Anais do Congresso Brasileiro de Iniciação Científica
(https://periodicos.unisanta.br/COB)

ISSN 2317-1316

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DE TORRES EXPERIMENTAIS NO DESCARREGAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO TIPO PELLET FEED

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE CROSS-SECTION OF EXPERIMENTAL TOWERS ON THE DISCHARGE OF PELLET FEED IRON ORE

Matheus Lima Santo[1], Luiz Felipe de Morais da Costa Barros[1], Álvaro Luiz Moreira Conrado[1], Isabela Ferreira de Souza[1], Marcella Guedes Vieira[1], Felipe Bertelli[2]

[1]Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Santos-SP, Brasil
[2]Universidade Federal de Tecnologia do Paraná (UTFPR), Curitiba-PR, Brasil
E-mail para contato: matheus.santos.acad@gmail.com

RESUMO – Os granulados de minério de ferro, quando úmidos e compactados, podem variar em suas forças de adesão e atrito, afetando sua retirada de compartimentos. Neste estudo, foi analisado o impacto da seção transversal em recipientes de acrílico na descompactação do minério de ferro tipo pellet feed. Foram realizados ensaios com seções de 80x80, 100x100 e 120x120 mm e duas alturas de minério saturado e compactado com vibração. Quanto maior a seção transversal, menor a força necessária para desprender o minério, até que o peso do minério, sozinho, era suficiente para desprendê-lo. A altura de carregamento de 100 mm não demonstrou resistência mensurável ao descarregamento, mas para altura de 200 mm, as forças resistentes ao descarregamento tendem a crescer ao reduzir a seção transversal.

Palavras-chave: seção transversal; minério de ferro; pellet feed; descompactação; tensão de cisalhamento.

ABSTRACT – Iron ore granules, when wet and compacted, can vary in their adhesion and friction forces, affecting their removal from compartments. In this study, the impact of cross-section in acrylic containers on the decompaction of the pellet feed iron ore was analyzed. Tests were conducted with sections of 80x80, 100x100 and 120x120 mm and two heights of iron ore saturated and compacted with vibration. The greater the cross-section, the lower the force necessary to detach the ore, until the ore's weight, alone, was enough to detach it. The loading height of 100 mm showed no measurable resistance to discharge, while, for 200 mm, the resistance forces at discharge tend to grow as the cross-section reduces.

Keywords: cross-section; iron ore; pellet feed; decompaction; shear stress.

ISSN 2317-1316

1 INTRODUÇÃO

A produção e transporte de granulados de ferro no Brasil possui grande importância e impacto em setores econômicos e industriais, e o transporte desta matéria prima se evidencia em grande parte por ferrovias, onde os vagões utilizados são abertos em sua parte superior para facilitar a logística de carregamento e descarregamento. Nesta condição o material transportado sofre alteração do teor de umidade e adesão por fatores pluviais (TABATA, 2025).

Na etapa de descarregamento as principais dificuldades são as forças de atrito e adesão das paredes do vagão com o minério, que após o trajeto este se situa na forma compactada e supersaturado, devido, respectivamente as vibrações nos trilhos e falha na drenagem de água (FLORENCE, 2025).

Segundo Plinke, Prigge e Williams (2016), a análise dessas forças é de suma importância para adequação e entendimento das interações nos compartimentos e superfícies de translocação. Também é apontado como a força de capilaridade de um líquido altera o estado de coesão e aderência quando o mesmo é inserido em um granulado.

Para análises laboratoriais dessas condições é necessário a definição de parâmetros para facilitar a construção de projetos em escala reduzida e agilizar processos de manuseio do material, tendo em vista isto, esta pesquisa visa analisar experimentalmente os impactos da área de seção quadrada transversal de um compartimento de acrílico na descompactação de minério saturado do tipo pellet feed.

