

ESTUDO DO TRANSPORTE PNEUMÁTICO DE POLÍMEROS EM FASE DILUÍDA

Mayara Rezende Carvalho. E-mail: mayaracarvalho.r@gmail.com
Márcio César Sá Albuquerque. E-mail: marciocesarsa@yahoo.com.br
Nayara Virgínia Rangel Porcaro. E-mail: nayaraporcaro@hotmail.com
Thiago Marinho Pedroza. E-mail: thiagoqmc@live.com
Tatiane Gomes de Oliveira. E-mail: tatianegool@gmail.com
Késia D'Ávila Pereira Fernandes. E-mail: kesiaapf@gmail.com
Tássia Caroline Passos Pereira. E-mail: tassiacaroline5@gmail.com
Marcelo da Silva Batista. E-mail: marcelobatista@hotmail.com

Resumo: O transporte pneumático é o método mais utilizado para deslocamento de materiais sólidos com tamanho entre 0,1-10 mm. Esse trabalho objetivou construir um sistema de transporte pneumático para polipropileno (PP) e polietileno de baixa densidade (PEBD), em fase diluída, visando obter os seguintes parâmetros: curva característica de perda de carga em função da velocidade do ar e da vazão de sólidos e também a distribuição dos polímeros na seção transversal do transportador, usando configuração de tubulação reta e com adição de duas curvas longas de 45°. Os resultados mostraram que as perdas de carga foram mais acentuadas para a tubulação com curva em comparação com a tubulação reta, usando PEBD e iguais velocidades de saltitação. A tubulação com curva também apresentou maiores perdas de carga em comparação com a tubulação reta, porém a velocidade de saltitação para este último foi muito menor, usando PP. As melhores distribuições de PP e PEBD foram encontradas em maiores velocidades de ar e menores vazões de sólidos, para configuração de tubulação reta e com curva lateral.

Palavras-chave: Transporte pneumático, polímeros, polipropileno, polietileno, parâmetros operacionais.

PNEUMATIC CONVEYING STUDY OF POLYMERS IN DILUTE PHASE

Abstract: Pneumatic conveying is the most widely used method for displacing solid materials with size between 0.1-10 mm. This work aimed to construct a pneumatic conveying system for polypropylene (PP) and low density polyethylene (LDPE), in diluted phase, aiming to obtain the following parameters: characteristic curve of pressure loss as a function of air velocity and solids flow and also polymers distribution in the transverse cross-section of the conveyor, using straight pipe configuration and addition of two lateral curve of 45°. The results showed that the pressure drop was more accentuated for curve pipe compared to straight pipe, using LDPE and equal salting speeds. Curved tubing also showed higher pressure drop compared to straight tubing, but the salting speed for the latter was much lower using PP. The best distributions of PP and LDPE were found at higher air velocities and lower solids flow rates for straight pipe and lateral curve configuration.

Keywords: Pneumatic transport, polymer, polypropylene, polyethylene, operating parameters.

1. INTRODUÇÃO

O deslocamento de materiais particulados ao longo de uma tubulação usando ar como fluido transportador é denominado transporte pneumático. Esse sistema atende principalmente as indústrias alimentícias, servindo de grande apoio ao transporte de milho, trigo, aveia, soja, feijão e arroz, mas também pode ser utilizado no transporte de pílulas na indústria farmacêutica, óxido de ferro, polietileno, grãos de café, PVC, sal, soda, talco, vidro, ácido adípico, entre outros (SANTOS, 2009; PERRY & GREEN, 1997). O material transportado com concentração de partículas inferior a 1% v/v (fase diluída) pode ser coletado de diversos locais e entregue em um único local (DAVYDOV & KASHCHEEV, 2011). Esse transporte em fase diluída possibilita que materiais percorram distâncias de 20 a 400 metros, inclusive com variações de nível, apresenta vantagem de baixo custo de operação e manutenção e,

também, facilidade de instalação, controle e automação (CRUZ, 2013; DICKOW, 2013). Porém, esse sistema apresenta alto desgaste na parte inferior da tubulação, oriundo da má distribuição das partículas ao longo da seção transversal (MORAES, 2012). A maioria das indústrias que utilizam transporte pneumático trabalha com o soprador em sua máxima rotação, com desperdício de energia e desgaste dos sólidos e acessórios. Por outro lado, sem fornecer energia suficiente, o sistema de transporte não funcionará adequadamente (OTEROR, POLANCO & ASUAJE, 2013; MILLS, 2004).

