

PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO: BATCHPUMP, UM NOVO ALIMENTADOR DE SÓLIDOS INDUSTRIAL

Adriano Gomes de Freitas

Ricardo Borges dos Santos

Yuri Oliveira Lima

Vitor Furlan Oliveira

Luis Alberto Martinez Riascos

Doutorado Acadêmico Industrial (DAI) e Programa de Pós-Graduação em Energia (PPG-ENE)

Universidade Federal do ABC (UFABC), Santo André/São Paulo – Brasil.

adriano.gomes; ricardo.borges; yuri.oliveira; vitor.oliveira; luis.riascos {@ufabc.edu.br}.

Resumo. Este trabalho teve como objetivo obter o ponto ótimo de operação para um protótipo de equipamento industrial que atua como alimentador de sólidos em um sistema industrial de transporte pneumático, nomeado de Batchpump, conectado a uma linha de 133m de comprimento e 3pol de diâmetro, com diferença de cota de 5m. Os experimentos analisaram dados relativos ao ponto de finalização e vazão de operação. Os resultados são apresentados relativos às variáveis de taxa de transporte e de eficiência energética. Os valores de taxa de transporte mostram relação direta da pressão de operação com o ponto ótimo de trabalho em 1,6 bar. Os testes evidenciaram que em função da maior restrição de vazão ocorre um decréscimo na taxa de transporte. A eficiência energética mostrou um comportamento diretamente proporcional com a pressão de final de ciclo e com a restrição de vazão.

Palavras chave: Transporte pneumático, Otimização, Eficiência Energética, Inovação.

1. INTRODUÇÃO

O Transporte pneumático é uma das mais importantes técnicas de transporte de materiais na indústria. Esse transporte se dá por suspensão de material em pó ou granulado em um fluxo de gás por uma tubulação (TRIPATHI, 2018; FREITAS, 2019a, 2019b).

Os sistemas de transporte pneumático estão presentes no Brasil desde a década de 60. Há registros de técnicas de moagem por classificação a ar utilizadas pela Mikropul-Ducon e instalações de sugadores de grãos de navios pela empresa Johannes Möller do Brasil (GOMES, 2011).

Existem diversas vantagens para a utilização de transportes pneumáticos em indústrias, como sua elevada flexibilidade, devido a sua capacidade de realizar curvas e seguir caminhos complexos, custo inferior para distâncias elevadas, vazamento desprezível de material para o ambiente, utilização com fontes e destinos múltiplos, dimensão reduzida, facilidade de automação, etc (TRIPATHI, 2018; FREITAS 2019a, 2019b).

No tema de transporte pneumático, estuda-se diferentes modos de transporte. Este transporte pode ser definido de acordo com sua densidade de partículas na tubulação, sendo a fase diluída, a forma de transporte com baixa densidade de partículas e material em suspensão no fluxo de ar. A fase densa, com alta densidade de partículas e materiais sendo transportado sem suspensão.

A fase densa se mostra favorita para transporte de materiais se levar em consideração o menor consumo de ar e consequentemente de energia para realização do transporte, e também a redução de abrasividade, tanto ao material, e a tubulação. Porém, esta fase de transporte pode se tornar instável e causar entupimentos e para tal se vê necessário o estudo dos limites para o transporte de materiais em fase densa (MILLS, 2004; HU et. al, 2014).

Para sistemas industriais, é de grande importância a obtenção de pontos ótimos de operação de seus processos. Em um sistema de transporte pneumático, em geral, deve-se transportar, com a maior taxa de transporte possível, porém com baixas vazões, devido a ambos o grande consumo de energia dos geradores de ar e degradação devido a altas velocidades de fluido. A redução excessiva desta vazão pode causar entupimentos e portanto, existem limites que pode-se alcançar para um transporte ótimo.

Este estudo possui como objetivo a determinação de pontos de maior desempenho para um sistema de transporte pneumático de testes, produzido em escala industrial, utilizando calcário como material de transporte.

2. METODOLOGIA

Na empresa Zeppelin Systems Latin America foi fundado em 2004 o Centro de Testes Hans-Dieter Zamburek, com objetivo de determinar parâmetros para projetos de sistemas de manuseio de matéria prima e para desenvolvimento de novas tecnologias. Nele são realizados testes de transporte pneumático em fase densa e em fase diluída.

