

ANÁLISE DO TEMPO DE PARADA DE TRANSPORTADORES DE CORREIA USANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS¹

Luís Rogério Nogueira²

Manoel Patrocínio³

Carlos Marinho⁴

Pedro Henrique da Silva Macias⁵

Denis Melo Rocha⁵

André Luiz Amarante Mesquita⁶

Resumo

Análise do tempo de para de transportadores de correia nas condições operacionais normais e de emergência e a sua consequência para o desempenho do chute de transferência é de fundamental importância para o projeto de sistemas de transporte por correias. O sistema deve ser projetado de forma que não ocorra um grande acúmulo de material no chute de transferência, sendo no limite um entupimento ou transbordo. Caso este acúmulo de material não possa ser evitado, então o chute deve ser considerado como uma moega e projetado para este fim, permitindo que o sistema possa retomar a operação nessas condições. O método convencional para a análise do tempo de parada considera o volume total do chute, o que não é uma informação correta, pois, de maneira geral, o material não preenche todo o chute no momento da parada dos transportadores. Neste trabalho apresenta-se uma metodologia para a análise da operação do chute de transferência considerando o tempo de parada dos transportadores envolvidos, usando o método dos elementos discretos. Esta metodologia fornece informações importantes para o dimensionamento do chute de transferência e para a estratégia de controle dos transportadores envolvidos.

Palavras-chave: Chute de transferência; Tempo de parada; Transportadores de correia; Método dos elementos discretos.

ANALYSIS OF THE CONVEYOR BELT BREAK TIME USING DISCRETE ELEMENT METHOD

Abstract

Coasting analysis in belt conveyor systems is the analysis of the stopping time in normal and emergency operation conditions, and its consequence for the operating of the complete system (conveyor and transfer chute). The conveyor system should be designed so that, when the system shuts down under normal or emergency stop conditions the chutes do not plug. If chute plugging cannot be avoided, then the transfer chute must be considered as a hopper, and designed accordingly. Design must then make allowance for plugged chute restarts. In the conventional analysis the calculation is performed using the total volume of the transfer chute, giving incorrect information, because the chute can plug even if the particles do not fill the entire volume of the chute. In this work it is presented a methodology for coasting analysis using the Discrete Element Method. All transfer chutes in a complete line of belt conveyors are analyzed in cascade. This methodology gives good information for the configuration of the transfer chute design and for the belt conveyor control strategy.

Key words: Transfer chute; Coasting analysis; Belt conveyor stopping time; Discrete element method.

¹ *Contribuição técnica ao 43º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 14º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 1º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 1 a 4 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Engenheiro Sênior, Vale SA., Brasil.*

³ *Engenheiro Master, Project CLN 150, Vale SA., Brasil.*

⁴ *Engenheiro Mecânico, Vale SA., Brasil.*

⁵ *Engenheiro Mecânico, Solve, Brasil.*

⁶ *Professor Associado, Universidade Federal do Pará, PR, Brasil*

1 INTRODUÇÃO

A análise do tempo de parada de transportadores de correia é uma etapa fundamental para o projeto deste tipo de transporte de material. Este procedimento consiste na análise do comportamento da operação do chute de transferências em condições normais e de emergência, no sentido de evitar um grande acúmulo de material neste componente, evitando entupimento ou transbordo. Caso este acúmulo de material não possa ser evitado, então o chute deve ser considerado como uma moega e projetado para este fim, permitindo que o sistema possa retomar a operação nessas condições. O método convencional para a análise do tempo de parada considera o volume total do chute, o que não é uma informação correta, pois o material, de maneira geral, não preenche todo o chute no momento da parada dos transportadores.

Atualmente o Método dos Elementos Discretos (*Discrete Element Method – DEM*) é a ferramenta mais moderna para a análise de escoamento de materiais através de chutes de transferência (Kessler and Prenner,⁽¹⁾ Kim,⁽²⁾ Hestie⁽³⁾). Neste trabalho é apresentada uma metodologia para a análise do tempo de parada de transportadores de correia utilizando o método DEM. Esta metodologia fornece informações importantes para o dimensionamento do chute de transferência e para a estratégia de controle dos transportadores envolvidos. Observa-se que esta análise, embora de grande importância, é pouco abordada pela literatura disponível.

