



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: 2011 JP - XVI Jornada de Pesquisa

SISTEMATIZAÇÃO DE UMA METODOLOGIA PRELIMINAR DE CÁLCULO DE TRANSPORTADOR PNEUMÁTICO DE GRÃOS¹

Luís Antonio Bortolaia², Antônio Carlos Valdiero³, Roger Schildt Hoffmann⁴, Luiz Antonio Rasia⁵.

¹ Pesquisa Institucional desenvolvida no Departamento de Ciências Exatas e Engenharias.

² Professor do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias. Participantes do Grupo de Pesquisa Projeto em Sistemas Mecânicos, Mecatrônica e Robótica; E-mail: luis.bortolaia@unijui.edu.br;

³ Professor do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias. Líder do Grupo de Pesquisa Projeto em Sistemas Mecânicos, Mecatrônica e Robótica; E-mail: valdiero@unijui.edu.br.

⁴ Professor do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias. Participantes do Grupo de Pesquisa Projeto em Sistemas Mecânicos, Mecatrônica e Robótica; E-mail: roger.hoffmann@unijui.edu.br;

⁵ Professor do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias. Participantes do Grupo de Pesquisa Projeto em Sistemas Mecânicos, Mecatrônica e Robótica; E-mail: rasia@unijui.edu.br.

Resumo

A metodologia de cálculo de um transportador pneumático de grãos deve ser realizada levando em consideração os seguintes parâmetros de entrada (requerimentos necessários): vazão em massa de produto (kg/s ou t/h); propriedades do produto (massa específica, diâmetro médio, coeficiente de arrasto); propriedades do ar (massa específica, viscosidade); a configuração do sistema (leiaute); tipo de separador de partículas (ciclone). O cálculo é realizado variando-se o diâmetro da tubulação de transporte e a relação em peso (relação produto/ar), calculando-se o ciclone e as perdas de carga em todos os elementos componentes do transportador (entrada, tubulação, ciclone) e verificando a condição de melhor desempenho: diâmetro da tubulação, perda de carga do sistema, potência de acionamento do ventilador.

Palavras-chave: transporte pneumático; perda de carga; fase diluída.

Introdução

O transporte pneumático consiste em movimentar materiais em pó, grãos ou granulados no interior de uma tubulação através de um escoamento de ar, a uma velocidade controlada, com pressão positiva ou negativa, de um local para outro. É tradicionalmente aplicado para a movimentação de grandes massas de grãos em estruturas portuárias, e nas instalações armazenadoras agrícolas brasileiras aplicam-se na coleta e transporte de amostras de grãos para análise em laboratório.

Um sistema de transporte pneumático pode ser classificado em sistemas de fase diluída e de fase densa. Cada fase é classificada em função da razão do fluxo de massa, ou relação em peso no sistema pneumático (definida como a razão de massa do produto pela massa de gás), Em termos dessa definição a fase diluída apresenta uma relação em peso entre 0 e 15 e a fase densa uma razão maior do que 15. Os sistemas de fase diluída são os mais utilizados para a realização do transporte pneumático. Em geral, são utilizadas grandes vazões



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: 2011 JP - XVI Jornada de Pesquisa

de ar em elevadas velocidades, sendo considerados como sistemas de baixa pressão e elevada relação ar/material (GOMES, 2006).

Transportadores pneumáticos por vácuo (aspiração) são utilizados para transportar materiais de diversos pontos de captura e destinados a um único ponto. Os componentes principais de um transportador pneumático por aspiração são basicamente: um bocal de sucção, que evita o embuchamento do sistema e regula a entrada do produto e de ar; tubulações de transporte; coletor ou separador (ciclone), que separa o ar do material transportado, e um ventilador ou soprador, que movimenta o ar no sistema.

A metodologia para o cálculo de um transportador pneumático, visando a sua operação eficiente, deve levar em consideração parâmetros como a vazão de produto a ser transportado, perda de carga total do sistema, velocidade e vazão de ar necessário para o arraste do produto, potência requerida e as características físicas do material transportado. As características de velocidade, pressão e vazão de ar para o sistema são fornecidas por um ventilador ou soprador.

Os objetivos principais do trabalho são: (i) determinar a perda de carga total de um transportador pneumático de grãos; (ii) determinar a potência requerida ao ventilador do transportador; (iii) aplicar metodologia de cálculo em um transportador em aspiração.

