



Análise da redução da distância média de transporte (DMT) de uma mina de calcário no Centro Oeste de Minas Gerais

Luciano Rodrigues Franco Lopes¹

Leandro Martins Pereira²

Cláudia Duarte da Conceição³

Fernanda Fonseca Diniz⁴

RESUMO

A distância média de transporte (DMT) é um fator relevante na mineração, pois sabe-se que cerca de 60% do custo significativo no orçamento operacional corresponde ao transporte do minério até as usinas de beneficiamento e do estéril até a pilha. Assim, as mineradoras estão na constante busca por reduções de custos. Este trabalho busca mostrar a importância de um estudo da DMT, com menores distâncias entre as frentes de lavras até as usinas de beneficiamento, além de um controle no consumo de combustível dos equipamentos de transporte. Um estudo aprimorado da DMT promove uma melhora na produção e consequentemente no lucro, favorecendo, assim, toda escala produtiva. O estudo desenvolvido usou como base uma análise através de coletas de dados com o auxílio do GPS para comparação da DMT percorrida e os tempos gastos entre os dois trajetos dos caminhões da frente de lavra até o britador primário. Após a implantação das melhorias na via de acesso da mina, verificou-se redução nos gastos com combustível e menor desgaste dos pneus. Os tempos de ciclos após a otimização do trajeto, também mostram que a produção e produtividade do minério aumentaram, mesmo operando com um equipamento a menos.

Palavras-chave: Distância Média de Transporte – DMT. Produção. Custos.

¹Graduado em Engenharia de Minas pela Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG, Unidade João Monlevade, MG, Brasil. E-mail: lucianofranco.minas@outlook.com.

²Graduado em Engenharia de Minas pela Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG, Unidade João Monlevade, MG, Brasil. E-mail: pereiraleandromartins@gmail.com.

³Graduada em Engenharia de Minas pela Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Mestra em Engenharia de Minas pela New Mexico Institute of Mining and Technology – NMIMT, EUA. É professora e pesquisadora da Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG, Unidade João Monlevade, MG, Brasil. E-mail: claudia.conceicao@uemg.br.

⁴Graduada em Engenharia de Minas pela Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG. Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Candido Mendes – UCAM, e Mestra em Engenharia e Gestão de Processos e Sistemas pelo Instituto de Educação Tecnológica – IETEC. É professora e pesquisadora da Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG, Unidade João Monlevade, MG, Brasil. E-mail: fernanda.fonseca@uemg.br.

Analysis of the reduction of average haulage distance (AHD) of a limestone mine in the Midwest of Minas Gerais

ABSTRACT

A relevant factor to be studied in mining is the Average Haulage Distance (AHD). It is known that about 60% of the significant cost in the operating budget arises from hauling ore to the mineral processing plants and the waste rock to the waste rock dump. Thus, mining companies are undergoing a cost-benefit analysis to reduce costs. This paper seeks to show, how significant it is to carry a study on the AHD to have shorter distances between front mine to the ore processing plants, in addition to a control on fuel consumption of transport equipment. An improved DMT study promotes an improvement in production and, consequently, in profit, thus favoring the entire production scale. The study carried out used as a basis an analysis through data collections with the help of GPS, for comparison in the AHD traveled and the time spent between the two pathways of the trucks from the mining front to the primary crusher. After the implementation of improvements in the mine's access road, there was a reduction in fuel costs and less wear on tires. The cycle times after the path optimization also show that the production and productivity of ore increased, even operating with one less piece of equipment.

Keywords: Average Haulage Distance – AHD. Production. Costs.

Artigo recebido em: 28/09/2022

Aceito em: 23/01/2023

1. INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade extremamente importante para o Brasil, não só como fonte de renda para os municípios detentores do bem mineral, mas também pela produção de bens essenciais que suprem as necessidades e o consumo da humanidade. Todavia, essa atividade vem sofrendo com cenários imprevisíveis devido aos rompimentos de barragens em Minas Gerais, o que prejudica a credibilidade do empreendimento minerário no país. A indústria está se reinventando para conseguir recuperar sua imagem, realizando altos investimentos em tecnologias, buscando a sustentabilidade em suas atividades extrativas e, ao mesmo tempo, estão competitivas em um mercado em que o preço das *comodities* está em baixa e há um crescimento da demanda de minério no mundo.

Em um empreendimento mineiro, as atividades são divididas em etapas distintas conceitualmente, mas interligadas entre si. Essas etapas compreendem prospecção, exploração, desenvolvimento, lavra (incluindo fechamento de mina) e o beneficiamento de minérios. A etapa de lavra pode ser constituída pelas operações de perfuração, que são realizadas por perfuratrizes hidráulicas ou pneumáticas, seguida do desmonte, que ocorre logo após os furos serem carregados manualmente ou bombeados com explosivos e amarrados por cordéis detonantes, juntamente com equipamentos de detonação como espoleta e retardos de acordo com um plano de fogo previamente calculado. Somente, então, após a fragmentação da rocha, o minério ou estéril será carregado e transportado, na maioria das vezes, por caminhões, para a usina de beneficiamento ou pilhas de estéril, respectivamente.

As etapas da lavra podem representar considerável impacto na cadeia de produção, especialmente a etapa de transporte, que pode ser avaliado de acordo com a **distância média de transporte (DMT)**, que mensura a distância percorrida pelos equipamentos de transporte das frentes de lavra até a usina de beneficiamento ou até a pilha de estéril, em cada turno.

O transporte de material desmontado na mina pode culminar em até 60% dos custos operacionais. Tendo em vista o cenário vigente da mineração, que exige produção em grande escala com melhor custo-benefício, a **DMT** é uma das variáveis que deve ser considerada. As vias de acesso têm grande repercussão na **DMT** e, por muito tempo, não receberam a devida atenção, embora as estradas de uma mina tenham papel expressivo para o sucesso da atividade mineradora. No contexto atual, as vias de acesso possuem suas próprias especificações, diretrizes e normas regulamentadoras, sendo a principal delas a **Norma**

Reguladora de Mineração (NRM). Há que se considerar também o *layout* da mina para a construção das vias pois, por mais que as estradas estejam dentro das normas, se o trajeto não for o ideal, afetará a **DMT**.

Com uma **DMT** otimizada, a próxima fase do processo, que compreende a cominuição do minério, deverá ser revista, de forma que se adapte ao novo ritmo de produção, evitando atrasos na escala produtiva.

