

ARTIGO

Alavancagem de Peso Médio do Minério de Ferro

Adriano Martins de Sousa^{1*}, Aílton Elias de Souza¹

¹ Gerência de Engenharia Ferroviária, Avenida Dante Michelini, 5500, 29090-900, Vitória - ES

e-mail: adriano.sousa@vale.com, ailton.elias.souza@vale.com

Resumo O Peso médio é a medida da massa líquida média transportada por cada vagão em um dado período. Este indicador está diretamente associado à capacidade de um sistema de transporte ferroviário, bem como à produtividade dos ativos envolvidos, sejam da própria ferrovia, sejam dos seus clientes. De modo geral, as ferrovias *Heavy Haul* utilizadas para transporte de minério de ferro no Brasil passaram por um processo intenso de alavancagem do Peso médio, com ganhos consistentes de capacidade de transporte. Todavia, a elevada competitividade do setor de mineração e o princípio da melhoria contínua exigem o desenvolvimento de soluções que venham a incrementar o Peso médio do Minério de ferro. Por outro lado, o cenário internacional desafiador em termos de preço da *commodity* impõe restrições de investimentos por parte das companhias mineradoras. Neste contexto, a busca de soluções de melhoria do Peso médio torna-se desafiadora.

Este trabalho apresenta um estudo de caso sobre o Peso médio do Minério de ferro de Serra Norte da VALE S.A., analisando as alavancas conhecidas sob a perspectiva da ferrovia e suas interfaces com a expedição da mina e a descarga no porto.

Palavras-Chaves: Operação; Peso médio; Melhoria Contínua.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

A VALE S.A. é a maior produtora de minério de ferro e pelotas de minério de ferro do mundo, tendo sido responsável por 20,4% do volume total negociado no mercado transoceânico em 2014 [1]. O maior complexo de mineração da companhia é Serra Norte, em Carajás (PA), interligado ao porto de Ponta da Madeira (MA) através da Estrada de Ferro Carajás (EFC).

O peso médio dos vagões carregados com minério é um dos principais indicadores de desempenho do sistema integrado Mina-Ferrovia-Porto. O processo de carregamento é de responsabilidade da expedição da mina, mas também é

influenciado pelos ativos e processos da ferrovia e do porto.

1.2. Formulação do Problema

Quais as alavancas a serem desenvolvidas para aumento de peso médio do Minério de ferro do Sistema Norte?

1.3. Hipótese

É possível obter melhorias de peso médio com investimentos de valor baixo a moderado.

1.4. Objetivo

O objetivo geral deste trabalho é identificar as alavancas de atuação sobre o Peso médio de Minério de ferro do Sistema Norte da VALE S.A.

1.5. Justificativa

O peso médio dos vagões de minério de ferro tem influência sobre diversos indicadores da cadeia da logística integrada da VALE (Mina, Ferrovia e Porto), destacando-se:

a. Mina

- Custo da tonelada embarcada em vagões;
- Produtividade do sistema de carregamento;
- Capacidade de expedição do terminal.

b. Ferrovia

- Custo da tonelada transportada;
- Produtividade dos ativos: vagões, locomotivas e malha ferroviária;
- Capacidade de transporte;
- Eficiência Energética.

c. Porto

- Custo da tonelada descarregada nos viradores de vagões;
- Utilização dos viradores de vagões.

Tendo em vista o vultuoso aumento da demanda de transporte de Serra Norte nos últimos anos, a VALE investiu no aumento do peso médio como uma das alavancas de capacitação do Sistema Norte. A Figura 1 apresenta o peso médio do minério de ferro de Serra Norte de 2007 a 2014.