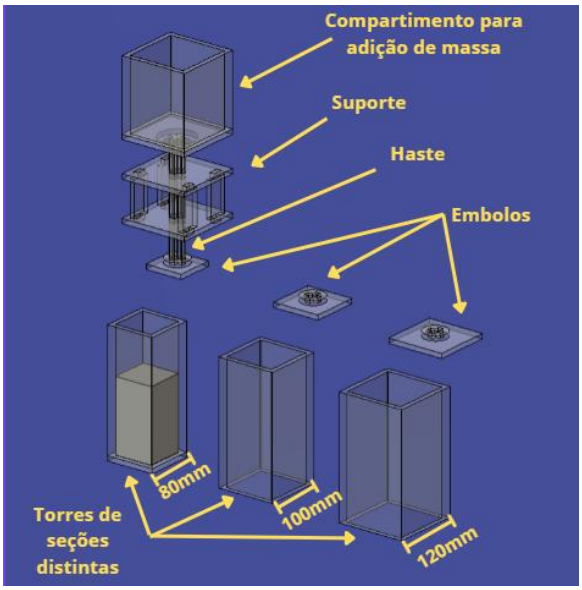
2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais e Metodologia

Para realização dos ensaios experimentais foram construídos, utilizando acrílico, três torres com seções internas de 80x80mm, 100x100mm e 120x120mm com alturas fixas de 250mm, e um pistão com suporte para aplicação de força, com embolo de área correspondente aos recipientes, como demonstrado na Figura 1.

ISSN 2317-1316

Figura 1: Modelo esquemático da bancada experimental.



Como início do procedimento foi selecionado uma das seções para análise, tampou-se o fundo do compartimento e inseriu-se minério de ferro tipo pellet feed saturado até a altura predeterminada assim como evidenciado na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros e massa média dos ensaios realizados.

	Altura de carregamento	
Seções analisadas (mm)	100mm	200mm
80x80	1,2kg	2,3kg
100x100	1,9kg	3,8kg
120x120	2,5kg	5,2kg

Com auxílio de uma mesa vibratória modelo SP-1100 SPLABOR, em sua intensidade máxima, foi efetuada a vibração no minério por 10 minutos, quando atingia a altura final correspondente de 33,3% de compactação, como demonstrado na Figura 2.

ISSN 2317-1316

Figura 2: Mesa agitadora com recipiente abastecido.



Com o compartimento alocado sobre um suporte, a tampa inferior foi retirada de forma deslizante, caso o minério não apresentasse deslocamento de forma imediata, o pistão era posicionado sobre a entrada superior e deslizado suavemente até a superfície do minério. Sobre o pistão posicionou-se um compartimento no qual foi adicionado massa gradualmente até que ocorresse o desprendimento total do minério compactado.

2.2 Coleta e tratamento de dados

Através de uma balança semi-analítica foi pesado a massa inicial alocada no recipiente, e a massa total adicionada ao compartimento do pistão necessária para o desprendimento do minério e

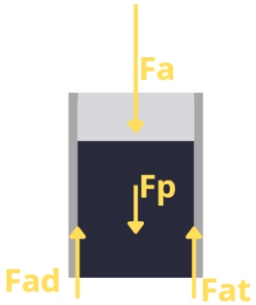
ISSN 2317-1316

utilizando uma escala foram coletas medidas das alturas inicial de carregamento e final de compactação para avaliação do percentual de compactação.

2.2.1 Equações utilizadas

Para análise de forças foi determinada uma condição de equilíbrio, em que a força aplicada pelo pistão em conjunto do peso do minério (Respectivamente F_a e F_p, em N) é igual a força resistente total na interface minério-parede (F_t, em N), que por sua vez é a somatória das forças de adesão e atrito (F_{ad} e F_{at}, em N) de acordo com a Figura 3 e a Equação (1):

Figura 3: Diagrama de forças minério/parede



$$F_a + F_p = F_t = F_{ad} + F_{at} \quad (1)$$

Expandindo as forças aplicada pelo pistão e do peso do minério, por suas respectivas massas (m_p e m_m, em kg) em função da aceleração gravitacional (g, em m/s²) na Equação (1) temos na Equação (2):

