

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**INFRAESTRUTURA DE MINA A CÉU-ABERTO:
ATIVIDADES E EQUIPAMENTOS**

LUCAS DE ALMEIDA E SILVA FREIRE

**BELO HORIZONTE – MG
DEZEMBRO 2019**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

INFRAESTRUTURA DE MINA A CÉU-ABERTO:
ATIVIDADES E EQUIPAMENTOS

Autor: **LUCAS DE ALMEIDA E SILVA FREIRE**

Orientador: **PROFA. MA. VIVIANE DA SILVA BORGES BARBOSA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais como parte obrigatória para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas.

BELO HORIZONTE – MG

DEZEMBRO 2019

AGRADECIMENTOS

À Deus, por iluminar meu caminho e me dar saúde e força para concluir mais uma etapa.

Ao meu pai, Edmar, por todos os ensinamentos, momentos vividos e amor incondicional, meu eterno obrigado.

A minha mãe, Marília Raquel, por todo amor, dedicação e suporte para minha formação.

À minha amada Luiza, pela cumplicidade, companheirismo e por sempre acreditar em mim.

À minha família, que sempre esteve ao meu lado nos momentos importantes e da qual sempre tive apoio.

À minha orientadora, Profa. Ma. Viviane Barbosa, pelos conhecimentos compartilhados e por toda paciência e dedicação ao me orientar neste trabalho.

Aos colegas e amigos da graduação que caminharam comigo nessa etapa e fizeram melhor dos anos na graduação.

Aos professores do curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais que edificaram minha graduação.

Ao Rodrigo, por todo aprendizado e pela oportunidade de crescimento profissional e pessoal.

À Construtora Barbosa Mello, colegas e amigos, por tornarem minha primeira experiência de trabalho ímpar e pela confiança e apoio para superar os desafios.

Aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade e pela leitura do texto.

RESUMO

Este trabalho procura de maneira didática identificar os equipamentos utilizados na infraestrutura de mina e quais suas principais atividades. No trabalho são mostrados os seguintes equipamentos: motoniveladora, trator de esteiras e de rodas, pá carregadeira, escavadeira, rompedor hidráulico, retroescavadeira, caminhão aspersor, equipamentos de abastecimento e lubrificação, e por fim caminhão guindauto. Os equipamentos são explicados de maneira geral, dando ênfase em suas atuações na mineração. Posteriormente é tratado a infraestrutura de mina, atividade secundária, mas crucial para que a lavra ocorra de maneira adequada. É abordado brevemente a importância geográfica e geológica na infraestrutura, considerando os equipamentos a serem utilizados e sua circunstância de operação. Seguidamente, discorre-se mais detalhadamente sobre os acessos na mineração e como sua condição pode influenciar nos custos operacionais. Em seguida, são abordadas outras partes da infraestrutura, sendo elas as drenagens e taludes na mineração. Por fim, é mostrado por curvas de custos e indicadores como a boa condição dos acessos e da infraestrutura de mina reflete na condição da mina como um todo no que se refere a produtividade e segurança, fatores críticos para a mineração no cenário atual.

Palavras-chave: Mineração, equipamentos, infraestrutura de mina, acessos de mina.

ABSTRACT

This work seeks to identify, didactically, the equipments used in the mine infrastructure and what are its main activities. In the work are shown the following equipment: motor grader, crawler and wheel tractor, wheel loader, excavator, hydraulic breaker, backhoe, sprinkler truck, supply and lubrication equipment, and finally crane truck. The equipments are explained in general, emphasizing their mining operations. Subsequently, is approached the mine infrastructure, a secondary activity, but crucial for the mining to occur properly. It briefly addresses the geographical and geological importance of the infrastructure, considering the equipment to be used and its operating circumstance. Next, we discuss in more detail the mining haul roads and how their condition may influence operating costs. Then other parts of the infrastructure are addressed, such as drainage and mining slopes. Finally, it is shown by cost curves and indicators how the good condition of mine haul roads and infrastructure reflects the condition of the mine as a whole in terms of productivity and safety, critical factors for mining in the current scenario.

