AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS HIDRAÚLICOS DE UM MINERODUTO PARA TRANSPORTE DE PELLET FEED DE MINÉRIO DE FERRO

EVALUATION OF HYDRAULIC PARAMETERS OF A SLURRY PIPELINE FOR TRANSPORTING IRON ORE PELLET FEED

Ana Beatriz Bezerra Barboza, Gabriel Silva Lima de Souza, Leonardo de Andrade Rocha Monteiro, Lucas da Silva Carvalho, Nicole de Lima Bleckwedel, Roberto Patella Neto, Álvaro Conrado, Isabella Vieira Moraes, Leonardo Henrique Saboya dos Santos e Nelize Maria de Almeida Coelho

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia Química
E-mail para contato: lc182225@alunos.unisanta.br

RESUMO – O Brasil, um dos maiores produtores mundiais de minério de ferro, utiliza amplamente minerodutos para transportar esse bem das minas extrativas até regiões litorâneas com acesso portuário. A instalação tem como principal objetivo deslocar minério em suspensão aquosa (polpa) através de dutos. O mineroduto tem como principais vantagens, quando comparado aos transportes rodoviário e ferroviário: o baixo teor de emissões de dióxido de carbono, o consumo reduzido de energia e mitigação da poluição ambiental. Como desvantagem, apresenta-se o alto consumo de água e a carência de dados experimentais para se obter o perfil de escoamento. O estudo teve como objetivo determinar a perda de carga do escoamento bifásico água/pellet feed de minério de ferro com concentrações de 1% e 2% em uma tubulação de PVC transparente de 1". O estudo foi realizado no Laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília e os ensaios consistiram em bombear polpa em cinco rotações 1200, 1300, 1400, 1500 e 1600 rpm para medir a perda de carga em um trecho reto de aproximadamente 4 metros. Os resultados evidenciaram o aumento do atrito do escoamento com a adição de minério, mensurados a partir do aumento da perda de carga para vazões semelhantes

Palavras-chave: *Mineroduto, Transporte de minério, Pellet Feed de Minério de Ferro, Perda de carga,*

ABSTRACT – Brazil, one of the world's largest producers of iron ore, widely uses slurry pipelines to transport this commodity from extractive mines to coastal regions with port access. The primary purpose of the installation is to move ore in aqueous suspension (slurry) through pipelines. Compared to road and rail transport, slurry pipelines offer key advantages, such as low carbon dioxide emissions, reduced energy consumption, and mitigation of environmental pollution. However, the disadvantages include high water

consumption and a lack of experimental data to determine the flow profile. The main objective of the study was to determine the hydraulic parameters of the two-phase water/iron ore pellet feed flow with concentrations ranging from 1% to 12% in a 1" transparent PVC pipe. The study was conducted at the Laboratory of Unit Operations of the Santa Cecília University, using an experimental unit composed of a centrifugal pump with a 5 hp motor, a Rushton geometry tank equipped with an axial impeller with two blades inclined at 45°, and four piezometers for reading pressure drop. The tests consisted of pumping slurry at five rotations, 1200, 1300, 1400, 1500, and 1600 rpm, and measuring the pressure drop in a straight section of approximately 4 meters.

Keywords: *Slurry pipeline, Ore transportantion, Iron ore pellet feed, Hydraulic parameters, Pressure drop, Solid distribution.*

Tipo do trabalho: (X) Iniciação científica ( ) Iniciação tecnológica ( ) Extensão

1 INTRODUÇÃO

No ano de 2023 o Brasil atingiu a marca de 392,34 milhões de toneladas de minérios exportados, e uma renda associada de 42,98 bilhões de dólares. Destes, 71% das exportações foram de minério de ferro, gerando 30,5 bilhões de dólares (378,5 milhões de toneladas) e consolidando o Brasil como um dos maiores exportadores desse bem no mundo (IBRAM, 2024). No primeiro trimestre de 2024, o minério de ferro foi responsável por 63,9% (R$ 38,9 bi) do IPM-TOTAL (Indicador de Produção Mineral), o que correspondeu a um aumento de 16,3% em relação ao primeiro trimestre de 2023 (ANM, 1° trimestre de 2024).