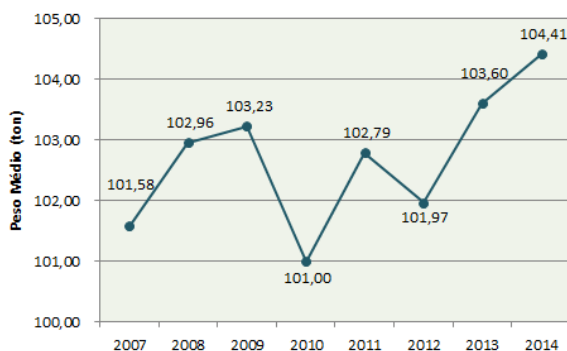


Fig. 1 Evolução do Peso Médio de Serra Norte

Percebe-se uma evolução do peso médio, interrompida pontualmente em 2010 e 2012 devido a restrições operacionais ao peso bruto que vinha sendo praticado.

As principais ações responsáveis pelas melhorias no indicador foram a recapacitação dos operadores dos silos e das pás carregadeiras, a instalação das balanças de

tara e de peso bruto, os projetos de automatização e semiautomatização dos silos, a priorização de carregamentos nos silos de maior precisão e a formação de grupo multidisciplinar para acompanhamento do indicador.

No cenário econômico atual, o valor do minério de ferro no mercado transoceânico oscila num patamar severamente inferior ao regime observado nos últimos cinco anos. Este panorama, aliado ao princípio da melhoria contínua, demanda novas ações efetivas com viés de otimização da utilização dos recursos, simplificação de processos, aumento da produtividade, e por consequência, redução dos custos operacionais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Conceitos

O estudo do objeto “peso médio” requer o conhecimento de alguns conceitos apresentados a seguir.

2.1.1. Capacidade de peso bruto da via: peso bruto máximo admissível por vagão sob a perspectiva da via permanente e infraestrutura.

2.1.2. Capacidade de peso bruto do vagão: peso bruto máximo admissível por vagão em função das restrições impostas pela resistência de seus componentes aos esforços atuantes sobre os mesmos.

2.1.3. Capacidade de carga por eixo do vagão: capacidade de peso bruto dividida pela quantidade de eixos do vagão (neste caso, quatro).

2.1.4. Tara: massa do vagão vazio. A tara pode variar em função do tipo/modelo do vagão, troca de componentes, carga remanescente (recheço), e do desgaste de chaparia, rodeiros e outros componentes.

2.1.5. Capacidade de carga líquida do vagão: Capacidade de peso bruto do vagão menos a tara.

2.1.6. Capacidade volumétrica do vagão: capacidade de carga do vagão em

volume (m³), contemplando o volume raso (volume útil da caixa até o limite da borda) e o volume do coroamento (volume máximo admissível a partir da borda até a crista da carga, conforme definido em padrão operacional) [2].

2.1.7. Balança Ferroviária Dinâmica (BFD): instrumento utilizado para medição da massa dos vagões em movimento. [3]

2.1.8. Virador de Vagões: equipamento destinado à descarga de vagões do tipo gôndola girando-os sobre seus eixos longitudinais.

2.1.9. GDT e GDU: vagões do tipo gôndola utilizados para transporte de minério de ferro com destino a exportação no Sistema Norte.

2.1.10. Sobrecarga dos vagões: carga excedente à capacidade de carga dos vagões.

2.2. Métricas do Processo de Carregamento

Além do peso médio, algumas medidas são importantes para descrição e avaliação do processo de carregamento, conforme descritas a seguir.

2.2.1. Limite de Peso Bruto: representa o valor máximo de peso bruto admitido para cada vagão, considerando as restrições de via, infraestrutura, vagões, e estrutura de descarga. Mantendo-se as demais características do processo, quanto maior o limite de peso bruto, maior será o Peso médio.

2.2.2. Limite Superior de Peso Líquido: Diferença entre o limite de peso bruto e a tara dos vagões. Equivale à maior medida de massa possível de se carregar no vagão sem extrapolar o limite de peso bruto.