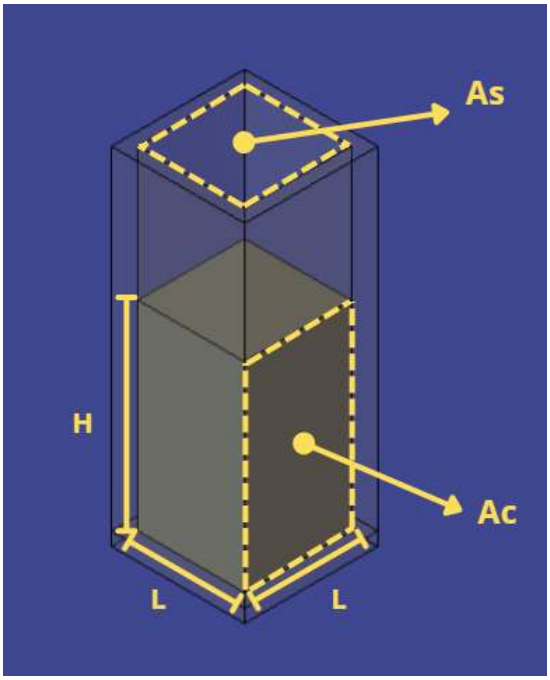
$$m_p \times g + m_m \times g = F_t$$
$$g \times (m_p + m_m) = F_t \quad (2)$$

As forças de adesão e atrito são consideradas apenas conceitualmente e através de cálculos, mensurada a somatória das mesmas.

Com auxílio das Equações (3) – (5), é determinado a área de contato do minério com a torre (A_c, em m²), área da seção transversal (A_s, em m²) e o volume ocupado pelo minério (V, em m³), através da altura do minério compactado (H em m) e a medida de seção quadrada utilizada (L em m), assim como ilustrado na Figura 4:

ISSN 2317-1316

Figura 4: Esquemático de medidas e áreas analisadas



$$A_c = 4 \times L \times H \quad (3)$$

$$A_S = L^2 \quad (4)$$

$$V = H \times L^2 = H \times A_S \quad (5)$$

Na Equação (6) abaixo consta a determinação de tensão de cisalhamento aparente entre as paredes da torre e o minério ($\tau_c, em\ Pa$), correlacionada com as Equações (1) e (3)

$$\tau_c = \frac{F_t}{A_c} = \frac{F_a + F_p}{4 \times L \times H} \quad (6)$$

A partir disso foram feitos gráficos para correlacionar as seções analisadas com as tensões de cisalhamento calculadas.

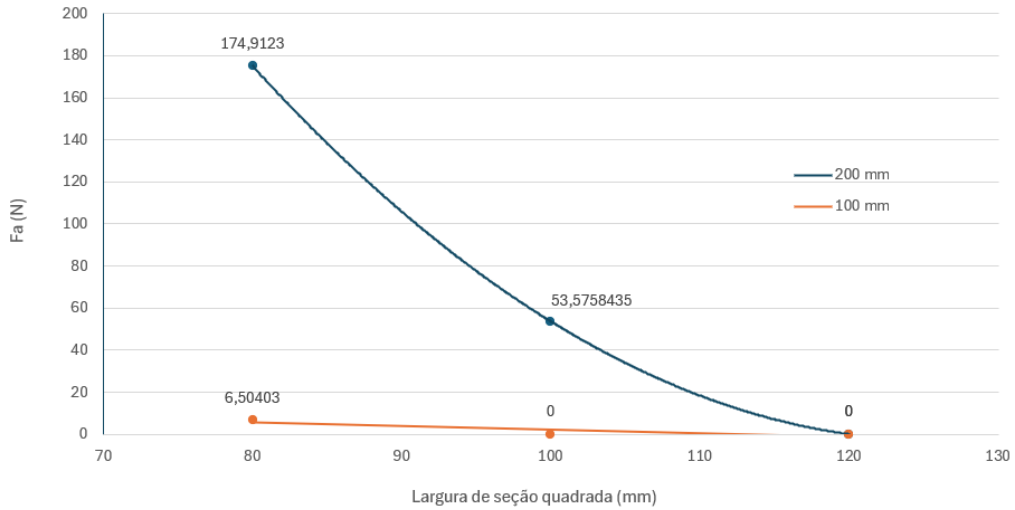
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme as seções eram aumentadas nos ensaios realizados, para ambas alturas de coluna de minério, foi observado que a força necessária para o desprendimento do minério no interior da torre diminuiu, como pode ser visto na Figura 5. Entretanto nos ensaios de 100x100mm e 120x120mm na