A velocidade mínima de transporte depende das características do material, em particular a distribuição de tamanho de partícula e a proporção de conteúdo fino no material. A velocidade mínima de transporte é o parâmetro mais crítico no projeto do transportador, pois determina o padrão de fluxo possível, a queda de pressão, bem como o volume de ar necessário e o motor do soprador que será usado (DENG & BRADLEY, 2016). Quando a vazão de sólido é constante e a vazão de ar decresce, a queda de pressão também diminui. Antes de alcançar o ponto de pressão mínima (PMC), as partículas começam a saltar e acumulam rapidamente ao longo da parte inferior da tubulação. O bloqueio ocorre logo que o material preenche completamente a seção transversal da tubulação (MARCUS, 2012).

O acúmulo de material particulado na parte inferior da tubulação é proveniente de vários fatores, sendo principalmente influenciada pela baixa velocidade de ar e presença de conexões que para alterar a direção do escoamento (ZANETTE et al., 2010). A velocidade do gás transportador deve ser suficientemente alta para arrastar e suspender todas as partículas ao longo da tubulação, mas velocidades muito elevadas podem levar ao desperdício de energia, sendo muito importante calcular a potência com base nas curvas características de perda de carga do sistema (KIM et al., 2012; SETIA et al., 2017). Neste contexto, esse trabalho tem como objetivo construir um sistema de transporte pneumático para polipropileno (PP) e polietileno de baixa densidade (PEBD), em fase diluída, visando obter os seguintes parâmetros: curva característica de perda de carga em função da velocidade do ar e da vazão de sólidos e distribuição dos polímeros na seção transversal do transportador, usando configuração de tubulação reta e com adição de duas curvas longas de 45°.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 1 mostra a representação e as dimensões da unidade experimental de transporte pneumático em fase diluída construída e utilizada nesse trabalho. Nos experimentos foram utilizados: balança digital, anemômetro, manômetros digitais, dímer e ponte H (para controle da alimentação de sólido). Foram utilizados também dois sopradores (1,5 Hp) conectados através de junção em Y e 2 kg de polipropileno (PP) e polietileno de baixa densidade (PEBD) com tamanho médio de partícula entre 2-3 milímetros.

As velocidades de ar foram de: 17,5; 20,0; 22,5; 25,0 e 27,5 m/s e as vazões mássicas de polímeros de 3,882; 3,540; 3,252; 2,814; 1,776; kg/min para o PP e 3,858; 3,360; 3,150; 2,658; 1,584 kg/min para o PEBD. No início de cada experimento ajustou-se a velocidade de ar através do dímer e a vazão mássica de polímero através do controlador PWM da válvula rotativa, para que o sólido fosse injetado no duto de transporte. Os valores de pressão antes e após a alimentação de polímero foram obtidos através de manômetros digitais conectados a tubulação. Após os experimentos, pesou-se o sólido acumulado em cada um dos nove sacos acoplados aos coletores. Com a coleta dos dados, construíram-se os gráficos de perda de carga em função da velocidade para cada vazão e os gráficos de distribuição granulométrica.

