

Análise de alimentadores de correia HDRN segundo seu consumo de energia, as suas variáveis de projeto e a densidade do material

Analysis of HDRN belt feeders according to their energy consumption, design variables and material density

Análisis de alimentadores de banda HDRN según su consumo energético, variables de diseño y densidad de material

Recebido: 11/10/2021 | Revisado: 16/10/2021 | Aceito: 16/12/2021 | Publicado: 22/12/2021

Mayrlla Andryelly Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0006-7489>

Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

E-mail: mayrlla.andryelly@hotmail.com

Moilton R. Franco Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0296-8221>

Universidade Federal de Uberlândia, Brasi

E-mail: moilton@ufu.br

Resumo

A literatura disponível para especificação de equipamentos empregados no beneficiamento de minérios permite que o engenheiro adquira quaisquer deles seguindo suas necessidades na fábrica observando as especificações do fabricante no que se refere à capacidade, potência, características de medidas internas, bem como propriedades do material a ser cominuído. Por outro lado, tem-se notado que ao empregar as especificações recomendadas pelo fabricante para britadores, por exemplo, na tentativa de simular o processamento de um material, pode-se concluir que algumas variáveis de projeto causam a inviabilidade daquele equipamento adquirido, mostrando que há restrições que o manual do fabricante não contempla. Um equipamento usual em mineradoras é o alimentador que serve para prover britadores e moinhos de material pra ser processado. Dessa forma, no caso de alimentadores de correia (esteira) deseja-se estudar a influência de algumas variáveis de projeto, tais como dimensões, peso e

velocidade da correia e ângulos internos, na decisão final de escolha e compra do equipamento. Algumas recomendações do fabricante, tal como, a velocidade máxima da correia e altura do material sobre a correia (D) devem ser verificadas com cálculos. Além disso, foi verificado que entre os fatores de atrito (f , f_m etc) variações no fator f_m provocam fortes influências no consumo de energia do alimentador adquirido.

Palavras-chave: Alimentador; Energia; Projeto; Especificação.

Abstract

The literature available for specification of equipment used in mineral processing allows the engineer to acquire any of them following their needs at the factory, observing the manufacturer's specifications regarding capacity, power, internal dimensions characteristics, as well as properties of the material to be comminuted. On the other hand, it has been noticed that when using the specifications recommended by the manufacturer for crushers, for example, in an attempt to simulate the processing of a material, it can be concluded that some design variables cause the unfeasibility of that acquired equipment, showing that there are restrictions that the manufacturer's manual does not include. A common equipment in mining companies is the feeder that serves to provide crushers and mills of material to be processed. Thus, in the case of belt feeders (belt) it is desired to study the influence of some design variables, such as dimensions, weight and speed of the belt and internal angles, in the final decision to choose and purchase the equipment. Some manufacturer recommendations such as maximum belt speed and height of material over belt (D) should be verified with calculations. In addition, it should be checked how friction factors (f , f_m etc) can change the use of the feeder purchased.

Keywords: Feeder; Energy; Project; Specification.

Resumen

La literatura disponible para la especificación de los equipos utilizados en el procesamiento de minerales permite al ingeniero adquirir cualquiera de ellos siguiendo sus necesidades en fábrica, observando las especificaciones del fabricante en cuanto a capacidad, potencia, características de medición interna, así como propiedades del material a triturar. Por otro lado, se ha observado que al utilizar las especificaciones recomendadas por el fabricante para trituradoras, por ejemplo, en un intento de simular

el procesamiento de un material, se puede concluir que algunas variables de diseño provocan la inviabilidad de ese equipo adquirido. , mostrando que existen restricciones que el manual del fabricante no incluye. Un equipo común en las empresas mineras es el alimentador que sirve para proporcionar trituradoras y molinos de material a procesar. Así, en el caso de los alimentadores de banda (banda) se desea estudiar la influencia de algunas variables de diseño, como las dimensiones, peso y velocidad de la banda y ángulos internos, en la decisión final de elección y compra del equipo. Algunas recomendaciones del fabricante, como la velocidad máxima de la banda y la altura del material sobre la banda (D), deben verificarse con cálculos. Además, se verificó que entre los factores de fricción (f, fm, etc.) las variaciones en el factor fm provocan fuertes influencias en el consumo de energía del alimentador comprado.

Palabras clave: Alimentador; Energía; Proyecto; Especificación.

Introdução

É bem conhecido e claro, aos profissionais de engenharia e exatas em geral que para que um equipamento seja robusto e bem apropriado para a função que desempenhará, o seu dimensionamento e projeto possuem papel fundamental na sua operacionalidade. Um exemplo interessante é o trabalho de Faria *et al.* (2021) que em recente revisão, concluíram que há condições para um aumento no reaproveitamento de rejeitos de minério no Brasil devido a fatores técnicos (novos processos e métodos de reaproveitamento) e a fatores econômicos, ou seja, o desenvolvimento de novos equipamentos podem contribuir na sustentabilidade. Dentre esses estão os alimentadores de material, tais como os de sapatas, correias, Table Feeder, que são equipamentos vastamente aplicados com sucesso em plantas de Mineração, Sinterização e Pelotização.