O sistema em questão é composto por duas moegas, duas válvulas guilhotina pneumáticas, uma válvula guilhotina manual, duas válvulas borboletas para dosagem e uma válvula borboleta para controle de ar, alimentador pressurizado, uma tubulação standard de 3pol de cerca de 130m, possuindo diferença de cota de 5m entre as moegas, uma rosca transportadora e flexíveis para interligação. Para o controle deste sistema foi utilizado um medidor de vazão e dois transmissores de pressão. O ciclo é composto pela dosagem nas válvulas borboletas, pela abertura da válvula e seu posterior fechamento.

O ciclo de transporte inicia com a dosagem de material: abertura da válvula, espera até o enchimento do ejedor indicado por uma chave de nível e posterior fechamento. Então inicia-se o transporte pneumático pela abertura da válvula, há leitura da pressão de transporte pelo transmissor de pressão e quando a pressão reduz abaixo de um limite definido pela pressão de final de ciclo há o fechamento da válvula borboleta e inicia-se o próximo ciclo de transporte.

Devido a limitação de volume e com a intenção de simular um sistema intermitente, haverá a reabastecimento do material pelo sistema. Foi definido que depois de transportar uma determinada quantidade de massa, o sistema realimenta a moega inferior, abrindo a válvula pneumática e ligando a rosca transportadora até retornar o sistema para sua operação inicial.

2.1. Descrição das variáveis

As variáveis de interesse para os testes foram divididas entre variáveis independentes, fixadas, não manipuláveis, dependentes e respostas.

As variáveis independentes manipuladas foram:

- **Pressão de final de ciclo:** Valor de pressão no qual, para valores inferiores ao estabelecido, há o fechamento da válvula e consequentemente finalização de um ciclo de transporte e início de uma nova dosagem;
- **Restrição de vazão:** Número de voltas na válvula globo (0 voltas para completamente aberto) que implica em uma diminuição na vazão de ar medida pelo medidor de vazão;

As variáveis fixadas foram:

- **Layout do sistema:** Não houve modificações no sistema entre os testes executados, ou seja, o diâmetro da tubulação, curvas, caminho percorrido etc;
- **Material utilizado:** Para todos os testes utilizou-se o mesmo material, calcário calcítico. Devido a grande demanda de material para ser transportado, utilizou-se o mesmo material que foi recirculado pelo sistema;
- **Pressão da fonte:** O valor de pressão da fonte foi fixado em 4bar por meio do regulador de pressão.

As variáveis não manipuláveis foram:

- **Temperatura ambiente:** Todos os testes foram realizados em temperatura ambiente;
- **Umidade do ar:** Todos os testes foram realizados sem remoção de umidade do ar.

As variáveis dependentes coletadas foram:

- **Pressão de transporte:** Os valores de pressão foram coletados a partir do transmissor de pressão de 10bar da marca JUMO localizado a montante do alimentador de sólidos;
- **Vazão de transporte:** valores coletados com um medidor de vazão volumétrico. Estes valores foram corrigidos para descarga livre usando com os valores de pressão obtidos pelo transmissor de pressão. Esta correção é descrita em (1) sendo que P_{atm} é a pressão atmosférica referente a localidade em mbar e 1013,25 é a pressão atmosférica ao nível do mar, também em mbar;

$$Q_t = Q_{FLO2}(P_{atm} + P_{PT01})/1013,25 \quad (1)$$

- **Sinal de dosagem:** Sinal referente a situação da válvula borboleta, localizada entre a moega e o alimentador de sólidos, descrevendo se a mesma está aberta e, portanto, dosando o material;
- **Sinal de transporte:** Sinal é referente a situação da válvula borboleta, descrevendo se a mesma está aberta e, portanto, no meio de um ciclo de transporte;
- **Massa acumulada:** Valor total de massa medida por três células de carga localizadas na moega.

