DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA EM CURVA DE 45º NO ESCOAMENTO DE GRÃOS DE SOJA POR FASE DILUÍDA EM TRANSPORTADOR PNEUMÁTICO

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF HEAD LOSS IN A 45º BEND DURING SOYBEAN FLOW BY DILUTE PHASE IN A PNEUMATIC CONVEYOR

Arthur Henrique Gomes de Santana, Fernanda Martins Meneses Costa, Mateus Ferreira Martins, Pedro Sarkissian de Castro, Nelize Maria de Almeida Coelho, Vitor da Silva Rosa

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia Química
E-mail para contato: matheusf3003@gmail.com

RESUMO – O uso de transporte pneumático em fase diluída tem crescido amplamente nas áreas transporte de pellets, serragem e grãos, dados seus baixos custos de aquisição e manutenção. No entanto, é necessário dados precisos, quanto a queda de pressão, freabilidade entre outros, para a implementação desse tipo de transporte. Este estudo teve como objetivo determinar a curva de perda de carga em diferentes vazões mássicas e velocidades de escoamento em curva de 45º. A unidade experimental foi construída utilizando dutos de acrílico com diâmetro interno de 117 mm. O sólido utilizado neste estudo foi o grão de soja, transportado por meio de ar. Os resultados obtidos demonstraram a curva característica da queda de pressão no acessório.

Palavras-chave: Queda de pressão, Perda de carga,

ABSTRACT – The use of dilute phase pneumatic transport has significantly increased in the transportation of pellets, sawdust, and grains due to its low acquisition and maintenance costs. However, precise data on pressure drop, friability, among others, are necessary for the implementation of this type of transport. This study aimed to determine the pressure loss curve at different mass flow rates and flow velocities in a 45º bend. The experimental unit was built using acrylic ducts with an internal diameter of 117 mm. The solid used in this study was soybean, transported by air. The results demonstrated the characteristic pressure drop curve in the fitting.

Keywords: *Head-loss*

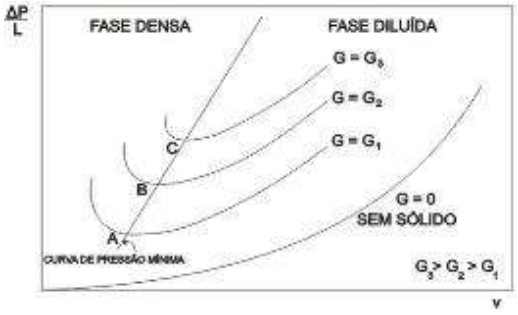
Tipo do trabalho: (x) Iniciação científica ( ) Iniciação tecnológica ( ) Extensão

1. INTRODUÇÃO

O transporte pneumático utiliza um fluido, geralmente ar, para mover materiais particulados através de tubulações, sendo amplamente empregado em processos industriais e agrícolas. No entanto, em condições especiais, como ambientes com risco de incêndio, explosão ou impacto à saúde dos trabalhadores, podem ser usados outros gases. O deslocamento das partículas é feito por ventiladores, sopradores ou compressores, dependendo da pressão necessária no sistema.

Existem dois tipos principais de transporte pneumático: o de fase densa, onde a concentração de partículas ultrapassa 30% em volume, e o de fase diluída, com concentração inferior a 1% [1].

Figura 1: Mudança de fase densa para diluída, onde v = velocidade do ar e G = vazão do sólido [2]



Como é observada, a fase densa possui grandes perdas de carga (comparada a sua vazão) em seu percurso e sua curva característica é inclinada para baixo, dado que sua queda de pressão diminui ao aumento da vazão de ar. Ao passo que na curva característica da fase diluída encontra-se o fenômeno oposto, ao aumento da vazão de ar a queda de pressão tende a aumentar, gerando uma curva ascendente. Essa é a região mais utilizada para transporte de grãos, portanto, a região que será abordada nesse estudo.

