

Aumento da produtividade da operação unitária de transporte através do uso de telemetria

Patrick Teixeira Oliveira ^{1*} 
Marcélio Prado Fontes ¹ 
Walter Schmidt Felsch Junior ² 

Resumo

A competitividade que as empresas enfrentam no mercado se torna cada dia mais intensa, por isso, é de grande importância que os processos sejam executados com eficiência, minimizando perdas. Na mineração a fase de exploração permite redução dos custos com uma boa gestão das operações de carregamento e transporte de minério e estéril para as etapas subsequentes do processo produtivo. O transporte desses materiais é feito em sua grande maioria por caminhões, os quais a produtividade é diretamente influenciada pela velocidade média. Este trabalho definiu, criou ferramentas e *dashboards* para gestão da velocidade média, possibilitando melhor gestão do desempenho da equipe e mapeamento e atuação em campo para melhorias nas condições dos acessos. Os resultados do trabalho mostraram um aumento de produtividade de 13% para a frota Caterpillar e 10,8% para a frota Komatsu. Foi evidenciado uma redução no consumo de diesel de 600 mil litros em dois anos, trazendo ganhos em sustentabilidade com redução da emissão de CO₂. Também foram identificados melhoria nas condições de segurança e ergonomia das vias e direcionamento padronizado dos recursos de manutenção dos acessos.

Palavras-chave: Operação de mina; Telemetria; Infraestrutura de mina; Estradas.

Increase in haulage productivity operation through use of telemetry

Abstract

The competitiveness that companies face in the market becomes more and more intense, so it is of great importance that processes are carried out efficiently, minimizing losses. In mining, the exploration phase allows for cost reduction with good management of ore and waste loading and transport operations for the subsequent stages of the production process. The transport of these materials is mostly done by trucks, whose productivity is directly influenced by the average speed. This work defined, created tools and dashboards for managing average speed, enabling better management of team performance and mapping and field work to improve access conditions. The results of the work showed an increase in productivity of 13% for the Caterpillar fleet and 10.8% for the Komatsu fleet. A reduction in diesel consumption of 600 thousand liters in two years was evidenced, contributing to sustainability by reducing CO₂ emissions. Improvements were also identified in the safety and ergonomics of the roads and standardized direction of access maintenance resources.

Keywords: Mine operation; Telemetry; Mine infrastructure; Haulage roads.

1 Introdução

Atualmente, o método de lavra à céu aberto é o mais utilizado na mineração. De acordo com Hartman [1] o método a céu aberto é o predominante nas explorações no mundo, abrangendo 98% das minas de minérios metálicos e 97% das não metálicos nos Estados Unidos. O método *Open Pit* possui como característica o ciclo operacional contemplando as operações unitárias: perfuração,

desmonte, carregamento e transporte. No que tange a última operação, está apresenta elevado custo operacional devido aos gastos com insumos, principalmente óleo diesel e manutenção. Esta operação geralmente é feita por caminhões de pequeno à grande porte. O desempenho desses equipamentos impacta diretamente na produção e custo da mina [2-4].

¹Departamento de Engenharia de Minas, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET, Araxá, MG, Brasil.

²WF Mining Analytics, Belo Horizonte, MG, Brasil.

*Autor correspondente: patrickteixeiraoliveira@gmail.com



As estradas de mina são fundamentais para garantir o sucesso da atividade mineradora, são os viabilizadores da etapa de transporte. As vias devem ser aderentes ao projeto geométrico e estrutural [5]. Os acessos de uma lavra são fundamentais para a garantia da produtividade e da segurança [6,7]. É preciso observar e estabelecer os critérios e normas dispostas em projeto que visam a interação entre equipamentos, veículos e pessoas [8,9].