Metodologia

O projeto de um transportador pneumático tem por finalidade a determinação do diâmetro da tubulação de transporte, vazão de ar, perda de carga total do sistema de transporte, e potência requerida pelo ventilador ou soprador.

O desenvolvimento do procedimento de cálculo é detalhado a seguir.

Requerimentos e especificações

O cálculo se refere a um transportador pneumático com concepção em aspiração (Figura 1) operando em fase diluída.

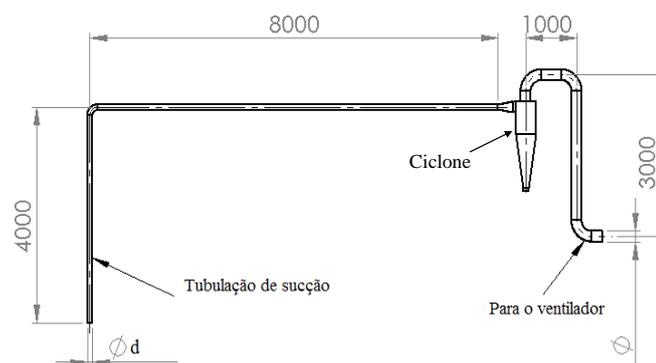


Figura 1. Transportador pneumático em aspiração (dimensões em mm).

O leiaute do transportador mostra as dimensões do sistema de transporte pneumático: do ponto de captação do produto até a entrada do ciclone observa-se 4 m na vertical, 8 m na horizontal e 1 curva de 90°. Da saída do ciclone até a entrada do ventilador: 1 m na horizontal, 3 m na vertical, e 3 curvas de 90°.



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: 2011 JP - XVI Jornada de Pesquisa

O transportador será analisado para uma capacidade de transporte (vazão em massa de soja) de 0,278 a 1,39 kg/s (1000 a 5000 kg/h). As propriedades do ar são tomadas a 20 °C (CLEZAR e NOGUEIRA, 2009).

O produto a ser transportado é soja, com massa específica real $\rho_p = 1340 \text{ kg/m}^3$; diâmetro médio, supondo a soja como uma partícula esférica, $d_p = 5 \text{ mm}$ e coeficiente de arrasto, $c_d = 0,5$.

A velocidade do ar na tubulação é um parâmetro fundamental no cálculo de um transportador pneumático. A mesma foi adotada segundo JORGENSEN (1970) e The New York Blower Company (S.d).

Equacionamento

A perda de carga total ΔP_t (pressão total necessária o transporte) do sistema é a soma de todas as perdas que ocorrem no transporte do ar e produto no transportador pneumático. Pode ser expressa como a soma dos seguintes termos (COSTA, 2005; NONNENMACHER, 1994):

$$\Delta P_t = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4 + \Delta P_5 + \Delta P_6 \quad (1)$$

ou:

$$\Delta P_t = \lambda \left(1 + \frac{R}{K} \right) \frac{1}{2} \rho_{\text{ar}} v_{\text{ar}}^2 + R \frac{1}{2} \rho_{\text{ar}} v_p^2 + R \rho_{\text{ar}} g H + f \frac{L}{D} \frac{\rho_{\text{ar}} v_{\text{ar}}^2}{2} + f \left(1 + \frac{R}{K} \right) \frac{L}{D} \frac{\rho_{\text{ar}} v_{\text{ar}}^2}{2} \quad (2)$$

$$+ K_c \frac{b h}{k e^2} \sqrt[3]{\frac{D_c^2}{H_c L_c} \frac{\rho_{\text{ar}} v^2}{2 g}}$$

onde:

ΔP_1 - representa a perda de carga (Pa) na tubulação de aspiração, relativa ao ar e produto a ser transportado. R é a relação em peso ($\text{kg}_{\text{produto}}/\text{kg}_{\text{ar}}$), λ o coeficiente de entrada (adimensional), K o coeficiente de atrito (adimensional) para dutos pneumáticos, variando de 1 a 3,5 (COSTA, 2005), ρ_{ar} é a massa específica do ar (kg/m^3) e v_{ar} a velocidade de escoamento do ar na tubulação (m/s).

ΔP_2 - é a perda devido à inércia do produto, ao ser movimentado do repouso até a velocidade de transporte do material. v_p é a velocidade do produto (m/s). A velocidade de flutuação do produto, e as velocidades relativas nas tubulações vertical e horizontal são definidas conforme JORGENSEN (1970).

ΔP_3 - é a perda devido aos desníveis a vencer com o produto, para elevar o produto contra a gravidade em uma diferença de altura H (m).

