ISSN:2594-6153

Avaliação da compactação de pellet feed saturado depositado sobre coluna de água

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

[1]Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos-SP, Brasil
[2]Universidade Federal de Tecnologia do Paraná (UTFPR), Curitiba-PR, Brasil

E-mail: guedesvieira.marcella@gmail.com

Resumo: Este estudo investigou a compactação do minério de ferro pellet feed saturado, comparando a influência da presença de uma coluna de água de fundo (10% da altura total). Foi utilizada uma bancada experimental reduzida com dispositivo de vibração que permitisse a compactação da carga. Utilizou-se três torres de acrílico sujeitas a impactos mecânicos ascendentes e uma massa padrão de 5 kg de minério. Os resultados demonstraram que a água de fundo aumentou significativamente a compactação média, passando de 17% (apenas saturado) para 40%. A água do fundo sofreu percolação ascendente rápida, atingindo o topo no primeiro minuto de ensaio e acumulando uma lâmina superior média de 34,5 mm (70% do volume inicial). Conclui-se que a água de fundo reduz bolsões de ar e vazios, intensificando o adensamento do minério em ensaios de compactação.

Palavras-chave: Pellet feed; Compactação; Água de fundo; Percolação ascendente; Minério de ferro.

Assessment of the Compaction Characteristics of Saturated Pellet Feed Deposited on a Water Column

Abstract: This study investigated the compaction of saturated iron ore pellet feed, comparing the influence of the presence of a bottom water column (10% of the total height). A reduced-scale experimental setup equipped with a vibration device was used to enable load compaction. Three acrylic towers subjected to upward mechanical impacts and a standard mass of 5 kg of ore were employed. The results showed that the bottom water significantly increased the average compaction, from 16.04% (saturated condition only) to 39.55%. The bottom water rapidly percolated upward, reaching the top within the first minute of the test and accumulating an average upper water layer of 34.5 mm (70% of the initial volume). It was concluded that the bottom water reduces air pockets and voids, thereby intensifying ore densification during compaction tests.

Keywords: Pellet feed; Compaction; Bottom water; Upward percolation; Iron ore.

Introdução

A condição climática brasileira, caracterizada por longos períodos de chuva, em especial nas regiões norte e sudeste onde se localizam, respectivamente, a Estrada de Ferro Carajás (EFC) e a Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM), propicia o acúmulo de água sobre a carga de minério de ferro transportada em vagões a céu abertos do tipo gôndola [1].

Pesquisas que visam entender os efeitos relacionados ao comportamento e à interação do minério e da água no transporte ferroviário, a fim mitigar os impactos logísticos e econômicos causados pelo fenômeno de acumulação descrito, comumente se restringem a considerar a precipitação que ocorre após o carregamento do vagão. Porém, os vagões aguardam a operação de carregamento em pátios abertos, além de retornarem do porto a mina descarregados, situações em que a água da chuva pode se acumular livremente no assoalho [2-6]. Apesar de existir drenos posicionados no assoalho dos vagões, a diversidade de minérios transportados não permite uma frota cativa, nem entre minérios, nem entre trechos da mesma ferrovia, que pudessem empregar o uso de drenos adaptados as especificidades, contribuindo para que haja entupimentos das frestas, retardando ou inviabilizado a drenagem.

Tabata et. al. [5] em um estudo em escala com agitador eletromagnético, avaliou a percolação ascendente de uma porcentagem significativa da água inicialmente alocada sob o minério do tipo pellet feed. Utilizando uma proveta e uma compactação extrema, evidenciou-se que, pela grande diferença de densidade entra a água e o minério, assistida por um agitador, fazem com que a coluna de água inicial se acumule rapidamente no topo da proveta. Porém, a geometria da proveta, bem como a intensidade de vibração podem alterar a percepção de tal fenômeno na prática, durante o transporte ferroviário, devendo-se buscar uma maior proximidade de condições de estudos de compactação.

Objetivos: O objetivo deste trabalho é investigar o comportamento da compactação do minério de ferro do tipo pellet feed, depositado saturado sobre uma coluna de água, e levantar o perfil de acomodação ao longo do tempo, bem como estimar a diferença percentual entre a massa de água de fundo e aquela formada no topo da coluna após o ensaio.

Material e Métodos

Os ensaios foram realizados em uma bancada experimental com três torres de acrílico de sessão transversal quadrada com 80 mm de lado e 500 mm de altura, e um sistema de impacto ascendente com contrapeso, conforme Figura 1 [2]. Cada torre utilizou uma massa-padrão 5 Kg de minério do tipo pellet feed na condição saturada, correspondente a uma altura aproximada de 400 mm. Este minério foi seco em estufa a 110ºC por 24h e depois homogeneizado com água deionizada e auxílio de uma betoneira.