As reservas de minério de ferro no Brasil se concentram na região Centro-Sul de Minas Gerais e na Serra dos Carajás no Pará. Por estarem concentradas em regiões afastadas dos grandes portos, o transporte desse material deve ser eficiente e economicamente sustentável para que o Brasil mantenha a competitividade no mercado global. Para que isso aconteça, atualmente, há diversos tipos de modais habilitados a fazerem esse transporte, sendo eles: ferroviário, rodoviário, hidroviário, cabotagem e hidráulico (mineroduto). Dentre os mencionados, o modal de menor custo associado é o mineroduto, conforme divulgado pela Universidade Federal de Santa Cataria (UFSC) e pelo Ministério de Minas e Energia.

Minerodutos são dutos que realizam o transporte de minério por longas distâncias até o processamento final do material e possuem como objetivo reduzir os impactos ambientais e logísticos impostos pelos modais tradicionais, evitando atrasos e perdas que poderiam ocorrer durante o percurso.

O conhecimento acerca das propriedades físico-químicas e a faixa granulométrica do minério a ser transportado é de extrema importância para a realização do projeto de um mineroduto. Parâmetros de escoamento, como a velocidade crítica, pressão de bombeamento, porcentagem de sólidos e velocidade máxima são específicos da polpa (CHAVES, 2012). Desse modo, o levantamento de dados sobre os parâmetros de escoamento de diferentes polpas é fundamental e representa uma valiosa contribuição para a sociedade, tendo como objetivo a expansão desse modal no Brasil. A partir do presente estudo, espera-se compreender parâmetros do transporte hidráulico de pellet feed de minério de ferro, como a velocidade crítica, a concentração ótima de minério na polpa e a perda de carga do escoamento, na unidade de mineroduto em escala de bancada presente no Laboratório de Operações Unitárias da Unisanta (Santos, SP), de forma a agregar com a literatura disponível na área.

O trabalho teve por objetivo obter os parâmetros do transporte hidráulico de pellet feed de minério de ferro com concentrações variando entre 1% e 12%. O parâmetro avaliado foi a perda de carga do sistema.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A unidade experimental utilizada neste estudo se encontra no Laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília (UNISANTA) e foi recentemente reformada para abrigar a presente pesquisa (Figura 1). A unidade experimental é composta por um sistema de tubulação de 1” em PVC transparente com, aproximadamente, 12 metros de comprimento, sendo somente analisado nesta pesquisa o trecho reto da unidade com comprimento aproximado de 4 metros. Neste trecho estão instalados 4 anéis piezométricos acoplados em piezômetros para determinação da pressão manométrica do escoamento em pontos diferentes do trecho reto, sendo obtida em milímetros de coluna d’água ($mmca$). A diferença entre as pressões de dois pontos permite o cálculo da perda de carga no trecho. O transporte da polpa é realizado por uma bomba centrífuga de rotor aberto vinculada a um motor de 5 cv. O sistema é acionado por um inversor de frequência CFW 09 da Vectrue Inverter que controla a rotação do motor e, consequentemente, a vazão de polpa para o sistema. O tanque operado conforme as condições de Rushton e está equipado com um impelidor do tipo axial de 2 pás inclinadas a 45°, o qual é acionado por um motor de 2 hp com controle de rotação/potência da Varired Equipamentos elétricos LTDA.