ΔP_4 - perda de carga por atrito na tubulação de escoamento de ar (entre o ciclone e o ventilador). L (m) é o comprimento da tubulação de transporte, D o diâmetro da tubulação (m)

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: 2011 JP - XVI Jornada de Pesquisa

e f o coeficiente de atrito para o ar (adimensional), determinado de STREETER E WYLIE (1982).

ΔP_5 - perda de carga por atrito na tubulação de transporte de ar e material (Pa).

ΔP_6 - perda de carga no ciclone. As dimensões e os coeficientes K_c e k foram adotados conforme sugerido por COSTA, 2005.

Resultados e Discussão

Os resultados da aplicação das equações da metodologia são mostrados nas Figuras 2 a 5, para a consideração de velocidade do ar de 33 m/s no interior da tubulação de transporte e variando a capacidade de transporte do produto e o diâmetro da tubulação.

As Figuras 2 e 3 mostram o aumento da pressão total necessária para o transporte de soja com o aumento da relação em peso e da capacidade de transporte, respectivamente. Para uma mesma capacidade de transporte, a pressão total aumenta com o aumento da relação em peso. Em uma capacidade de transporte constante de 5000 kg/h, a pressão total aumentará de 5000 (Pa) em uma relação em peso de 2, para 14560 (Pa) com uma relação em peso de 8.

Para diâmetros constantes e diferentes capacidades de transporte observa-se o aumento da pressão total, uma vez que a vazão de ar necessária será constante, e a contribuição da parcela da pressão devida ao produto aumenta consideravelmente. A diferença de pressão é notadamente mais sensível de elevação nas tubulações de diâmetros menores.

O comportamento da potência necessária ao ventilador ou soprador é ilustrado nas Figuras 4 e 5. Para as várias capacidades de transporte existe uma relação em peso que tende a minimizar o consumo de energia. Menores diâmetros das tubulações de transporte provocam maiores pressões e menores vazões (para velocidade constante do ar).

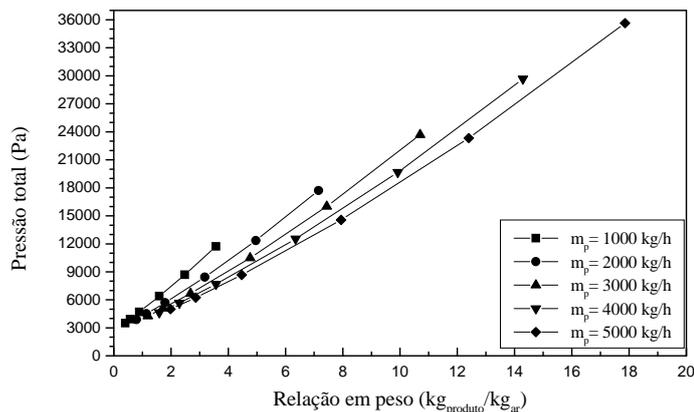


Figura 2. Pressão total em função da relação em peso e capacidade de transporte de produto.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: 2011 JP - XVI Jornada de Pesquisa

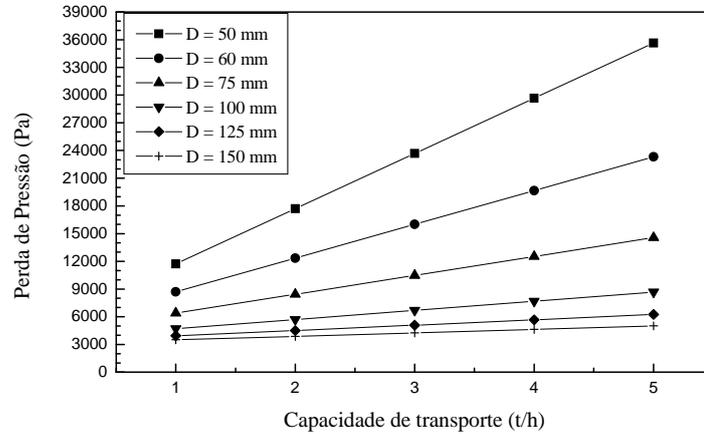


Figura 3. Pressão total em função da capacidade e diâmetro de transporte.

A relação em peso deve ser a maior possível, para atender a questão do consumo de energia. Costa (2005) recomenda uma relação empírica para a determinação de um valor máximo prático da relação em peso, que limite a possibilidade de embuchamento no transporte do produto. Para a soja o valor deste valor é da ordem de 5,3.