Ferreira [10] ressalta a importância do projeto de acessos (planejamento, dimensionamento da infraestrutura e plano de manutenção) quando bem utilizados geram grandes benefícios, porém os projetos não são amplamente usados em todas as minas. Conforme Thompson e Visser [11], historicamente o projeto e manutenção das estradas em minas são realizados fortemente baseados na experiência do supervisor afetando o desempenho dos caminhões resultando em altos custos. Apesar de ser um desafio para muitas minas, o uso de uma estratégia de manutenção bem definida possibilita redução significativa de despesas da operação de transporte, estes são definidos basicamente por dois elementos, custos de manutenção de via e de operação dos equipamentos [11,12].

Os sistemas de gerenciamento de frota (FMS – *fleet management system*) fornecem informações que podem ser utilizadas para identificação de desvios e gestão da operação. Os FMS são aplicativos que auxiliam na automação do gerenciamento de caminhões e escavadeiras, permite análise de indicadores, maximizar a produção e minimizar os gastos operacionais a partir de tomada de decisões utilizando informações em tempo real. Sendo assim, maximiza a utilização do equipamento e reduz os custos de operação [2,13].

O uso da telemetria da mineração fornece dados para auxiliar na tomada de decisão e direcionamento de recursos na mina. Esses dados são utilizados para identificar problemas e desvios de projeto nas pistas, operação inadequada e problemas mecânicos dos equipamentos, com isso é possível fazer atuações e obter ganhos em produtividade, segurança e sustentabilidade [7,11,13,14].

2 Materiais e métodos

2.1 Equipamentos usados

A operação de transporte na mina é realizada por duas frotas de caminhões com portes diferentes, sendo uma frota da Caterpillar (CR), caminhão mecânico que transporta em média 100 toneladas e outra da Komatsu (KM), caminhão eletrodiesel que transporta em média 180 toneladas.

2.2 Mapa de calor de velocidade

Foi identificado a necessidade de uma ferramenta que possibilite diariamente a identificação de pontos de baixa velocidade na mina.

Através de *brainstorming* com a equipe da operação de mina, concluiu-se que com um mapa de calor de velocidade

é possível identificar os trechos da pista com irregularidades e direcionar os recursos de infraestrutura.

A mina conta com um sistema de gerenciamento de frota que fornece vários relatórios que permitem acompanhamento e gestão de diversas informações sobre o ciclo de produção. Dentre os relatórios disponíveis, há o registro de velocidade, que mostra a cada dez segundos a velocidade e a localização do caminhão ao longo do trajeto. Com esse relatório é possível gerar uma nuvem de pontos, a qual pode ser transformada em um mapa de calor de velocidade através do *software* de planejamento de lavra.

2.3 Relatórios de gestão

Apenas a informação do velocímetro não é suficiente para que o operador saiba a velocidade média do ciclo. Visando levar a informação de velocidade média para os operadores foram desenvolvidas ferramentas para mostrar dentro do caminhão a velocidade média de cada viagem e um relatório de *business intelligence* que mostra a velocidade média de todos caminhões ao longo do turno.

Para proporcionar ao supervisor maior conhecimento do desempenho da equipe e possibilitar um mapeamento para *feedback* e desenvolvimento dos operadores foi criado um relatório em que é mostrado a velocidade média de cada operador. Com esse relatório é possível um mapeamento e desenvolvimento da equipe.

3 Resultados e discussão

3.1 Mapa de calor de velocidade

A Figura 1 apresenta o mapa de calor de velocidade, que demonstra, por meio de cores, as velocidades desempenhadas pelos caminhões nos acessos da mina. Os tons azuis representam baixa velocidade, enquanto os tons avermelhados mostram velocidades maiores.