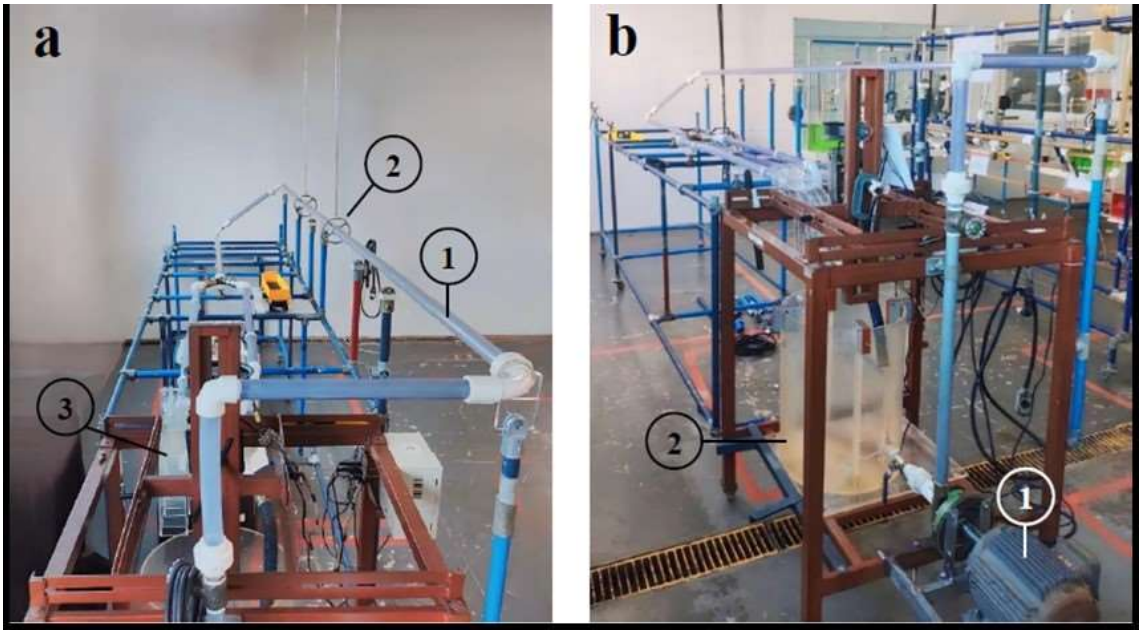


Figura 1: a) Vista superior da unidade de transporte hidráulico de minério de ferro. 1) Percurso da tubulação para avaliação do escoamento (4 m em trecho reto); 2) Anel Piezométrico e piezômetro para tomada de pressão (4 pontos – em produção); 3) Finger separador para avaliação de distribuição espacial do escoamento. b) Vista em 45°. 1) Motor para acionamento da bomba centrífuga de rotor aberto; 2) Tanque de homogeneização da polpa (sem o sistema impelidor-motor).

O *pellet feed* de minério de ferro utilizado para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa foi cedido pela empresa Vale e é proveniente da mina de Brucutu (MG). Visualmente o pellet apresenta uma cor acinzentada e brilhante, assemelhando-se à purpurina.

A perda de carga foi determinada a partir da análise do escoamento com a equação do Balanço de Energia Mecânica simplificado (Eq. 1), seguindo a ordem das equações abaixo. O valor encontrado da perda de carga foi dividido pela distância entre os pontos de coleta para obter-se a perda de carga por metro de tubulação.

$$\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} = h_L \qquad \text{Eq.1}$$

Em que:

P_1	é a pressão estática no ponto 1 [Pa]
P_2	é a pressão estática no ponto 1 [Pa]
γ	é o peso específico do fluido [kg/m³]
h_L	é a perda de carga do escoamento [m]

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados experimentais coletados nos ensaios permitiram o levantamento de curvas de perda de carga em função da vazão mássica para água pura e para as polpas contendo 1 e 2% de minério. A Figura 2 apresenta os resultados encontrados:

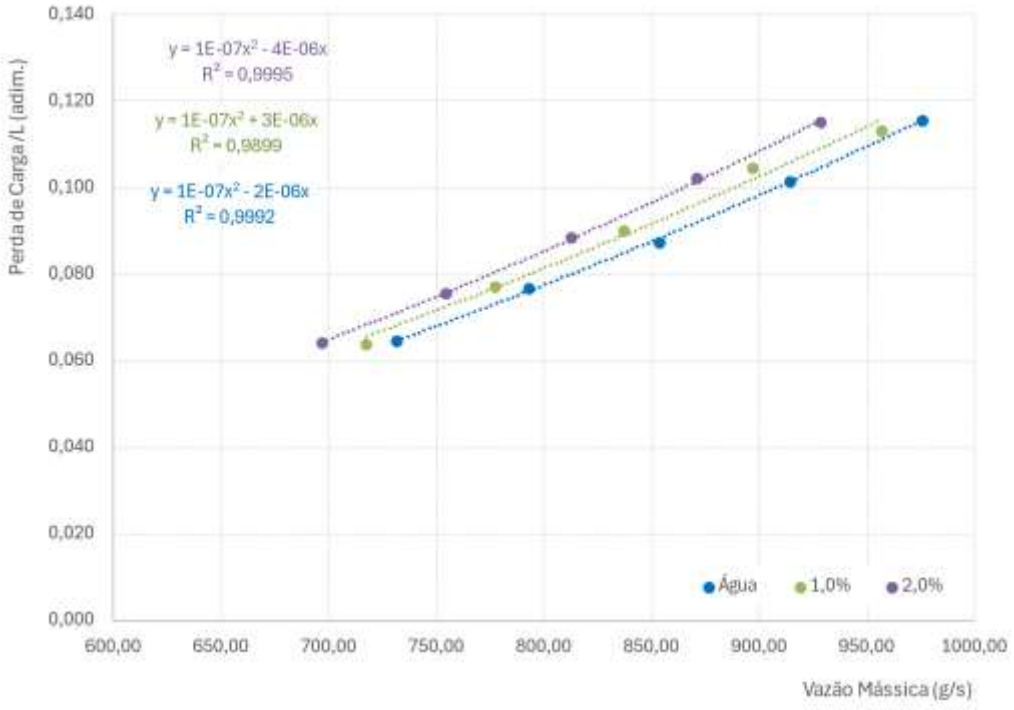


Figura 2: Perda de carga do escoamento de água e de pellet feed de minério de ferro em duas concentrações.

Através da Figura 2 pode se observar que a inserção de minério na água provoca o aumento do atrito do fluido-fluido e do fluido-sólido durante o escoamento, o que têm como consequência o incremento da perda de carga.

4 CONCLUSÃO

O presente estudo permitiu concluir que a adição de minério de ferro na água provocou o aumento progressivo do atrito do escoamento, observado através das medições de perda de carga em um trecho reto.

5 REFERÊNCIAS

1. IBRAM, Infográfico Mineração em Números 2023. Disponível em: https://ibram.org.br/wpcontent/uplo-ads/2024/02/mineracao-em-numero-2023.pdf. Acesso em: 4 ago. 2024.

2. ANGLOAMERICAN. Mineroduto do Sistema Minas-Rio conta com mais de 133 mil toneladas de ação e 44 mil tubos. 2014. Disponível em: https://brasil.angloamerican.com/ptpt/imprensa/noticias/year2014/18-12-2014. Acesso em: 25 ago 2024.

3. LABTRANS/UFSC. Relatório final de estudos e pesquisas para a elaboração de levantamento e de análises acerca da infraestrutura do transporte e da logística do setor mineral no Brasil, assim como dos investimen-tos esperados no setor. 2022. Disponível em:https://www.gov.br/mme/ptbr/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/pnm-2050/estudos/caderno4-competitividade-da-industria-mineralbrasileira/InfraestruturadeTransporteeLogsticadoSetorMineralBrasileiro.pdf. Acesso em: 4 ago 2024.

4. CHAVES, A. P. et al. Teoria e Prática do Tratamento de Minérios: bombeamento de polpa e classificação. 4. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 301 p. 1 v.