Frente ao exposto, tem-se a seguinte questão: qual a influência das estradas de uma mina na distância média de transporte – **DMT** e por consequência na produção e produtividade dos equipamentos de transporte?

Este trabalho teve como objetivo responder essa questão, através da análise do efeito de redução do perímetro trafegado, avaliar o aumento da produtividade dos caminhões, verificar sua influência, comparar ciclos operacionais gastos pelos equipamentos antes e após a alteração da rota e, por fim, apresentar uma otimização do trajeto de uma mina de calcário.

2. METODOLOGIA

O projeto e construção de estradas de mina, segundo Sousa (2011), deve seguir critérios específicos de caráter geométrico, estrutural, funcional e de drenagem, em conformidade com as leis ambientais e normas regulamentadoras de saúde e segurança vigentes. O caráter geométrico é quando se planeja as estradas da mina através do desenho e gerando o layout da disposição vertical e horizontal dos acessos e rampas. (THOMPSON, 2014).

Sousa, *et al.* (2012), afirmam que o planejamento de estradas de transporte em uma mina, geralmente é realizado por profissionais da área de planejamento de lavra e estruturado por equipe da operação de mina. Essas estradas, que são as principais linhas de acesso ao transporte do minério e estéril, são de grande relevância e os efeitos prejudiciais da concepção inadequada das estradas de transporte, gerenciamento e manutenção estão se tornando cada vez mais evidentes. Thompson e Visser (2008) listam alguns desses impactos:

- a) Diminuição da vida útil dos pneus dos caminhões;
- b) Perda de produtividade das frotas de transporte;
- c) Aumento dos riscos de segurança;

d) Aumento na geração de partículas (poeira).

2.1 Estradas

A Norma Regulamentadora NR-22 determina que a largura mínima das vias de trânsito em minas a céu aberto deve ser duas vezes maior que a largura do maior veículo utilizado em pistas simples e de três vezes maior que a largura do maior veículo utilizado em pistas duplas (MTE, 1978). Coutinho (2017) afirma que a NR-22, determina também que, em condições anormais, onde não é possível o cumprimento desta norma, deve se adotar procedimentos adicionais como sinalização de segurança e limite de velocidade.

Os elementos geométricos de uma estrada compreendem:

- **Leiras de segurança**

Segundo a NR- 22, nas laterais das bancadas ou estradas onde houver riscos de quedas de veículos, devem ser construídas leiras com altura mínima correspondente à metade do diâmetro do maior pneu de veículo que por elas trafegue (MTE, 1978). As leiras têm função de conter os veículos dentro da pista que por ela transitam. Leiras centrais são recomendadas para evitar que caminhões desgovernados atinjam a pista contrária. A Figura 1 apresenta, tracejado em amarelo, a altura ideal das leiras, exigida pela NR-22.

Figura 1: Leira de segurança



Fonte: Sousa, 2011.

- **Inclinação de rampa**

Na construção de uma rampa, é recomendado que seu *grade* ou gradiente, que é definido pela inclinação vertical, esteja entre 8% a 10%. Coutinho (2017) acrescenta a importância de se deixar a pista linear, pois gradientes irregulares podem provocar esforços

elevados no câmbio de transmissão e afetar diretamente na redução da velocidade dos equipamentos de transporte. A Figura 2 mostra exemplos da forma correta e incorreta da inclinação na pista.

- **Drenagem**

A elaboração e execução de um projeto de drenagem é vital em estradas de mina, pois um dos principais fatores que geram a degradação de estradas não pavimentadas é a erosão provocada pelo escoamento superficial e o acúmulo de água em seu leito e margens.

A água pode ser originada de escoamento superficial, gerada na própria estrada ou proveniente de áreas marginais. A coleta e o direcionamento adequados da água para escoadouros naturais, artificiais, bacias de acumulação ou outro sistema de retenção localizado no terreno marginal, são objetos do projeto de drenagem (GRIEBELER, 2002). Opta-se pela construção de rampas e vias com grade de inclinação transversal de 2%. A Figura 3 mostra o *grade* transversal na pista.

Figura 2: Inclinação do *grade* horizontal

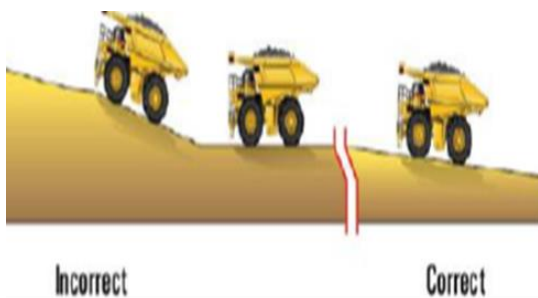
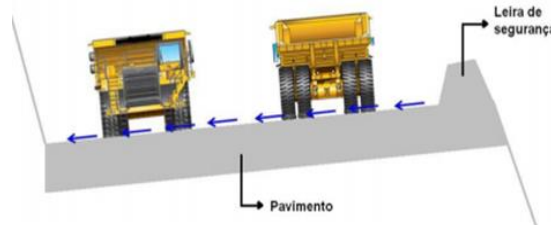


Figura 3: Inclinação transversal



Fonte: Richards e West, 2003 (adaptado em Coutinho, 2017).

Fonte: Thompson e Visser, 2008.

Em vias de acesso onde existem curvas, a superelevação sugerida é de, no máximo, 4%. O ideal é que interseções de vias evitem topo de rampas, pois dificulta a visão, sendo ainda as mais planas possíveis.

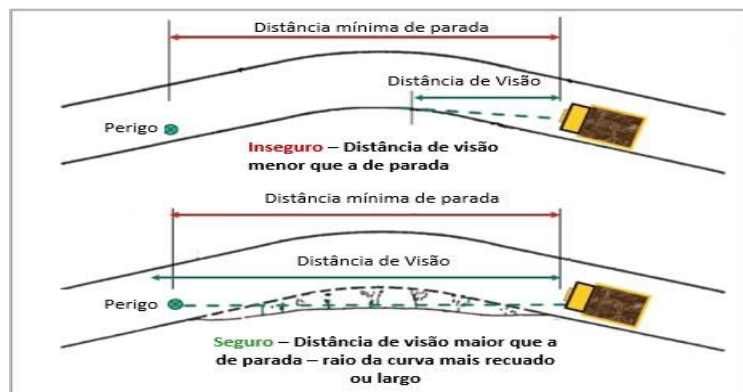
Os principais elementos de drenagem em uma mina, segundo Silveira (2014), são: valetas, valas, bueiros, trincheira de infiltração, diques, entre outros.