Comparado ao Table Feeder, o Alimentador de Correia é mais frágil e requer mais cuidados com o material manuseado. Matacos ou grãos maiores de minério podem danificar a correia transportadora com maior facilidade do que causar danos ao Table Feeder. Caso haja contenção de matacos a vida útil da correia transportadora será ainda maior. Ambos os equipamentos possuem excelente eficiência quando bem operados e quando possuem bons padrões de manutenção que são executados de maneira adequada.

A literatura (LIMA *et al.*, 2016) apresentou uma solução de problema de substituição em que foi selecionado o Alimentador de Correia devido ao seu custo bastante inferior em relação a um novo Table Feeder. Por se tratar de um equipamento mais simples a sua manutenção também é mais simples, podendo-se utilizar os mesmos padrões de inspeção em Transportadores de Correia.

A efetividade do trabalho de Lima *et al.* (2016) se resumiu no projeto de um equipamento bem dimensionado, que desempenha bem a sua função e que permite que a equipe de manutenção possa lidar com o mesmo de forma simples e objetiva. Todo projeto do Alimentador de Correia e as modificações na Balança Dosadora levaram em consideração algumas premissas de componentes robustos, de maior vida útil e normalmente já aplicados em outros equipamentos.

Nos melhores equipamentos a fase de projeto contempla estudos para que o mesmo opere com a maior eficiência e que a manutenção seja simples. Bons acessos às intervenções e componentes comuns que sejam facilmente encontrados no almoxarifado da empresa melhoram a aceitação do equipamento. Somando-se a limpeza adequada do equipamento com a execução dos planos de inspeção e manutenção, será possível garantir um excelente desempenho para o equipamento bem projetado, assim garantindo baixos índices de falhas.

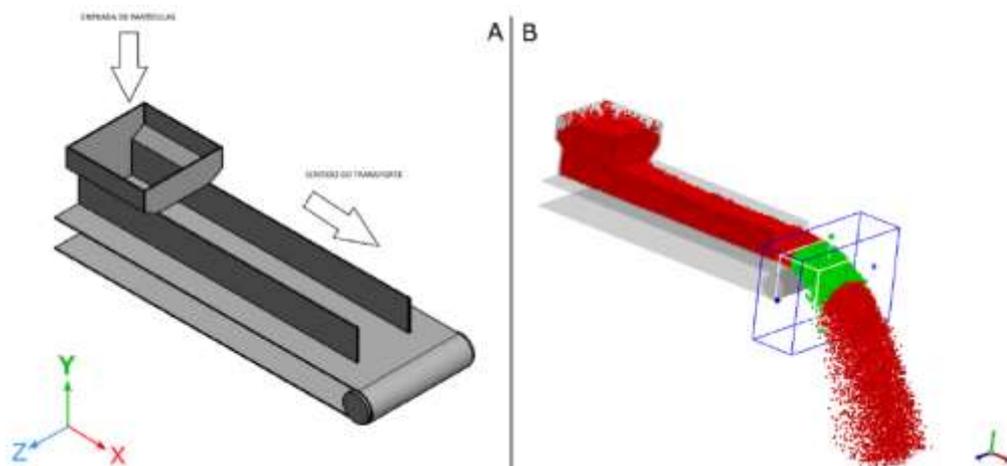
Carvalho (2015) apresentou um estudo de transportadores de correia de alta velocidade (High Speed) proposto pela Chemtech foi realizada, demonstrando aspectos de economia em termos de em termos de custos de implantação e operação (energia). Relataram que a adoção de uma maior velocidade da correia (de 4,2 m/s para 6,2 m/s) além de contribuir para a redução do investimento inicial do empreendimento proporcionou um menor consumo de energia (custo de operação).

O autor comenta que seu trabalho está restrito aos transportadores de correia de longa distância (TCLD) e que, dessa forma, deve-se ter o cuidado que suas conclusões podem não se aplicar a casos mais específicos. Algumas propostas adicionais podem ser verificadas no trabalho de Carvalho (2015) tais como: (1) para uma maior economia de Capex e Opex neste tipo de transportador de correia, deverá ser exigida a análise dinâmica de seu projeto antes de sua fabricação; (2) deverá também ser executada a verificação geométrica do chute de transferência através de metodologia DEM (Discrete Element

Modeling) que simulará o comportamento do fluxo de material no chute adequando-o ao menor atrito de passagem e conseqüentemente maior durabilidade das chapas de desgaste.

Investigações realizadas por Tavares e Faria (2015) mostraram que algumas propriedades do material granular influenciam no fenômeno observado de aumento espontâneo da componente horizontal da velocidade das partículas. Eles empregaram dinâmica molecular para realizar simulações computacionais onde se percebe a variação da velocidade, considerando o atrito entre grãos, a vazão do fluxo granular e a coesão entre os grãos. Mostraram que, em transportadores ou alimentadores de correia, o atrito entre grãos aproxima o escoamento do comportamento de um sólido granular.

Figura 1 - Esquema do transportador usado por Tavares e Faria, 2015.