2 ANÁLISE DO TEMPO DE PARADA – METODOLOGIA CONVENCIONAL

2.1 Descarga de Material Durante a Frenagem

Na metodologia convencional a determinação da quantidade de material descarregado durante o período de frenagem emprega o procedimento da CEMA,⁽⁴⁾ onde é assumido que o transportador tem uma desaceleração constante. Desta forma, a distância percorrida pela correia, d_c , desde a plena velocidade até a parada completa é calculada pela velocidade média multiplicada pelo intervalo de frenagem, ou seja,

$$d_c = \left(\frac{V + 0}{2} \right) \times t_d = \frac{V t_d}{2} \quad (1)$$

Onde V é a velocidade da correia e t_d é o tempo de frenagem.

Se a quantidade de material que pode ser seguramente transferido para o transportador receptor é conhecida, o tempo máximo de frenagem pode ser determinada pela seguinte expressão:

$$W_d = V t_m W_m \quad (2)$$

Onde t_m é o tempo máximo de frenagem; W_d é a massa descarregada e W_m é a massa de material por comprimento de correia. Portanto,

$$t_m = \frac{W_d}{W_m V} \quad (3)$$

2.2. Percentual de Material Acumulado no Chute

A metodologia da CEMA⁽⁴⁾ utiliza a seguinte expressão para a determinação da massa acumulada, M , no chute de transferência:

$$M = d_{c1}W_{m1} - d_{c2}W_{m2} \quad (4)$$

Onde os índices 1 e 2 designam, respectivamente, os transportadores de alimentação e de recepção.

A capacidade nominal dos transportadores, C_n , pode ser calculada pela Equação 5.

$$C_n = V_1W_{m1} = V_2W_{m2} \quad (5)$$

E, usando as Equações 1 e 4 obtém-se:

$$M = C_n \left(\frac{t_{d1} - t_{d2}}{2} \right) \quad (6)$$

Portanto, se t_{d1} é maior do que t_{d2} , M é positivo e, conseqüentemente, não há acumulação de material no chute. De modo contrário se t_{d1} é menor do que t_{d2} , M é negativo, e, portanto, há acumulação. Finalmente, o percentual de acumulação, M_{bu} , é obtido através de:

$$M_{bu} = \frac{(M/\rho)}{Vol} \times 100 \quad (7)$$

Onde ρ é a massa específica aparente do material e Vol é o volume útil do chute.

3 ANÁLISE DO TEMPO DE PARADA – METODOLOGIA DEM

A análise do tempo de parada através da metodologia DEM é realizada pela simulação do escoamento do material utilizando um pacote computacional de implementação da técnica DEM. No presente trabalho empregou-se o software Bulk Flow Analyst.⁽⁵⁾ Neste software a caixa de injeção de partículas é uma ferramenta que gera as partículas na correia de alimentação. Para a análise do tempo de parada é capacidade da correia de alimentação é variada na caixa de injeção, desde a capacidade nominal até a capacidade nula, durante todo o período de frenagem. Também a velocidade da correia de alimentação é variável, em acordo com a capacidade da correia. Para a correia de recepção a velocidade varia desde o valor nominal até a velocidade nula, durante o seu correspondente tempo de frenagem. Assim, a capacidade da correia receptora é calculada pela simulação DEM, computando o número de partículas atravessando uma seção transversal da mesma. O material acumulado é então calculado pelo balanço de massa.

4 ESTUDO DE CASO E DISCUSSÃO

No sentido de comparar as metodologias de análise do tempo de parada, um estudo de caso foi realizado, cujos dados são apresentados na Tabela 1. Para esta configuração, a Figura 1 apresenta a evolução da velocidade das correias de alimentação e recepção durante o período de frenagem.

A geometria do chute para este estudo de caso é mostrada na Figura 2. O chute apresenta duas caixas de pedra, uma na capota e outra na bota. A primeira tem a finalidade de diminuir a energia do escoamento e evitar o desgaste na região de

contato, assim como guiar o escoamento do material para a parte inferior do mesmo. A segunda caixa de pedra tem o objetivo de guiar o material para o centro da correia receptora. O volume útil do chute de transferência é de chute de 52,4 m³. O material transportado é minério de ferro com uma densidade aparente de 2,5 t/m³.