Key-words: Mining, equipment, mining infraestructure, haulage roads.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Suspensão de poeira em mina	14
Figura 2 - Motoniveladora CAT-14H para retirada de neve	15
Figura 3 - Distribuição de custos da operação em uma mineração à céu aberto.	16
Figura 4 - Curva de custo considerando carregamento e manutenção das estradas da mineração.	18
Figura 5 - Esquemático para mostrar influência da inclinação na operacionalização do transporte.	20
Figura 6 - Esquemático para mostrar influência das curvas na operacionalização do transporte.	20
Figura 7 - Os três componentes do design estratégico de acessos.....	21
Figura 8 - Distribuição das camadas do pavimento das estradas na mineração	22
Figura 9 - Praça de carregamento com solo saturado.	23
Figura 10 - Projeto de drenagem nos acessos principais da lavra.	27
Figura 11 - Drenagens no Complexo Itabira, da Vale.....	28
Figura 12 - Problemas nos taludes causados pela drenagem ineficaz	28
Figura 13 – (a) Descida d’água de concreto; (b) Vista de frente da drenagem nos taludes; (c) Drenagem ao longo da lateral da cava.....	29
Figura 14 – Área sem retaludamento em uma mina brasileira.	31
Figura 15 - Taludes após reconformação em uma mina brasileira.....	31
Figura 16 - Variações de gradiente ao longo do acesso	34
Figura 17 - Tempo de transporte vazio do caminhão CAT 793C com variação da resistência total	35
Figura 18 - Tempo de transporte carregado do caminhão CAT 793C com variação da resistência total	35
Figura 19 - Influência da resistência de rolamento no desempenho de mina.....	36
Figura 20 - Motoniveladora Caterpillar 140M AWD.....	39
Figura 21 - Motoniveladora Caterpillar em planta	39
Figura 22 - Regularização de acessos na mineração.	40
Figura 23 - Motoniveladora Caterpillar em Operação.....	40
Figura 24 - Compatibilidade Motoniveladora versus caminhão.	41
Figura 25 – Trator (a) de esteiras; (b) de rodas	42

Figura 26 - Trator D11T movimentando terra em uma mina	44
Figura 27 -(a) Carregadeira 980L; (b) Carregadeira 980H.....	45
Figura 28 - Articulação e movimento CAT 925G	45
Figura 29 - (a) Escavadeira 336D; (b) Movimento da Escavadeira 336D	46
Figura 30 - Vista lateral da atividade de reconfiguração de talude	47
Figura 31 - Diferentes tamanhos de rompedores hidráulicos	48
Figura 32 - Rompedor Hidráulico acoplado à uma escavadeira.....	49
Figura 33 - Retroescavadeira CAT 420F.....	50
Figura 34 - Retroescavadeira CAT 420F.....	50
Figura 35 - Sump no fundo da Cava.....	51
Figura 36 - Retroescavadeira escavando vala para escoamento de drenagem	52
Figura 37 - Aspersão fixa no Complexo Carajás.....	53
Figura 38 - Aspersão fixa na Mina de Brucutu	53
Figura 39 - Caminhão Pipa de 22m ³	54
Figura 40 - CAT 773-E em operação	54
Figura 41 - Fora de Estrada Komatsu adaptado para aspersão.....	55
Figura 42 - Comboio de Lubrificação (Aberto).....	56
Figura 43 – Compartimentação do Comboio de Lubrificação (Fechado).	57
Figura 44 - Caminhão Guindauto em operação.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações de caminhões Caterpillar® de diferentes anos.	19
Tabela 2 - Características dos tratores de esteiras e de rodas	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	Objetivos.....	11
1.2	Motivação	11
2	INFRAESTRUTURA DE MINA.....	13
2.1	Geografia.....	13
2.2	Geologia.....	15
2.3	Acessos na mineração	16
2.3.1	Projeto geométrico, estrutural, funcional e de manutenção	18
2.3.2	Manutenção	23
2.3.3	Readequação.....	25
2.4	Drenagens	26
2.5	Taludes.....	30
2.6	Indicadores de Desempenho	31
3	EQUIPAMENTOS AUXILIARES NA MINERAÇÃO A CÉU ABERTO	37
3.1	Atividades na mineração à céu-aberto	37
3.2	Equipamentos auxiliares	37
3.2.1	Motoniveladora	38
3.2.2	Trator de esteiras e rodas.....	41
3.2.3	Pá carregadeira	44
3.2.4	Escavadeira.....	46
3.2.5	Rompedor Hidráulico.....	48
3.2.6	Retroescavadeira	49
3.2.7	Aspersores fixos e móveis.....	52
3.2.8	Equipamento de abastecimento e lubrificação	55
3.2.9	Caminhão Guindauto.....	57
4	CONCLUSÃO.....	59

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
----------------------------------	----

1 INTRODUÇÃO

Os equipamentos presentes na mineração têm evoluído ao longo dos anos, tornando-se cada vez mais robustos e com maiores capacidades de carga, em resposta à necessidade de maiores volumes transportados. Pode-se considerar como causa disso o aumento da demanda de minerais, bem como a redução de teores de minério e, conseqüentemente, maior movimentação de carga por dia para a usina de beneficiamento ou para estocagem, a fim de se atingir as metas de produção.