2.2.3. Desvio-padrão do Peso Líquido: desvio padrão é a medida utilizada para avaliar a dispersão dos valores de uma amostra em torno da média [4]. No carregamento, um desvio-padrão baixo indica que o Peso médio pode aproximar-se do limite superior de peso líquido, mantendo-se a quantidade de

retiradas de sobrecargas em patamares aceitáveis.

2.2.4. Erro: “é a diferença entre um valor medido e o valor verdadeiro de uma grandeza” [5]. No caso de um processo de carregamento, indica a diferença entre o peso-alvo ou *target* e a massa carregada num dado vagão.

2.2.5. Aproveitamento da capacidade volumétrica do vagão: equivale ao volume ocupado pelo material dividido pelo volume total do vagão (incluindo volume do coroamento).

2.2.6. Aproveitamento da capacidade em peso por vagão: corresponde à massa total do vagão (massa do material carregado, somada à tara) dividida pelo limite de peso bruto.

2.2.7. Perfil da carga: refere-se ao aspecto dimensional da carga, em termos de altura do coroamento, distância das cabeceiras do vagão, e simetria transversal e longitudinal [2].

2.2.8. Tempo Médio de Carregamento (TMC): tempo médio que um lote fica sob responsabilidade da expedição até o término do carregamento, incluindo acerto de carga, retirada de sobrecarga e paradas operacionais durante o carregamento.

2.3. Processos de Carregamento em Serra Norte

2.3.1. Carregamento em muro ou plataforma: modal constituído de uma praça de carregamento adjacente a uma linha ferroviária, no qual a movimentação de materiais e o carregamento são realizados por pás mecânicas (pás carregadeiras) ou equipamento com função similar [3]. Em Serra Norte, o muro pode ser utilizado para uma pré-carga (injeção parcial de minério efetuada antes da passagem do vagão pelo silo de carregamento).

A principal vantagem deste sistema de carregamento é a facilidade e rapidez para operacionalização e

desmobilização da operação, incluindo realocação e substituição dos equipamentos.

A desvantagem é a precisão do peso alvo a ser colocado nos vagões, que pode ser estabelecido pela quantidade de “caçambadas” colocadas em cada vagão ou pelo peso da balança disponível em alguns modelos de pás mecânicas. A fidelidade da medição destas balanças, entretanto, é sensível a fatores como o desnivelamento da praça de carregamento, temperatura do óleo hidráulico dos cilindros de elevação da caçamba, bem como a calibração dos pneus [3].

2.3.2 Carregamento em silo automático gravimétrico (Figura 2): equipamento melhor aplicável para minérios de alta densidade que lotam o vagão em peso sem ocupar a capacidade volumétrica do mesmo [2]. Este é o modelo do silo 3 de Serra Norte.

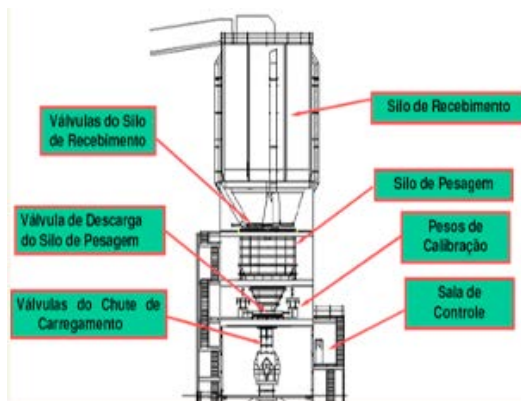


Fig. 2 Esquema do silo gravimétrico

2.3.3 Carregamento em silo automático volumétrico: modelo mais adequado aos minérios de baixa densidade que lotam o vagão em volume sem atingir a capacidade de peso bruto [3]. Este é o modelo do silo 4 de Serra Norte.

2.3.4 Carregamento em silo de semiautomático volumétrico com Top-Off: Neste modelo, há um silo de carregamento principal integrado a um pós-silo secundário. O silo secundário complementa o carregamento realizado no silo principal, visando

otimizar o aproveitamento do vagão (Figura 3).

