

## Controle de sobrecarga de equipamentos de transporte de minérios

### *Overload control of ore transport equipment*

Marcos Vinicius Agapito Mendes<sup>1</sup>, Erick Rodrigo Carvalho Souza Siqueira<sup>2</sup>, Marcelo da Silveira Dias<sup>3</sup>, Cláudio Roberto Freire<sup>4</sup>, Gabriel Gomes Silva<sup>5</sup>, Paulo Elias Carneiro Pereira<sup>6</sup>

#### RESUMO

A sobrecarga de equipamentos de transporte de minérios é um problema que impacta diretamente na disponibilidade física e custos com manutenção dos equipamentos, devendo ser gerenciada e minimizada. Neste contexto, objetivo deste estudo é melhorar o controle de sobrecarga de caminhões utilizados no transporte de minério de uma mina subterrânea adotando como premissa a política de controle de carga útil 10/10/20 e avaliar os impactos na disponibilidade física destes equipamentos. Logo, a metodologia consistiu basicamente na definição dos problemas causados pela sobrecarga dos equipamentos de transporte, elaboração e implementação de novos procedimentos operacionais visando a aplicação da política de controle de carga 10/10/20, geração de relatórios gerenciais, avaliação dos indicadores de disponibilidade física e mitigação de problemas. Os resultados apontaram um aumento de disponibilidade física média de 9,21% do primeiro para o segundo semestre de 2019, este último contemplando o período em que as ações de controle de sobrecarga foram implantadas. Além disso, notou-se um aumento na quantidade de viagens com carga adequada a capacidade do equipamento.

**Palavras-chave:** Sobrecarga. Política 10/10/20. Disponibilidade Física.

#### ABSTRACT

Overloading of ore transportation equipment is a problem that directly impacts the physical availability and maintenance costs of the equipment, and must be managed and minimized. In this context, the objective of this study is to improve the overload control of trucks used in the transportation of ore from an underground mine by adopting the 10/10/20 payload control policy and to evaluate the impacts on the physical availability of this equipment. Therefore, the methodology consisted basically in defining the problems caused by the overload of transportation equipment, elaboration and implementation of new operational procedures aiming at the application of the 10/10/20 load control policy, generation of management reports, evaluation of physical availability indicators and problem mitigation. The results indicated an increase in average physical availability of 9.21% from the first to the second half of 2019, the latter contemplating the period in which the overload control actions were implemented. In addition, an increase in the number of trips with load suitable to the equipment's capacity was noted.

**Keywords:** Overload. 10/10/20 policy. Physical availability.

<sup>1</sup> Docente do curso de Engenharia de Minas, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Catalão (UFCAT).

E-mail: marcos.vinicius@ufcat.edu.br

<sup>2</sup> Engenheiro de Minas, Nexa Resources.

<sup>3</sup> Supervisor de Desenvolvimento, Nexa Resources.

<sup>4</sup> Chief Executive Officer, MineXplore.

<sup>5,6</sup> Docente do curso de Engenharia de Minas, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Catalão (UFCAT)

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente as organizações industriais atravessam um de seus momentos mais desafiadores da era moderna, pós revolução industrial e do uso massivo da tecnologia aplicada aos processos produtivos. No que tange à mineração, a aplicação de explosivos e de equipamentos de bombeamento, diminuiu drasticamente os processos produtivos manufaturados e propiciou o desenvolvimento da produção em larga escala, e conseqüentemente, contribuiu com o surgimento das frotas de equipamentos com enorme capacidade de movimentação de materiais.

Este aumento gigantesco na capacidade produtiva das minas, trouxe consigo desafios proporcionais à sua grandeza. Por mais que se considere o lucro como objetivo final em um empreendimento mineiro, há que levar em conta que rotineiramente, o uso inadequado desses recursos, motivado por uma má aplicação das técnicas e padrões operacionais, acarreta sempre em desperdícios, aumentos de gastos operacionais e conseqüentemente, dos custos de produção. Logo, o uso racional e responsável desses recursos, aliado ao gerenciamento adequado das operações, tende a gerar ganhos de produtividade, aumento da produção, redução de custos e maximização dos lucros de um empreendimento.

Na maioria das operações essa busca é incessante, mas poucos conseguem atingir o nível de excelência operacional tão desejado, difundido e propagado como uma vantagem competitiva. Existem muitos fatores que influenciam neste insucesso permanente, os quais geralmente causam mudanças completas de todo o *staff* gerencial, tanto de manutenção, quanto de operação.