ISSN 2317-1316

altura de coluna de 100mm, assim como no ensaio de 120x120mm com altura de 200mm, no momento em que se retirava a tampa inferior da torre o minério compactado se desprendia, o que impossibilita denominar qual foi a força necessária para tal fenômeno, logo assume-se que a força peso do próprio minério foi suficiente para vencer as forças de resistência entre minério e parede, mas não significa a igualdade entre elas de modo que $F_p \geq F_t$

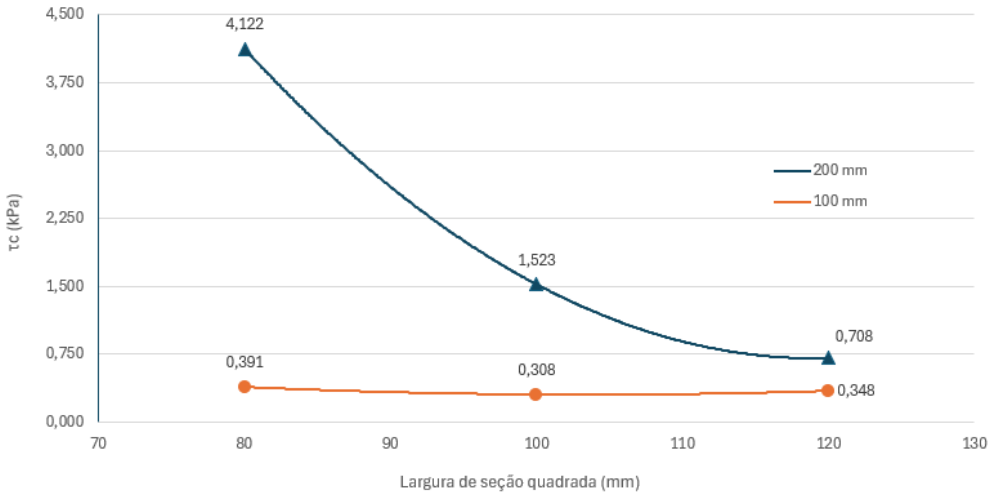
Figura 5: Seções analisada por força aplicada pelo pistão com colunas de minério de 200 mm e 100 mm



Em relação as tensões de cisalhamento analisadas nos ensaios, na altura de coluna de 200 mm conforme a seção aumentou, a tensão de cisalhamento entre parede e minério decaiu drasticamente, por mais que haja o incremento de área de contato com minério compactado conforme se aumenta a seção transversal. Já na altura de coluna de minério de 100 mm, ao variar de seções não houve alteração significativa da tensão de cisalhamento, como evidenciado na Figura 6, este ocorrido por sua vez pode estar diretamente ligado ao fato do desprendimento espontâneo do minério e ausência de força aplicada, que influenciam diretamente no cálculo, ou seja, há uma variabilidade na determinação da tensão de cisalhamento por não saber com exatidão a força de resistência nas situações analisadas.