- **Raio de curvatura**

As curvas devem ser planejadas com o máximo raio possível, prevalecendo a suavidade, preservando a maior segurança e redução de congestionamento de tráfego.

Conforme visto na Figura 4 onde são mostradas a suavidade e a distância de uma curva segura.

Figura 4: Influência das curvas na operação dos equipamentos



Fonte: Thompson, 2014.

A construção de uma curva sempre busca favorecer o desenvolvimento e o desempenho dos caminhões, permitindo uma velocidade constante, sem perda de potência e velocidade do equipamento no trajeto, obtendo o máximo de desempenho dos caminhões e evitando aumento no tempo de ciclo, o que impacta exclusivamente na produção e gastos com o transporte.

- **Distância de visibilidade**

Segundo Lisboa (2019), a distância de visibilidade é a extensão da área periférica visível ao operador, quanto melhores as condições gerais de visibilidade, mais seguro será o acesso. Em termos de segurança, ao realizar uma frenagem, o reflexo e rapidez são influenciados diretamente, sendo consequência da maior visibilidade do operador dentro da cabine do equipamento com o cenário do ambiente.

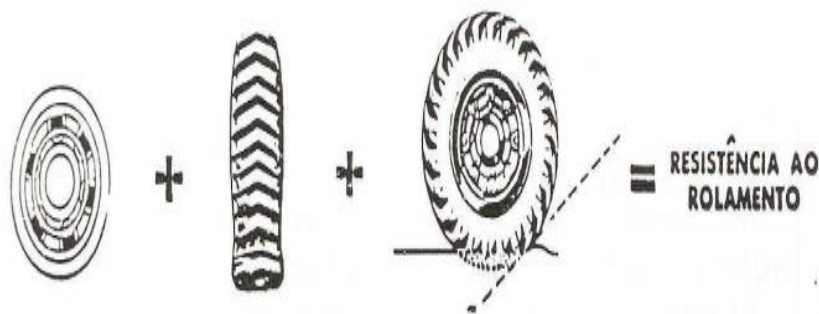
Dada a relevância do fator visibilidade em relação à produtividade, melhorando as condições de visibilidade no decorrer dos acessos operacionais, aumenta o desempenho da frota de transporte em se tratando das velocidades média e instantânea.

- **Fator de rolamento**

A resistência ao rolamento é a força necessária para superar o atrito interno dos rolamentos e, em unidades montadas sobre rodas pneumáticas, para superar o efeito de retardamento entre os pneus e o solo. O pavimento deve ser flexível e resistente ao cisalhamento, isto inclui a resistência causada pela penetração dos pneus no chão e pela

flexão do pneu sob carga (LISBÔA, 2019). A Figura 5 apresenta como o pneu atua sobre o solo gerando a resistência ao rolamento.

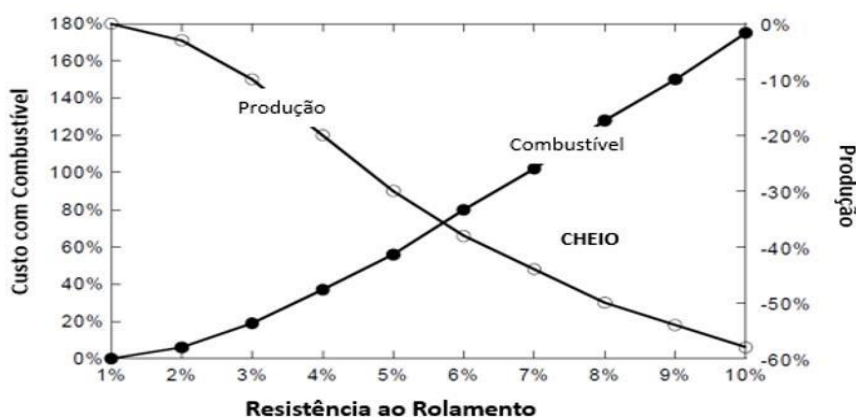
Figura 5: Resistência ao rolamento



Fonte: Jaworski, 1997 (apud Racia, 2016).

Com o aumento do fator de rolamento, a produção da frota de transporte é reduzida (perda de velocidade). As vias de acesso operacionais de uma mina influenciam expressivamente no ciclo operacional da frota de caminhões, interferindo diretamente no custo final do transporte e produção dos empreendimentos minerários, como visto na Figura 6.

Figura 6: Influência da resistência de rolamento no desempenho de mina



Fonte: Tannant e Regensburg, 2001.

3. EQUIPAMENTOS MÓVEIS DA MINA

Os equipamentos móveis são aqueles que se deslocam no interior da mina, realizando a perfuração, desmonte, carregamento e transporte do minério. Sendo esses últimos classificados como equipamentos de grande porte. Os principais equipamentos são descritos a seguir (RICARDO E CATALANI, 2007):

- **Tratores de esteiras**

São equipamentos indicados para execução de tarefas onde é necessário força e tração. Podem executar ao mesmo tempo o corte e o transporte de material. Segundo Faria (2016), a função do trator é essencial para o desenvolvimento de uma mina, podendo desempenhar várias tarefas, possuindo atenção diferenciada, além de possuir um elevado custo operacional, significativo custo de manutenção e um alto valor de aquisição. Comumente utiliza-se o equipamento com locomoção por esteiras, porém, são encontrados, também, tratores sobre rodas. Na Figura 7 observa-se um modelo de um trator de esteiras Caterpillar D9T.

- **Escavadeira hidráulica**

Utilizada para otimizar o trabalho de operários, a escavadeira hidráulica é uma máquina que tem como principal objetivo retirar o material de locais determinados pela obra. Ela é perfeita para construções longas e está muito relacionada às áreas de mineração, oferecendo maior estabilidade para operações em fundo de cava, onde o piso torna-se mais instável pela presença de umidade. A Figura 8 apresenta um modelo da escavadeira 320D Caterpillar.

Figura 7: Trator de esteira D9T Caterpillar



Fonte: Superbid Blog, 2019.

Figura 8: Escavadeira hidráulica 320D Caterpillar



Fonte: Superbid Blog, 2019.

As escavadeiras hidráulicas trabalham de forma seletiva, separando o minério do estéril. Elas apresentam um desempenho de enchimento considerável, trabalham em solos compactos, duros e/ou friáveis, seu desempenho de operação em área estreita é bom e o processo de montagem é prático.