Na mineração a céu aberto, desenvolvida através de cavas, o transporte dos materiais é feito por acessos entre as bancadas e por estradas que ligam as frentes de lavra às instalações da usina de beneficiamento e às pilhas de estoque de potenciais produtos. O material sem valor econômico é transportado para um depósito anexo, chamado de pilha de estéril, que geralmente fica nas imediações da cava.

A operação de transporte dos materiais lavrados pode representar mais de 50% dos gastos operacionais de uma mina, o que influencia no custo de produção da tonelada de minério e, por isso, o dimensionamento de equipamentos é feito focado nos equipamentos da atividade que gera valor para a empresa e que alteram os custos de produção do minério. Em consequência disso, muitas vezes, as atividades de infraestrutura de mina, que são cruciais para a boa operacionalização da mina, é agrupada com outros serviços ou tratada com pouca relevância.

Em uma mineração que consiste basicamente em transporte por caminhões, uma malha de acessos é um componente vital para os processos de produção e devido a sua importância, os acessos impactam diretamente na produtividade e nos custos da mina. A vida útil dos equipamentos, a segurança das operações e a produtividade são dependentes de acessos bem distribuídos, projetados, construídos e mantidos. Uma via em boas condições, além de garantir segurança das operações, permite maior segurança para que outros veículos possam trafegar na mina, principalmente aqueles que se deslocam por meio de rodas.

Para obter bons acessos, são necessárias manutenções preventivas e corretivas, que são geralmente executadas por equipamentos considerados auxiliares ou de apoio. Assim como uma boa seleção dos equipamentos principais é feita a fim de atingir uma produtividade ótima, um bom dimensionamento da quantidade e porte dos equipamentos de apoio faz-se necessário

para garantir que as vias de acesso estejam operando da melhor forma possível e de modo a colaborar com a redução da manutenção ou com a melhoria dos índices de produtividade, além de outras atividades suplementares garantidoras de um eficiente ciclo operacional.

1.1 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é apresentar as áreas de atuação da infraestrutura de mina, evidenciar sua importância para a operação de lavra e identificar os equipamentos auxiliares e seus campos de aplicação. Como objetivos específicos, têm-se:

- Explicar as principais áreas de atuação da infraestrutura de mina;
- Mostrar os impactos da infraestrutura na produção;
- Identificar os principais equipamentos auxiliares.

1.2 Motivação

O motivo que levou à escolha do tema “Infraestrutura de Mina” é o fato de que a área é responsável pela manutenção e organização das bermas e rampas, que são as principais vias de transporte para os veículos em uma mina à céu aberto. A experiência adquirida pelo autor através dos estágios realizados ao longo da graduação em Engenharia de Minas mostrou que a infraestrutura exerce influência na produtividade, nos custos de operações e na manutenção, pois tais variáveis estão ligadas à velocidade média que é possível atingir-se com os veículos de rodas que por sua vez impacta na produção. De maneira geral, quanto melhor as condições dos acessos, maior será a velocidade média e, conseqüentemente, maior será a produção.

Ainda, considerando a escassez de materiais sobre infraestrutura de mina, o presente trabalho procura, de maneira simples e didática, explanar sobre alguns dos equipamentos auxiliares que atuam em serviços secundários à operação de lavra, mas não menos importantes: tais serviços têm papel fundamental na manutenção de maiores velocidades médias, de menores resistências ao rolamento e maiores níveis de segurança operacional.

Logo, este trabalho é dividido em 4 capítulos: a “Introdução”, que apresenta o assunto, trata da motivação e objetivos; um capítulo para “Infraestrutura de Mina”, que destaca algumas das atividades de infraestrutura e quais são as suas influências na operação de lavra ; “Equipamentos

auxiliares na mineração a céu aberto”, que discorre sobre 9 equipamentos e suas principais funções de apoio para com as operações unitárias de lavra em minas a céu aberto e, por fim, no último capítulo são apresentadas as conclusões.