As variáveis resposta foram:

- **Taxa de transporte média:** valor em kg/h obtido com base nos dados coletados de massa total medida em kg e duração do teste medido em segundos. O cálculo para obter a taxa de transporte está descrito em (2);

$$m = 3600M_{total}/t_{transporte} \quad (2)$$

- **Taxa mássica:** A taxa mássica foi obtida com base nos dados coletados de massa total medida em kg, volume total de ar medido em m³ e densidade do ar a 25°, 1,1839 kg/m³. O cálculo para obter a taxa mássica está descrito em (3);

$$\phi = M_{total}/(V_{total}\rho) \quad (3)$$

- **Consumo específico:** eficiência do transporte na forma de consumo de energia por unidade de massa de material (kJ/kg), dado pelo diferencial de pressão em mbar multiplicado pela vazão em descarga livre em m³/h durante o intervalo da duração do teste dividido pela massa total medida em kg. A equação para o consumo específico está mostrada na equação (4);

$$e = (\sum_{i=0}^t \Delta P_{t,i} Q_{dl,i}) / (3,6 M_{total} 10^9) \quad (4)$$

- **Vazão média de transporte:** média entre as vazões de transporte registradas a cada segundo pelo medidor de vazão. Para tal utilizou-se o sinal da válvula α , definido como 1 em aberto e para fechado como 0, para calcular a média enquanto havia consumo de ar. Isto pode ser visto na equação (5);

$$\underline{Q}_t = (\sum_{i=0}^t Q_{dl,i} \alpha_i) / \sum_{i=0}^t \alpha_i \quad (5)$$

- **Pressão média de transporte:** A pressão média de transporte é a média entre as pressões de transporte registradas a cada segundo pelo medidor de pressão. De forma análoga a vazão média de transporte, utilizou-se novamente o sinal da válvula, isto pode ser visto em termos matemáticos na equação (6).

$$\underline{P}_t = (\sum_{i=0}^t P_{t,i} \alpha_i) / \sum_{i=0}^t \alpha_i \quad (6)$$

3. RESULTADOS

Os resultados dos testes se deram por forma das variáveis de pressão de final de ciclo e restrição de vazão. As variáveis de resposta para este teste foram: Taxa de transporte, vazão e pressão média de transporte, taxa mássica e consumo específico. Os resultados foram plotados em função das variáveis independentes de pressão de final de ciclo, controlada pelo CLP, e restrição de vazão, dada pelo número de voltas de fechamento da válvula globo. As curvas foram traçadas com o eixo Y para as respostas, eixo X para a pressão de final de ciclo e a restrição de vazão se deu pela diferenciação entre curvas. Os resultados de taxa de transporte, em kg/h, estão descritos na Fig. 1.

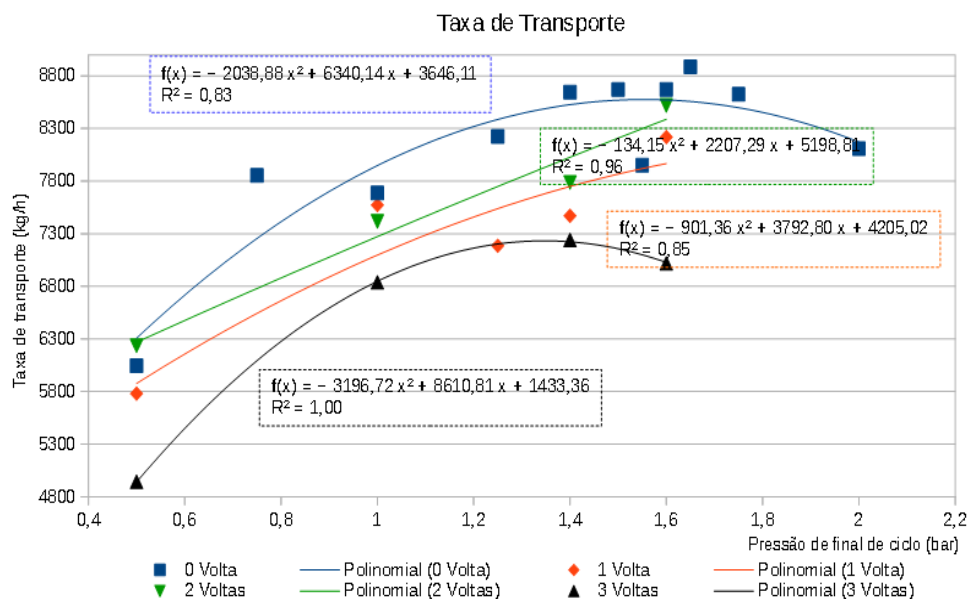


Figura 1. Taxa de transporte em função da pressão de final de ciclo e restrição de vazão

Observando a Figura 1 percebe-se que há um comportamento de aumento de taxa de transporte até um certo ponto com queda sequencial em ambas as curvas, sem restrição de vazão, em azul, e com 3 voltas na válvula globo de

restrição. Este aumento se dá devido a diminuição de duração no transporte, que consequentemente há uma menor região de limpeza de linha, porém devido a esta quantidade de material permanecer na linha também há um aumento na dificuldade para o transporte, aproximando de áreas de entupimento. Para as curvas de 1 e 2 volts percebe-se que não há este comportamento, acredita-se que isto ocorra por não ter chegado na região de inflexão da curva.