Tabela 1. Estudo de caso – dados dos transportadores

Parâmetro	Transportador	
	Alimentação	Recepção
Capacidade (t/h)	16.000,0	
Velocidade (m/s)	4,17	4,17
Tempo de parada (s)	20,0	10,0
Volume do chute (m ³)	70,0	

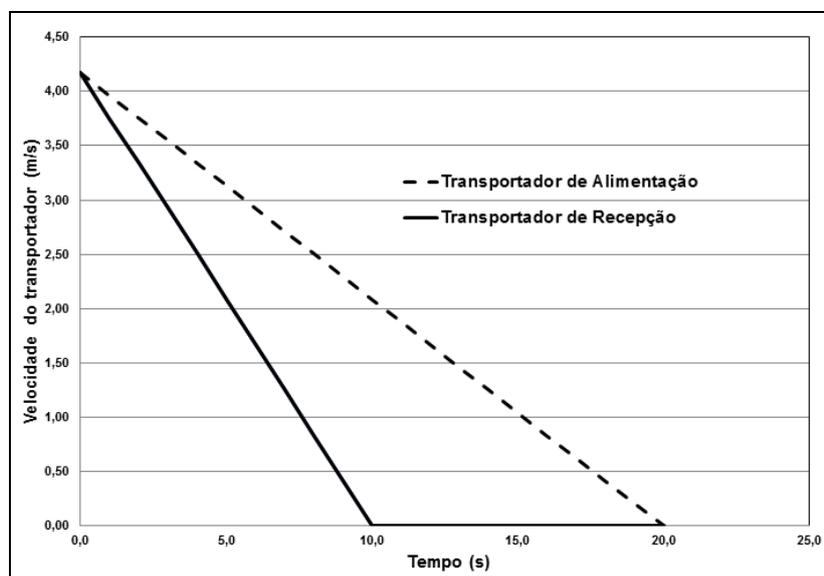


Figura 1. Velocidade dos transportadores durante o tempo de frenagem.

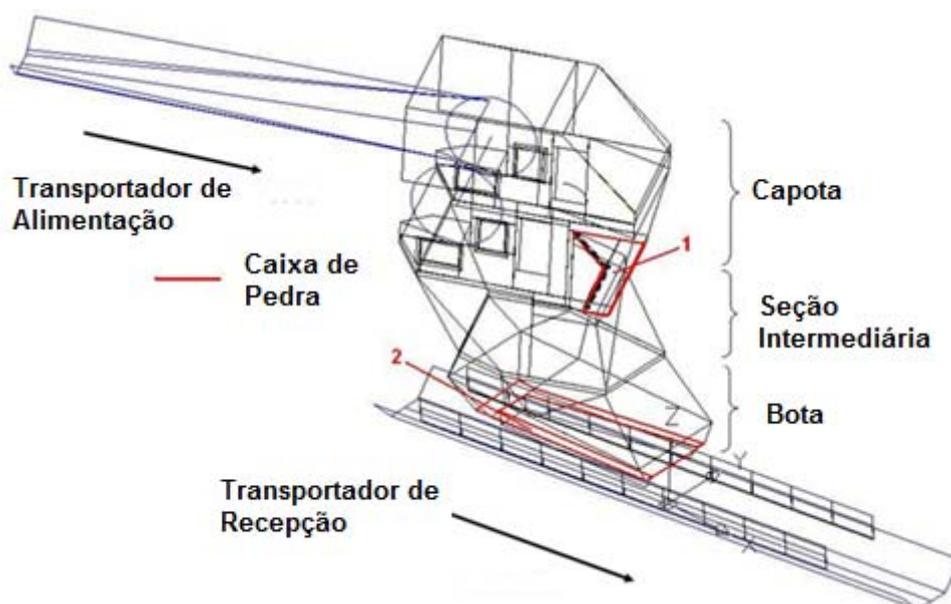


Figura 2. Chute de transferência para o estudo de caso.

Na Tabela 2 é apresentada a condição operacional dos transportadores em relação ao tempo computacional do software DEM. O intervalo de 0-15s é necessário para se atingir o regime permanente na correia receptora. Decorridos 15 s ambos transportadores iniciam a frenagem. Em 25 s e 35 s, respectivamente, os transportadores de recepção e alimentação param completamente. O transportador de recepção permanece parado no intervalo de 25-40 s, iniciando novamente a sua operação no tempo de 40 s e opera em velocidade nominal até 60 s. O transportador de alimentação permanece parado no intervalo de 55-50 s, iniciando novamente a sua operação no tempo de 50 s e opera em velocidade nominal até 60 s.