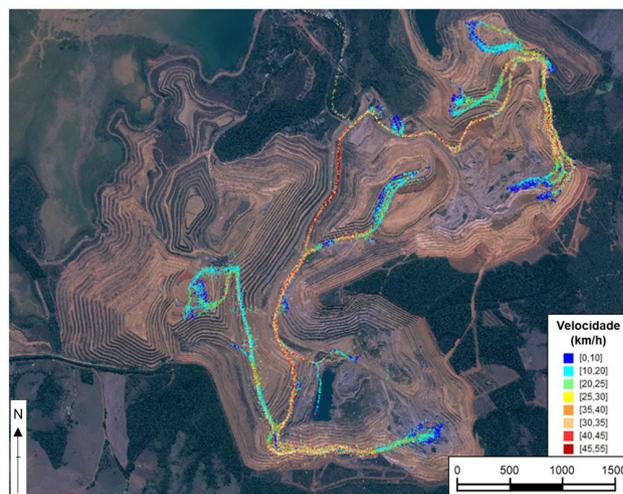


Figura 1. Mapa de calor de velocidade.

Com o mapa, é possível identificar, inclusive com maior acuracidade, os trechos onde há possíveis problemas nas pistas e fazer a correção rapidamente. Ressalta-se que com o mapa de calor de velocidade elimina-se a subjetividade com relação aos pontos de atuação da equipe de apoio, tendo assim um direcionamento de recursos otimizado e com ordem de prioridade.

3.2 Relatórios de gestão

Cada caminhão possui um *tablet* embarcado no qual são feitas as apropriações para o sistema de gerenciamento da

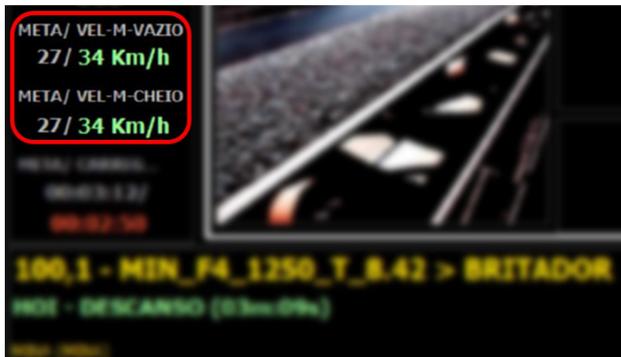


Figura 2. Relatório de velocidade dentro do caminhão.

frota. Foi inserido na janela principal do *tablet* a informação de velocidade média após cada ciclo, Figura 2. A formatação é com relação a meta de velocidade, sendo:

- Verde - maior ou igual a 100% meta;
- Amarelo - entre 95% e 100% da meta;
- Vermelho - abaixo de 95% da meta.

O operador consegue acompanhar o seu desempenho a cada ciclo, e com isso trabalhar para atingir a meta de acordo com a condição da pista.

O relatório mostra a velocidade média de cada equipamento possui na mesma condição de formatação (verde, amarelo e vermelho), Figura 3. Com essa informação pode-se comparar o desempenho de caminhões que estão rodando nas mesmas condições e levando uma competição saudável na equipe. Para uma gestão mais direcionada do supervisor foi criado um relatório onde é mostrado o desempenho de todos os operadores, Figura 4.

3.3 Análises estatísticas

Para analisar a evolução da velocidade média é preciso manter as condições de análise as mais próximas possíveis. Desde modo o período considerado para a análise foi o período de seca, envolvendo os meses de maio até setembro.

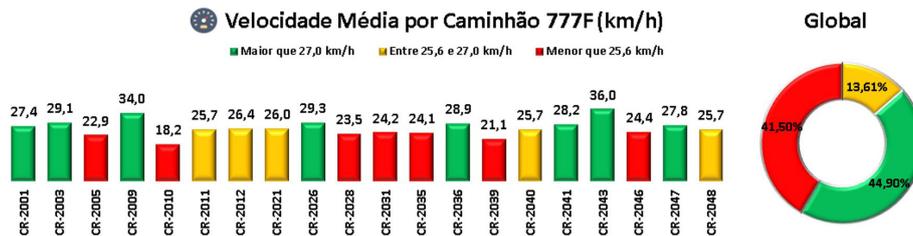


Figura 3. Gestão a vista de velocidade média.