As principais vantagens deste tipo de transporte incluem: baixo risco de contaminação do material, já que o transporte ocorre em dutos fechados, sem contato com o ambiente; flexibilidade de montagem, permitindo a instalação de dutos verticais, inclinados ou horizontais; custos reduzidos de operação e manutenção; capacidade de transportar diferentes tipos de materiais com propriedades similares; facilidade de automação; maior higiene e segurança no ambiente de trabalho [3,4].

Entretanto, algumas há desvantagens: alto consumo de energia; abrasão dos dutos, em especial na parte inferior; degradação dos sólidos, caso o sistema não seja bem dimensionado; limitações de distância; complexidade de projeto; e transporte unidirecional [3,5].

Devido ao elevado consumo de energia, o transporte pneumático é mais adequado para movimentar partículas finas em distâncias curtas. A maioria dos sistemas trabalha com vazões

entre 1 e 400 toneladas por hora, distâncias inferiores a 1 km, e partículas com diâmetro abaixo de 10 mm [3]

O Brasil, segundo maior produtor mundial de soja [6], tem essa cultura como uma das mais relevantes no cenário agrícola. De acordo com [7] a densidade aparente da soja seca varia entre 0,989 e 1,149 g/cm³. [8] indicam valores de 1,11 a 1,25 g/cm³, enquanto [9] reportam densidades entre 1,1592 e 1,1992 g/cm³.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nas figuras 2 e 3 está a unidade experimental e seu detalhamento, respectivamente. A unidade se encontra no laboratório de operações unitárias (sala M525) da universidade Santa Cecília, Santos-SP. Foram utilizados grãos de soja pela tubulação de 117mm com diferentes vazões mássicas, variadas pelo controlador no item 6, sendo calculadas pela massa transportada e tempo de esvaziamento do reservatório acima da válvula no item 8, sendo $Q = m/t$. Sendo calculadas 2 vazões de sólidos (vazões 1 e 2) e uma vazão de apenas ar (vazão 0).

Figura 2 - Unidade experimental

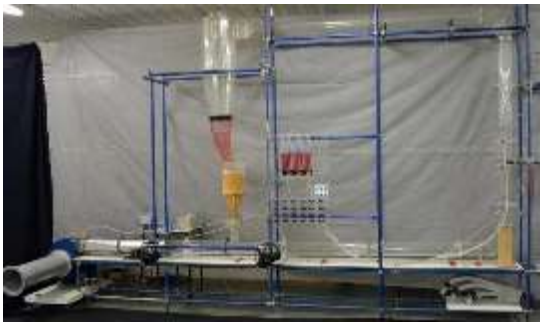
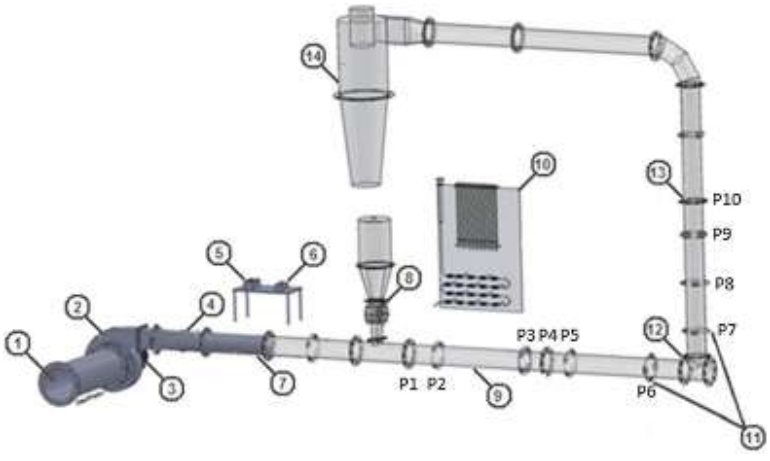