(Fonte: Tavares e Faria, 2015)

Um estudo sobre o desempenho em termos de eficiência energética e taxa de transporte de um sistema pneumático que dispõe de um alimentador de sólidos não convencional foi desenvolvido pela empresa e nomeado Batchpump (DE FREITAS *et al.*, 2019 (a,b)). O objetivo deste projeto consiste em encontrar o ponto de operação ótimo do sistema, a fim de validar a hipótese que este novo produto possui capacidade de transporte e consumo comparáveis aos de um vaso de pressão comum.

O trabalho de Santiago e colaboradores (2020) proporcionou de forma teórica e prática o dimensionamento mínimo exigido de um sistema de acionamento de um transportador de correia de grande porte com capacidade de transporte de minério de

693,5 toneladas por hora. A metodologia utilizada atendeu assertivamente a potência exigida com segurança para o estudo de caso em questão, servido como referência para projetos similares. Para tanto, um programa foi elaborado para realização do trabalho o que proporcionou maior agilidade e redução da probabilidade de cometer erro nos cálculos. Podendo ser utilizado facilmente para diversos cálculos simultaneamente em outros estudos de caso.

Estudos visando obter o ponto ótimo de operação para equipamentos industriais que atuam como alimentadores de sólidos podem ser desenvolvidos usando protótipos para laboratório. Nessa linha, De Freitas *et al.* (2019) trabalharam com um alimentador para um sistema industrial de transporte pneumático, nomeado de Batchpump, conectado a uma linha de 133m de comprimento e 3 polegadas de diâmetro, com diferença de cota de 5m. Os experimentos analisaram dados relativos ao ponto de finalização e vazão de operação. Os resultados foram apresentados relativos às variáveis de taxa de transporte e de eficiência energética. Os valores de taxa de transporte mostraram 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.

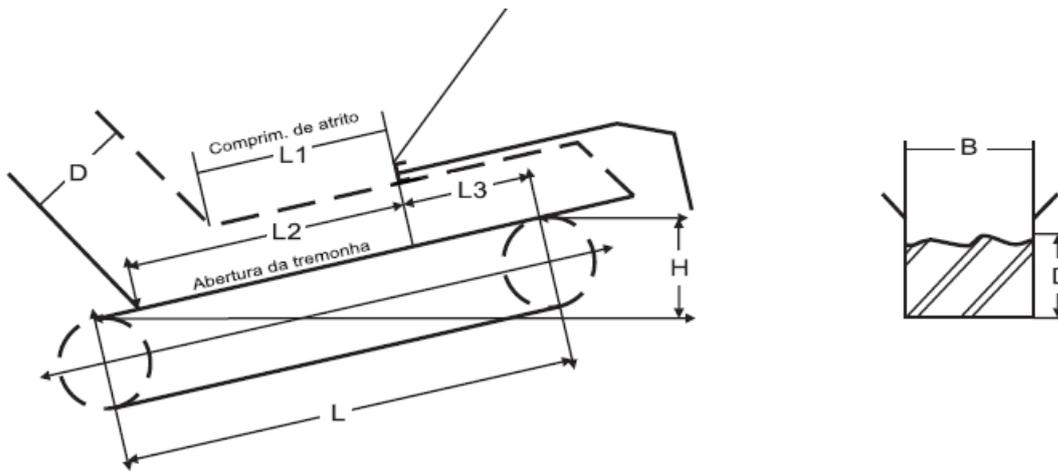
A compreensão de como o material se comporta em fluxo contínuo e a calibração e avaliação do escoamento pode ser, além de outras maneiras, feita por meio da modelagem dinâmica em escala de chutes de transferência, a qual é obtida através de análise dimensional e utiliza o Número de Froude como base de dimensionamento (DONECKER, 2011). Dessa forma, Santos *et al.* (2017) desenvolveram um laboratório de transportadores de correia para análise de chutes de transferência em escala, obedecendo as leis de similaridade, para investigar o fluxo de materiais granulares como uma fonte de informação para projetos industriais.

Metodologia

A Figura 2 apresentada a seguir, exhibe algumas dimensões que são específicas de alimentadores, sejam eles de sapatas ou correias. As dimensões L , L_2 e L_1 seriam, respectivamente, comprimento da esteira, abertura da tremonha e comprimento de atrito.

As grandezas B e D estão relacionadas à largura da esteira e à altura do material sobre a esteira. Alguns fabricantes recomendam que D seja em torno de B/2, ou seja, a metade da largura da esteira.

Figura 2 – Esquema representativo de um alimentador com medidas de interesse no projeto.



(Fonte: Metso Minerals, 2005)

Outras variáveis que aparecem no projeto e especificação de um alimentador são: a velocidade (V) da esteira (correia), L é o comprimento da correia, L₁ é o comprimento de atrito, L₂ a abertura da tremonha, densidade do material (γ), ângulo (θ) de repouso do material sobre a correia, W_b que é o peso da correia que é uma função de sua largura.

A capacidade de transporte de um alimentador pode ser estimada por

$$Q = B \times D \times \gamma \times V \times 3600 \quad (1)$$

Onde: Q é capacidade de alimentação (t/h), B é a largura útil da tremonha (m) e D é a altura da camada de material a transportar (m).