Nem sempre estas mudanças são suficientes. E isso pode ser explicado por um único motivo: a falta de uma política de desenvolvimento da cultura de excelência operacional. Sem ela as organizações industriais tendem a repetir mudanças drásticas em seus times de gestão e os resultados seguem “tranquilos” em seu “comportamento serrote”, com altos e baixos, sem a estabilidade requerida para todo processo produtivo.

O trabalho desenvolvido neste estudo demonstra que é sim possível introduzir o conceito da melhoria constante dos processos produtivos por meio da implementação da cultura de excelência operacional.

Na mineração estão presentes operações unitárias fundamentais para garantir a produção, e uma delas é o transporte, assunto deste estudo. Esta operação permite que os materiais provenientes da lavra cheguem até o processamento mineral, onde é beneficiado, tornando-se produto final. É, portanto, um elo fundamental entre duas operações. Neste

contexto, os equipamentos utilizados durante esta operação, devem ser mantidos em perfeito estado de funcionamento, e se não executado de forma racional, com uma operação responsável, padronizada e uma sólida manutenção da frota, acaba por aumentar os custos operacionais do processo (HUMPHREY e WAGNER, 2011).

Existem fatores que impactam na disponibilidade mecânica dos equipamentos de transporte e, conseqüentemente, na durabilidade de seus componentes. Dentre eles, destaca-se o efeito destrutivo da atividade de carregamento, sem o uso de técnicas adequadas, resultando em sobrecarga, ou excesso de peso, nos caminhões utilizados no transporte (TEIXEIRA, 2016; CHAMANARA, 2013), afetando diretamente a vida útil do equipamento. Há ainda fatores relacionados com a construção e manutenção da qualidade das vias de acesso, atividades de suporte a operação de carga e transporte. Estes fatores somados geram um efeito devastador nos ativos e recursos aplicados nas operações de lavra. Além disso, equipamentos auxiliares, como balanças de controle do peso transportado, são fundamentais para garantir o bom funcionamento das atividades de carga e transporte, e devem estar em perfeito estado de funcionamento, permitindo atingir a excelência operacional na operação de mina.

De forma simplificada, faz-se necessário concentrar o estudo no padrão necessário para a realização da atividade de carga sem que esta venha afetar a capacidade da frota de transporte (THOMPSON, 2011; DELA ANTÔNIO, 2005).

Assim, é imprescindível regular o foco da análise no desenvolvimento da ação de controle da carga e distribuição do peso nos equipamentos de transporte. Ela melhora a dirigibilidade por parte dos operadores dos caminhões, permite uma maior segurança no tráfego dos equipamentos, previne inevitáveis fadigas estruturais, reduz o desgaste prematuro de componentes do caminhão como freios, suspensão, eixos, pneus, dentre outros, além de reduzir custos não previstos no processo de manutenção (DELA ANTÔNIO, 2005; MICHELIN, 2017).

Uma ferramenta que pode auxiliar neste controle é a política de carga útil 10/10/20, que estabelece premissas de carga dos equipamentos de transporte de acordo com a capacidade nominal da frota, maximizando a durabilidade de seus componentes. Considera que a vida útil é maximizada quando se mantém as cargas úteis transportadas menores ou iguais à carga útil alvo nominal da máquina (HUMPHREY e WAGNER, 2011; CATERPILLAR, 2012). Tal condição é atingida quando 90% das cargas transportadas se encontram na faixa de 0 a 110% da carga útil alvo do equipamento, devendo não mais que

10% das cargas exceder 10% da carga útil alvo e nenhuma carga ultrapassar 20% da carga útil alvo (Figura 1).