Figura 3 – Descritivo da unidade experimental de transportador pneumático. 1) Duto de sucção de ar atmosférico com 217 mm; 2) ventilador centrífugo com pás parcialmente abertas; 3) motor elétrico de corrente alternada de 3 kW; 4) conexão de seção quadrada para circular; 5) inversor de frequência do motor elétrico; 6) interruptor de controle de rotação da válvula rotativa; 7) tubo de aço carbono com diâmetro interno de 117 mm com endireitamento; 8) silo alimentador de sólidos e válvula rotativa; 9) tubo de acrílico com diâmetro interno de 117 mm; 10) banco de manômetros de tubo em forma de U com água; 11) anéis piezométricos para leituras de pressão em T a montante e a jusante; 12) T com flanges; 13) acoplamento de flange para dispositivo coletor; 14) ciclone receptor para silo. [10]



A vazão mássica foi regulada pelo controlador (item 6). A velocidade do ar foi regulada pelo inversor de frequência (item 5) e medida por um anemômetro na extremidade da sucção (item 1); posteriormente, foi encontrada, pela equação da continuidade, $(\pi . D_1^2 . v_1)/4 = (\pi . D_2^2 . v_2)/4$, a velocidade no interior da tubulação. A pressão nos pontos P4 e P5 da tubulação foi calculada empregando-se a Lei de Stevin, pela da medição da altura dos tubos em U (item 10), ligados aos anéis piezométricos (item 11).

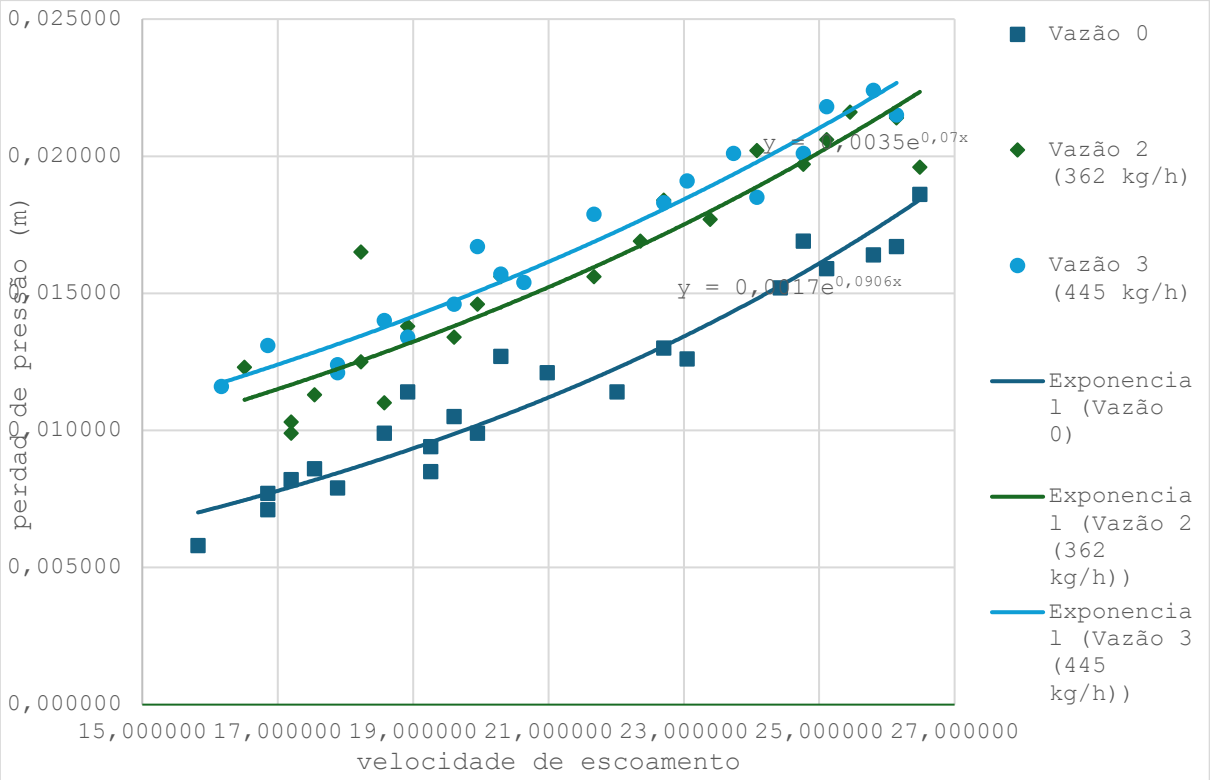
Utilizando-se do dobro da diferença de altura entre a altura inicial e a altura durante o experimento, calculamos o ΔP. Ao aplicar-se o balanço de energia mecânica, observa-se que, como não há acessórios ($lw_{loc} = 0$), com o diâmetro da tubulação constante ($\Delta v = 0$), ambos os pontos estão na mesma altura ($\Delta Z = 0$) e como entre os pontos analisados não há nenhum sistema de bombeamento ($H_B = 0$), podemos observar que a variação da pressão é igual a perda de carga, conforme a equação 1.