Figura 1. (1) Bancada experimental; (2) detalhe do mecanismo de impacto

A metodologia consistiu em carregar as torres, inicialmente com minério saturado, acopla-las a bancada e iniciar os impactos, anotando a altura da coluna de minério em um intervalo regular de 6 minutos, até completar 1 hora. Sequencialmente, retirou-se o minério das torres, inseriu-se 330g, correspondente a uma altura de 50 mm (10% da altura máxima) de água deionizada em cada torre e depositou-se novamente o minério, repetindo-se o procedimento de vibração e registro das colunas.

Em estudos anteriores, Florence et. al. [5] utilizou um acelerômetro LYNX modelo SNS-ABS05 ±8G para medir e analisar a intensidade da vibração na bancada experimental utilizada neste trabalho e os impactos desta na compactação. Segundo ele, com uma massa de 3,5 Kg de pellet feed saturado em cada torre, a estrutura de ensaio alcança uma aceleração aproximada de 1,7g, com uma compactação média de 18%, o que comparado com o caso extremo, também analisado pelo trabalho, é significativamente menor. Usando-se uma massa 1,5 Kg maior e mantendo-se a intensidade e a frequência dos impactos, espera-se que a aceleração e consequentemente a compactação média encontrada sejam ligeiramente menores.

Resultados

Foram realizados 2 ensaios utilizando as 3 torres de acrílico para triplicata por ensaio e para cada condição, totalizando 12 experimentos, 6 para o material saturado e 6 para o material saturado com água de fundo. A compactação para cada ensaio pode ser verificada na Figura 2, abaixo. Na Figura 3, apresenta-se a variação de altura das colunas de minério para cada ensaio, obtido por meio de média simples.