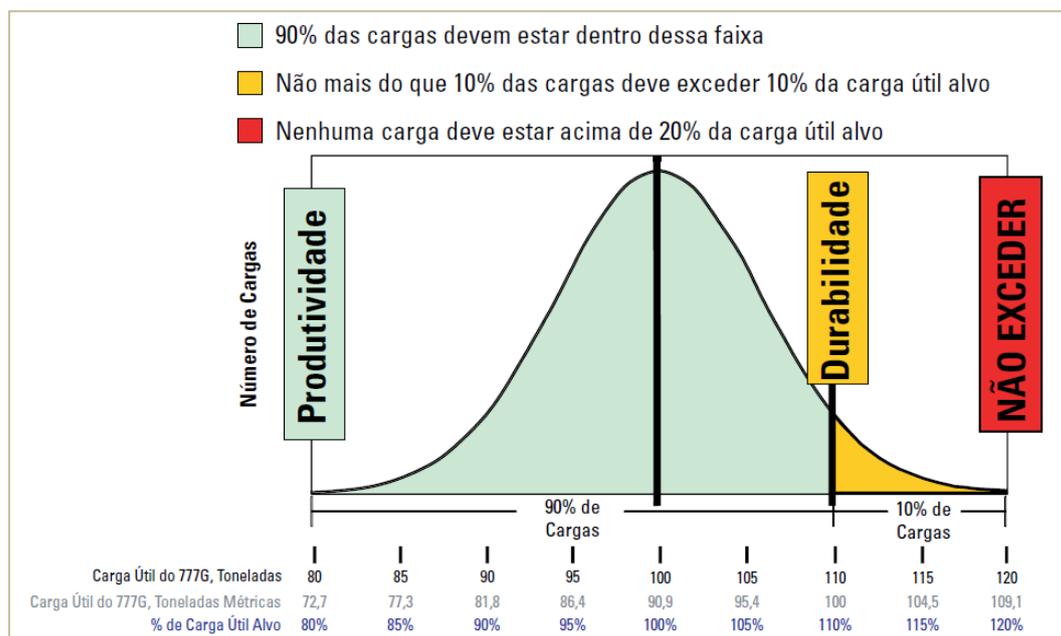


Figura 1. Gráfico representando a política de carga útil 10/10/20. (Fonte: Caterpillar, 2012)

Diante da sobrecarga dos equipamentos de transporte, os pneus são componentes que sofrem muito com o excesso de peso. Naturalmente já estão sujeitos a diversas situações de estresse no transporte e a sobrecarga acelera o seu desgaste prematuro (TEIXEIRA, 2016; CHAMANARA, 2013; MICHELIN, 2017; SILVAR *et al*, 2017). Há que se ressaltar que os gastos com pneus podem representar até 30% dos custos operacionais de uma frota de equipamentos de transporte (REVISTA MERCADO & TECNOLOGIA, 2020). Logo, condições operacionais adequadas de carga e transporte são fundamentais para redução de custos e aumento da vida útil deste componente.

Atualmente, o uso de ferramentas de controle e monitoramento de produção (sistemas de gestão de frota) são bastante difundidos e utilizados na mineração (HSU, 2015; CAMPELO e MARIN, 2018), permitindo aplicar um sistema de melhoria contínua a partir da automação e otimização de regras de despacho de caminhões (ZHANG e XIA, 2015; AFRAPOLI e NASAB, 2017), além de gerar indicadores de performance que auxiliam na identificação de pontos críticos (que tendem a aumentar os custos operacionais).

A busca por diferenciais estratégicos, aliadas a aplicação de ferramentas de qualidade, são fundamentais para redução de custos operacionais e maximização da produção, garantindo a competitividade do empreendimento mineiro no mercado atual extremamente acirrado. Portanto, estratégias que visam reduzir custos operacionais do

transporte e aumentar a disponibilidade mecânica dos equipamentos são imprescindíveis (SILVA *et al*, 2017).

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo melhorar o controle de sobrecarga de caminhões utilizados no transporte de minério de uma mina subterrânea adotando como premissa a política de controle de carga útil 10/10/20 e avaliar os impactos na disponibilidade física destes equipamentos.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo consistiu basicamente na definição dos problemas causados pela sobrecarga dos equipamentos de transporte, elaboração e implementação de novos procedimentos operacionais visando a aplicação da política de controle de carga 10/10/20, geração de relatórios gerenciais, avaliação dos indicadores de disponibilidade física e mitigação de problemas.

A definição dos problemas causados pela sobrecarga foi realizada através de reuniões de *performance* entre os setores de operação e manutenção, onde ficou estabelecido que situações como o sucateamento dos pneus, aquecimento do motor, rompimento de mangueiras hidráulicas, danos na suspensão e travamento de básculas estavam sempre relacionados ao excesso de carga nos equipamentos, afetando diretamente a disponibilidade física. Foi definida a necessidade de um modelo de gestão para controle da sobrecarga.