- **Caminhão-pipa**

É um equipamento auxiliar, equipado com reservatório para transporte de água e é utilizado, como por exemplo, na irrigação, limpeza de pavimentos asfálticos, controle de

poeira, terraplanagem, abastecimento de água, etc. A Figura 9 mostra um caminhão-pipa 777G Caterpillar.

Figura 9: Caminhão pipa 777G Caterpillar



Fonte: Caterpillar, 2019.

O uso do caminhão pipa é de grande relevância para a segurança, aumentando a visibilidade ao trafegar através das estradas da mina.

- **Motoniveladora**

Equipamento importante para manutenção de acessos e praças de mina. Sua principal função é realizar a terraplanagem de terrenos, ou seja, nivelar determinado perímetro do solo, evitando o desgaste dos pneus dos equipamentos sobre os solos. Essa ação é feita por uma lâmina de aço localizada na parte central do equipamento e por um escarificador que abre pequenos sulcos no solo. A Figura 10 exemplifica o modelo de uma motoniveladora 12K Caterpillar.

- **Perfuratriz**

De acordo com Lopes (2014, p.17): “Usada para confecção de furos, feitos a distâncias pré-determinadas, em diâmetros que variam de 22 mm a 100 mm geralmente, no Brasil”. Na perfuratriz é montada uma broca, isto é, uma haste metálica que possui na extremidade inferior um material duro, chamado pastilha, que escava a rocha, perfurando-a. A Figura 11 apresenta um modelo da Perfuratriz MD6540C Caterpillar.

Figura 10: Motoniveladora 12K Caterpillar



Fonte: Satel Safar Terraplanagem Ltda, 2019.

Figura 11: Perfuratriz Caterpillar MD6540C



Fonte: Caterpillar, 2019.

A perfuratriz é um equipamento indispensável no processo de desmonte e carregamento, ou seja, de acordo com a maneira como foi executada a furação no decorrer do trabalho haverá impactos diferentes no tamanho do material da rocha desmontada.

- **Pá carregadeira**

Equipamentos versáteis devido a sua alta mobilidade, utilizados para transporte do material desmontado até a unidade de despejo final, fazendo o carregamento em um ciclo de carga, dois movimentos para frente e dois movimentos de ré. A Figura 12 ilustra um modelo da pá carregadeira de rodas 992K.

De acordo com o local e do material a ser extraído a pá carregadeira pode ser encontrada sobre rodas ou esteira.

- **Caminhões fora de estrada**

Equipamentos de transporte, responsáveis por manter o alto volume de movimentação de material desmontado, visando a redução de custo por tonelada de material. Consequentemente, os caminhões são compatíveis com as pás carregadeiras e escavadeira para acelerar os tempos de ciclos e maximizar a produtividade. A Figura 13 mostra um modelo de caminhão fora de estrada 777G.

Figura 12: Carregadeira Caterpillar 992K



Fonte: Caterpillar, 2019.

Figura 13: Caminhão fora de estrada 777G



Fonte: Caterpillar, 2019.

Os caminhões são os principais meios de transporte do material de interesse até o local de beneficiamento. Com o passar dos anos, eles evoluíram e aumentaram seu tamanho e a sua capacidade volumétrica para atender às necessidades de cada mina.

3.1 Produtividade dos equipamentos

Segundo Silva (2009), a produtividade das frotas de perfuração, carregamento e transporte na mineração a céu aberto depende de um projeto e planejamento de lavra adequados à jazida, além de equipamentos selecionados e ajustados às demais operações unitárias de lavra e beneficiamento. Assim, o tipo, o número de equipamentos a serem utilizados e a produtividade dependem de:

- a) Porte das jazidas: vida da mina, taxa de produção, método de lavra;
- b) Projeto de cava: altura das bancadas, largura das frentes de trabalho, desnível entre as frentes de lavra e o destino dos caminhões;
- c) Tipos de rocha: características do minério e do estéril, como massa específica *in situ*, empolamento, umidade, resistência à escavação, grau de fragmentação;
- d) Projeto da deposição do estéril: local da deposição, forma de disposição do estéril;
- e) Projetos das estradas: larguras de acordo com a NR -22;
- f) Planejamento de lavra: número de frentes simultâneas, relação estéril/minério, frequência de deslocamento das frentes de lavra;
- g) Destino do minério: distância, tipo, dimensões e taxa de produção do equipamento que receberá o minério do caminhão, tais como britadores, silos, pilha para lixiviação, entre outros;

- h) Infraestrutura de apoio: recursos de manutenção, recursos para abastecimento, comunicações etc.;
- i) Equipamentos para demais operações: manutenção das estradas e frentes de lavra, desmonte de minério e do estéril etc.

De acordo com Silva (2009), para os cálculos de estimativa de produtividade é necessário considerar alguns parâmetros fundamentais tais como:

- **Fator de operação conjugado**

Entende-se como o tempo em que o equipamento não está produzindo devido às esperas do equipamento que ele opera dependentemente.

“A produção máxima possível de frotas em operação conjugada pode ser obtida pela análise da disponibilidade das frotas. A distribuição binomial é utilizada no cálculo a fim de dimensionar frotas de equipamentos” (BERNARDI, 2015; p.27).

$$PN = Ped \times Pned \times Cr^n \quad (1)$$

onde:

- PN : é a probabilidade de ter exatamente n unidades disponíveis;
- Ped : é a probabilidade de uma unidade estar disponível;
- $Pned$: é a probabilidade de uma unidade não estar disponível; e
- Cr^n : é a combinação de itens tomados, sendo r em um dado tempo.