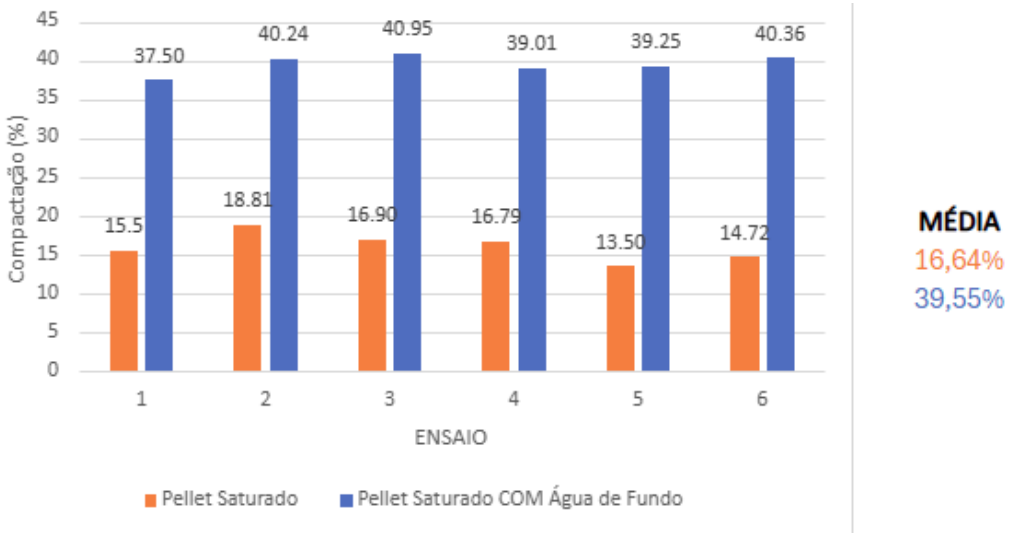

Figura 2. Compactação por ensaio

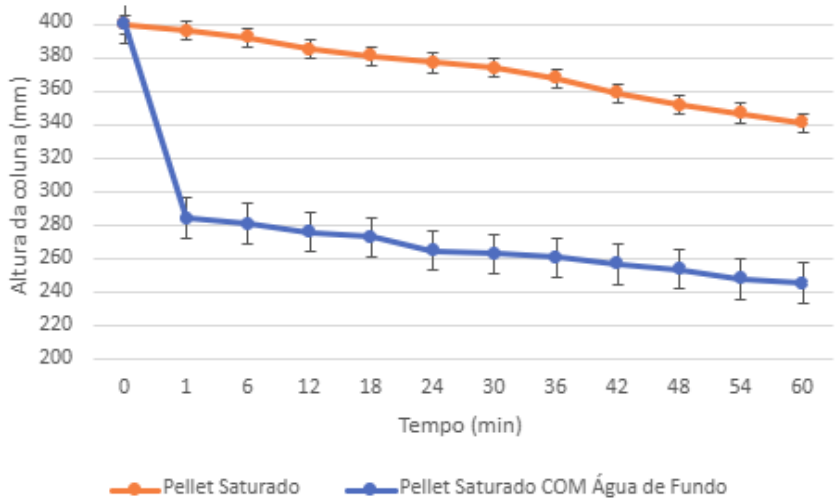

Figura 3. Média de altura da coluna de minério em função tempo de ensaio

Nos ensaios com água de fundo foi possível observar a percolação ascendente a partir do início da vibração, sendo que a água inicialmente alocada no fundo alcança o topo da coluna de minério logo no primeiro minuto e termina o ensaio com uma lâmina de altura média de 34,5 mm, correspondente a 70% da altura inicial de 50 mm, sobre a carga. O tratamento estatístico dos dados se deu por meio de média simples entre os resultados de cada ensaio, sendo que o desvio padrão foi de aproximadamente 1,5.

Discussão

No caso do minério apenas saturado existe a formação de múltiplos bolsões de ar como uma malha de formação porosa, incomprimíveis e com maior aderência do minério nas paredes da estrutura, dificultando a compactação em comparação ao caso de deposição sobre coluna de

água. A água de fundo aumenta significativamente a compactação do minério, pois promove a redução destes espaços vazios formados na deposição do minério na torre.

O fenômeno de percolação ascendente da água foi observado em todos os ensaios com água de fundo, refletindo que se trata de uma condição recorrente para esse tipo de minério. Considerando que não houve vazamentos, considerou-se que toda a água alocada na base sofreu percolação de modo que se entende que aproximadamente 30% desta, cerca de 100 g, permaneceu aderida ao minério, ocupando os interstícios da carga de minério.

Pode-se estender a discussão, a partir destes dados, para o carregamento em campo de vagões sob condições de água de fundo, que terão perfis específicos de compactação ao chegar no virador de vagões, sendo um fator crítico para o descarregamento em grandes blocos mais compactados.

Conclusões

A água de fundo aumentou de 17% para ~40% a compactação do minério do tipo pellet feed, por meio da redução de vazios quando comparado aos ensaios com uso de apenas minério saturado. Além disso a percolação ascendente ocorreu conforme esperado, sendo que 70% da água atingiu o topo da carga de minério, ficando retida uma massa remanescente como preenchimento dos micro vazios da carga compactada.

Agradecimentos: Os autores agradecem à VALE S.A. pelo apoio financeiro ao projeto e pelas bolsas estudantis que fomentam o desenvolvimento das pesquisas relacionadas a drenagem de vagões, em parceria com a Universidade Santa Cecília, em Santos-SP.

Referências

1. Reboita, M. S., Gan, M. A., Rocha, R. P., & Ambrizzi, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. Revista Brasileira de Meteorologia, 25(2), 185–204. 2010
2. Bogsan, Marcelo Augusto Valeriano. Desenvolvimento de uma bancada experimental para estudos de percolação e drenagem de água em minérios. 2022. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Santa Cecília, Santos, SP, 2022.
3. Florence, João Batista Cyrino. Estudo de mecanismos de drenagem de água livre para vagões de minério de ferro. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Santa Cecília, Santos, SP, 2024.
4. Tabata, Gabriel Alcalá. Influência da umidade dos minérios de ferro do tipo pellet feed e sinter feed no comportamento de compactação e adesão em diferentes geometrias. 2025. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Santa Cecília, Santos, SP, 2025.
5. Tabata, Gabriel Alcalá; Florence, João Batista Cyrino; ROSA, Vitor da Silva; moraes júnior, Deovaldo de; Bertelli, Felipe. Avaliação da percolação de água por vibração

induzida em minério de ferro saturado. In: simpósio de engenharia ferroviária, 8., 2025, Campinas. Anais [...]. Campinas, 2025. p. 1-9

6. Florence, João Batista Cyrino; Tabata, Gabriel Alcalá; Albuquerque, Luis Henrique Fernandes de; Santos, Leonardo Henriques dos; Rosa, Vitor da Silva; Moraes JÚNIOR, Deovaldo de; Bertelli, Felipe. Efeito da intensidade de vibração no perfil de compactação de minério do tipo pellet feed. In: Encontro Nacional de Pós-Graduação, 2024, Santos. Anais [...]. Santos: Universidade Santa Cecília, 2024. ISSN 2594-6153.