Visando elaborar e implantar novos procedimentos operacionais, fez-se necessário garantir o perfeito funcionamento das duas balanças instaladas nas rampas de saída da mina subterrânea (Figura 2). Isto incluiu estabelecer uma rotina periódica de limpeza das balanças e verificação do registro de pesagens no servidor interno da empresa. Todos os caminhões transportando minério ou estéril provenientes da mina eram pesados.



Figura 2. Balança localizada na saída de uma das rampas da mina subterrânea.

A comunicação entre as balanças e os caminhões foi realizada através do cadastramento de um *transponder* junto aos veículos (Figura 3), que permitia saber exatamente qual caminhão estava na balança, o horário e o peso obtido, além de gerar posteriormente relatórios com indicadores para controle da sobrecarga. Foi fundamental garantir que todos os caminhões possuíssem o equipamento e seu cadastro estivesse atualizado nas duas balanças existentes no empreendimento.



**Figura 3.** *Transponder* utilizado nos caminhões para comunicação e identificação nas balanças.

Antes da implantação do controle de sobrecarga o fluxo dos equipamentos de transporte era o seguinte: i) carregamento na frente de lavra; ii) deslocamento pela rampa até a balança na superfície da mina; iii) pesagem e inserção da informação no sistema de controle; e iv) basculamento e retorno ao ponto de carregamento.

Buscando o controle da sobrecarga, um novo procedimento operacional para o transporte foi criado: i) sistema de despacho informa ao operador do carregamento o teor médio da frente a ser lavrada; ii) operador do caminhão informa ao operador do carregamento o valor da pesagem da última viagem; iii) carregamento na frente de lavra; iv) deslocamento pela rampa até a balança na superfície da mina; v) pesagem e inserção da informação no sistema de controle; vi) verificar se balança leu o *transponder* do caminhão; e vii) basculamento e retorno ao ponto de carregamento.

Um melhor controle da quantidade de material adicionado pelo operador do carregamento no caminhão foi possível com o novo procedimento operacional. Além disso, garantiu-se que os dados de pesagem estavam sendo inseridos de forma correta no sistema de gestão de carga dos equipamentos de transporte.

O próximo passo foi treinar os operadores nestes novos procedimentos operacionais, almejando uma mudança de cultura através da conscientização dos problemas causados pela sobrecarga nos equipamentos de transporte de minério. Os treinamentos tiveram duração de duas horas e foram realizados durante a troca de turno dos operadores visando não prejudicar o andamento da operação. Também foi abordado a importância da política de controle de carga 10/10/20 e a necessidade de segui-la através dos novos procedimentos operacionais. Coordenação e gerência de operações participaram do treinamento, sempre enfatizando a importância estratégica do controle de sobrecarga sobre os custos operacionais da empresa.

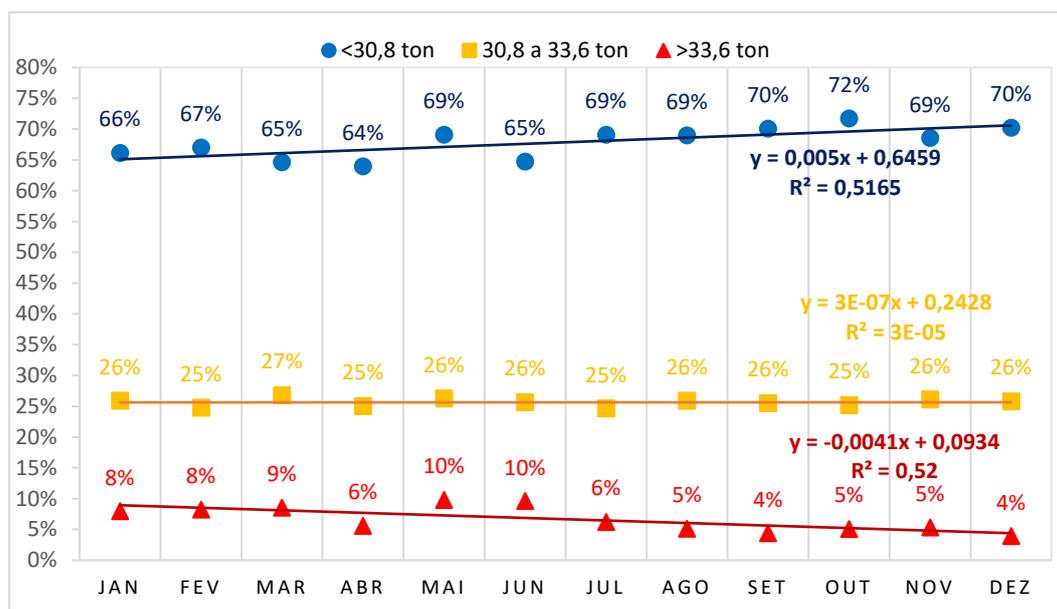
Relatórios gerenciais que visavam o acompanhamento de indicadores de sobrecarga dos equipamentos de transporte foram elaborados a partir dos dados de pesagem coletados. Estes permitiram acompanhar o desenvolvimento das equipes de operação e analisar os resultados dos treinamentos e implantação da política de gestão de carga 10/10/20.

