Estudo da influência da umidade do minério de ferro *Sínter Feed* sobre o escoamento de água em torre de bancada com drenagem vertical

Marcelo Augusto Valeriano Bogsan[1], Augusto Cesar Andrini[1], Vitor Palmarin Oliveira Santos[1], Deovaldo de Moraes Junior[1], Vitor da Silva Rosa[1], Felipe Bertelli[1,2]

[1]Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos-SP, Brasil
[2]Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), Santos-SP, Brasil

E-mail: mbogsan@gmail.com

Resumo: O transporte de minério de ferro feito em vagões do tipo gôndola é caracterizado por ter uma abertura superior que permite a entrada de água em períodos chuvosos. Este fator é um desafio tecnológico a ser suprido por adição de drenos que permitem a percolação e escoamento da água livre formada sobre o material transportado, que tendem a entupir rotineiramente. O presente trabalho apresenta os resultados obtidos em uma bancada experimental desenvolvida para avaliar o efeito de duas configurações geométricas distintas de drenos impressos em ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), uma com abertura reta e outra trapezoidal, bem como o efeito da concentração mássica de minério e água no começo do experimento. Observou-se que para maiores concentrações mássicas de água no começo do experimento, a adesão entre partículas diminui a dinâmica de escoamento, levando a um maior tempo para percolação e drenagem da coluna de água adicionada. Os drenos trapezoidais tiveram menor eficiência de escoamento em comparação aos drenos retos.

Palavras-chave: Drenagem; Bancada Experimental; Minério de ferro.

Study of the influence of Sinter Feed iron ore humidity on water flow in a bench tower with vertical drainage

Abstract: The transport of iron ore made in gondola-type wagons is characterized by having an upper opening that allows the entry of water during rainy periods. This factor is a technological challenge to be met by adding drains that allow the percolation and flow of free water formed on the transported material, which tend to clog routinely. The present work presents the results obtained in an experimental bench developed to evaluate the effect of two distinct geometric configurations of drains printed in ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene), one with a straight opening and the other trapezoidal, as well as the effect of the mass concentration of ore and water at the beginning of the experiment. It is observed that for higher water mass concentrations at the beginning of the experiment, the adhesion between particles decreases the flow dynamics, leading to a longer time for percolation and drainage of the added water column. Trapezoidal drains had lower flow efficiency compared to straight drains.

Keywords: Drainage; Experimental Bench; Iron ore.

Introdução

No transporte ferroviário, cada tipo de insumo possui propriedades e características distintas. Tendo isto em mente, para melhor atender a particularidade destes materiais, as empresas que atuam na fabricação de vagões possuem diferentes modelos de carros. No caso de maquinários e contêineres há vagões do tipo prancha; já produtos granulados, carvão e

minério de ferro, costumam ser transportados em vagões do tipo gôndola, que possuem sua parte superior aberta, o que facilita seu manuseio durante as etapas de carga e descarga. Por se tratar de vagões abertos, estes acabam por captar a água das chuvas, de modo que a umidade do material transportado impõe um aumento de peso e consequente aumento de consumo de combustível para o transporte, o que é totalmente indesejável. Além disso, impõe por vezes uma aderência do material transportado nas paredes do vagão, que não se desprende no descarregamento dentro do virador de vagões, havendo então a necessidade de paradas inoportunas para desprendimento manual, que diminuem o fluxo e eficiência do transporte[1-3]. Esta proposta de trabalho aborda a implementação de uma bancada experimental para teste de drenabilidade em amostras de minério de ferro, quantificando o tempo necessário para percolação de água através destas.

Objetivos

O presente trabalho teve por objetivo apresentar uma avaliação comparativa no tempo de percolação de água em amostras de minério de ferro do tipo *Sinter feed* com diferentes concentrações mássicas utilizando uma bancada de testes desenvolvida com drenos poliméricos confeccionados por impressora 3D.

Material e Métodos

Foram produzidos dois diferentes modelos de drenos em polímero ABS com 6mm de espessura e geometria de fresta reta e trapezoidal. No dreno denominado reto, 45 frestas retas com aberturas de 1mm x 20mm são simetricamente dispostas ao longo de uma secção quadrada de 80mmx80mm. O dreno com frestas em formato trapezoidal possuía entrada e saída, respectivamente, de 1mm para 2mm ao lado oposto. Confeccionou-se um dispositivo em acrílico com dimensões internas de 80mm x 80mm x 500mm representando o volume de ensaio.

Uma massa de 1280g de minério de ferro seco foi misturada por três minutos a uma massa de água a fim de compor a saturação inicial da polpa (água + minério). As massas de água padronizadas para os ensaios estão destacados na Tabela **1**.