$$H_B = \frac{\Delta P}{\gamma} + \frac{\Delta v^2}{2g} + \Delta Z + lw_{dis} \quad (1)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os dados coletados, obtivemos o gráfico abaixo em que são relacionadas a queda de pressão por metro em relação a velocidade do fluido na tubulação, conforme a figura 4.

Figura 4 - Gráfico da queda de pressão em curva de 45º



O gráfico demonstra fielmente a curva característica da queda de pressão em trecho reto e fase diluída, conforme previstos por [1,2]

Seguindo o modelo de regressão exponencial por Excel, foram obtidas as seguintes equações para queda de pressão no acessório: $\Delta P = 0{,}0017e^{0{,}0906}.v$ para a vazão 0, $\Delta P = 0{,}0035.e^{0{,}07}.v$, para a vazão 1 e $\Delta P = 0{,}004.e^{0{,}066}.v$ para a vazão 2.

4. CONCLUSÃO

Foi possível a obtenção da curva característica da queda de pressão em curva de 45º. Ressalta-se a que apenas este estudo não é suficiente para a definição formal de um modelo de cálculo, sugerindo-se, por segmento, que mais estudos sejam feitos a fim de complementar e assegurar os dados obtidos.

5. REFERÊNCIAS

1. Moraes M.S. et. Al Experimental quantification of the head loss coefficient K for fittings and semi-industrial pipe cross section solid concentration profile in pneumatic conveying of polypropylene pellets in dilute phase; 2017 Powder Technology
2. MORAES, M.S.; Convecção forçada de partículas poliméricas em fase diluída: Curvas de pressão e distribuição de partículas, Tese (Doutorado), Unicamp, Campinas, março de 2012.
3. KLINZING, G. E.; et al.; Pneumatic conveying of solids: A theoretical and practical approach. 2ed. London, Chapman & Hall. 1997, 624 p.
4. MARCUS, R. D., LEUNG L. S., KLINZING G. E., RIZK F.; Pneumatic conveying of solid. London: Chapman and Hall. 2010.
5. SILVA, D.R.; Transporte Pneumático – Tecnologia, projetos e aplicações na indústria e nos serviços. Artliber. 2005.
6. STOESS JR., H. A. **Pneumatic conveying**. New York, US: Wiley Interscience, 1970
7. PAIXÃO, A. E. A.; Modelagem do Transporte Pneumático vertical em fase diluída: Aplicações em Transferência de calor e Secagem, Tese (Doutorado), Unicamp, Campinas, outubro de 1995.
8. MOURA, N.C.; BRAZACA, S. G. C.; SOUZA, M. C.; Características físicas de quatro cultivares de soja crua e submetidas a diferentes tratamentos térmicos, Revista Alimentos e Nutrição, Araraquara, v.20, n.3, p. 383-388, jul./set. 2009
9. HOFMANN, A. M. S.; Experimentos, modelagem, simulação e controle de uma operação contínua de secagem e resfriamento de soja (Glycine max) extrusada, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012
10. VIEIRA, C. R.; CABRAL, L. C.; PAULA, A. C. O. de; Caracterização Física e Tecnológica de seis cultivares de soja plantadas no Brasil, Revista Ciência e Tecnologia Alimentar, Embrapa, Rio de Janeiro v. 17, 1997.
11. https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos acesso em 07/09/2024