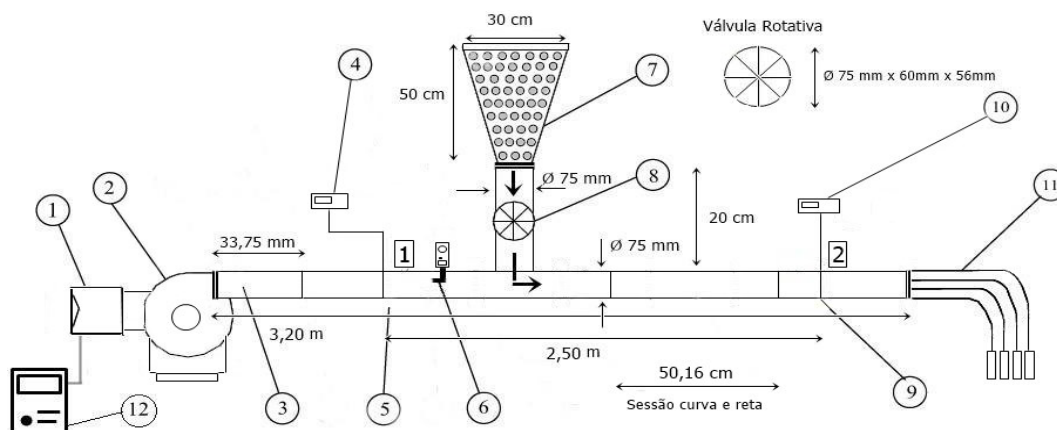


Figura 1. Representação da unidade de transporte pneumático: (1) motor do soprador; (2) hélice do soprador; (3) direcionador de fluxo; (4) manômetro digital para o cálculo da pressão estática; (5) tomada de pressão no ponto 1; (6) anemômetro para medida de velocidade; (7) silo de armazenagem de sólidos; (8) válvula rotativa; (9) tomada de pressão no ponto 2; (10) manômetro digital para tomada de pressão estática; (11) cestos coletores; (12) dimer.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra a queda de pressão com a variação da velocidade de ar e da vazão de alimentação de PEBD e PP para o transporte pneumático com tubulação reta. Pode-se observar que, na ausência de polímeros, a elevação gradativa da velocidade de ar levou ao aumento na queda de pressão no sistema, isso se deve pelo contato entre as moléculas do fluido com as paredes do duto e perturbações no escoamento (GONÇALVES, 2008). O atrito das moléculas de ar na parede é independente da presença de sólidos e, no intervalo de velocidade de ar utilizado, se observa uma relação praticamente linear entre a velocidade de ar e a queda de pressão. Na presença de PEBD e PP, note que para velocidade constante de ar, a variação da pressão total aumenta com o aumento da vazão mássica desses sólidos. Esse aumento da perda de carga está relacionado à maior concentração de sólidos na seção transversal do tubo, dificultando o escoamento do ar na tubulação.

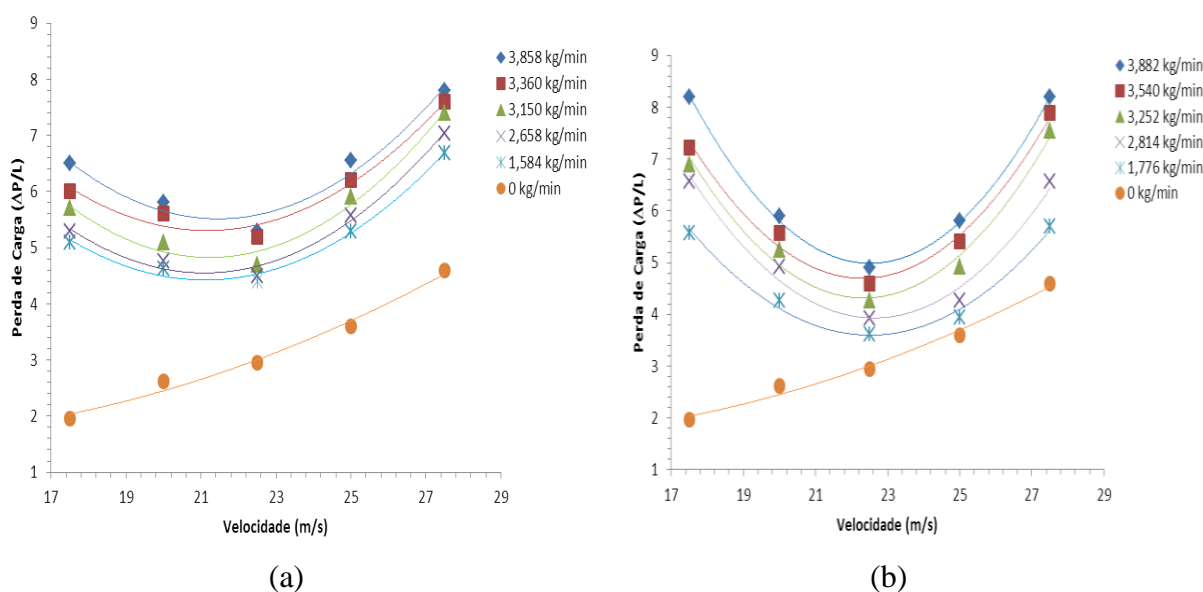


Figura 2. Efeito da velocidade de ar e da vazão de alimentação de (a) PEBD e (b) PP na queda de pressão do transporte pneumático com tubulação reta.