Teoricamente, ou por informação do fabricante, costuma-se recomendar um valor máximo de velocidade da correia. Pretende-se verificar, com cálculos, essas e outras velocidades e discutir o porquê da recomendação deste máximo. Assim como proposto no trabalho de Teixeira *et al.* (2021), esse tipo de abordagem torna o estudo mais atrativo nos cursos de engenharia, uma vez que o futuro projetista abre o pensamento para outras possibilidades que não são vislumbradas em aula. Outro aspecto interessante seria averiguar, com valores calculados, o porquê a altura do material na esteira é recomendada

ser $B/2$. Nota-se que existe uma equação para cálculo de D (altura da camada de material sobre a um estudo da influência das variáveis de projeto na capacidade e potência do motor do alimentador podem conduzir a uma possível otimização.

Nesse trabalho, alguns testes, com resultados numéricos, no caso do alimentador de correias, modelo HDRN, devem obedecer aos seguintes limites de variação para as variáveis de entrada:

$$10^0 \leq \theta \leq 30^0; 0,8 \text{ t/m}^3 \leq \gamma \leq 2,4 \text{ t/m}^3; 0,406 \text{ m} \leq B \leq 2,13 \text{ m}; 1,0 \text{ m} \leq L \leq 10,0 \text{ m} \text{ e } 0,05 \text{ m/s} \leq V \leq 0,3 \text{ m/s}.$$

A estimativa do gasto de energia será feita baseada na equação proposta pelo fabricante de alimentadores da Metso Minerals, que propõe estimar o valor total gasto (P_t) no transporte dado por

$$P_t = P_e + P_1 + P_s + P_{fs} + P_h \quad (2)$$

Em que: P_t = esforço total (kgf), P_e = tensão para movimentar a correia vazia (kgf), P_1 = tensão para movimentar o material (kgf), P_s = tensão para movimentar o material (kgf), P_{fs} = tensão devida ao atrito nas guias laterais (kgf) e P_h = tensão devido à elevação do material (kgf).

A equação que estima cada esforço ou tensão é assim descrita:

$$p_e = L \cdot (K_x + K_y W_b + 0,02 W_b) + 45,4 \quad (3)$$

Em que W_b é o peso da correia (kg/m), K_y vale 0,04 para roletes planos e 0,05 para roletes inclinados. O valor de K_x pode ser estimado e para esse trabalho foi considerado 4,46 kgf/m.

$$p_1 = K_y \cdot (1,2B^2 \gamma L_2 + L_3 B D \gamma) \quad (4)$$

$$L_3 = L - L_2 \quad (5)$$

$$p_s = \gamma L_1 \cdot (1,2B - D) \cdot f_m \cdot B \quad (6)$$

$$p_{fs} = D \cdot \gamma \cdot K_a \cdot f_{sm} \cdot \{(2,4B - D) \cdot L_1 + D L_3\} \quad (7)$$

Onde o valor de K_a é função do ângulo de repouso e vale

$$K_a = \frac{1 - \text{sen}\theta}{1 + \text{sen}\theta} \quad (8)$$

Os valores dos coeficientes de atrito (f_{sm} , f_m) que entram nas estimativas de P_{sf} e P_s mencionadas na equação (2) estão tabelados pelo fabricante Metso Minerals. Os materiais que serão considerados no estudo serão areia, cascalho e escória que apresentam f_{sm} de 0,33, 0,5 e 0,6 respectivamente. O valor de f_m será de 0,65 para qualquer material. O valor de elevação do material será considerado nulo para esse trabalho.

Resultados

As Tabelas 1-4 apresentam os resultados para o alimentador de correia de 16 polegadas de largura operando na faixa de velocidade de 0,05 a 0,3 m/s. Nota-se, em todos os casos, um aumento da capacidade de transporte (Q) com o aumento da velocidade e da altura de material sobre a esteira. Por outro lado, o ângulo de repouso não exerce influência na capacidade de alimentação. Os termos de gasto de energia p_e e p_l permanecem praticamente invariáveis na faixa de altura de material (D), ângulo de repouso (θ) e V(velocidade) estudadas.

TABELA 1 - Resultados de capacidade e consumo de energia para uma correia hdm com largura de 16" movendo a uma velocidade de 0,05 m/s ($\gamma : 1,6 \text{ t / m}^3$; $\theta=10^\circ$; $L=1,0 \text{ m}$; $L_1= 0,5 \text{ m}$ $L_2=0,85 \text{ m}$)

D	Q	Pe	P1	ps	pfs	pt	D_{ecx}
0,1	11,71	50,2	11,2	81,9	89,8	233,2	0,5309
0,2	23,40	50,2	11,6	60,8	158,3	280,9	
0,3	35,11	50,2	11,95	39,7	214,2	316,1	p_{tmax}
0,4	46,82	50,2	12,34	18,5	275,0	338,7	349,4
0,6	70,22	50,2	13,1	-23,7	306,8	346,43	

TABELA 2 - Resultados de capacidade e consumo de energia para uma correia hdm com largura de 16" movendo a uma velocidade de 0,1m/s ($\gamma : 1,6 \text{ t / m}^3$; $L=1,0 \text{ m}$; $L_1= 0,5 \text{ m}$ $L_2=0,85 \text{ m}$)