Tabela 1 – Balanço de massa utilizado por ensaio

Minério	Massa de minério [g]	massa de água [g]	Concentração mássica de minério ($C_{m)}$ [%]	Concentração mássica de água ($C_{a)}$ [%]
Sínter Feed	1280,00	36,57	97,22	2,78
	1280,00	73,14	94,59	5,41
	1280,00	109,71	92,11	7,89
	1280,00	146,29	89,74	10,26
	1280,00	182,86	87,50	12,50

O dreno ensaiado foi fixado ao dispositivo de acrílico, para que a polpa de minério previamente preparada fosse alocada por altura de queda constante. O início do ensaio foi feito com o acréscimo de 1040g de água sobre a coluna de minério com o auxílio de um aparato distribuidor por gotejamento, responsável por evitar a formação de canais preferenciais no escoamento, como visto na Figura 1. A água de percolação adicionada formava uma coluna sobre a polpa de minério e era escoada por gravidade para um Becker de coleta. Com o auxílio de um cronômetro foram tomadas medidas da altura de água em intervalos de cinco minutos até que o escoamento fosse concluído.

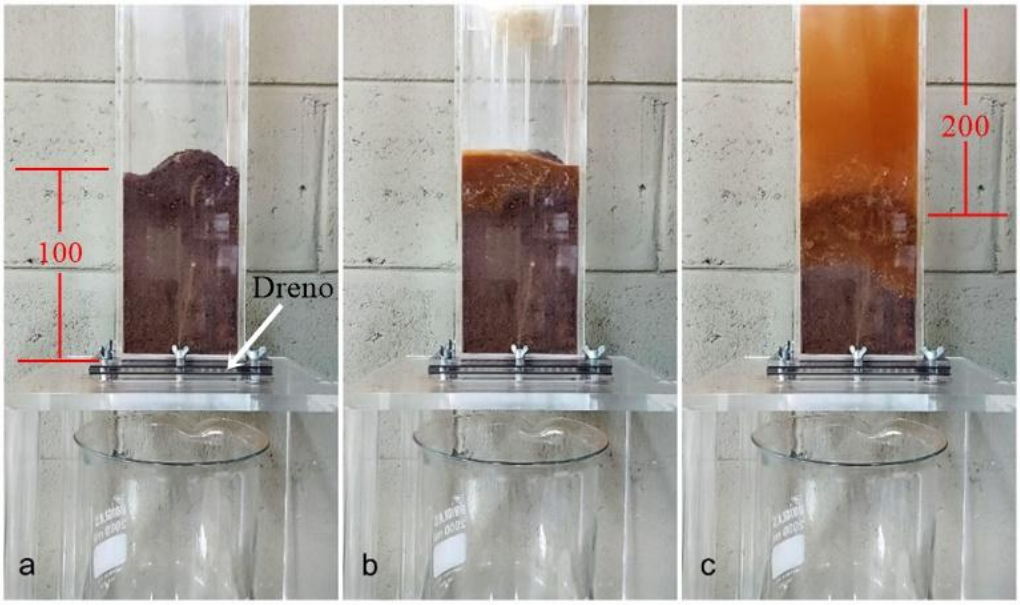

Figura 1 - Etapas de ensaio: (a) Acomodação do minério; (b) Adição de água com dispositivo amortecedor; (c) Ensaio em execução

Resultados

O registro da altura de coluna de água acima do minério durante a percolação e seu escoamento pelos drenos, possibilitou a elaboração de gráficos que descrevem o de nível da água dentro do reservatório em função do tempo de ensaio para as diferentes concentrações mássicas iniciais de água (Ca). Apresenta-se na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**(a) o padrão de escoamento para os drenos retos, sendo visto que o escoamento ocorre de maneira não linear ao longo do tempo. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**(b), percebe-se que para os drenos com passagem trapezoidal apresentam padrão de escoamento similar apresentando, contudo, com um acréscimo de tempo para percolação total da água e consequente drenagem quando comparado ao dreno reto.

