

# Estudo sobre o Escoamento Gravitacional de Pó na Descarga de Reservatórios

Lucas Massaro Sousa<sup>1\*</sup>, Maria do Carmo Ferreira<sup>2</sup>

1. Estudante de IC da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar; \*lucas.massarosousa@gmail.com

2. Pesquisadora do Depto.de Engenharia Química, UFSCar, São Carlos/SP

Palavras Chave: Alumina, escoamento, vazão mássica .

## Introdução

A predição do padrão de escoamento e a vazão de descarga de pó a partir de silos é um fenômeno complexo, dependente das características físico-químicas dos materiais, das dimensões e geometrias dos reservatórios e da carga e compactação do pó. Como alternativa à fundamentação teórica do escoamento, muitos autores elaboraram equações empíricas para estudar os fenômenos envolvidos. Para partículas com tamanhos inferiores a 500  $\mu\text{m}$ , utiliza-se a Equação de Beverloo (Equação 1) com a correção de Verghese e Nedderman (1995).

$$W = C\rho g^{\frac{1}{2}}(D - kd_p)^{\frac{5}{2}} \quad (1)$$

O objetivo deste trabalho é o de avaliar a descarga de pó de alumina em reservatórios cilíndricos de base cônica, construídos em ferro galvanizado, por meio de um planejamento fatorial  $2^3$ , observando-se a influência do diâmetro de saída do reservatório ( $D$ ), do ângulo de inclinação da base ( $\alpha$ ) e do diâmetro médio de peneira das partículas ( $d_p$ ), sobre a vazão mássica de descarga, bem como verificar a concordância da Equação (1) aos dados.

## Resultados e Discussão

Primeiramente, realizou-se a caracterização dos pó, conforme mostrado na Tabela 1. Nota-se que a alumina B possui maior fração de finos em relação à A e que, pelo  $d_p$ , ambos são menores que 500  $\mu\text{m}$ , satisfazendo a Equação (1). Pelos ensaios de escoabilidade, ângulo de repouso estático (AR) e índice de Hausner (IH), os pó apresentam escoamento muito livre e fácil. As densidades *bulk* foram obtidas segundo a técnica descrita em Sousa e Ferreira (2013) e concordaram com a cinética de compactação descrita por Mallol *et al* (2008).

**Tabela 1.** Resultados da caracterização dos pó

Pó	$d_p$ ( $\mu\text{m}$ )	$\rho_a$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	$\rho_c$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	AR ( $^\circ$ )	IH
A	177,2 $\pm$ 0,8	1,54 $\pm$ 0,01	1,92 $\pm$ 0,01	25 $\pm$ 1	1,23 $\pm$ 0,01
B	94,3 $\pm$ 0,3	1,68 $\pm$ 0,01	2,08 $\pm$ 0,02	26 $\pm$ 2	1,24 $\pm$ 0,01

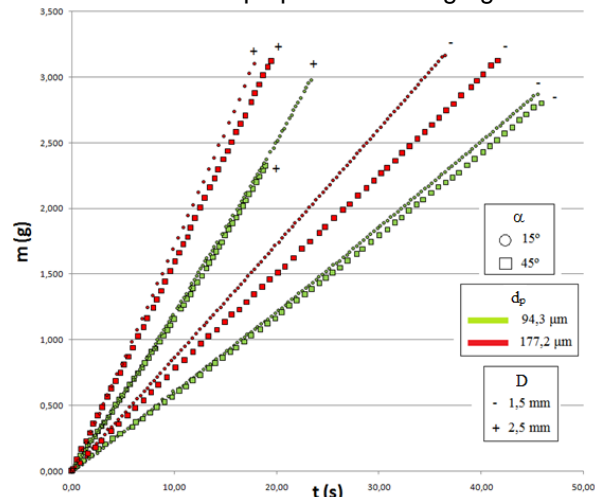
Para os ensaios de vazão, as massas foram obtidas por uma balança com sistema de aquisição de dados ligado a um computador. Os dados estão mostrados na Figura 1.

As maiores vazões foram observadas para a fração de maior diâmetro médio, escoando no orifício de maior diâmetro, enquanto as menores foram observadas na descarga da fração mais fina, escoando no orifício de menor diâmetro. Na descarga gravitacional, o aumento do diâmetro médio e da área de escoamento são fatores que afetam positivamente a vazão. A menor densidade *bulk* da fração mais fina é um fator adicional que contribui para a redução da vazão de descarga.

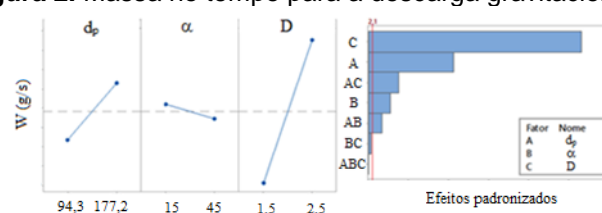
A Equação (1) foi utilizada para a estimativa das vazões de descarga para as condições testadas neste trabalho, acarretando em vazões com cerca de 3 ordens de grandeza superiores às experimentais.

Em seguida, aplicou-se uma análise de variância aos dados experimentais, obtendo-se a Figura 2.

**Figura 1.** Massa no tempo para a descarga gravitacional



**Figura 2.** Massa no tempo para a descarga gravitacional



Pelo gráfico da esquerda, nota-se que o aumento em  $D$  e  $d_p$  acarretam um aumento de  $W$ , assim como um reservatório mais inclinado ( $15^\circ$ ) resulta em aumento de  $W$ . Apesar disso, pelo gráfico da direita, a inclinação se mostrou menos importante que os demais fatores.

Por fim, foi realizado um ajuste empírico para os dois fatores mais significativos ( $D$  e  $d_p$ ), com  $R^2 = 98,63\%$ .

$$W = -1,92 \times 10^{-2} - 1,49 \times 10^{-4} d_p + 3,97 \times 10^{-2} D + 2,52 \times 10^{-4} D d_p$$

## Conclusões

Constatou-se que as vazões de descarga aumentam com o aumento do tamanho médio das partículas e com o aumento do diâmetro do orifício de descarga. Dentre os fatores avaliados, o ângulo de inclinação do reservatório foi o fator com menor influência na vazão de descarga.

A correlação empírica proposta por Verghese e Nedderman (1995) superestima as vazões de descarga, mas foi possível ajustar estatisticamente uma equação para estimar as vazões de descarga nas condições avaliadas.

## Agradecimentos

À FAPESP pela bolsa de IC e ao Centro de Secagem/DEQ pelo espaço físico.

MALLOL, G.; AMORÓS, J. L.; ORTS, M. J.; LLORENS, D. Densification of monomodal quartz particle beds by tapping. *Chemical Engineering Science*, vol. 63, p. 5447-5456, 2008.

SOUSA, L.M. e FERREIRA, M.C. Avaliação de densidades bulks de pó em diferentes estados de compactação. X Congresso Brasileiro de Engenharia Química - IC. Vassouras, RJ, 2013.

VERGHESE, T.M.; NEDDERMAN, R.M. The discharge of fine sands from conical hoppers. *Chemical Engineering Science*, vol. 50, p. 3143-3153, 1995.