D	T	pe	P1	ps	Pfs	ph	pt	Decx
$\theta=5^\circ$								
0,1	23,4	50,2	11,2	81,9	1148,8	0	1292	0,6849
0,2	46,8	50,2	11,6	60,8	2112,4	0	2235	p_{tmax}
0,3	70,2	50,2	11,9	39,7	2899,8	0	3001	1307
$\theta=10^\circ$								
0,1	23,4	50,2	11,6	81,9	89,9	0	233,2	0,5309

0,2	46,8	50,2	11,95	60,8	158,3	0	280,9	p_{tmax}
0,3	70,2	50,2	12,34	39,7	214,2	0	316,1	349,4
$\theta=15^\circ$								
0,1	23,4	50,2	11,6	81,9	13,99	0	157,3	-1,9517
0,2	46,8	50,2	11,95	60,8	18,27	0	140,9	p_{tmax}
0,3	70,2	50,2	12,34	39,7	21,8	0	123,6	322,2
$\theta=20^\circ$								
0,1	23,4	50,2	11,2	81,9	10,01	0	153,4	-11,64
0,2	46,8	50,2	11,6	60,8	10,94	0	133,5	p_{tmax}
0,3	70,2	50,2	11,9	39,7	11,7	0	113,6	1311,6

A Tabela 2 reforça que o ângulo de repouso não influencia na capacidade de alimentação. Ele influencia fortemente no termo de gasto de energia p_{fs} de forma que quanto menor o ângulo de repouso maior o valor de p_{fs} que também é diminuído ao reduzir a altura de material sobre a correia.

TABELA 3 - Resultados de capacidade e consumo de energia para uma correia hdn com largura de 16” movendo a uma velocidade de 0,3m/s ($\gamma : 1,6 \text{ t / m}^3$; $l=1,0 \text{ m}$; $l_1=0,5 \text{ m}$ $l_2=0,85 \text{ m}$)

D	T	p_e	P_1	p_s	P_{fs}	p_h	p_t	D_{ecx}
$\theta=10^\circ$								
0,1	70,2	50,2	11,6	81,9	89,9	0	233,2	0,5309
0,2	140,5	50,2	11,95	60,8	158,3	0	280,9	p_{tmax}
0,3	210,7	50,2	12,34	39,7	214,2	0	316,1	349,4
$\theta=15^\circ$								
0,1	70,2	50,2	11,6	81,9	13,99	0	157,3	-1,9517
0,2	140,5	50,2	11,95	60,8	18,27	0	140,9	p_{tmax}
0,3	210,7	50,2	12,34	39,7	21,8	0	123,6	322,2
$\theta=20^\circ$								
0,1	70,2	50,2	11,2	81,9	10,01	0	153,4	-11,64
0,2	140,5	50,2	11,6	60,8	10,94	0	133,5	p_{tmax}

0,3	210,7	50,2	11,9	39,7	11,7	0	113,6	1311,6
-----	-------	------	------	------	------	---	-------	--------

TABELA 4 - Resultados de capacidade e consumo de energia para uma correia hdn com largura de 16” movendo a uma velocidade de 0,6 m/s (γ : 1,6 t / m³; θ =15°; L=1,0 m; L1= 0,5 m L2=0,85 m)

De	T	p _e	P ₁	ps	P _{fs}	p _h	p _t	D _{ecx}
0,1	140,5	50,2	11,6	81,9	13,99	0	157,3	-1,9517
0,2	280,9	50,2	11,95	60,8	18,27	0	140,9	p _{tmax}
0,3	421,4	50,2	12,34	39,7	21,8	0	123,6	322,2

TABELA 5 - Resultados de teste de densidade do material para a capacidade e consumo de energia para uma correia hdn com largura de 16” movendo a uma velocidade de 0,1 m/s (θ =10°; L=1,0 m; L1= 0,5 m L2=0,85 m)

D	T	p _e	P ₁	ps	P _{fs}	p _h	p _t	D _{ecx}
								p _{tmax}
				1,8				
0,1	26,3	50,2	12,6	92,2	99,98	0	255,0	0,5309
0,2	52,7	50,2	13,0	68,4	177,0	0	308,6	385,7
0,3	79,0	50,2	13,4	44,6	239,8	0	342,2	
				2,0				
0,1	29,3	50,2	13,96	102,4	110,1	0	276,7	0,5309
0,2	58,5	50,2	14,5	76,0	195,6	0	336,3	422,0
0,3	87,8	50,2	14,94	49,6	265,5	0	380,3	
				2,2				
0,1	32,2	50,2	15,4	112,7	120,2	0	298,5	0,5309
0,2	64,4	50,2	15,9	83,6	214,3	0	364,0	458,3
0,3	96,6	50,2	16,4	54,5	291,2	0	412,4	

A densidade do material provoca bastante variação no funcionamento da correia HDRN, como pode ser conferido na Tabela 5. Naturalmente que a medida que se aumenta

a altura de material sobre a correia, sua capacidade de alimentação aumenta, bem como o consumo energético. Por outro lado parece não ser compensador duplicar ou triplicar a altura de material (D) já que se observa a existência de uma tendência de consumo de energia que tende a se aproximar do valor máximo a medida que aumentam a densidade e a altura.