A avaliação do impacto do controle de sobrecarga dos equipamentos de transporte na disponibilidade física foi possível com informações obtidas nos relatórios gerenciais e dados do setor de manutenção. Logo, foi elaborado um comparativo da disponibilidade física antes e depois da implantação da política de controle de sobrecarga.

Por fim, foi realizada a etapa de mitigação de problemas. Consistiu basicamente em realizar um *feedback* com os operadores sobre os resultados obtidos e tratamentos individuais com operadores que resistiam a mudança de cultura operacional.

### 3. RESULTADOS

Os caminhões utilizados no transporte de minério na empresa possuem 28 toneladas de capacidade de carga útil. As pesagens das viagens realizadas permitiram elaborar um gráfico que compara a efetividade do controle de sobrecarga na política 10/10/20 (Figura 4). Este gráfico representa a porcentagem das pesagens que são menores que 110% da carga útil alvo do caminhão (<30,8 toneladas), aquelas que estão entre 110 e 120% da carga útil alvo (30,8 a 33,6 toneladas) e as que são superiores a 120% da carga útil alvo (>33,6 toneladas).



**Figura 4.** Acompanhamento mensal da distribuição de cargas conforme política 10/10/20 no ano de 2019.

O padrão de qualidade ideal é que 90% das pesagens sejam menores que 30,8 toneladas (110% da carga útil alvo de 28 toneladas), garantindo uma maior durabilidade dos componentes e menor necessidade de manutenção, impactando diretamente na disponibilidade física do equipamento. O controle de sobrecarga atua justamente no gerenciamento e conscientização da equipe para que o indicador seja atingido.

As ações para o controle da sobrecarga dos equipamentos de transporte tiveram início em junho de 2019. A análise das linhas de tendência do gráfico da Figura 4, juntamente com as equações de regressão, mostram que o percentual de pesagens menor que 30,8 toneladas aumentaram no segundo semestre de 2019, juntamente com uma diminuição do percentual de pesagens acima de 33,6 toneladas (120% da carga útil alvo de 28 toneladas). Além disso, o percentual de pesagens entre 30,8 e 33,6 toneladas mantiveram-se aproximadamente constante ao longo do ano.

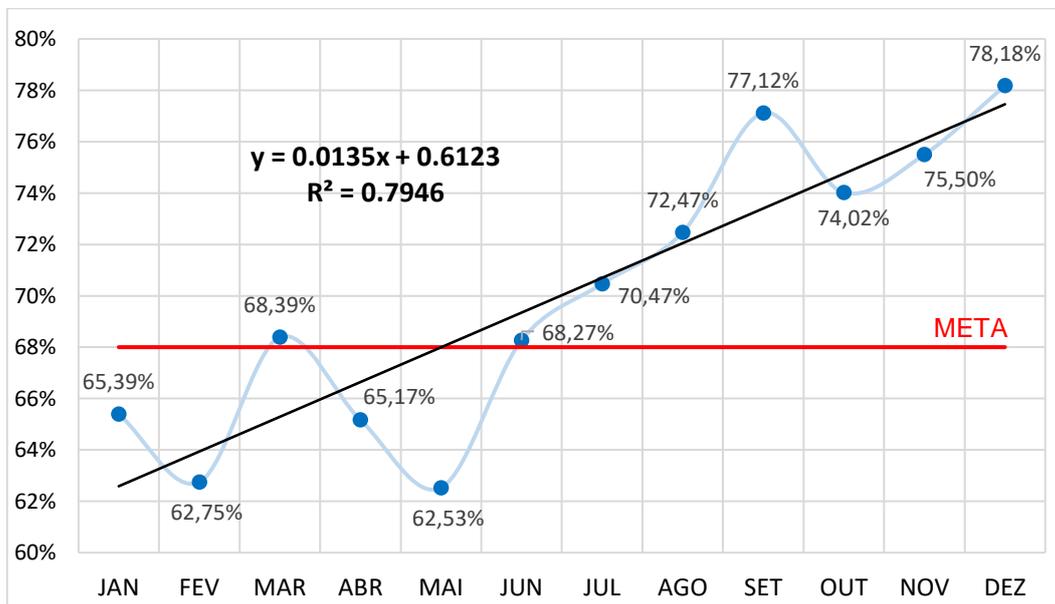
Este comportamento está relacionado às ações de controle da sobrecarga implantadas na operação de carregamento e transporte de minério a partir de junho de 2019. Como as carregadeiras LHD não possuem balanças instaladas que permitiriam um controle adequado do peso carregado na caçamba dos caminhões. Assim, fica a cargo do operador dosar a quantidade de material carregado, de forma que a sobrecarga excessiva não aconteça. Logo, a implantação de novos procedimentos operacionais e o treinamento e conscientização dos operadores foi fundamental.