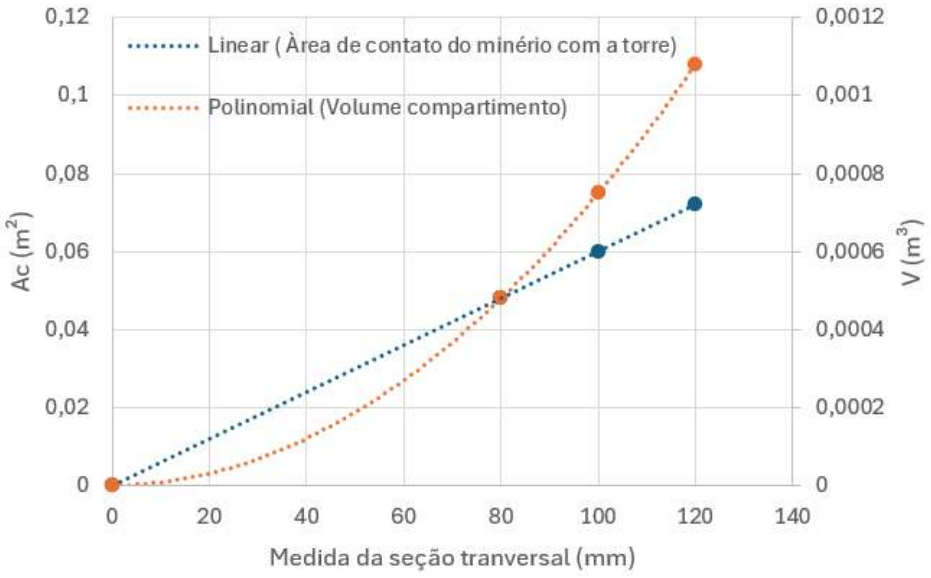
ISSN 2317-1316

Figura 6: Seções analisada por tensão de cisalhamento com colunas de minério de 200 mm e 100 mm



É válido ressaltar que a possível causa para a queda drástica, tanto na força de resistência, quanto na tensão de cisalhamento, podem estar relacionadas pela proporção da área de contato pelo volume. Como ilustrado na Figura 7 e estabelecido nas Equações (3) e (5), para uma altura de coluna de minério constante, enquanto o volume é acrescido de forma quadrática no aumento de seção, a área de contato entre minério e parede cresce de maneira linear, que influenciam respectivamente no acúmulo de massa no interior da torre, e no atrito.

Figura 7:Ilustrativo de crescimento de Volume e de Área de contato pela seção com altura constante



ISSN 2317-1316

4 CONCLUSÃO

Com os ensaios e resultados obtidos pode-se inferir que o aumento de seção tem impacto direto e significativo na descompactação de torres experimentais, assim como a altura de carregamento de minério também tem seu papel fundamental. Como proposta de estudos posteriores, é necessário para fundamentação de possível relação numérica entre seção e forças atuantes, a implementação de mais parâmetros, como seções e alturas maiores ou intermediarias, além disso é possível trabalhar com outros tipos de minério como exemplo minério de ferro tipo sínter. Os autores agradecem à VALE S.A. pelo apoio financeiro ao projeto para desenvolvimento de pesquisas, em parceria com a Universidade Santa Cecília, em Santos-SP, ao orientador Prof. Dr. Felipe Bertelli, às mestrandas Marcella Guedes Vieira e Isabela Ferreira de Souza, coorientadoras deste trabalho e ao colaborador técnico do projeto Vale, engenheiro Álvaro Luiz Moreira Conrado, pelo acompanhamento e apoio durante a realização deste estudo.

5 DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Declaração de Uso de IA: Durante a elaboração deste trabalho, utilizou-se a ferramenta ChatGPT para resolução de dúvidas linguísticas e revisões conceituais. O conteúdo gerado foi revisado, editado e validado pelos autores, que assumem total responsabilidade pelo texto final.

6 REFERÊNCIAS

Florence JBC. Estudo de mecanismos de drenagem de água livre para vagões transportadores de minério de ferro. 2025. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Santa Cecília, Santos, 2025.

Plink J, Prigge J, Williams KC. Development of new analysis methods for the characterization and classification of wet sticky ores. Powder Technology, v. 294, p. 252–258, 2016. DOI: 10.1016/j.powtec.2016.02.044.

Tabata GA. Influência da umidade dos minérios de ferro do tipo pellet feed e sinter feed no comportamento de compactação e adesão em diferentes geometrias. 2025. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Santa Cecília, Santos, 2025.