A Figura 2 mostra que, para uma mesma vazão de sólido (PEBD ou PP), a perda de carga diminui com o aumento da velocidade de ar e passa por um mínimo, denominada velocidade de saltitação com valor de 22,5 m/s (OTEROR, POLANCO & ASUAJE, 2013). A partir desse momento, a área disponível na tubulação para a passagem de ar é reduzida pelo acúmulo de sólido na parte inferior do mesmo ocasionando novamente o aumento gradual na pressão. Após o ponto de saltitação, algumas partículas de polímero podem se mover em fluxo de fase densa no fundo do duto, enquanto que outras escoam ainda em fase diluída na parte superior do tubo, até que ocorra a obstrução total da seção da tubulação. Esse fenômeno pode ser observado para todas as vazões de PEBD e PP estudadas com tubulação horizontal reta. É importante ressaltar que, para o PP a perda de carga para as velocidades de ar é maior do que para PEBD. Isso pode ser atribuído, provavelmente as propriedades intrínsecas desses sólidos como o índice de fluidez, forma, granulometria e densidade (NARIMATSU & FERREIRA, 2001; HILTON & CLEARY, 2011).

A Figura 3 mostra a queda de pressão com a variação da velocidade de ar e da vazão de alimentação de PEBD e PP para o transporte pneumático com tubulação com duas curvas longas de 45°. Nessa figura se observa também uma relação praticamente linear entre a velocidade de ar e a queda de pressão, na ausência de polímeros. Na presença de PEBD e PP, semelhantemente ao sistema com tubulação reta, foi notado que para velocidade constante de ar, a variação de pressão aumenta com o aumento da vazão mássica desses sólidos. Esse aumento da perda de carga está relacionado à maior concentração de sólidos na curva do tubo, dificultando o escoamento do ar na tubulação. Comparando-se os valores encontrados de perda de carga para os sistemas com tubulação reta e curva, observa-se que a perda de carga é maior para o sistema com curva. Isto é devido à presença da perda de carga localizada, que é um tipo de perda de carga causada pelos acessórios de canalização, que provocam a variação brusca da velocidade, em módulo ou direção, intensificando a perda de energia nos pontos onde estão localizados (OLIVEIRA et al., 2011).