Tabela 2. Estudo de caso – condição operacional dos transportadores

Etapa	t	Condição Operacional	
		Alimentação	Recepção
1	0 - 15	Em operação, tempo para se atingir o regime permanente	
2	15 - 25	Operando em frenagem	Frenagem completa
3	25 - 35	Frenagem completa	Parado
4	35 - 40	Parado	Parado
5	40 - 50	Parado	Operando em velocidade nominal
6	50 - 60	Operando em velocidade nominal	Operando em velocidade nominal

Na Figura 3 é apresentado o comportamento do escoamento do material através do chute de transferência conforme calculado pelo software DEM. Como esperado, verifica-se acumulação de material nas caixas de pedra. Em 40 s pode-se observar o máximo de acúmulo de material no chute. Em 50 s é mostrada a condição de retomada de operação do transportador de recepção, onde parte do material, retido pelas caixas de pedra e pela condição da parada, permanece no chute. Na mesma condição de regime permanente, as imagens para 15 s e 60 s são diferentes, onde uma maior quantidade de material é retido no chute, devido á condição da frenagem. Este comportamento somente pode ser verificado através da metodologia DEM. A estimativa de material retido no chute pela metodologia convencional, através das Equações 6 e 7 é dados por:

$$M_{bu} = 16,000 \times \left(\frac{20 - 10}{2 \times 3600} \right) \frac{1}{2,5} \frac{1}{52,4} \times 100 = 17.0\% \quad (8)$$

O resultado através da metodologia convencional, para o presente estudo de caso, subestima o percentual de material acumulado, já que pela metodologia o percentual é calculado em 21%.

Um modo alternativo para o cálculo do material acumulado pode ser realizado através da aplicação do princípio da conservação da massa, isto é:

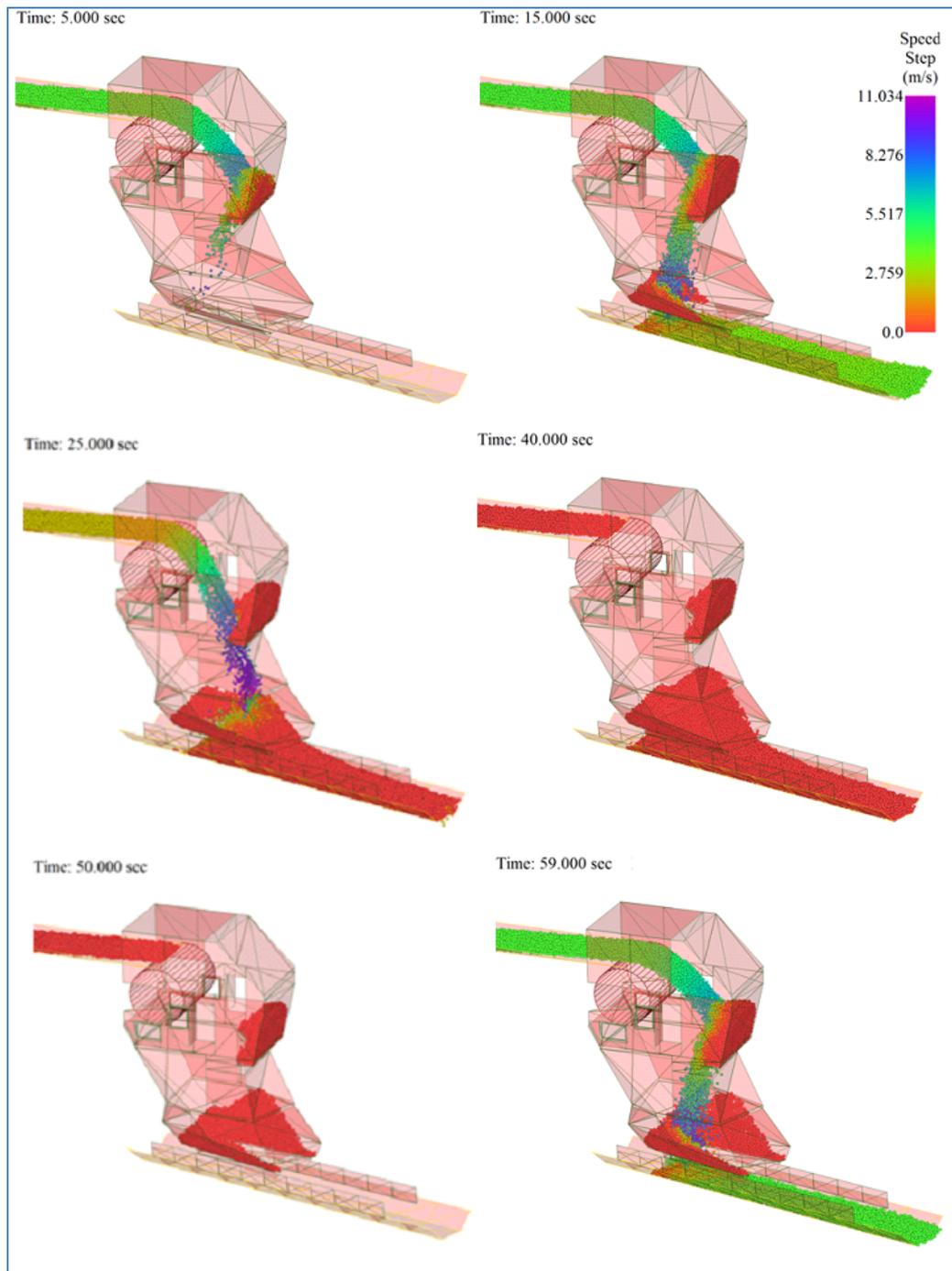


Figura 3. Análise do tempo de para via metodologia FDEM.

$$\frac{dM_{bu}}{dt} = \dot{M}_{in} - \dot{M}_{out} \quad (9)$$

Onde M_{in} e M_{out} são, respectivamente, o fluxo de massa de entrada e saída do chute.

Usando as relações clássicas para estimativa de capacidade de transportadores de correia,⁽⁴⁾ a Figura 4 mostra a variação com o tempo da taxa dM_{bu}/dt . O material pode então ser calculado através da integração desta curva, fornecendo M_{bu} igual a 22.22 t, que corresponde a 8,89 m³ e 17,0 de acúmulo, o que é o mesmo resultado obtido pelo emprego das Equações 6 e 7, sendo, portanto, metodologias equivalentes.

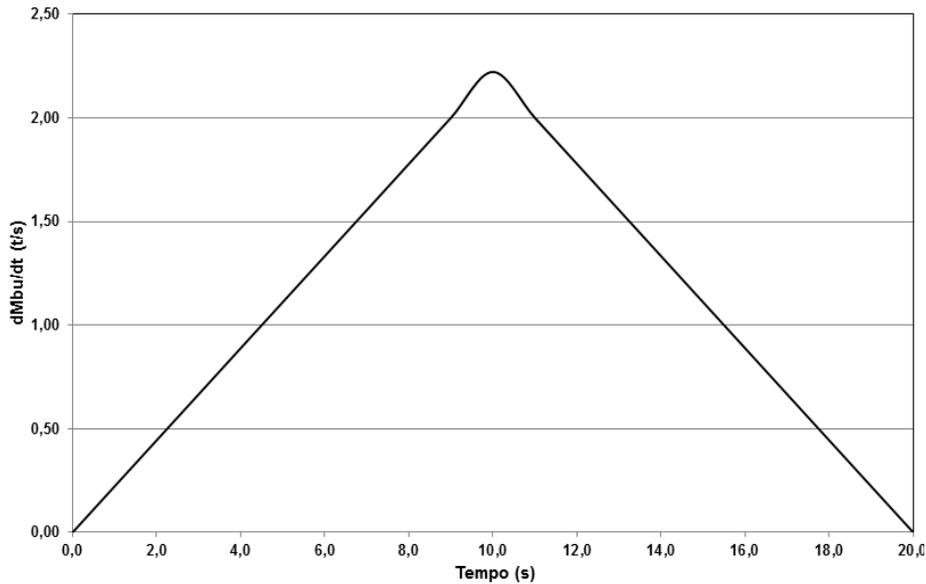


Figura 4. Evolução de dM_{bu}/dt .

A metodologia DEM estima o material acumulado pelo balanço de massa, sendo o fluxo de massa calculado pelo modelo DEM. A Figura 5 mostra a evolução do fluxo de massa através dos transportadores, assim como a derivada com relação ao tempo dM_{bu}/dt e observa-se o comportamento do escoamento durante a retomada de operação do transportador de recepção, no intervalo de 40-45 s. Nesta metodologia pode-se calcular a massa que é acumulada nas caixas de pedra, o que não é possível através da metodologia convencional.