2 INFRAESTRUTURA DE MINA

Para Rodovalho (2019), os serviços de infraestrutura, bem como o dimensionamento de seus equipamentos, devem ser baseados no método de lavra, na geologia da região, na proximidade com comunidades, no clima, no tipo de equipamento e no porte da mina.

Considerando as etapas de lavra, após o planejamento de longo prazo definir a geometria e a configuração da cava final e o curto prazo programar o início do plano de lavra, baseado no sequenciamento de blocos que serão extraídos, fica definido quais serão as áreas lavradas. A partir disso, a infraestrutura de mina pode programar-se, visando trabalhar de forma eficiente para atingir seus objetivos.

Conhecendo-se as áreas de lavra do período, é possível criar acessos em acordo com a operação, a fim de diminuir as distâncias médias de transporte (DMT), bem como direcionar equipamentos de aspersão para a região e para acessos que terão maior tráfego de caminhões, possibilitando assim um trabalho mais eficaz, além da economia de recursos.

Por meio de levantamentos topográficos periódicos, pode ser feito conferências da aderência da mina com o planejamento e quais são os locais que devem receber maior atenção para manutenção, otimizando os serviços de manutenção e aumentando a segurança da mina.

Se tratando de mineração, devem ser analisados todos os elementos que podem interferir de alguma maneira na tomada de decisão do empreendimento mineiro, seja quanto à viabilidade do projeto ou quanto à sua manutenção. A geologia, além da questão do material de interesse, deve ser analisada uma vez que as outras litologias da região podem impactar de alguma maneira no projeto, como por exemplo a estabilidade dos taludes, no material *in situ* e outros que serão fundação para os acessos utilizados. Além disso, a localização geográfica do empreendimento pode acarretar maiores custos de investimento ou de operação uma vez que interferências naturais podem ocorrer, como por exemplo frio intenso ou alta pluviometria.

2.1 Geografia

Para Tannant e Regensburg (2001), as condições climáticas têm grandes influências no *design* e construção dos acessos de uma mina, bem como a quantidade de certos equipamentos que

atuam para mitigar os problemas causados pelo clima da região. A título de exemplo, podemos citar minerações em regiões áridas e quentes em que a quantidade de caminhões de aspersão deve ser maior para evitar a suspensão de partículas (Figura 1).



Figura 1 - Suspensão de poeira em mina

Fonte: Thompson (2014)

Outra situação é uma mineração em região de alta pluviosidade, em que se faz necessário ter um bom projeto de drenagem e mais equipamentos niveladores para homogeneização, retirada da camada saturada de água e melhoria das condições dos acessos. Como exemplo citado por Tannant e Regensburg (2001), tem-se a aplicação de materiais mais resistentes às temperaturas extremamente baixas e com maior poder de descongelamento no revestimento dos acessos de minas no Canadá (Figura 2). Para uma situação adversa como essa, além da correta escolha do material colaborar para melhor produtividade na mina, é imprescindível a quantidade correta de equipamentos niveladores para remoção de neve e melhoria da superfície da via.



Figura 2 - Motoniveladora CAT-14H para retirada de neve

Fonte: Mico Equipment (2016)

Por isso, é muito importante ter conhecimento sobre o regime de chuvas, tanto de intensidade, quanto duração, e de todas as outras condições climáticas da região onde será implantado o empreendimento mineiro, para preparação de um plano de infraestrutura e manutenção, que atenderá coerentemente as necessidades da mina ao longo do ano.

2.2 Geologia

Tannant e Regensburg (2001) afirmam que a maioria das minerações utilizam materiais encontrados na mina ou em áreas próximas para minimizar os custos de construção das estradas. Por isso, minas que possuem litologias com boas características para utilização em bases e sub-bases de acessos apresentam custos bem mais baixos para construção de estradas e manutenção.

Já minerações que não possuem bons tipos de materiais para serem usados como revestimento, para evitar altos custos de retirada a grandes distâncias ou evitar o custo com fornecedores externos, a adição de geotêxteis, areia ou outros insumos no próprio material de mina tem sido uma alternativa para melhorar as características de resistência, saturação e rolamento do solo.

A preocupação com a pista de rolamento é relevante, pois a superfície em que os caminhões e equipamentos trafegam condicionam seu desempenho e produção.

2.3 Acessos na mineração

O transporte de minério e estéril representa grande parte dos custos de operação de lavra, sendo mais representativos os custos com consumo de diesel e de pneus danificados que devem ser corrigidos ou trocados. Os desgastes causados por acessos com más condições, além de gerar maiores custos de produção, também influencia no tempo de ciclo dos equipamentos, reduzindo o desempenho operacional e acarretando a diminuição da produção (CATERPILLAR, 2018; VIEIRA, 2013).