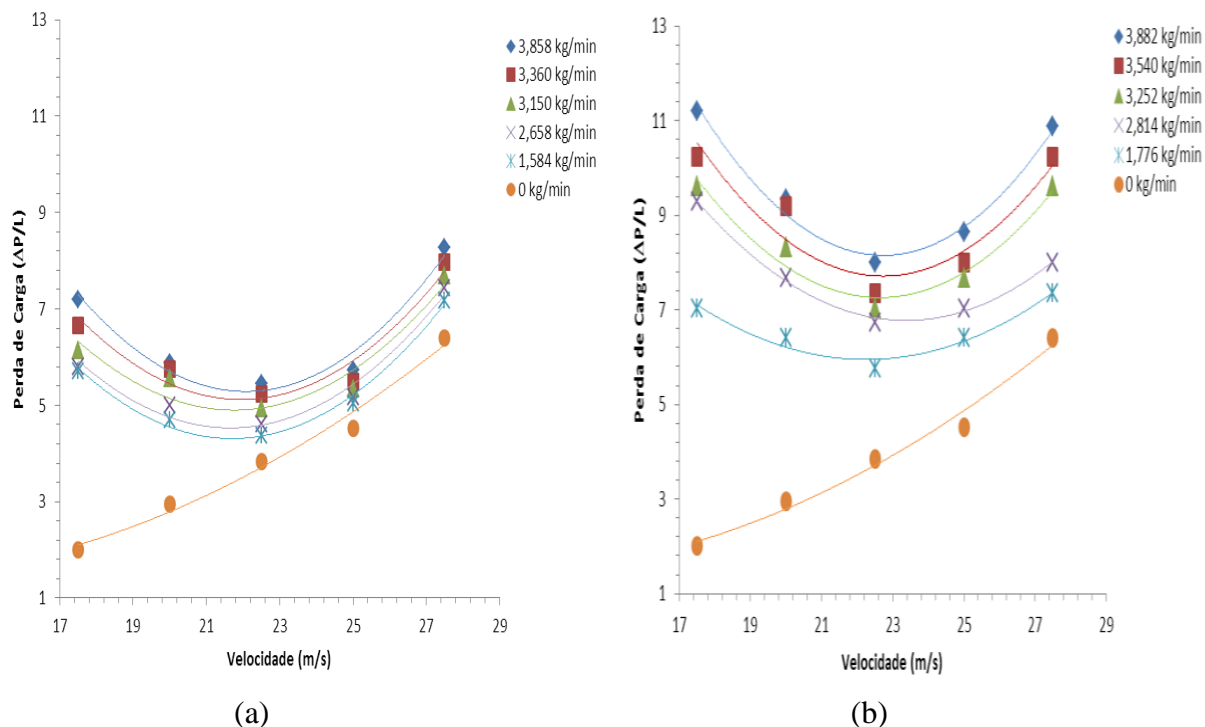


Figura 3. Efeito da velocidade de ar e da vazão de alimentação de (a) PEBD e (b) PP na queda de pressão do transporte pneumático com tubulação com duas curvas longas de 45°.

A Figura 4 mostra a representação dos nove coletores localizados na seção transversal da tubulação. As Figuras 5 e 6 mostram a distribuição de partículas nesses nove coletores com sistema reto e curva, para PEDB e PP, respectivamente. Nota-se que a distribuição dos sólidos não é uniforme, mesmo quando se utiliza a maior velocidade de ar e a menor vazão de sólidos. Nota-se que os sólidos foram transportados em grande parte pela seção inferior da tubulação, sendo a maior fração de sólidos encontrada nos coletores 7, 8 e 9.

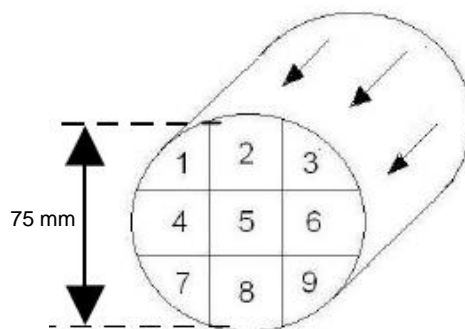


Figura 4. Representação dos nove coletores localizados na seção transversal da tubulação.

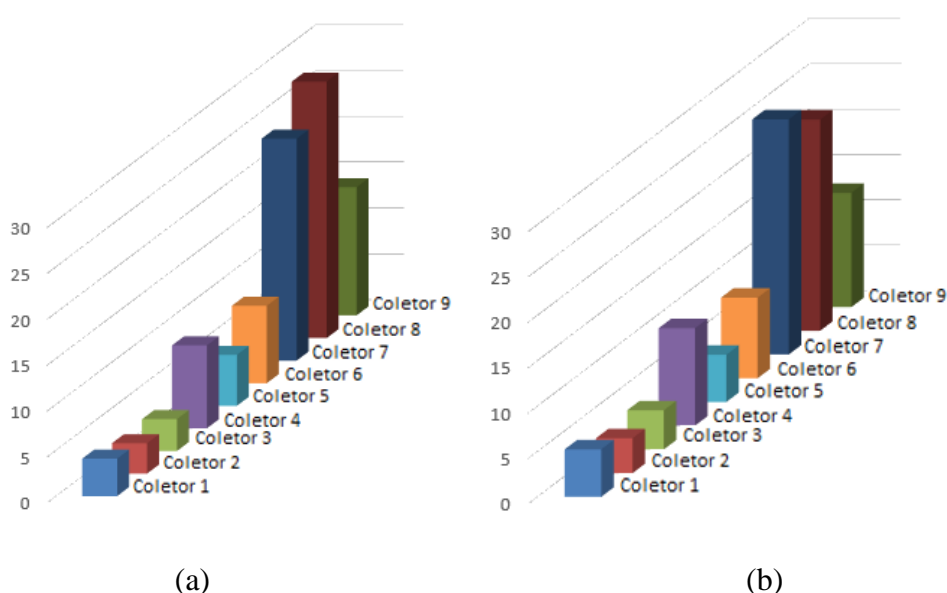


Figura 5. Distribuição de partículas de PEDB nos sistemas com tubulação (a) reta e (b) curva, usando velocidade de ar de 27,5 m/s e vazão de alimentação de PEDB de 1,584 kg/min.