Embora a metodologia convencional tenha fornecido um resultado aceitável para o presente estudo de caso, ele deve ser empregado com reservas. Em algumas situações a condição de acúmulo de material durante a frenagem favorece uma direção preferencial e o chute pode entupir, ou transbordar, sem que o chute tenha sido completamente preenchido de material. Neste caso a metodologia convencional deverá fornecer resultados inaceitáveis. Assim, a metodologia DEM é a recomendada para a análise do tempo de parada de transportadores de correias.

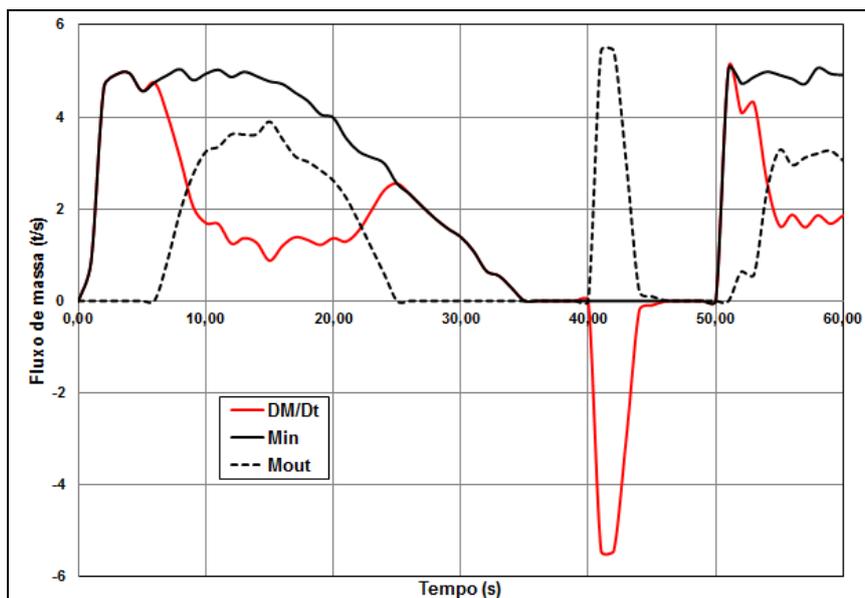


Figura 5. Evolução do escoamento do material através da metodologia DEM.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo apresenta uma metodologia para a análise do tempo de parada de transportadores de correia utilizando o Método dos Elementos Discretos. A metodologia convencional é também apresentada e um estudo de caso é realizado para avaliação dos procedimentos.

É verificado que, para o estudo de caso analisado, a metodologia convencional fornece uma subestimação do material acumulado no chute de transferência, quando comparado com o resultado da metodologia DEM. Além disso, na metodologia convencional é impossível calcular o material acumulado nas caixas de pedra.

Verifica-se também uma forma alternativa de cálculo do material acumulado através das relações clássicas de dimensionamento de transportadores de correia, conjuntamente com a aplicação do princípio da conservação da massa. É concluído que essas metodologias são equivalentes.

Embora a metodologia convencional tenha produzido um resultado aceitável para o estudo de caso apresentado, ela deve ser empregada com reservas. Em algumas situações, durante a condição de frenagem, o material segue uma direção preferencial dentro do chute e pode entupi-lo ou transbordar, sem que o chute tenha sido completamente preenchido de material. Portanto, a metodologia DEM é a recomendada para a análise de tempo de parada de transportadores de correias, visando dimensionamento de chutes e definição de estratégias de controle de sistemas de transportadores de correias.

REFERÊNCIAS

- 1 KESSLER, F.; PRENNER, M. DEM. Simulation of conveyor transfer chutes. FME Transactions, v. 37, p. 185-192, 2009.
- 2 KIM, Y. Combined front end DEM analysis and empirical design process to minimize transfer chute blockages. Australian Bulk Handling Review, p. 62-65, Mar.-Apr., 2010.
- 3 Hestie, DB. Belt conveyers transfers: quantifying and modeling of mechanisms of particle flow. PhD Thesis, University of Wollongong, Australia, 2010.
- 4 CEMA. Belt Conveyors for Bulk Materials, 5th Edition, The Conveyor Equipment Manufacturers Association, 2002.
- 5 Bulk Flow Analyst - BFA, <http://www.applieddem.com>.