- **Fator disponibilidade do equipamento**

A disponibilidade dos equipamentos dentro da mina leva em consideração as horas disponíveis que ele possui em um determinado tempo. Alguns fatores como má organização da mina, condições de trabalhos adversas, operações em vários turnos e manutenção preventiva e corretiva inadequadas poderão reduzir a disponibilidade do equipamento. A disponibilidade pode ser dividida em:

- a) Disponibilidade Mecânica: que considera as horas possíveis de serem trabalhadas menos as horas de manutenção (preditiva, preventiva e corretiva);

$$DM = \frac{HT - (MP + MC + TP)}{HT} \times 100 \quad (2)$$

onde:

- *DM*: Disponibilidade mecânica;
- *HT*: Horas teóricas disponíveis em um ano;
- *MP*: Manutenção preventiva, compreendendo conservação e inspeção dos equipamentos;
- *MC*: Manutenção corretiva;
- *TP*: Tempo perdido compreende a paralisação da máquina (almoço, café, troca de turno do operador, entre outros);

- b) Disponibilidade Física: corresponde a quantidade de horas programadas em que o equipamento está hábil para operar, isto é, não está na manutenção;

$$DF = \frac{HP - HR}{HP} \times 100 \quad (3)$$

onde:

- *DF*: Disponibilidade física: representa o percentual de tempo que o equipamento fica à disposição para a produção;
- *HP*: Horas calculadas por ano: com base na quantidade de turnos, levando em consideração a disponibilidade mecânica e/ou elétrica;
- *HR*: Horas de consertos de equipamentos na oficina ou no campo.

- **Fator de utilização do equipamento**

Esse fator mensura, em relação ao tempo disponibilizado de um equipamento, o quanto ele foi utilizado efetivamente. Alguns fatores tendem a interferir na utilização dos equipamentos, tais como:

- a) Preparação da frente de lavra;
- b) Perfuração e desmonte de rocha na mina;
- c) Falta de eficiência do operador;
- d) Carência de mão-de-obra;
- e) Paralisação de outros equipamentos;
- f) Fatores climáticos que interferem na operação;
- g) Quantidade de unidades ou dimensões inadequadas.

$$U = \frac{HT}{HP-HM} \times 100\% \quad (4)$$

onde:

- U : Utilização;
- HT : Total de horas efetivamente trabalhadas;
- HP : Corresponde às horas calculadas por ano, na base dos turnos previstos, já levando em conta a disponibilidade mecânica e/ou elétrica;
- HM : Corresponde às horas de reparos na Oficina ou no Campo, incluindo a falta de peças no estoque ou falta de equipamentos auxiliares.

- **Rendimento ou eficiência operacional**

O rendimento operacional (RO) é um indicador que consolida a performance da manutenção e a operação. Borges (2013) afirma que o rendimento é dado pelo produto da disponibilidade física pela utilização física. Consequentemente, entende-se que, quanto maior o seu valor, melhor será.

$$RO = D_f \times U \quad (5)$$

- D_f : Disponibilidade Física;
- U : Utilização do equipamento.

- **Tempo de ciclo**

Conjunto de operações que um equipamento executa numa certa quantidade de tempo, finalizando com o equipamento retornando ao ponto que se iniciou o ciclo. Sendo assim, é o intervalo decorrido entre duas passagens consecutivas da máquina por qualquer ponto do ciclo, por exemplo: manobra, carga, descarga, basculamento, deslocamento etc.

- a) Tempo de ciclo mínimo: é a somatória de todos os tempos elementares, de que resulte o menor tempo de ciclo, em que a tarefa pode ser executada.

$$T_{min} = \sum t_f + \sum t_v \quad (6)$$

- T_{min} : tempo de ciclo mínimo;
- t_f : Tempo fixo;
- t_v : Tempo variável.

b) Tempo de ciclo efetivo: é aquele gasto pelo equipamento para executar o ciclo de operação, computados os tempos de paradas (tp) que ocorrem necessariamente no decurso de muitos ciclos.

$$T_{cef} = T_{min} + \sum tp \quad (7)$$

- T_{cef} : Tempo de ciclo efetivo;
- tp : Tempo de paradas.

3.2 DMT – distância média de transporte

O transporte de minério em um plano de lavra deve ser bastante estudado antes de sua implantação, pois as operações em uma mina são determinadas por tarefas básicas que constituem um ciclo de operações. Portanto, operações como carregamento, transporte, despejo do material e retorno formam um ciclo constante. Sendo assim, o planejamento dos tempos de ciclos de lavra é definido para cada equipamento de carga, bem como os avanços em lugares de basculamento (depósitos de estéril e pilhas de minério). Diante das informações pode-se medir a DMT desejada para o mês entre todos os pontos de carregamento e basculamento (CAMPELO *et.al*, 2018).

O transporte representa uns dos maiores custos dentro de uma atividade de extração mineral. Estudos feitos em diferentes empresas de mineração identificam que o custo da fase “mina” relacionado ao transporte alcança cerca de 60%. A DMT tem impacto direto na produtividade e no custo da frota de transporte, ou seja, quanto menor a distância de transporte, maior será a produtividade e, conseqüentemente, menor será o custo de produção (FELSCH JR. E BRANDÃO, 2018).

Lisbôa (2019) afirma que produtividade é um parâmetro usado como medidor da eficiência na utilização do fator trabalho. Essa produtividade em equipamentos de transporte é medida por tonelagem transportada para cada hora efetiva de operação. A produtividade horária dos caminhões é diretamente proporcional à carga média transportada e inversamente

proporcional aos tempos fixos, variáveis e à distância percorrida. A Figura 14 apresenta a diminuição da DMT em um acesso de uma praça de carregamento da mina Casa de Pedra.

Figura 14: Representação de uma redução de DMT



Redução de DMT realizada na área entre corpos

Fonte: Felsch Jr. e Brandão, 2018.

As DMTs geram um impacto considerável na produção da frota dos equipamentos de transporte, diante disso, frentes de trabalho com trajetos diversos têm a necessidade de serem pensados, potencializando o processo, diminuindo o consumo com diesel e pneus, consequentemente, minimizando os gastos e viabilizando ao extremo a produtividade da operação dos equipamentos.

A variação da DMT tem importância para controle da tonelada por quilômetro por hora (TPKH) da frota de transporte, proporcionando ciclos de operação diferentes e eficientes, sendo possível monitorar com eficácia as pressões e temperatura dos pneus, visando sempre uma operação limpa e segura. A produtividade horária da frota de transporte é inversamente proporcional à DMT: menor DMT corresponde a um menor tempo de ciclo e maior produtividade horária (LISBÔA, 2019).

4. METODOLOGIA

O trabalho propôs a análise de produção e produtividade de uma reformulação de estradas dentro de uma mina de calcário após mudança do local de exploração devido à exaustão do material de interesse.

Foram realizados estudos via GPS e sondagem para abertura do novo trajeto. Devido ao fato de a área pleiteada ser cortada por um riacho, foi necessária a solicitação aos órgãos

ambientais para liberação da licença ambiental para construção de uma ponte, dificultando a abertura de imediato.

