partículas e têm maiores valores no nível de torrefação MC. Dessa forma, o café torrado ao nível MC e inteiro requer estruturas de armazenagem que suportem maior pressão.

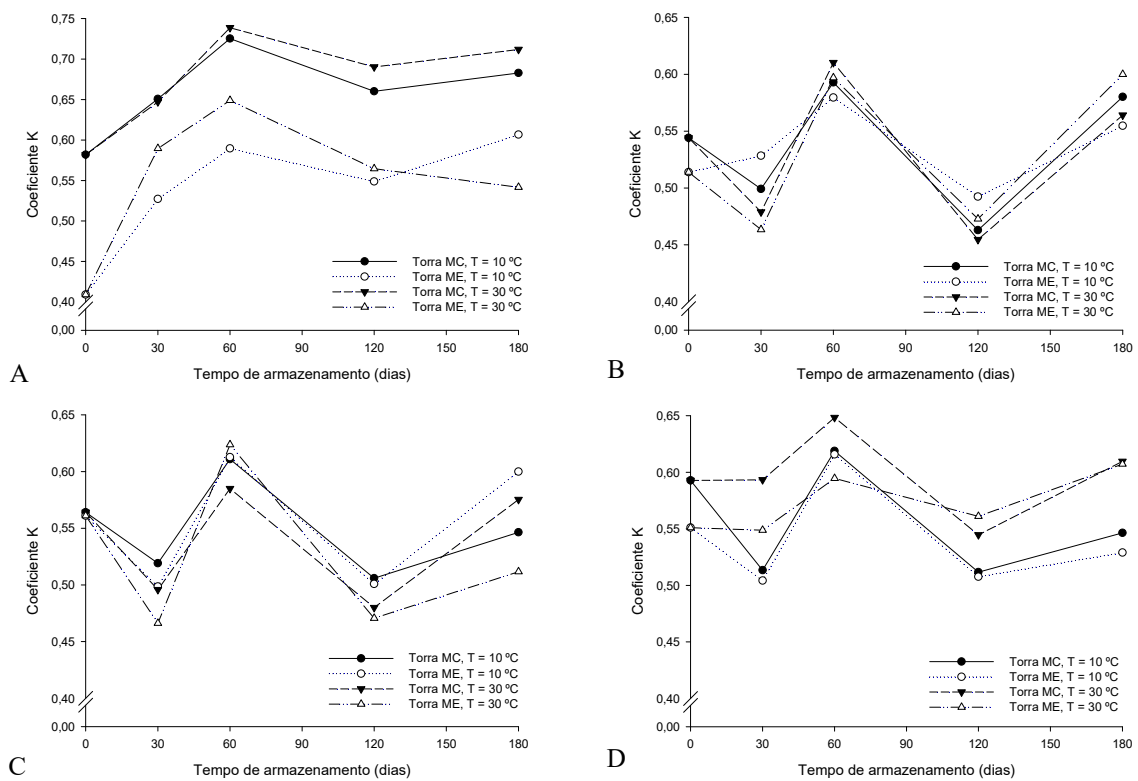


FIGURA 1. Valores médios do coeficiente K de *C. arabica* torrado, granulometria inteira (A), fina (B), média (C) e grossa (D), ao longo do armazenamento a 10 e 30 °C.

Especificamente para o café torrado e moído, menores graus de moagem levam a necessidade de estruturas que absorvam maior pressão durante as operações pós-colheita. Caso o produto seja armazenado a 30 °C, também haverá a necessidade de silos com maior capacidade de suportar as pressões desempenhadas por ele. Os valores do coeficiente K variaram entre 0,4497 e 0,7408; 0,4091 e 0,7113; 0,4091 e 0,7253; 0,4091 e 0,7408; 0,4091 e 0,7388; 0,4416 e 0,6213; 0,4287 e 0,6428; 0,5043 e 0,7408; respectivamente para as amostras de café torradas ao nível MC e ME, armazenadas a 10 e 30 °C, de granulometria inteira, fina, média e grossa. De acordo com JENIKE (1980), a função fluxo pode ser classificada de acordo com determinados valores-limites ou índices, visto ser esta propriedade relação direta entre a pressão de consolidação e a resistência inconfina (resistência ao deslizamento). Para a análise do comportamento de fluxo do produto em suas diferentes condições de torra, granulometria e armazenamento, os valores limites da Função Fluxo apresentados por JENIKE (1964) são utilizados (Tabela 1).

TABELA 1. Análise da fluidez, de acordo com JENIKE (1964).

Função Fluxo (FF)	Resultado
FF < 2	Produtos muito coesivos, não fluem
2 < FF < 4	Produtos coesivos
4 < FF < 10	Produtos que fluem facilmente
FF > 10	Produtos de fluxo livre

Quando os resultados são comparados com a Tabela 1, conclui-se que os grãos de café torrados e mantidos inteiros podem ser considerados como de fluxo livre (FF > 10), independentemente da espécie avaliada, do nível de torrefação e da temperatura de armazenagem. A granulometria do café moído, no entanto, apresentou um comportamento distinto ao observado para as amostras inteiras. Os valores de FF decresceram ao passo que a moagem se tornava mais intensa (granulometria fina), indicando que quanto maior o grau de moagem do café, maior será a dificuldade do produto em escoar. De acordo com os valores encontrados, o café moído grosso pode ser classificado como produto que flui facilmente (4 < FF < 10), ao passo que o café moído médio alterna entre esta classificação e como produto coesivo (2 < FF < 4) ao passar do tempo de armazenamento. Já as amostras moídas fina são classificadas somente como produto coesivo. A torrefação e a temperatura de armazenagem influenciaram o fluxo do produto. De modo geral, as amostras torradas ao nível MC obtiveram maiores valores desta propriedade que as torradas ao nível ME, fato este intimamente ligado ao teor de água do produto. Por outro lado, as amostras armazenadas a 10 °C apresentaram maiores valores de FF que as armazenadas a 30 °C. Este fato se deve à baixa temperatura que acarreta menor interação com o ambiente e, conseqüentemente, menor adsorção de água do café durante o armazenamento.

CONCLUSÕES: Com base nos resultados obtidos e nas condições em que foi realizado o experimento, conclui-se que: a) as amostras de café mantidas inteiras são caracterizadas como de fluxo livre; para as amostras de café moídas, quanto maior o grau de moagem, mais o produto se aproxima de fluxo de produto coesivo; b) as amostras de café torradas MC, inteiras e armazenadas a 30 °C são as que necessitam de estruturas de armazenagem que suportem maiores pressões, em função dos maiores valores do coeficiente K.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem ao CNPq, FAPEMIG e ao IF Sudeste MG, pelo auxílio financeiro por meio de projetos e bolsas.

REFERÊNCIAS:

JENIKE, A. W. **Storage and flow of silos**. Bulletin 123. Salt Lake City: University of Utah, 1964. 89p.

JENIKE, A. W. **Storage and flow of solids**. Salt Lake City: University of Utah, 1980. 197p.

NASCIMENTO, F. C.; CALIL JUNIOR, C. A relação entre as pressões horizontais e verticais em silos elevados: o parâmetro K. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 11, n. 52, p. 17-37, 2009.