TABELA 6 - Resultados de teste da largura da correia para a capacidade e consumo de energia para uma correia hdn movendo a uma velocidade de 0,15 m/s ($\theta=10^\circ$; L=1,0 m; L1= 0,5 m ; L2=0,85 m; D=B/2)

B(in)	W _b	D _e	T	p _e	P ₁	p _s	p _{fs}	p _t	D _{ecx}	p _{tmax}
16	6,4	0,203	71,3	50,2	11,6	60,1	160,3	282	0,53	349,4
20	8,0	0,254	111,5	50,3	18,1	93,9	245,4	408	0,66	512,8
24	9,6	0,305	160,5	50,4	26,0	135	349,4	561	0,79	712,4
30	13,5	0,381	250,8	50,7	40,7	211	541	844	1,00	1080
36	16,2	0,457	361,2	50,8	58,6	304	775	1189	1,20	1529
42	21,0	0,533	491,6	51,1	79,8	414	1051	1597	1,40	2060
48	24,0	0,61	642	51,3	104	541	1371	2067	1,60	2672
54	37,6	0,686	812	52,1	132	684	1732	2601	1,80	3367

As Tabelas 6 e 7 mostram que o termo de atrito (p_{fs}) é o majoritário no consumo de energia chegando a representar, em média, cerca de 78% do consumo do alimentador. É possível observar que para dobrar a capacidade alimentada não é preciso dobrar a largura da correia. Ao dobrar a largura da correia a sua capacidade, assim como o consumo de energia, praticamente quadruplicam.

TABELA 7 - Resultados de teste da largura da correia para a capacidade e consumo de energia para uma correia hdn movendo a uma velocidade de 0,15 m/s ($\theta=10^\circ$; L=1,0 m; L1= 0,5 m ; L2=0,85 m; D=3B/4)

B(in)	W _b	D	T	p _e	P ₁	p _s	p _{fs}	p _t	D _{ecx}	p _{tmax}
16	6,4	0,305	107	50,3	12	38,7	216	317	0,53	349,4

20	8,0	0,381	167	50,4	18,7	60,4	333	462	0,66	512,8
24	9,6	0,457	241	50,43	27,0	87	476	640	0,79	712,4
30	13,5	0,571	376	50,7	42,1	136	738	967	1,00	1080
36	16,2	0,686	542	50,8	60,6	196	1060	1367	1,20	1529
42	21,0	0,807	737	51,1	82,5	266	1437	1839	1,40	2060
48	24,0	0,914	963	51,3	107	347	1877	2384	1,60	2672
54	37,6	1,030	1219	52,1	136	440	2373	3002	1,80	3367

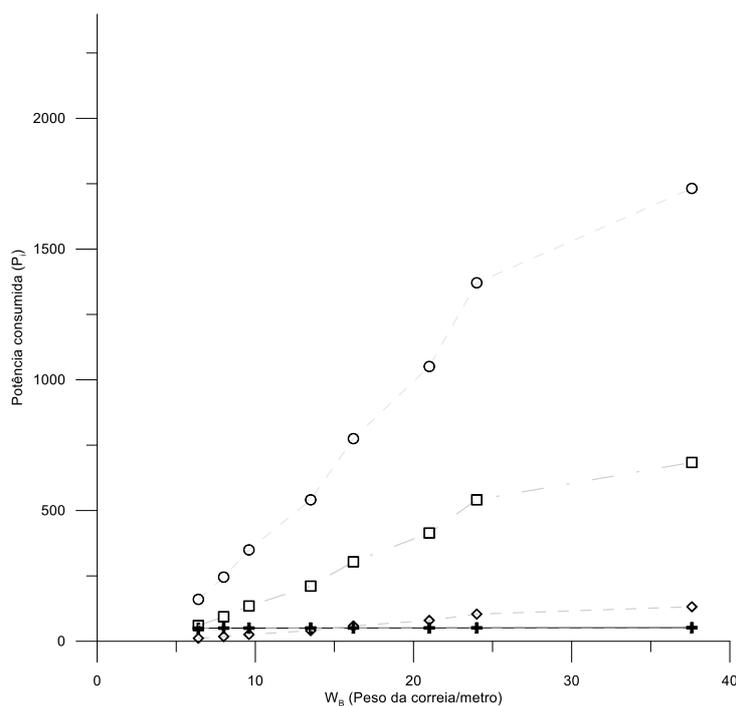
TABELA 8 - Resultados de influência dos termos f_m e f_{sm} no consumo de energia para uma correia hdm com largura de 16” movendo a uma velocidade de 0,2 m/s (De : 0,203 m; γ : 1,6 t / m³; $\theta=20^\circ$; L=1,0 m; L1= 0,5 m L2=0,85 m)

f_m	f_{sm}	p_e	P_1	p_s	P_{fs}	p_t
	0,33	51,3	11,57	60,1	10,96	133,96
	0,50	51,3	11,57	60,1	12,01	135,00
0,65	0,60	51,3	11,57	60,1	12,62	135,67
	0,80	51,3	11,57	60,1	13,86	136,86
0,30		51,3	11,57	27,74	12,01	102,63
0,50	0,5	51,3	11,57	40,24	12,01	121,13
0,65		51,3	11,57	60,12	12,01	135,00
0,80		51,3	11,57	73,99	12,01	148,90

A Tabela 8 mostra a forte influência do termo f_m nos resultados de gasto de energia, o que sugere que o tipo de material influencia grandemente no trabalho do alimentador. Por outro lado nota-se que o termo f_{sm} possui fraca influência nos resultados de gastos de energia por tensão e não carece de cuidados adicionais quando do processamento de novos materiais empregando-se o mesmo alimentador.