É de se esperar que a experiência do operador impacte nesta ação, além de sua conscientização com relação a necessidade de atingir o padrão de qualidade estipulado

(<30,8 toneladas). Entretanto, além do fator humano que impacta no controle de sobrecarga, outros fatores podem surgir, como por exemplo as altas demandas de minério exigidas pela usina de processamento mineral, o que induz os operadores a realização de viagens com sobrecarga; ou a mudança da operação para novas frentes em desenvolvimento, onde o material a ser carregado e transportado possui granulometria mais fina e teor acentuado, influenciando a densidade aparente, e dificultando a percepção do operador da quantidade que atinge 110% do peso admissível nos caminhões.

A capacidade de produção da frota de caminhões é influenciada pela disponibilidade física dos equipamentos. As metas de produção de minério estabelecidas pela empresa são acirradas e desafiadoras. Qualquer descuido pode prejudicar ou até mesmo comprometer a produção. Logo, o aumento da disponibilidade física dos equipamentos de transporte é fundamental, estando relacionado ao controle do sobrecarga dos equipamentos.

Em 2019 a meta de disponibilidade física definida para a frota de caminhões foi de 68%. O gráfico da Figura 5 apresenta as médias mensais de disponibilidade física da frota de caminhões no ano de 2019 e a meta estabelecida pela empresa.



**Figura 5.** Disponibilidades físicas mensais da frota de caminhão no ano de 2019.

No primeiro semestre de 2019 a média das disponibilidades foi 65,42% e somente dois meses superaram levemente o valor estipulado como meta. Entretanto, o segundo semestre apresenta média de 74,63% e todos os meses superaram com folga a meta. Há uma diferença média entre os dois semestres de 9,21% de disponibilidade física.

Considerando que a frota de equipamentos de transporte trabalha 24 horas por dia, em um semestre cada caminhão teria 4320 horas teóricas disponíveis para trabalho. Como a diferença entre o primeiro e segundo semestre de 2019 foi de 9,21% em disponibilidade média, isto impactaria em aproximadamente 17 dias de operação perdidos por cada caminhão entre os dois semestres. Este fato impacta consideravelmente a produção e demonstra a importância da disponibilidade física dos equipamentos.