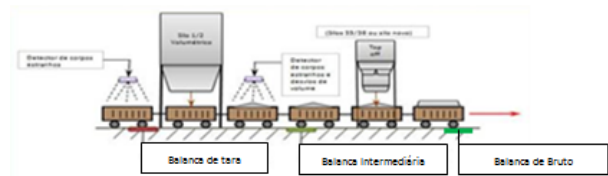


Fig. 3 Esquema do Sistema Top-off

Em Serra Norte, este modelo de carregamento foi instalado nos silos 1 e 2 (agregados aos silos 35 e 36, respectivamente). O silo principal carrega aproximadamente 90% da carga dimensionada (peso alvo) para o tipo de vagão posicionado (GDT ou GDU). Uma BFD intermediária apura o peso bruto do vagão carregado e o informa ao supervisor do Top-off, que dimensionará a carga a ser complementada no vagão (aproximadamente 10%). A distribuição da carga no silo Top-off é orientada por um identificador de perfil, buscando uma distribuição longitudinal equilibrada.

2.3.2 Carregamento em silo no modo manual: modo de operação no qual a vazão dos silos, a movimentação do *clamshell* (quando equipado) e outros parâmetros são controlados manualmente pelo operador (Figura 4). Esta é uma contingência essencial ao carregamento em Serra Norte, uma vez que qualquer automatismo, principalmente exposto a condições operacionais severas, está sujeito a interrupção no funcionamento, sobretudo dos sensores associados.



Fig. 4 Manete de operação manual

2.3.5 Retirada de sobrecargas e acerto de carga: atividades realizadas com retroescavadeira de pequeno porte ou com o removedor de sobrecargas (Figura 5). Em caso de sobrecarga, os equipamentos realizam a remoção de parte do material carregado no vagão. No acerto de carga, os equipamentos visam redistribuir a carga dentro do vagão de modo a torna-la mais uniforme [4].



Fig. 5 Removedor de Sobrecarga

3. METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho teve início por meio de uma pesquisa documental no acervo da engenharia ferroviária VALE sobre propostas de quaisquer naturezas para melhoria de peso médio de granéis sólidos. Esta pesquisa resultou na criação de uma árvore de alavancas de peso médio, que é

uma forma de categorização dos conhecidos fatores de influência sobre este indicador.

Em seguida, procedeu-se um estudo de caso sobre o carregamento de minério de ferro de Serra Norte com destino a Ponta da Madeira, identificando no último nível da árvore de alavancas os fatores que hoje limitam o peso médio neste fluxo ferroviário.

4. DESENVOLVIMENTO

Primeiramente, foi elencada uma lista de fatores de influência sobre o peso médio de forma ampla, não restrita ao processo de Serra Norte. Estas alavancas genéricas de peso médio são abordadas no subtítulo 4.1.

Em seguida, foi realizada uma análise sobre estes itens, de modo a filtrar quais deles representam potencial de ganho especificamente para Serra Norte, considerando a atuação sobre os gargalos do peso médio local. Esta análise é abordada no subtítulo 4.2.

4.1. Alavancas de Peso Médio Identificadas

4.1.1. Grupo “Carregamento”

a. Subgrupo “Material”

- **Densidade:** peso específico do material, resultante das características químicas dos seus componentes (ex.: ferro, alumina, sílica, fósforo).
- **Umidade:** natural ou decorrente do processo de beneficiamento do material. Pode variar também de acordo com a higroscopia do minério. Aumenta o peso médio de forma indesejável, uma vez que a umidade não representa valor agregado.
- **Granulometria:** característica física do material, relativa às dimensões dos grãos do minério processado.

b. Subgrupo “Processo”

- **Método:** refere-se ao procedimento padronizado de carregamento, e às referências visuais e de massa para

o operador, bem como toda a lógica de condução do carregamento.