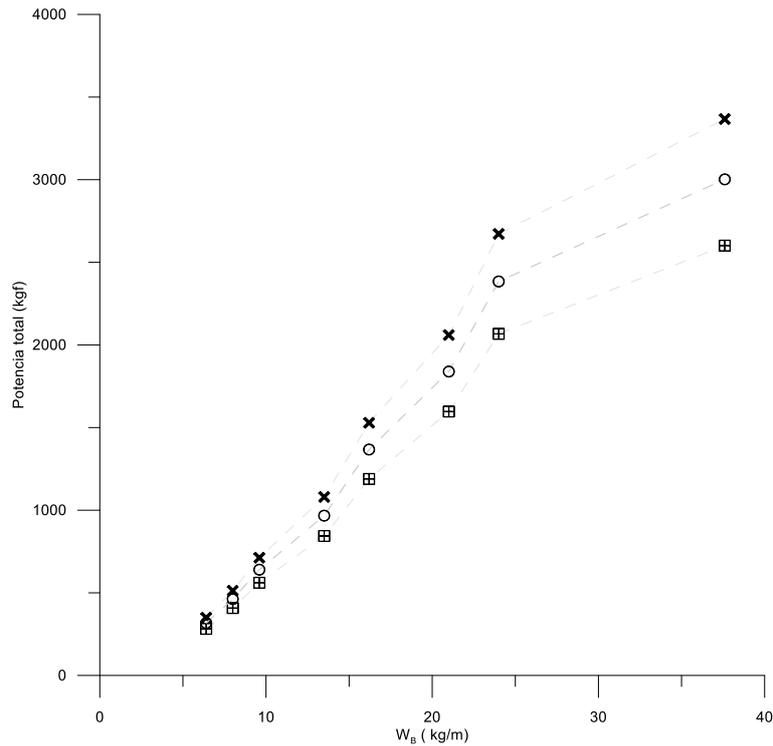
Figura 3- Contribuição de cada termo de potência consumida na potência total gasta para funcionamento do alimentador de correias HDRN (θ : 10° ; $D= B/2$) ($\propto p_e$; $\propto p_1$;

$\propto p_s$; $\propto p_{fs}$)



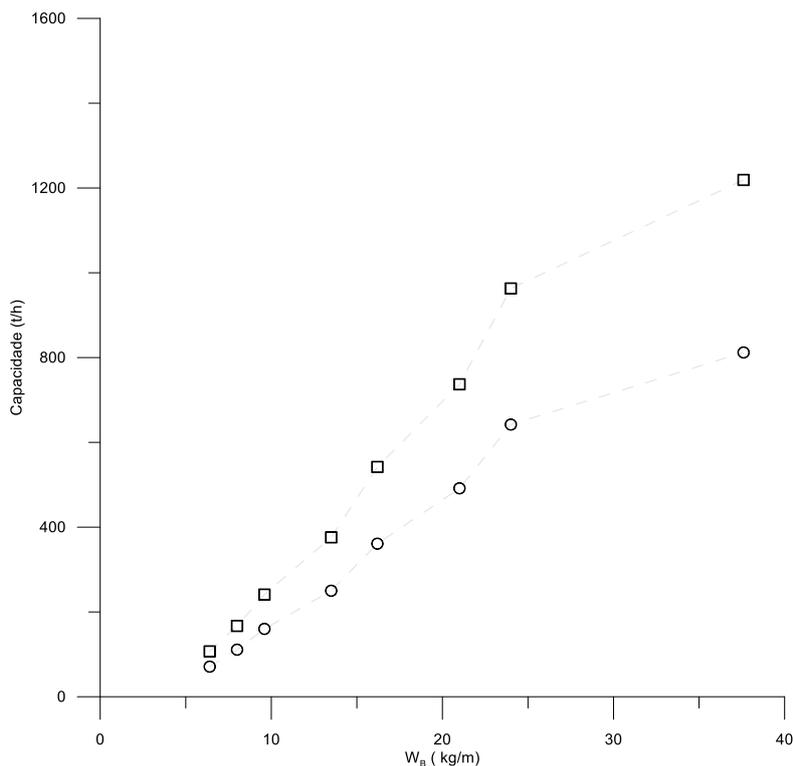
A figura 3 mostra a influência de cada contribuição de gasto de energia na potência total consumida em um alimentador HDRN em função do modelo de correia empregado. Nota-se que os termos p_e e p_1 permanecem praticamente constantes mesmo com um aumento substancial do peso da correia. Dessa forma, parece que a medida que se trabalha com correias mais pesadas esses termos provocam pouca influência no gasto energético total se comparado às correias mais leves. Por outro lado, os termos que envolvem a tensão para movimentar o material e a tensão devida ao atrito nas guias laterais, p_s e p_{fs} , são os que mais oneram o gasto de energia da correia.