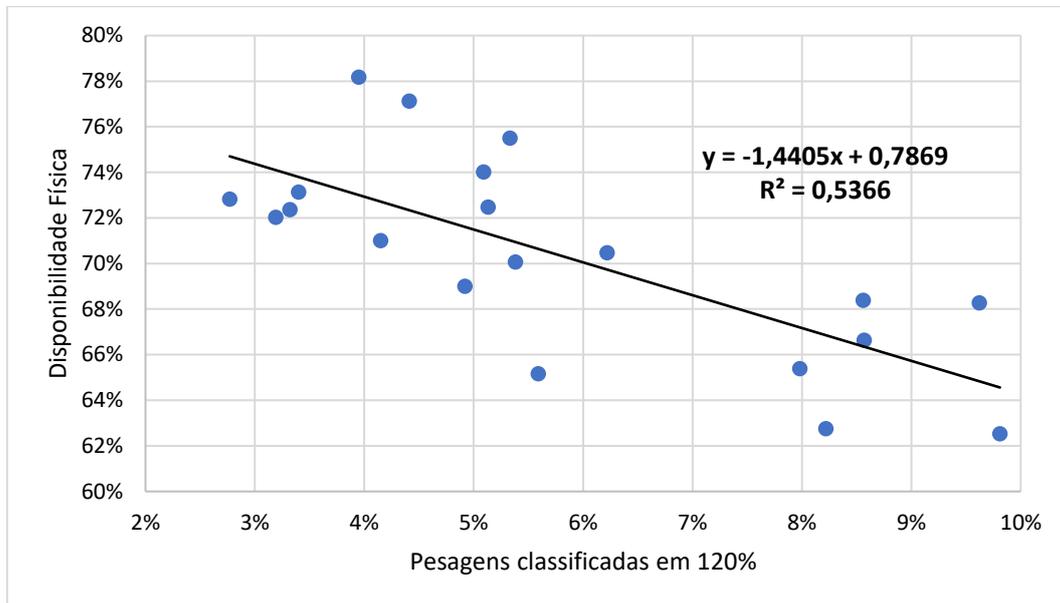
Há inúmeros fatores que contribuem para o aumento ou redução da disponibilidade física. Dentre eles, a melhoria do padrão de operação devido a implantação da política de controle de sobrecarga proporcionou parte dos ganhos de disponibilidade física apresentados no gráfico, os quais giram aproximadamente em torno de 2,5 a 3,0%. O controle de sobrecarga, além de diminuir as paradas corretivas para trocas de pneus danificados durante as operações de transporte, aumenta a durabilidade dos componentes do equipamento, prolongando sua vida útil, diminuindo o tempo perdido com paradas para manutenção, aumentando conseqüentemente a disponibilidade física.

Por diversas vezes a sobrecarga influenciava na condição dos pneus dos caminhões, danificando os mesmos inclusive dentro da mina subterrânea. Neste tipo de situação, os transtornos eram enormes, visto a necessidade de o caminhão carregado ter que bascular todo o material no local onde aconteceu o problema, a equipe de manutenção precisar deslocar-se até o fundo de mina para realizar a troca do pneu e posteriormente haver a necessidade de um equipamento de carregamento carregar novamente o material no caminhão.

Considerando a perda de disponibilidade física dos caminhões em função de problemas com pneus, um levantamento minucioso dos fatores que levavam o pneu a reforma ou descarte foi realizado. Dentre eles estão o desgaste natural por utilização em condições normais, desgaste prematuro por excesso de peso ou calibragem fora dos padrões normais, além de cortes causados por pedaços de aço, chapas, parafusos vergalhões e blocos de rocha gerados nas operações de lavra.

Dos fatores identificados, o excesso de peso nos caminhões e a calibragem fora dos padrões são as principais causas de descarte dos pneus, visto que os demais fatores normalmente permitem a reforma e diminuem bastante o custo com aquisição de novos pneus. A calibragem correta pôde ser atingida com manutenção preventiva realizada rigorosamente. O excesso de peso dos caminhões pôde ser corrigido com o controle de sobrecarga.

A Figura 6 apresenta um gráfico de dispersão entre os dados de disponibilidade física e as pesagens classificadas como 120%, isto é, acima de 33,6 toneladas.



**Figura 6.** Gráfico de correlação entre a disponibilidade física e as pesagens classificadas como 120%.

Nota-se que há uma correlação negativa, indicando que o aumento das viagens com sobrecarga nos equipamentos de transporte (> 33,6 toneladas) causa uma diminuição da disponibilidade física. A correlação pode ser considerada moderada, indicando que existem outros fatores que também contribuem nos resultados de disponibilidade física.

De qualquer forma, controlar a sobrecarga dos equipamentos de transporte de minérios permite obter resultados satisfatórios quanto a melhora da disponibilidade física, o que impacta diretamente em ganhos de produção.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As medidas de controle de sobrecarga dos caminhões de transporte de minério melhoraram e aumentaram a disponibilidade física dos equipamentos. Ficou claro que a conscientização dos operadores é fundamental para o controle de sobrecarga, o que garante que os novos procedimentos operacionais serão seguidos. Logo, os treinamentos foram fundamentais.