Diante da abertura do novo acesso, realizou-se uma análise a partir das coletas de dados com o auxílio do GPS para comparação entre a distância média percorrida e os tempos gastos entre os dois trajetos dos caminhões da frente de lavra até o britador, verificando a viabilidade econômica no processo final dessa mudança.

A pesquisa de campo foi realizada em uma mina de calcário do Centro Oeste mineiro, com o propósito de melhorar a produção e produtividade da empresa. A partir de uma coleta de dados sobre a distância e o tempo gasto pelos equipamentos de transporte, percebeu-se que a DMT necessitava de melhorias para a exploração tornar-se mais interessante economicamente para a empresa.

4.1 Apresentação da mina

A mina em estudo é situada no Centro Oeste de Minas Gerais, no município de Arcos, passando pela Rodovia 170 Km 5,4. Na Figura 15, a seta em amarelo mostra sua localização que é envolvida por um complexo de mineração e empresas de grande porte do ramo da produção de cimento.

Figura 15: Localização da empresa



Fonte: Google Earth, 2020.

O empreendimento é composto por 3 (três) minas, porém somente uma possui a liberação da Agência Nacional da Mineração-ANM - para operação. Devido à falta de

planejamento de curto e longo prazo foram realizadas práticas desacertadas no passado, que comprometeram a produção e até mesmo o empreendimento mineiro. A empresa é produtora de calcário calcítico britado com finalidades para a construção civil e para siderurgia, assim como o calcário de uso agrícola, o calcário dolomítico que possui uma visão de destaque dentro da empresa.

Devido à ascensão do mercado voltado para o agronegócio e com o teor do material de padrões elevados para esses usos, a empresa vendeu todo o produto de alta qualidade, não realizando antes uma pesquisa de mercado e uma estratégia para longo prazo, tais como: fazer o *blend* do material com magnésio inferior ou superior, obtendo um produto uniforme e com a mesma aceitação entre os consumidores.

Com processos de outras jazidas pleiteadas estagnados na ANM, a empresa realizou algumas prospecções até que encontrou oportunidade de arrendamento de uma mina que estava abandonada nas mediações. Foram feitos estudos de sondagem e de viabilidade técnica para analisar os teores e a qualidade do calcário dolomítico, que apresentavam um minério de alta qualidade, logo, chegou-se a um acordo com os proprietários dessa mina paralisada para a exploração.

Com a mina em atividade, rapidamente observou-se elevação considerável nos custos de produção, tendo um aumento do custo com combustível e aumento no rodízio de pneus e, conseqüentemente, um alto valor final do produto, quase inviabilizando a operação. Os diretores decidiram realizar estudos adicionais para elaboração de melhorias a fim de reduzir custos. A equipe de planejamento de mina identificou novas oportunidades de melhorias na principal via de acesso, evidenciando a necessidade de alteração no fluxo dos equipamentos de transporte dentro da mina, com possibilidade de redução da distância média de transporte (DMT) por eles trafegado.

A alteração poderia ser executada em uma área do acesso que possuía um afloramento no meio, onde os veículos davam a volta, contornando-o e seguido de uma rampa principal que poderia ser feita na extremidade do maciço. Tais mudanças reduziriam tempo e distância, além de facilitar o acesso aos bancos superiores, onde o material de interesse está localizado. A Figura 16 indica o trajeto antigo feito pelos caminhões.

Figura 16: Trajeto antigo do acesso à frente de lavra



Fonte: Google Earth, 2020.

A Figura acima mostra o antigo *layout* da mina traçado em amarelo, percorrendo o trajeto da mina até a usina de beneficiamento, que era executado pelos equipamentos antes do novo dimensionamento e o traçado em verde mostra as bancadas 768 e 750.

Com o conhecimento da frota dos equipamentos disponíveis e utilizados na rotina da mina, obteve-se dados para a realização do estudo. A quantidade de ciclos realizados por turno pelos equipamentos foi obtida de boletins diários que são preenchidos pelos operadores, gerando um histórico que possibilita a análise.

A distância média percorrida pelos caminhões foi obtida por medições feitas por GPS e por equipamentos de topografia.

Tabela 1: Medição da produção em um turno de trabalho (8 horas)

Frota	Quantidade	Tempo de ciclo por turno (min)	Distância ida + volta (km)	Distância total percorrida (km)
Caminhão	9	10	8	720
Escavadeira	2	1	8	16
Carregadeira	1	1	8	8
Perfuratriz	2	1	8	16
Comboio	1	1	8	8
Pipa	1	8	8	64
Veículos	1	4	8	32

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

A Tabela 1 retrata a medição da produção em um turno de 8 horas, leva em consideração um dia normal de trabalho, ou seja, o tempo de ciclo considera a ida e a volta (do britador até a praça de carregamento) que cada equipamento faz em sua jornada. A distância nessa tabela está relacionada com o trajeto antigo, antes de ser executada a

mudança da rota dos maquinários com estudo da DMT. A distância total percorrida foi calculada através da multiplicação do número de equipamentos pelo tempo de ciclo e pela distância.

Após os estudos, cálculos e análises de confrontações quantitativas dos resultados alcançados entre os dois trajetos da mina, verificou-se que era viável economicamente a diminuição do percurso, sinalizando ser lucrativo o aproveitamento do bem mineral nesse novo local de extração.

A equipe de planejamento de mina, em conjunto com a equipe da topografia, foram fundamentais para realização desse novo trajeto, ou seja, com dados coletados e sendo lançados em planilhas do *Microsoft®Excel* e realizando as devidas comparações, obteve-se a concretização do novo trajeto.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme mostra a Figura 17, essa é a configuração atual do *layout* da mina, o traçado em azul é o novo percurso e em verde podemos ver a bancada do calcário dolomítico 658 e 670.