Figura 4 - Potência total consumida em função do modelo de alimentador de correias hdn para duas alturas de material. (θ : 10° ; $D_e = \text{✋} B/2$; $\text{☐} 3B/4$; $\text{⊕} P_{tmax}$)



Um mesmo modelo de alimentador HDRN deve consumir mais energia quando estiver carregado com uma altura maior de material. Isso se torna mais acentuado a medida que o peso da correia aumenta. Para correias mais leves, nota-se que a mesma parece trabalhar muito próximo do consumo máximo de energia, independente da altura de material sobre a correia.

Figura 5 – Capacidade do alimentador de correia hdrn em função do modelo ou peso da correia por metro para duas alturas de material. ($\theta: 10^\circ$; $De = \frac{B}{2}$; $\frac{3B}{4}$)



A Figura 5 mostra que a medida que aumenta o peso da correia, o efeito da altura do material na capacidade do alimentador é maior. Observa-se que o crescimento tem uma tendência linear até o peso de correia de 25 t/m tornando-se curvo após esse valor.

Considerações finais

As variáveis de projeto de um alimentador podem influenciar de maneira definitiva na sua escolha para um determinado processo. Nesse trabalho observou-se que o ângulo de repouso não influencia na capacidade de alimentação. Por outro lado, ele influencia fortemente no termo de gasto de energia p_{fs} de forma que quanto menor o ângulo de repouso maior o valor de p_{fs} (tensão por atrito) que também é diminuído ao reduzir a altura de material sobre a correia. Ademais, dobrar a largura da correia pode quadruplicar a capacidade do alimentador, na mesma proporção quadruplica o gasto de energia.

Para todos os modelos de correia HDRN, os termos que envolvem a tensão para movimentar o material e a tensão devida ao atrito nas guias laterais, p_s e p_{fs} , são os que

mais oneram o gasto de energia da correia. O conhecimento preciso do valor do coeficiente f_m é fundamental na utilização do alimentador para outros materiais.

Referências

- CARVALHO, D. F. Eficiência energética em transportadores de correias de longa distância – estudo de caso. 36° SEMINÁRIO DE BALANÇOS ENERGÉTICOS GLOBAIS E UTILIDADES e 30° ENCONTRO DE PRODUTORES E CONSUMIDORES DE GASES INDUSTRIAIS, ABM Week, realizada de 17 a 21 de agosto de 2015, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
- DE FREITAS, A. G.; DOS SANTOS, R. B.; DE OLIVEIRA, V. F.; LIMA, Y. O.; RIASCOS, L. A. M.. Eficiência energética em um alimentador de sólidos pressurizado para transporte pneumático. Conference Paper · October 2019a. (DOI: 10.5151/2594-3626-33719)
- DE FREITAS, A. G.; DOS SANTOS, R. B.; DE LIMA, Y. O.; OLIVEIRA, V. F.; RIASCOS, L. A. M. Research, development and innovation: batchpump, a new industrial solid feeder. 10° CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO 05 a 07 de agosto de 2019b, São Carlos, SP, Brasil.
- DONECKER P. Dynamic scale modelling (DSM) of transfer chutes. Australian Bulk Handling Review, 2011.
- FARIA, G. H. C.; TEIXEIRA, R. L. P; SHITSUKA, R.; GOUVEIA, L. L. A. Potencial de atuação da engenharia nos rejeitos sólidos de mineração no Brasil **Revista de Casos e Consultoria**, v. 12, n. 1, e24041, 2021 ISSN 2237-7417 | CC BY 4.0
- LIMA, R. C.; ALAS, L. F. A.; BRITO, J. N. Redução de falhas e entupimentos em uma planta de sinterização através da substituição de um table feeder por um alimentador de correia. 46° SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO E MATÉRIAS-PRIMAS, 17° SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MINÉRIO DE FERRO e 4° SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGLOMERAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO, ABM Week, realizada de 26 a 30 de setembro de 2016, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- METSO MINERALS. Manual de britagem. 6. ed. Sorocaba, SP: Metso Minerals, 2005. 432 p.
- SANTIAGO, J. J. M.; ALCÂNTARA, C. C.; ALVES, D. N. L.; SIMÕES, J. B.. Dimensionamento da potência mínima exigida do acionamento principal de transportadores de correia. Ampliação e aprofundamento de conhecimentos nas áreas das engenharias. Organizadores Franciele Braga Machado Tullio, Lucio Mauro Braga Machado. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

SANTOS JR, R. M.; PIQUET, C.V.; AMARANTE MESQUITA, A.L.; MESQUITA, A.L.A. Laboratório de transportadores de correia para análise de chutes em escala. XXVII ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA - Belém-PA, 23 a 27 de Outubro, 2017.

TAVARES, A. M.; FARIA, A. A. P. Estudo do aumento espontâneo na velocidade de partículas em transportadores de correia. Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics, v. 4, n. 1, 2016. Trabalho apresentado no **DINCON**, Natal - RN, 2015. (DOI: 10.5540/03.2016.004.01.0058)

TEIXEIRA, R. L. P.; SILVA, P. C. D.; BRITO, M. L. A. Gamificação para o ensino de engenharia no contexto da indústria 4.0: metodologia estratégica para a motivação dos estudantes. **Revista de Casos e Consultoria**, v. 12, n. 1, e23964, 2021 ISSN 2237-7417 | CC BY 4.0