Os resultados de taxa mássica, em $\text{kg}_{\text{mat}}/\text{kg}_{\text{ar}}$, estão descritos na Fig. 2.

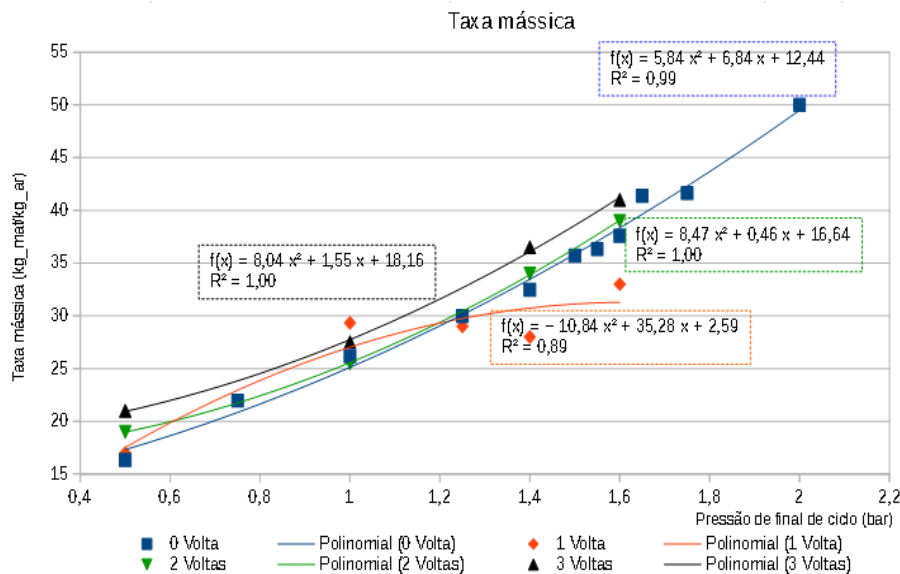


Figura 2. Taxa mássica em função da pressão de final de ciclo e restrição de vazão

Observa-se pela Fig. 2 que há um comportamento crescente de acordo com ambas as pressão de final de ciclo e a restrição de vazão. Isto ocorre pelo aumento de material depositado na tubulação devido a finalização antecipada de um ciclo ou pela adição de menos ar, e consequentemente menos energia.

Os resultados de consumo específico em kJ/kg , estão descritos na Fig. 3.

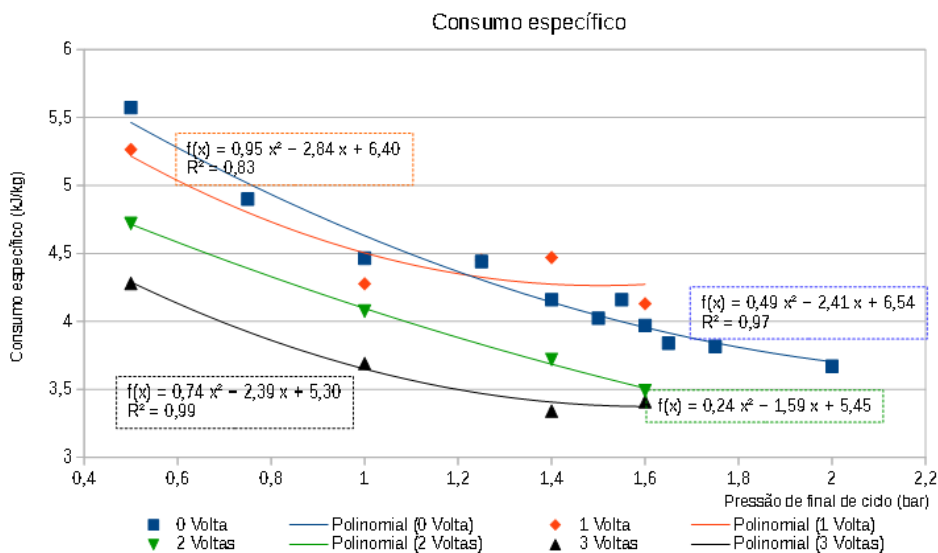


Figura 3. Consumo específico em função da pressão de final de ciclo e restrição de vazão

Observando pela Fig. 3 percebe-se comportamento inverso descrito pela Fig. 2. Isto era esperado, visto que as variáveis adotadas possuem comportamentos inversos, ou seja, a taxa mássica possui unidade de “resultado por consumo” e o consumo específico de “consumo por resultado”.