Figura 17: Novo *layout* da Operação da Mina

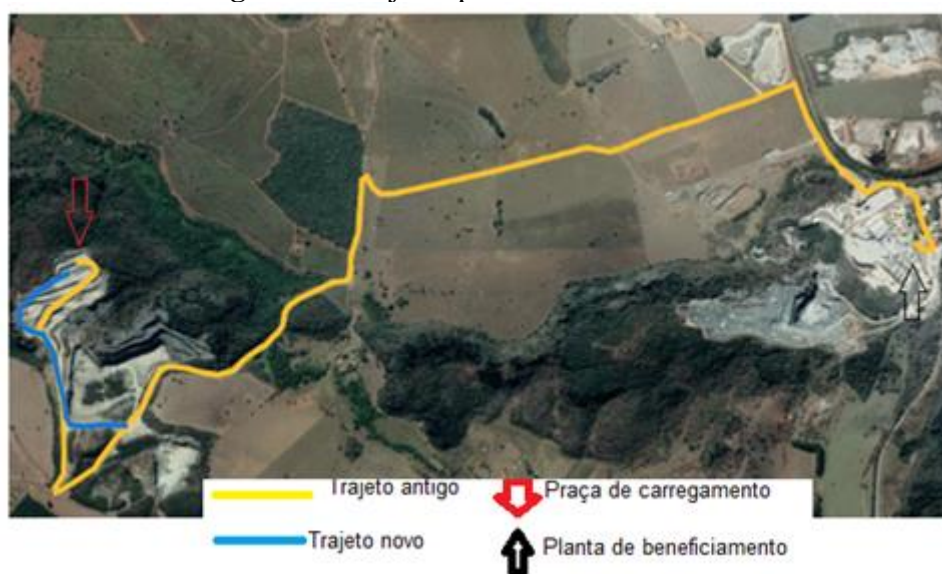


Fonte: Google Earth, 2020.

A estrada antiga possuía 8 km de distância, todavia, com a reformulação da via cortando por dentro do afloramento sul, foi possível reduzir 410 metros e com a mudança da rampa obteve-se um reajuste na distância de 90 metros.

A Figura 18 mostra a visão geral do trajeto por onde os equipamentos de transporte necessitam trafegar durante o turno.

Figura 18: Trajeto após a melhoria da DMT



Fonte: Google Earth, 2020.

Com a atual distância, no trajeto entre a planta de beneficiamento e o banco 750, onde se situa a praça de carregamento, a distância reduziu em 1 km no ciclo, diminuindo o trecho total percorrido em 48 km por turno. A Tabela 2 mostra a distância total percorrida pela frota no novo trajeto, durante um turno:

Tabela 2: Medição do turno de trabalho após alteração da DMT

Frota	Quantidade	Nº de Ciclo por turno	Distância ida + volta (km)	Distância total percorrida (km)
Caminhão	8	12	7	672
Escavadeira	2	1	7	14
Carregadeira	1	1	7	7
Perfuratriz	2	1	7	14
Comboio	1	1	7	7
Pipa	1	8	7	56
Veículos	1	4	7	28

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

A empresa conseguiu reduzir um equipamento da frota de transporte e mesmo assim houve um aumento na produção por turno, passando de 2700 para 2880 toneladas de calcário britado, como mostra Tabela 3.

Tabela 3: Cálculos de produção

Nº de Caminhões	Nº de Ciclos	Produção/caçambada (t)	Produção/turno (t)
9	10	30	2700
8	12	30	2880

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Ao analisar superficialmente os resultados, não fica claro as vantagens com a redução do trajeto, entretanto, pode-se esperar resultados além dos listados nas tabelas:

- Ganho com a redução de desgaste de pneus;
- Menor desgaste do equipamento de transporte;
- Melhora nos indicadores de custos de manutenção;
- Redução do consumo de combustível;
- A facilitação do acesso ao minério de interesse nas bancadas 768 e 750 é um ganho considerável.

Obteve-se, também, um parâmetro de comparação através do tempo de ciclo mínimo analisando dois ciclos por dia, em dias aleatórios para calcular o tempo gasto. Esse tempo de ciclo calculado, leva em consideração o tempo em que o caminhão sai do britador e percorre todo o trajeto até a praça de carregamento, o tempo em fila, a manobra, o carregamento e o retorno ao britador. Ressalta-se que, no primeiro dia o ciclo operava com 9 (nove) Caminhões Bâscula (CB) e percorriam o trajeto antigo, já no segundo dia percorriam o trajeto novo com 8 (oito) equipamentos. A Tabela 4 apresenta o tempo de ciclo dos equipamentos em minutos para percorrer o perímetro trafegado.

Tabela 4: Comparativos entre ciclo antigo e novo

	DIA 1		DIA 2	
	TEMPO CICLO 1 (min)	TEMPO CICLO 2 (min)	TEMPO CICLO 1 (min)	TEMPO CICLO 2 (min)
CB 13	36	36	31	32
CB 21	32	35	32	32
CB 15	36	46	30	31
CB 22	35	41	30	33
CB 23	34	36	32	31
CB 11	39	37	33	32
CB 18	44	36	35	34
CB 16	35	38	30	35
CB 17	36	37	-	-

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Com o arranjo alterado, o tempo de ciclo teve uma queda bastante considerável, pois a média dos tempos de ciclo antigos era de 37 minutos e para a nova situação passou para 32 minutos. Analisando esses dados, verifica-se uma diminuição média de 5 minutos, o que representa uma redução de 13,5 %.

A Tabela 5 apresenta o tempo total gasto, em minutos, pelos equipamentos durante um turno. Esse tempo foi calculado através da multiplicação da quantidade de equipamentos, pelo ciclo e pelo tempo de ciclo gasto.

Tabela 5: Ciclo total do turno

Nº de Caminhões	Nº de Ciclos	Tempo de ciclo (min)	Tempo total (min)
9	10	37	3330
8	12	32	3072

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Pelos dados da Tabela 5, também, verifica-se que oito (8) caminhões operando em maior número de ciclos, percorrendo um trecho menor, apresentam um tempo total de ciclo mínimo, também menor. Consequentemente, haverá redução no tempo total de um dia normal de trabalho em 258 min, que representa redução em torno de 7,8%.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desse estudo mostraram que a DMT é um dos fatores determinantes para êxito do projeto mineiro e, uma modificação do *layout* da mina proporcionou benefícios bastante consideráveis e trouxe melhorias na construção das estradas. Pode-se citar maior segurança para os operadores, já que a redução do raio de curvatura melhorou o campo de visão dos operadores, assim como a pavimentação e sinalização das estradas minimizaram os riscos no tráfego da mina. Ademais, deve se considerar a redução das despesas de manutenção com caminhão e, ainda a existência de equipamento reserva que poderá substituir algum que esteja em manutenção, evitando queda de produção.