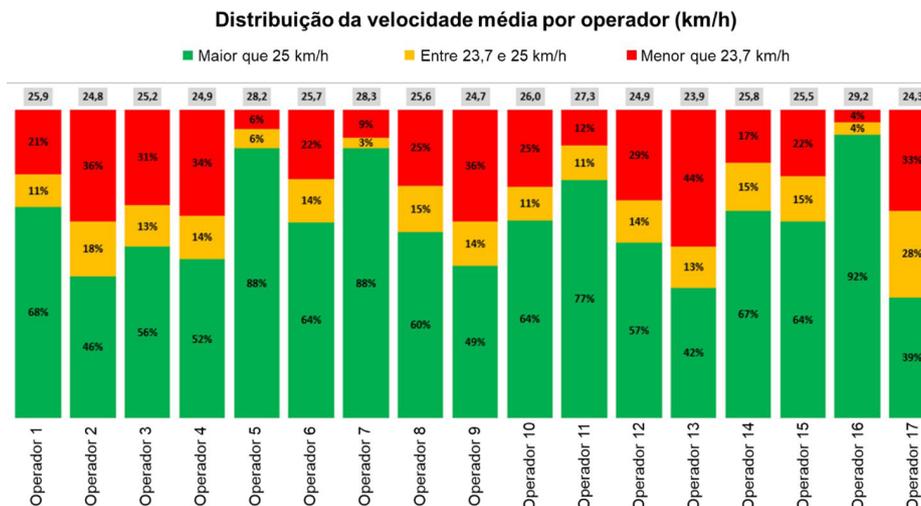


Figura 4. Gestão a vista de velocidade média.

Como as duas frotas, CR (Caterpillar) e KM (Komatsu) possuem porte e limite de velocidade diferentes, são sempre analisadas separadamente. O ano base para comparação é o ano 2019, uma vez que os trabalhos de adequações e o uso das ferramentas de gestão foram iniciados em 2020.

Primeiramente foi verificado a normalidade da distribuição dos dados de velocidade média. Como a mina tem diferentes frotas, frentes e destinos, foi selecionado uma frota no mesmo ciclo operacional. A Figura 5 apresenta o gráfico de probabilidade dos dados de velocidade do estudo de caso selecionado.

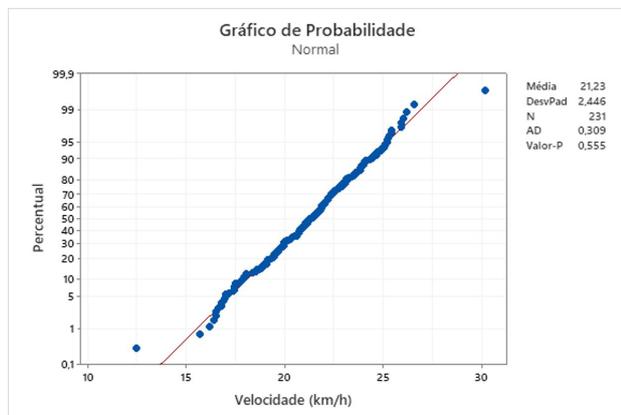


Figura 5. Teste de normalidade.