O controle minucioso de qualquer processo é fundamental para sua otimização. Neste aspecto, o controle de sobrecarga, principalmente através dos relatórios gerenciais, permitiu quantificar indicadores e atuar mais efetivamente para mitigação dos efeitos do excesso de peso nos caminhões de transporte de minério, otimizando o processo e aumentando a disponibilidade física dos equipamentos.

Um horizonte de tempo maior para análise ainda se faz necessário, visando validar sem contestações que o controle de sobrecarga é fundamental para a otimização do processo, mesmo que o estudo realizado já apresente bons resultados.

Como sugestão recomenda-se a instalação de sensores de peso nos equipamentos de carregamento ou de transporte de minério, permitindo que um controle melhor da carga adicionada ao caminhão na frente de lavra seja possível. Tal ferramenta permitirá que os operadores tenham condição de analisar o resultado de sua atividade de modo instantâneo e corrigir os erros, otimizando o processo de carregamento de minério.

## REFERÊNCIAS

CAMPELO, A. C. de M.; MARIN, T. The impact of payload truck factor use in mine performance reports for na open pit copper mine in Brazil. **REM, Int. Eng. J.**, Ouro Preto, 71(3), 443-449, 2018.

CATERPILLAR. **Caminhão fora-de-estrada 777G**. Série G: um compromisso com a segurança, as pessoas e a empresa. Caterpillar Inc. 2012.

CHAMANARA, A. **Enhancing mine haul truck KPIs via payload balance** [tese de doutorado]. Edmonton, Alberta: University of Alberta; 2013.

DELA ANTÔNIO, S. F. **Estudo de sobrecarga dinâmica em caminhões por meio de medições diretamente no veículo** [Dissertação de Mestrado]. Campinas: Universidade Estadual de Campinas; 2005.

HSU, N. **Data quality of fleet management systems in open pit mining: issues and impacts on key performance indicators for haul truck fleets** [Thesis - Master of Sciences]. Kingston, Canada: Queen's University, 2015. 131p.

HUMPHREY, J. D.; WAGNER, J. D. **Mechanical Extraction, Loading, and Hauling**. In: DARLING, PETER. SME Mining Engineering Handbook. 3<sup>a</sup> ed. United States of America: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.; 2011. p. 903-929.

MICHELIN. **Use and Maintenance Guide**. Edição 2017. Michelin Earthmover & Industrial, Port and Intermodal Tires. 2017.

AFRAPOLI, A. M., NASAB, H. A. Mining fleet management systems: a review of models and algorithms. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 33(1), p. 1-19, 2017.

Revista Mercado & Tecnologia. Tecnologia e inovação para construção e mineração [página da internet]. São Paulo: Revista M&T; 2011 [atualizada em 2 jun. 2011; acesso em 20 abr. 2020]. Disponível em: <http://www.revistamt.com.br/Materias/Exibir/cuidados-que-geram-economia>.

SILVA, G. G.; DEMUNER, P. F.; PEREIRA, P. E. C.; ARAÚJO, R. P.; PINTO, H. S. D. **Utilização de ferramentas de qualidade para aumento da vida útil de pneus de caminhões fora-de-estrada**. In: Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão. “Anais do Simpósio de Engenharia de Produção (SIENPRO)”; 2017 agosto 09-11; Catalão, Brasil. Catalão: UFG; 2017.

SILVAR, E. L.; NOGUEIRA, P. R. D.; MELO, G. S.; TELES, L. A.; SOUZA, S. D.; PAULA, A. C. M. **Análise dos modos de falha em pneus de caminhões fora de estrada em uma mineração**. In: Associação brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. “Anais do 72º Congresso Anual da ABM – Internacional e do 17º ENEMET – Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, parte integrante da ABM Week”. 2017 out. 02-06; São Paulo, Brasil. São Paulo: ABM; 2017.

TEIXEIRA, L. A. C. **Caracterização de payloads via telemetria** [dissertação de mestrado]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2016.

THOMPSON, R. J. **Design, Construction, and Maintenance of Haul Roads**. In: DARLING, PETER. *SME Mining Engineering Handbook*. 3ª ed. United States of America: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.; 2011. p. 957-976.

ZHANG, L.; XIA, X. **An integer programming approach for truck-shovel dispatching problem in open-pit mines**. *Energy Procedia*, v. 75, p. 1779-1784. Special issue: Clean, Efficient and Affordable Energy for a Sustainable Future: 7th. International Conference on Applied Energy (ICAE2015), 2015.