Levando-se em conta os impactos das estradas no custo da mineração, é de grande importância investir em boas técnicas de construção e de manutenção desses acessos, para garantir operações de menor custo, segurança e produção ideais. A Figura 3 retrata a distribuição típica dos custos de operação de lavra de uma mineração à céu aberto.

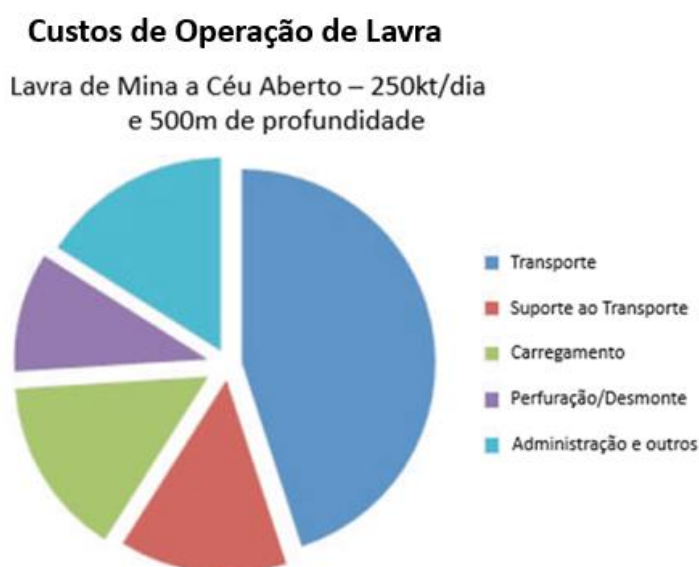


Figura 3 - Distribuição de custos da operação em uma mineração à céu aberto.

Fonte: Modificado de Thompson (2019)

O planejamento de lavra tem como objetivo projetar uma cava com a maior extração possível de minério e com a menor retirada possível de estéril, em uma distribuição e configuração exequível para a operação, procurando sempre manter as menores distâncias de transporte entre as frentes de lavra e os locais de descarga. Para a construção do projeto de estradas de mina, os

estudos preliminares devem determinar, basicamente, parâmetros geométricos padronizados, de acordo com os equipamentos a serem utilizados, como largura da pista, raio de curvatura e inclinação das rampas.

Thompson (2014) afirma que boas condições de acessos implicam em custos de operação reduzidos. É recomendável que exista uma arquitetura para as estradas de minas, uma vez que excessos de manutenção ou de tráfego intenso irão, inexoravelmente, reduzir a produtividade da frota.

Ainda, segundo Thompson (2014), o design das estradas deve ser feito a partir de estudos que determinem parâmetros estruturais, funcionais e de manutenção, de maneira integrada. Se um dos componentes para design das estradas não está de acordo com a realidade ou não foi ponderado, os outros componentes não irão trabalhar da maneira programada. Isso é retratado em desempenhos questionáveis das estradas na mineração, que não condizem com as tecnologias dos veículos de transporte (SOUSA *et al.*, 2012).

Nas operações unitárias, existe uma interrelação entre os custos de desmonte de rocha, do carregamento e do transporte, isto é, maiores investimentos na fragmentação em campo ocasionam reduções significativas nos custos de lavra subsequentes, gerando um custo total menor. De maneira análoga, o mesmo ocorre para as construções de estradas. À medida que se emprega maior valor nos estudos feitos para o projeto dos acessos, menores são os custos de manutenção deles, o que também impacta no custo de transporte. É claro que para ambos os casos, existe um ponto ótimo de custo, como retrata a Figura 4.