- **Pessoal:** corresponde à capacitação do corpo operacional na execução da atividade de carregamento.

c. Subgrupo “Equipamentos”

- **Automação do modal de carregamento:** relativo ao nível de automação dos equipamentos utilizados no carregamento, e sua capacidade de realizar uma operação repetitiva, com baixo desvio-padrão, e de aproximar o peso médio do peso alvo (mantendo o erro em patamares baixos).
- **Exatidão do sistema de medição de massa líquida:** a eficiência do sistema de carregamento está intimamente associada à sua capacidade de aferir com exatidão a massa carregada no vagão. Para tal, é importante que o sistema conte com uma BFD de tara e outra BFD de peso bruto.
- **Removedores de sobrecarga:** a existência e eficiência de equipamentos para remoção de sobrecarga podem contribuir para o aumento do peso médio à medida que possibilitam uma aproximação da média ao limite técnico, sem que haja aumento da precisão do carregamento. Se o efeito colateral da sobrecarga (aumento do TMC) for atenuado pela eficiência do removedor de sobrecarga, o processo de carregamento tende a ser menos conservador na busca por um maior peso médio.

d. Subgrupo “Programação”

- **Segregação da Frota de Vagões por Produto:** em um terminal onde se opera produtos de diferentes pesos específicos, carregados em uma frota de vagões com capacidades diferentes, é possível que haja uma combinação ótima entre vagões e produtos, que maximize o peso médio do terminal.

A viabilidade de uma proposta de ação baseada nesta alavanca depende muito dos impactos em ciclo gerados a partir desta segregação.

4.1.2. Grupo “Vagão”

- **Volume útil:** o peso médio de produtos relativamente menos densos, que não excedem o limite de carga por eixo do vagão nem o limite de peso bruto da via, por exemplo, são diretamente afetados pelas dimensões de volume útil da caixa do vagão. O aumento do volume útil, todavia, pode resultar em aumento da tara, indesejável para carregamento de produtos de maior peso específico, conforme explicitado a seguir.

- **Tara:** a redução da tara do vagão é uma alavanca de melhoria de peso médio dos produtos que tem como limitação o peso bruto.

- **Capacidade de peso bruto:** a estrutura dos vagões é dimensionada para suportar esforços resultantes de uma determinada carga bruta máxima. Normalmente, o elemento limitador de capacidade de peso bruto dos vagões é a manga de eixo. Soluções possíveis incluem a adoção de vagões com mangas de eixo mais resistentes.

- **Aderência de material:** alguns materiais tendem a aderir à chaparia do vagão (carga remanescente ou recheço), atuando, na prática, como um acréscimo à tara do vagão, e como elemento de redução do volume útil disponível. As soluções mais conhecidas baseadas nesta alavanca são a adoção de revestimento antiaderente nas chapas do vagão, ou melhorias no processo de descarga.

- **Centro de Gravidade:** a altura do centro de gravidade dos vagões está associada à estabilidade e segurança operacional do mesmo [6]. É considerado um ponto de atenção para o peso médio de produtos leves carregados em vagões altos e em bitola estreita.

4.1.3. Grupo “Via”

- **Infraestrutura:** a estrutura das pontes, viadutos e as características dos solos sob a ferrovia imputam à infraestrutura ferroviária uma capacidade de carga bruta. Dependendo da extensão física dos trechos considerados gargalos de peso bruto, e da complexidade das obras de arte, a atuação sobre esta alavanca de peso médio pode tornar-se proibitiva, em função dos custos das soluções.

- **Superestrutura:** a grade ferroviária (trilhos e dormentes) apoiada sobre o lastro também possui sua capacidade máxima de carga bruta.

4.1.4. Grupo “Estrutura de Descarga”

- **Capacidade de carga bruta do virador de vagões (ou moega):** a estrutura de descarga em si pode ser limitadora da massa transportada por cada vagão em função, por exemplo, da resistência do virador de vagões aos esforços atuantes no momento do giro, bem como à capacidade das correias transportadoras sob o mesmo de suportar o impacto da queda do material, entre outros.