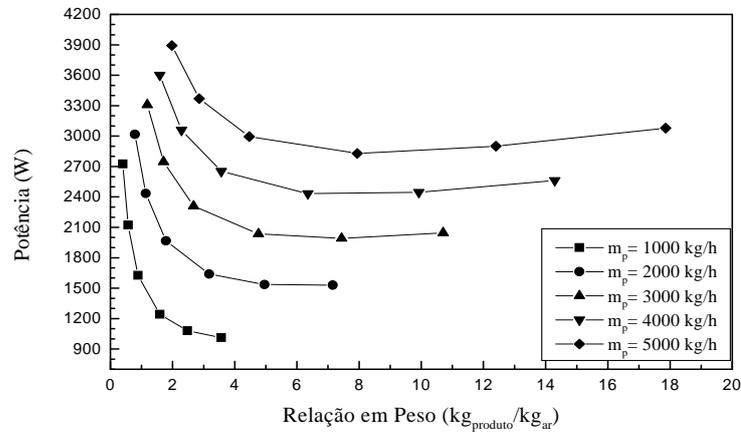


Figura 4. Potência em função da relação em peso e capacidade de transporte.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: 2011 JP - XVI Jornada de Pesquisa

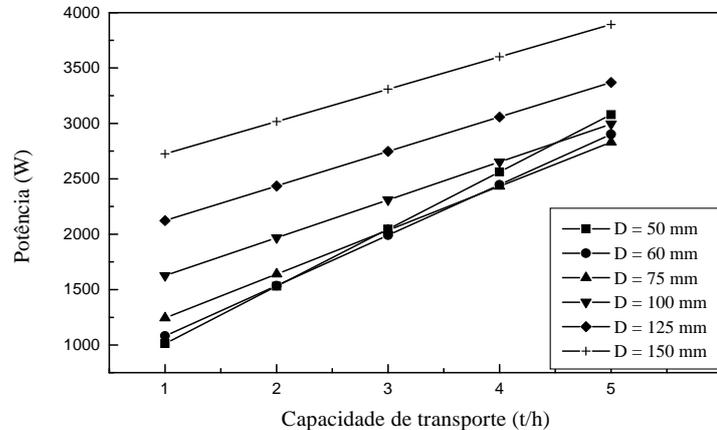


Figura 5. Potência em função da capacidade de transporte e do diâmetro.

Para uma variação da capacidade de transporte de soja de 1 a 5 t/h tem-se uma variação na potência requerida pelo ventilador de 63%, 49%, 38%, 29% e 21%, considerando-se a abrangência do diâmetro máximo e mínimo da tubulação de transporte nestas capacidades. Com relação ao consumo energético (potência) e o limite máximo da relação em peso, os diâmetros mais recomendados para a aplicação, considerando as capacidades de carga estabelecidas são os diâmetros de 75 e 100 mm.

Conclusões

A metodologia da formulação clássica do cálculo da perda de carga total, envolvendo o escoamento de um fluido e um sólido, para um sistema pneumático foi implementada.

Os resultados obtidos permitem a determinação das melhores condições de cálculo para os requerimentos e especificações pré-estabelecidos. Deve ser analisada a influência do diâmetro da tubulação, da velocidade do ar de transporte e da relação em peso na capacidade e potência requerida para acionamento do ventilador do transportador pneumático.

Agradecimentos

Os autores agradem o apoio para realização desta pesquisa, à UNIJUI pelo apoio através do Programa Institucional de Pesquisa, e ao FINEP/MCT e SEBRAE.

Referências

- CLEZAR, Carlos Alfredo; NOGUEIRA, Antonio Carlos Ribeiro. **Ventilação industrial**. 2ª ed. Ver. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2009.
- COSTA, Ennio Cruz da. **Ventilação**. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.
- GOMES, L. M. **Análise experimental sobre velocidade de captura em sistemas de transporte pneumático**. Belém: UFPA, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Pará, 2006.
- JORGENSEN, Robert. **Fan Engineering**. Seventh ed. Buffalo Forge Company: Buffalo, New York, 1970.



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: 2011 JP - XVI Jornada de Pesquisa

NONNENMACHER, H. **Curso de Transporte Pneumático**. Santa Maria: FATEC, 1994.

STREETER, Victor L.; WYLIE, E. Benjamin. **Mecânica dos Fluidos**. 7ª ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982.

The New York Blower Company. **Engineering Letter**. Willowbrook, Illinois.