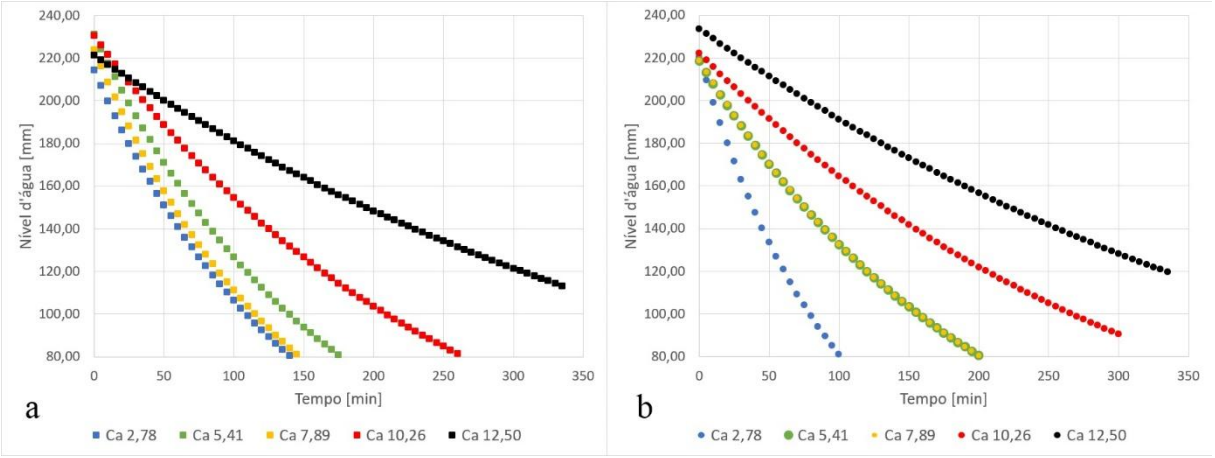

Figura 2 - Altura da coluna de água sobre o minério para drenos (a) retos e (b) trapezoidais.

Discussão

Pode-se observar que a umidade presente no Sínter feed no início do experimento influi diretamente na aderência entre as partículas, alterando seu agrupamento e dinâmica de percolação após a mistura. A força de adesão é compreendida como a atração entre dois sólidos que estejam diretamente em contato. Este efeito é dado através de forças intermoleculares de curta distância, sendo as principais forças de Van der Waals, eletrostática e capilar [4,5]. Essas interações por sua vez promovem diferentes comportamentos durante a acomodação inicial das amostras e compactação do leito. É possível destacar dos resultados obtidos que maiores concentrações de água na amostra tendem a coalescer de maneira mais intensificada as partículas, causando grande dificuldade para o escoamento quando o meio se encontra supersaturado. Paralelamente, observa-se que para menores concentrações mássicas de água – 2,78%, 5,41% e 7,89% –, o coalescimento entre partículas não se torna tão acentuado, de modo que o tempo de escoamento da água de percolação se mantém menor para ambas as geometrias de drenagem estudadas.

Foram ainda identificados a partir das triplicatas que parâmetros como fator de forma das partículas, faixa granulométrica e a aleatoriedade da disposição podem constituir maior influência no desempenho do escoamento. A manipulação destas propriedades tende a induzir ou restringir a formação de canais preferenciais, alterando significativamente a porosidade do meio.

Conclusões

Sendo um dos principais insumos do transporte ferroviário o minério de ferro, a efetividade na drenagem de água promove a redução de custos com diesel das locomotivas por eliminar um valor acentuado de carga transportada desnecessariamente. Este trabalho avaliou a influência na variação da concentração mássica inicial assim como a variação geométrica dos drenos, demonstrando que a manipulação destes parâmetros influi de maneira

direta no desempenho de drenagem, tendo como principal fator o acréscimo da umidade inicial. Entre as duas geometrias de drenos, uma pequena diferença foi observada para os tempos de drenagem, sendo menos efetivo o dreno trapezoidal. Fatores como níveis de vibração devem ser avaliados em trabalhos futuros para se quantificar a compactação da polpa de minério, pois este fenômeno ocorre em condições de transporte na via e aqui não foram contemplados.

Agradecimentos

Esta pesquisa faz parte de um projeto financiado e apoiado pela empresa VALE S.A em parceria com a Universidade Santa Cecília.

Referências

1. VALE. **Estrada de ferro Carajás: o caminho onde passa a nossa riqueza**. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/initiatives/ innovation/carajas-railway/Paginas/default.aspx>. Data de acesso: 12 de outubro de 2021.

2. USP Egis. **Expansão da estrada de ferro Carajás – EFC**. Disponível em: <https://www.egis-brasil.com.br/action/realisations/expansao-da-estrada-de-ferro-carajas-efc?url_back=action/realisations&params%5Brange%5D=15&params%5Bpagination%5D=Mais%20resultados>. Data de acesso: 12 de outubro de 2021.

3. VALE. **Estrada de Ferro Vitória a Minas completa 111 anos sobre os trilhos**. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/estrada-ferro-vitoria-minas-completa-111-anos-sobre-trilhos.aspx>. Data de acesso: 12 de outubro de 2021.

4. USP. **Água no solo: características e comportamento**. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1389787/mod_resource/content/2/Apostila%20parte%20II%20-%20%C3%81gua%20no%20Solo.pdf>. Data de acesso: 13 de outubro de 2021.

5. Felicetti, M. A., Determinação da Força de Adesão entre Partículas e uma Superfície Aplicando a Técnica Centrífuga. São Carlos. UFSCar, 2004, (Dissertação de Mestrado).