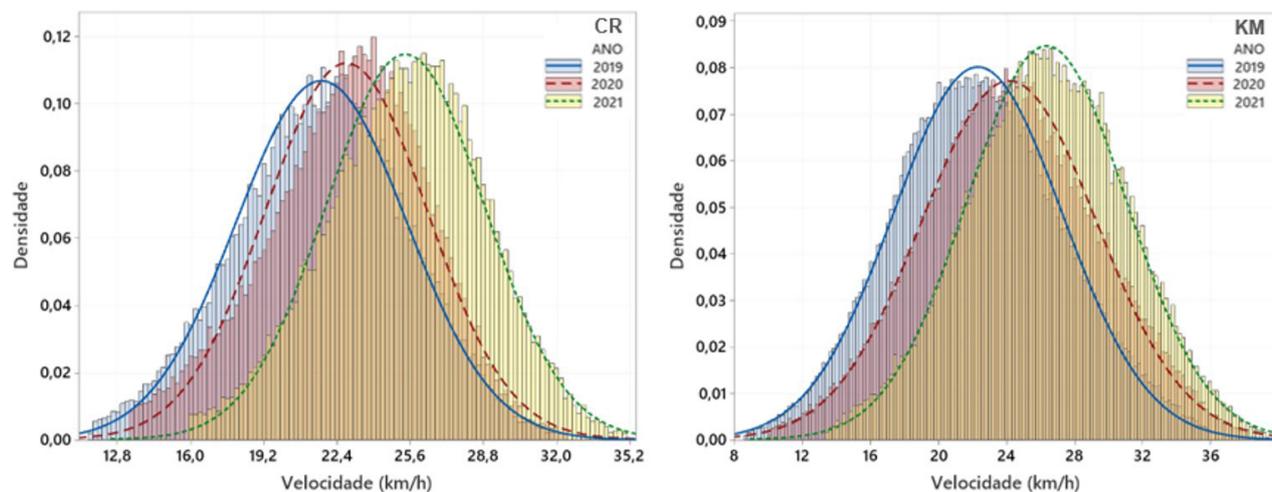


Figura 6. Histograma velocidade média.

Tabela 1. Estatísticas descritivas

Frota	ANO	N	Média	DesvPad	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
CR	2019	116357	22,304	4,980	8,610	18,814	22,192	25,671	35,899
CR	2020	124263	24,169	5,168	10,002	20,625	24,116	27,727	38,294
CR	2021	65515	26,384	4,709	13,403	23,153	26,418	29,670	39,359
KM	2019	47574	21,719	3,736	11,600	19,198	21,811	24,310	31,887
KM	2020	63827	22,827	3,558	13,301	20,516	23,072	25,339	32,483
KM	2021	39258	25,409	3,476	15,901	23,061	25,544	27,842	35,000

Analisando o gráfico, nota-se um valor de $p > 0,05$. Desta forma pode-se verificar uma distribuição normal dos dados.

3.4 Aumento de velocidade média

A variação da velocidade média ao longo dos anos de 2019, 2020 e 2021 foi analisada separadamente para cada frota. A Figura 6 e a Tabela 1 apresentam os histogramas e estatísticas básicas das frotas nos três anos.

Nota-se, através da Figura 6, que os gráficos mostram um aumento da velocidade média nas duas frotas nos anos 2020 e 2021 quando comparados ao ano anterior. A Tabela 1 mostra, para a frota CR, que a média aumenta de 22,304 km/h para 24,169 km/h de 2019 para 2020. Esse aumento representa uma elevação de 8,4%. De 2020 para 2021 a média evoluiu de 24,160 km/h para 26,384 km/h, representando um aumento de 9,2%.

Para a frota KM a média aumenta de 21,719 km/h para 22,827 km/h de 2019 para 2020, uma elevação de 5,1%. De 2020 para 2021 a média evoluiu de 22,827 km/h para 25,409 km/h, representando um aumento de 11,3%.

Para comprovação dos resultados, foram feitos testes de hipótese, a um nível de confiança de 95%, para verificar estatisticamente se houve aumento de velocidade de 2019 para 2020, e de 2020 para 2021, Tabelas 2 e 3.

Os resultados dos testes apresentam um valor-p menor que 0,05, confirmando as hipóteses alternativas, portanto, houve aumento de velocidade de 2019 para 2020 e de 2020 para 2021.

Tabela 2. Teste de hipótese CR

Hipótese nula	$H_0: 2020 - 2019 = 0$		Hipótese nula	$H_0: 2021 - 2020 = 0$	
Hipótese alternativa	$H_1: 2020 - 2019 > 0$		Hipótese alternativa	$H_1: 2021 - 2020 > 0$	
Valor-T	GL	Valor-p	Valor-T	GL	Valor-p
-90,15	2E+05	0,000	-94,18	1E+05	0,000

GL: graus de liberdade.