Os resultados de pressão média apresentou um comportamento proporcional com a pressão de final de ciclo, mas não apresentou diferenças em relação a pressão e a vazão média de transporte em m^3/h apresenta uma redução com o aumento de restrição de vazão porém não apresentou relação com a pressão de final de ciclo.

4. CONCLUSÕES

A partir dos experimentos, pode-se perceber que a pressão média apresentou relação apenas com a pressão de final de ciclo e a vazão média apenas com a restrição de vazão. Com o aumento da pressão de final de ciclo, houve um aumento na eficiência energética, um aumento até um ponto ótimo de 1,6 bar e posterior decréscimo na taxa de transporte, aumento na pressão média de transporte e não houve relação entre esta variável para a vazão média de transporte. A restrição de vazão se mostrou diretamente proporcional com a eficiência energética e inversamente proporcional com a taxa de transporte, de forma que recomenda-se a utilização deste sistema, dentro das condições propostas iniciais, com a variável de pressão mínima de transporte atuando em seu ponto ótimo e a variável de restrição de vazão é definida de acordo com a necessidade do transporte.

5. REFERÊNCIAS

- Freitas, A.G., Santos, R.B. Lima, Y.O., Oliveira, V.F., Riascos, L.A.M, 2019a. “University-industry interaction for the development of innovations”, *International Journal of Development Research*, ed. 9, Vol. 05, p. 27738-27743.
- Freitas, A.G., Santos, R.B. Lima, Y.O., Oliveira, V.F., Riascos, L.A.M, 2019b. “Energy efficiency in the development of an innovative industrial pressurized solids feeder for pneumatic conveying systems”, *International Journal of Development Research*, ed. 9, Vol. 04, p. 27147-27152.
- Gomes, L.M. 2011. *Contribuição à análise do transporte pneumático em fase diluída*. 169 f. Tese de doutorado - Curso de Engenharia de Recursos Naturais, Ufpa, Belém.
- Hu, S., Zhou, F. Geng, F., Liu, Y., Zhang, Y., Wang, Q. 2014. Investigation on blockage boundary condition of dense-phase pneumatic conveying in bending slits. *Powder Technology*, Vol. 266, p.96-105.
- Mills, D. 2014. *Pneumatic Conveying Design Guide*. 2. ed. Oxford: Elsevier, 650 p.
- Tripathi, N.M., Santo, N., Kalman, H., Levy, A. 2018. Experimental analysis of particle velocity and acceleration in vertical dilute phase pneumatic conveying. *Powder Technology*, Vol. 330, p.239-251.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

RESEARCH, DEVELOPMENT AND INNOVATION: BATCHPUMP, A NEW INDUSTRIAL SOLID FEEDER

Adriano Gomes de Freitas

Ricardo Borges dos Santos

Yuri Oliveira de Lima

Vitor Furlan Oliveira

Luis Alberto Martinez Riascos

PhD Academic Industrial (DAI) and Postgraduate Program in Energia (PPG-ENE)

Universidade Federal do ABC (UFABC), Santo André/São Paulo – Brazil.

adriano.gomes; ricardo.borges; yuri.oliveira; vitor.oliveira; luis.riascos {@ufabc.edu.br}

Abstract. This paper aimed to obtain the optimum point of operation for a prototype of industrial equipment that acts as a solids feeder in an industrial pneumatic transport system, named Batchpump, connected to a 133m long and 3pol diameter pipeline, with a difference of quota of 5m. This experiment analyzed data regarding the termination point and operating flow. The results are presented regarding the variables of transport rate and energy efficiency. The transport rate values show direct relation of the operating pressure with the optimum working point in 1.6 bar. The tests showed that due to the higher flow restriction a decrease in the transport rate occurs. The energy efficiency showed a behavior directly proportional to the end-of-cycle pressure and the flow restriction.

Keywords: Pneumatic conveying, Optimization, Energy Efficiency, Innovation.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.