Para o PEDB a distribuição de sólidos apresentou desvio padrão de 9,17% e 8,23% para o sistema com tubulação reta e curva, respectivamente. A distribuição de sólidos para o PP mostrou desvio de 9,54% e 7,96%, para o sistema com tubulação reta e curva, respectivamente. Em geral, observa-se que o desvio padrão das medidas de destruição de sólidos foi relativamente baixo e está de acordo com os resultados observados na literatura (LOPES, 2007; GOMES, 2006).

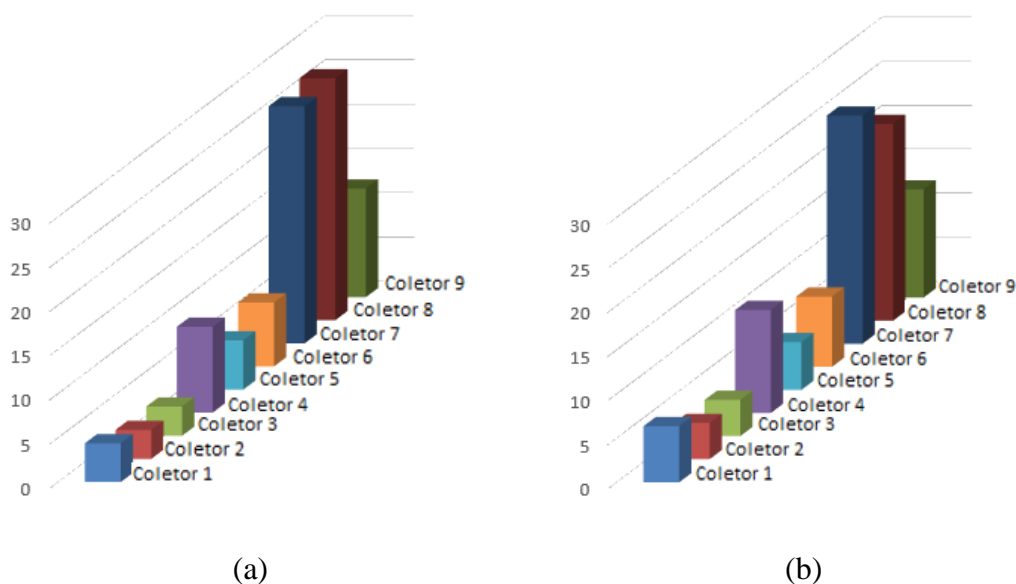


Figura 6. Distribuição de partículas de PP nos sistemas com tubulação (a) reta e (b) curva, usando velocidade de ar de 27,5 m/s e vazão de alimentação de PP de 1,776 kg/min.

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados, nas condições experimentais utilizadas, pode-se concluir que, para vazão constante de PEBD ou PP, a perda de carga diminui com o aumento da velocidade de ar e passa por um mínimo em 22,5 m/s na velocidade de saltitação. Abaixo da velocidade de saltitação a passagem de ar é reduzida pelo acúmulo de sólidos, ocasionando aumento gradual na perda de carga. Após o ponto de saltitação ocorre aumento da pressão com o aumento da velocidade e algumas partículas de polímero podem se mover em fluxo de fase densa no fundo do duto, enquanto que outras escoam em fase diluída na parte superior do tubo. Para velocidade de ar constante, a perda de carga aumenta com o aumento da vazão de sólido. No entanto, a perda de carga para o sistema horizontal com tubulação reta foi menor do que para o sistema com duas curvas longas de 45°, devido à presença da perda de carga localizada devido à presença das curvas. Em geral, para o PP a perda de carga foi maior do que para PEBD. Foi observado que a distribuição de sólidos na tubulação não foi uniforme, nem quando se utiliza menor vazão de sólido e maior velocidade de ar, e a maior parte dos sólidos é transportada na parte inferior da tubulação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos professores de Desenvolvimento de Processos Químicos do DEQUI/UFSJ pela realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

CRUZ, F. D. R. *Transporte pneumático de granulados em fase diluída*. Dissertação de Mestrado (M.Sc.), Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2013.