Tabela 3. Teste de hipótese KM

Hipótese nula	$H_0: 2020 - 2019 = 0$		Hipótese nula	$H_0: 2021 - 2020 = 0$	
Hipótese alternativa	$H_1: 2020 - 2019 > 0$		Hipótese alternativa	$H_1: 2021 - 2020 > 0$	
Valor-T	GL	Valor-p	Valor-T	GL	Valor-p
-49,96	99671	0,000	-114,78	84544	0,000

3.5 Aumento de produtividade

O aumento de velocidade média acarretou no ganho de produtividade. Nesta análise as frotas também foram analisadas individualmente. O cálculo da produtividade foi feito usando a Equação 1.

$$PH = \frac{\text{Carga}}{\left(\text{TMC} + \text{TMB} + \text{TFC} + \text{TFB} + \text{TC} + \text{TB} + \left(\frac{\text{DMT}}{\text{VM}} \right) \right)} \quad (1)$$

Onde:

CM = Carga média (toneladas);

TMC = Tempo de manobra para carregar (horas);

TMB = Tempo de manobra para bascular (horas);

TFC = Tempo de fila para carregar (horas);

TFB = Tempo de fila para bascular (horas);

TC = Tempo de carregamento;

TB = Tempo de basculamento (horas);

DMT = Distância média de transporte (quilômetros);

VM = Velocidade média (km/h).

Para cálculo da produtividade todas as variáveis foram fixadas, exceto a velocidade média. As cargas médias usadas para o cálculo foram os *payloads* dos caminhões, DMT e os tempos fixos considerados foram os tempos médios para o período no ano de 2019. A Tabela 4 apresenta os resultados do cálculo da produtividade.

O aumento de produtividade na frota de CR foi de 6,1% de 2019 para 2020 e 6,5% de 2020 para 2021. Nos caminhões KM foi de 3,4% de 2019 para 2020 e 7,2% de 2020 para 2021. No geral, um aumento de produtividade de 13% para a frota CR e 10,8% para a frota KM.

3.6 Demais ganhos

Considerando o período de maio até setembro a frota CR operou em média 53,8 mil horas e a frota de KM cerca de 22,2 mil horas. Com a produtividade e as horas trabalhadas pode ser calculado a produção das duas frotas no período. Ao aumentar a produtividade, para se fazer a mesma produção são necessárias menos horas trabalhadas.

É importante ressaltar que essa economia de diesel representa uma redução de consumo de 600 mil litros nos

Tabela 4. Aumento de produtividade (t/h)

Frota	2019	2020	2021
CR	271	287	306
KM	461	477	511

dois anos. Essa redução no consumo de diesel é bastante importante pois traz ganhos em sustentabilidade e está em linha com trabalhos de descarbonização reduzindo emissões de carbono na atmosfera, principalmente de dióxido de carbono (CO₂).

Os ganhos foram estimados para o período dos meses de maio até setembro, portanto os demais meses também podem ter apresentado ganhos. Porém, por ser um período de alta incidência pluviométrica, que impacta diretamente no indicador de velocidade, foi desconsiderado.

É importante ressaltar que os ganhos

Além dos ganhos nos indicadores de performance, existem outros ganhos com a implantação das ferramentas, estes são:

- Eliminação da subjetividade no direcionamento dos recursos de infraestrutura de mina;
- Padronização da gestão e acompanhamento da velocidade média;
- Melhoria nas condições de segurança das vias;
- Melhoria nas condições de ergonomia da condição operacional reduzindo risco de doenças e/ou lesões ocasionadas por vibração;
- Satisfação dos funcionários.