- **Capacidade de carga bruta do *pusher* (ou equivalente):** o braço posicionador ou qualquer outro equipamento de tração dos trens utilizado durante a descarga pode limitar o peso total do lote de vagões. Para evitar manobras de fracionamento do lote, que impactariam no ciclo do vagão, pode-se estabelecer uma restrição ao peso médio do carregamento.

- **Gabarito do virador (ou moega):** a estrutura de descarga descreve um gabarito que deve ser atendido pelo conjunto vagão-carga. Neste contexto, a descarga pode não estar apta a receber vagões de maior capacidade, e também, pode limitar a altura do coroamento da carga.

4.2. Gargalos de Peso Médio de Serra Norte

Foi realizada uma análise de cada uma das alavancas de peso médio identificadas no subtítulo anterior, resultando no apontamento daquelas que têm atuação sobre os gargalos do peso médio do minério de Serra Norte para exportação, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Gargalos de Peso Médio do Serra Norte

Alavanca	Gargalo?
CARREGAMENTO	
Material	
Densidade	Sim
Umidade	Sim
Granulometria	Não
Processo	
Método	Sim
Pessoal	Não
Equipamentos	
Automação	Sim
Precisão da medição de tara	Sim
Removedores de Sobrecarga	Não
Programação	
Segregação da Frota	Não
VAGÃO	
Volume útil	Sim
Tara	Sim
Capacidade de peso bruto	Sim
Aderência de material	Não
Centro de Gravidade	Não
VIA	
Superestrutura	Não
Infraestrutura	Sim
ESTRUTURA DE DESCARGA	
Capacidade de carga bruta do virador	Não
Capacidade de carga bruta do <i>pusher</i>	Não
Gabarito do virador	Não

5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O estudo apontou múltiplas alavancas de peso médio do minério de ferro carregado em Serra Norte com destino a Ponta da Madeira, tanto na expedição da mina, quanto na ferrovia.

Considerou-se inviável a atuação sobre as alavancas dos subgrupos “material” e “infraestrutura”. Recomenda-se o levantamento e priorização de iniciativas com

foco de atuação nos demais gargalos mapeados.

Ao longo dos anos, muitas ações com foco em peso médio do Sistema Norte foram desenvolvidas. Uma vez que este campo de atuação já foi bastante explorado, a tendência é que as soluções inéditas sejam cada vez menos óbvias. Sob esta ótica, a estruturação das alavancas de peso médio apresentada neste trabalho constitui um valioso instrumento de apoio na proposição de novas iniciativas.

Dentre as iniciativas que estão sendo propostas, destacam-se as seguintes:

- Desenvolver sistema de proteção dos sensores para aumentar a robustez e a utilização dos mesmos;
- Melhorar sistema de alimentação dos silos 35 e 36 (Top-off) visando aumentar a utilização dos mesmos
- Avaliar projeto estrutural do vagão GDU para obtenção de menor tara.

Os gargalos de peso médio em Serra Norte aqui mapeados sofrerão alterações à medida que o processo passar por transformações, implicando na necessidade de revisão periódica deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Relatório Anual 2014. Formulário 20-F VALE S.A. Março 2015
- [2] Souza, A. E. de (Coord.), PTP000046 Padrão de Segurança nas Operações de Carga e Descarga e Movimentação de Vagões em Terminais. Julho 2014
- [3] Sousa, A. M. de; Souza, A. E. de; Araújo, A., Documento Técnico 17366 Estudo de Sistemas de Medição de Massa em Vagões. Setembro 2014
- [4] Montgomery, D. C.; Runger, G. C., Applied Statistics and Probability for Engineers. 6th Edition Abril 2014
- [5] Centro de Capacitação CICMA do INMETRO Rastreabilidade e Incerteza – Banner.
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12210: Cálculo da altura do centro de gravidade de vagão para tráfego ferroviário - Procedimento 2014.