DAVYDOV, S. Ya.; KASHCHEEV, I. D. *Pneumatic transport of explosive and hot bulk materials*. *Refractories and Industrial Ceramics*, v. 52, n. 4, p. 248-252, 2011.

DENG, T.; BRADLEY, M. SA. *Determination of a particle size distribution criterion for predicting dense phase pneumatic conveying behaviour of granular and powder materials.* Powder Technology, v. 304, p. 32-40, 2016.

DICKOW, S. R. *Dimensionamento de transportador pneumático para resíduos de cereais.* Monografia de graduação, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, RS, Brasil, 2013.

GOMES, L. M. *Análise experimental sobre velocidade de captura em sistemas de transporte pneumático.* Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará, PA, Brasil, 2006.

GONÇALVES, R.S.A. *Avaliação de Perda de Carga e do Fator de Atrito no escoamento de Fluidos de Perfuração em Geometrias Circular e Anulares Concêntricos.* Dissertação de mestrado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2008.

HILTON, J. E.; CLEARY, P. W. *The influence of particle shape on flow modes in pneumatic conveying.* Chemical engineering science, v. 66, n. 3, p. 231-240, 2011.

KIM, J. G.; KANG, I. S.; LEE, S. S.; JUNG, S. *Analysis of pneumatic transport of pulverized coal using solid phase velocity estimation method.* Powder Technology, 230, 188–192, 2012.

LOPES, C. S. *Influência do alimentador de sólidos na fluidodinâmica do transporte pneumático.* Dissertação de mestrado, Universidade Federal de São Carlos, RJ, Brasil, 2007.

MARCUS, R. D. *Pneumatic conveying of solids.* Springer Science & Business Media, 2012.

MILLS, D. *Pneumatic conveying design guide,* Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford, Great Britain, p. 119-125, 2004.

MORAES, M. S. *Convecção forçada de partículas poliméricas em fase diluída: Curvas de pressão e distribuição de partículas.* Tese de Doutorado (D.Sc.), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 2012.

NARIMATSU, C. P.; FERREIRA, M. C. *Vertical pneumatic conveying in dilute and dense-phase flows: experimental study of the influence of particle density and diameter on fluid dynamic behavior.* Brazilian Journal of Chemical Engineering, v. 18, n. 3, p. 221-232, 2001.

OLIVEIRA, F. G., RESENDE, P. R. N., DA CRUZ, O. C., BARRETO, A. C., SERAPHIM, O. J. *Perda de carga em reduções concêntricas de PVC.* Global Science and Technology, 4(2), 2011.

OTEROR, G.; POLANCO, G.; ASUAJE, M. *Analysis of a pneumatic system for a two-phase flow sugar.* The International Journal of Multiphysics, v. 7, n. 4, p. 325-337, 2013.

PERRY, R. H.; GREEN, P. *Perry's Chemical Engineering Handbook.* McGraw- Hill, 7th ed., 1997.

SANTOS, S. M. *Projeto e montagem de unidade piloto de transporte pneumático em fase diluída para estudo da relação entre a perda de carga e a distribuição de partículas*

granulares na seção transversal de dutos industriais. Tese de Doutorado (D.Sc.), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 2009.

SETIA, G.; MALLICK, S. S.; PAN, R.; WYPYCH, P. W. *An experimental investigation into modeling solids friction for fluidized dense-phase pneumatic transport of powders. Particuology*, p. 83–91, 2017.

ZANETTE F. H.; MONTEIRO, L. B.; Mendonça, M. R.; Carbone, M. C.; PIMENTEL, R. L. S.; ROSA, R. M. S.; SANSONE, V. Q.; MORAES, M. S. & JUNIOR, D. M. *Influência de t \hat{e} saída de lado e curva de três gomos na perda de carga a montante e a jusante em unidade de transporte pneumático. Revista Ceciliana*, Jun 2(1), p. 34-36, 2010.