Analisando o projeto a longo prazo, com a utilização de equipamento da própria empresa, os custos são reduzidos, proporcionando uma taxa de retorno mais favorável. Logo, a diminuição da DMT possibilitará o transporte de maior volume de material, com menor custo, já que possui um equipamento a menos no ciclo, então, reduz-se a taxa de

periodicidade para abastecer os equipamentos de transporte e evitar as filas em postos de combustíveis. Obtém-se, também, o melhoramento do tempo de deslocamento dos caminhões entre a frente de lavra e o britador. Com isso, houve um aumento no número de viagens por caminhão, aumentando consideravelmente a aplicação efetiva dos equipamentos de transporte e ampliando a produção desejada.

Por fim, podemos considerar um fator importante, que é a redução de exposição ao risco ambiental, já que a redução de um caminhão no tráfego da mina reduz, conseqüentemente, a quantidade de poluentes lançados na atmosfera, proporcionando uma operação mais sustentável.

Recomenda-se, como sugestão de estudos futuros, a análise quantitativa da influência das alterações aqui apresentadas na autonomia do britador e nos custos operacionais da lavra e beneficiamento.

REFERÊNCIAS

BERNARDI, H. A. **Dimensionamento de Equipamentos para as Operações Unitárias de Lavra de Mina a Céu Aberto**. 2015. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Minas, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2015. Disponível em: <http://ulbrato.br/bibliotecadigital/publico/home/documento/194>. Acesso em 12 de fevereiro de 2021.

BLOG, *Superbid*. **Máquinas**. Disponível em: https://www.superbid.net/pt_BR.html. Acesso em 10 de março de 2022.

BORGES, T. C. **Análise dos Custos Operacionais de Produção no Dimensionamento de Frotas de Carregamento e Transporte em Mineração**. 2013. 116 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Mineral, Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013. Disponível em: https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/3411/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_%20An%C3%A1liseCustoOperacionais.pdf. Acesso em 10 de fevereiro de 2021.

CAMPELO, A. C. de M. M.; MARIN, T.; DE TOMI, G. F. C. **Utilização de Dados do Sistema de Despacho para Estimativa de Produtividade de Transporte no Plano de Lavra de Curto Prazo**. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, v. 15, n. abr./ju 2018, p. 86-90, 2018Tradução. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/2176-1523.1560>. Acesso em 10 de março de 2022.

CATERPILLAR. **Máquinas. Novo equipamento**. Disponível em: http://www.cat.com/pt_BR.html. Acesso em 23 de outubro de 2021.

COUTINHO, H. L. **Melhoria Contínua Aplicada para Carregamento e Transporte na Operação de Mina a Céu Aberto**. 2017. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mineral, Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro

Preto, Ouro Preto, 2017. Disponível em: https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/9435/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_MelhoriaCont%C3%ADuaAplicada.pdf. Acesso em 21 de dezembro de 2021.

FARIA, L. R. **Disposição de Estéril em Cava - Um Estudo de Caso**. 2016. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Minas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral – PPGEM, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/7211>. Acesso em 21 de dezembro de 2021.

FELSCH JR., W. S.; BRANDÃO, B. M. S. **Melhorias operacionais – inclusive em DMT – impactam nos custos de produção**. *Minero & Minerales*, São Paulo, Vol. 1, Abr/ Mai, 2018.

GOOGLE EARTH - 2020. Disponível em: <https://earth.google.com>. Acesso em 27 de novembro de 2021.

GRIEBELER, N. P. **Modelo para o Dimensionamento de Redes de Drenagem e de Bacias de Acumulação de Água em Estradas não Pavimentadas**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 121 f., Viçosa, 2002. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/9436>. Acesso em 20 de março de 2021.

LISBÔA, R. C. O. **Influência dos Tempos Fixos na Produtividade da Frota de Transporte**. 2019. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/197177>. Acesso em 20 de outubro de 2020.

LOPES, E. B. **Proposta de Arranjo Físico para Redução de Distância Média de Transporte (DMT): Um Estudo de Caso em uma Empresa Produtora de Calcário na Região Centro-Oeste de Minas**. 2014. 39 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Centro Universitário de Formiga – Unifor, Formiga, 2014. Cap. 6. Disponível em: <https://repositorioinstitucional.unifor.br/21074/xmlui/handle/123456789/34>. Acesso em 20 de março de 2021.

LTDA, SATEL Safar Terraplenagem. **Aluguel de máquinas**. Disponível em: <http://www.satel.com.br>. Acesso em 10 de março de 2022.

MTE. (1978). **NR-22 – Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração**. Portaria GM nº 3.214 de 08 de junho de 1978.

RACIA, I. M. **Desenvolvimento de um Modelo de Dimensionamento de Equipamento de Escavação e de Transporte em Mineração**. 2016. 108 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/163322/001023897.pdf?sequence=1>. Acesso em 11 de março de 2022.

RICARDO, H. S.; CATALANI, G. **Manual Prático de Escavação: Terraplenagem e Escavação de Rocha**. 3. ed. São Paulo: PINI, 2007.

RICHARDS, M.; WEST, S. *Fundamentals of earthmoving. LACD Mining Equipment Forum*. Calama, Chile. November 2003.

SILVA, V. C. E. Curso de min 210 - **Operações Mineiras**. [S. l.: s. n.], 2009.

SILVEIRA, L. M. **Drenagem em Minas de Bauxita na Região de Poços de Caldas**. Trabalho de Graduação, Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, Brasil, p.32, 2014.

SOUSA, L. M. L. S. **Estudos de Dimensionamento Estrutural de Estradas de Mina a Céu Aberto**. 2011. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011. Disponível em:

https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/3283/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O_EstudosDimensionamentoEstrutural.pdf. Acesso em 10 de março de 2021.

SOUSA, L. M. L.; OLIVEIRA FILHO, W. L.; LIMA, H. M. **Dimensionamento Estrutural de Estradas de Mina a Céu Aberto**. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, 2012. p 279-284.

TANNANT, D.D.; REGENSBURG, B. *Guidelines for Mine Haul Roads Design*. 2001. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/277759950_Guidelines_for_Mine_Haul_Road_Design. Acesso em 20 de março de 2020.

THOMPSON, R. J.; VISSER, A. T. (2008). *Mine haul design, construction and maintenance management*. In: short course offered on 13 and 14 November 2008, Belo Horizonte.

THOMPSON, R. J. *Mining Roads –Mine Haul Roads Design, Construction and Maintenance Management. MIE Aust PrEng. [2014]*. Disponível em: <http://aspasa.co.za/wp-content/uploads/2017/07/road-design-and-maintenance-Molefe.compressed.pdf>. Acessado em 07 dezembro de 2021