4 Conclusão

A implementação da ferramenta mapa de calor de velocidade para padronização e direcionamento dos recursos da infraestrutura de mina mostrou-se satisfatória. Melhorou a rotina da operação de mina de tal forma que possibilita identificação rápida de pontos problemáticos

nas vias de transporte e o direcionamento dos recursos de infraestrutura para manutenção desses pontos. Quando observado do ponto de vista do controle de qualidade, os relatórios de gestão da velocidade média possibilitam de forma consistente uma atuação na mão de obra, no meio ambiente, nos equipamentos e métodos.

Os resultados do trabalho mostraram um aumento de produtividade de 6,1% de 2019 para 2020 e 6,5% de 2020 para 2021 na frota de CR. Nos KM foi de 3,4% de 2019 para 2020 e 7,2% de 2020 para 2021. No geral, um aumento de produtividade de 13% para a frota CR e 10,8% para a

frota KM. Essa elevação na produtividade resulta em uma menor quantidade de horas trabalhadas, que equivale a um menor gasto com aluguel do caminhão e menor consumo de diesel. A redução do consumo é muito importante pois reduz emissões de carbono na atmosfera, trazendo ganhos significativos em sustentabilidade.

É importante ressaltar que todos os ganhos obtidos em velocidade média foram sempre aderentes aos limites de velocidade média da mina, o foco das ações foi nos trechos de baixa velocidade e na gestão da equipe de forma a buscar maior consistência nos resultados.

Referências

- 1 Hartman HL, Mutmanský JM. *Introductory mining engineering*. 2nd ed. Hoboken: John Wiley & Sons; 2002.
- 2 Coronado PPV. *Optimization of the haulage cycle model for open pit mining using a discrete-event simulator and a context-based alert system* [thesis]. Tempe: The University of Arizona; 2014.
- 3 Coutinho HL. *Melhoria contínua aplicada para carregamento e transporte na operação de mina a céu aberto* [dissertação]. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto; 2017.
- 4 Rodovalho EC, Lima HM, De Tomi G. New approach for reduction of diesel consumption by comparing different mining haulage configurations. *Journal of Environmental Management*. 2016;172:177-185.
- 5 Brandão R, Tomi G. Metodologia para estimativa e gestão da produtividade de lavra. *REM. Revista Escola de Minas*. 2011;64(1):77-83.
- 6 Amaral M, Pinto LR. Planejamento de operações de lavra em minas a céu aberto com alocação de equipamentos de carga. In: *Anais do XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional; 2009; Bento Gonçalves*. São José dos Campos: SOBRAPO; 2009. p. 1177-1188.
- 7 Kansake BA, Frimpong S. Analytical modelling of dump truck tire dynamic response to haul road surface excitations. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2020;34(1):1-18.
- 8 Hustrulid W, Kuchta M, Martin R. *Open pit mine planning and design: volume 1 - Fundamentals*. New York: CRC Press; 2013.
- 9 Yardimci AG, Karpuz C. Shortest path optimization of haul road design in underground mines using an evolutionary algorithm. *Applied Soft Computing*. 2019;83:105668.
- 10 Ferreira RM. *Dimensionamento de um pavimento experimental para o tráfego de caminhões fora-de-estrada em planta de mina* [dissertação]. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto; 2007.
- 11 Thompson RJ, Visser AT. Mine haul road maintenance management systems. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*. 2003;103(5):303-312.
- 12 Niedbalski Z, Majcherczyk T. Indicative assessment of design efficiency of mining roadways. *Journal of Sustainable Mining*. 2018;17(3):131-138.
- 13 Campelo AC, Marin T, Tomi GFC. Utilização de dados do sistema de despacho para estimativa de produtividade de transporte no plano de lavra de curto prazo. *Tecnologica em Metalurgia, Materiais e Mineração*. 2018;15(2):86-90.
- 14 Felsch-Junior WS, Arroyo Ortiz CE, de Souza Oliveira V. Benefícios de la implementación de un sistema de telemetría para la gestión de las operaciones mineras. *Interfases*. 2018;11(11):87-102.

Recebido em: 26 Dez. 2021

Aceito em: 10 Fev. 2023