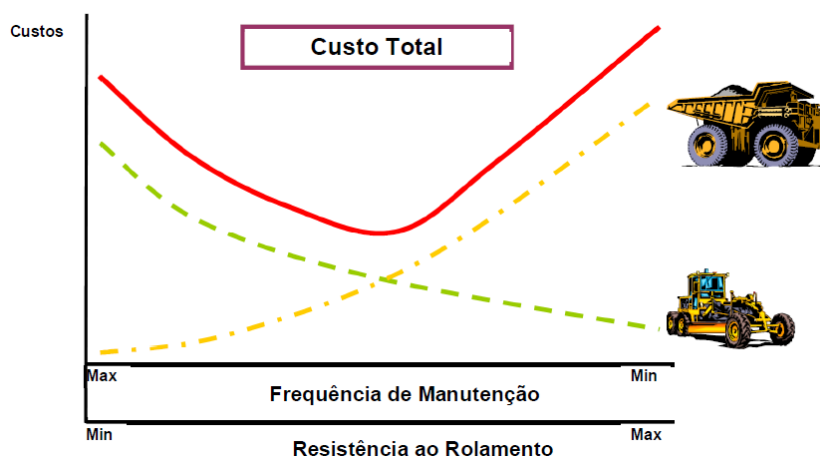


Figura 4 - Curva de custo considerando carregamento e manutenção das estradas da mineração.

Fonte: Modificado de Vieira (2013). Modificado de Thompson e Visser (1999)

A infraestrutura de mina tem impacto direto em toda a operação e dentre as suas responsabilidades, os acessos à cava possuem uma relação direta com os diversos custos de produção, de manutenção dos próprios acessos, de manutenção dos equipamentos e de segurança das operações. Observa-se que melhores condições no trabalho trazem mais conforto e bem-estar aos colaboradores, colaborando para produções maiores e mais sustentáveis (VIEIRA, 2013).

2.3.1 Projeto geométrico, estrutural, funcional e de manutenção

Os caminhões utilizados na mineração evoluíram de maneira considerável, desde tamanho e capacidade de transporte, como em tecnologias voltadas para melhores condições de operação. De acordo com Tannant e Regensburg (2001), o maior fora de estrada disponível no mercado no final da década de 80 não podia transportar mais que 220 toneladas, mas a partir de 1999, as capacidades máximas já haviam aumentado para mais de 360 toneladas. Apesar de maior tonelagem, nesse período, havia pouca variação na dimensão dos veículos, contrariando a tendência do início dos anos 2000, em que os caminhões tiveram suas alturas, larguras e comprimentos aumentados, bem como o tamanho e largura de seus pneus. Em geral, maiores equipamentos de transporte possibilitam produções maiores e menos gastos indiretos associados, portanto maiores ganhos. Atualmente o que limita a capacidade máxima dos caminhões são os pneus, uma vez que não há, ainda, tecnologia para suportar mais carga. O caminhão fora-de-estrada com maior capacidade do mundo é o Belaz 75710, capaz de suportar

450 toneladas, utilizando pneus Michelin 59/80R63, que pode transportar até 100 toneladas por pneu.

Em função de equipamentos significativamente maiores, mais pesados e mais tecnológicos, as estradas de mina passaram a ser maiores, as camadas de sub-base, base e superfície aumentaram de espessura para suportar as novas cargas e os caminhões tiveram suas velocidades máximas aumentadas (TANNANT & REGENSBURG, 2001). A evolução dos caminhões fora de estrada é retratada na Tabela 1.

Tabela 1 - Especificações de caminhões Caterpillar® de diferentes anos.

Ano	Caminhão	Largura(m)	Comprimento(m)	Raio para curva(m)	Velocidade Máxima(km/h)
1989	CAT 793	7,43	12,00	15	53
1999	CAT 797	9,14	14,50	16	68
2013	BelAZ 75710	9,87	20,60	20	64

O projeto geométrico, segundo Thompson (2014), é onde se inicia todo o desenho para criar as estradas mineiras e é definido como o *layout* e a disposição vertical e horizontal dos acessos e rampas. Deve-se atender, primeiramente, às imposições feitas pelo método de lavra escolhido e, posteriormente, pelas normas de distância e requisitos de paragem. Em relação à disposição vertical e horizontal, existem diversos parâmetros para dimensionar as estradas, dentre eles:

- Vertical: gradiente de rampa; distância de visão; e distância de parada.
- Horizontal: largura da pista; curvatura; raio de curva; plano de queda/gradiente transversal; superelevação; e interseções.

Tannant e Regensburg (2001) sugerem uma inclinação máxima de 10%, mas acima de 8% já não é recomendado. Em acessos curvados, a superelevação indicada é de até 4%. Interseções de vias devem evitar topo de rampas, devido à dificuldade de visão, além disso, elas devem ser o mais planas possíveis. Os gradientes transversais são aqueles que direcionam as águas que passam pelas estradas para os limites laterais. As canaletas devem ser construídas, preferencialmente, no pé da bancada superior e é recomendado um gradiente transversal igual a 2%, podendo variar de 1,5 a 4% (em função da precipitação da região). No projeto geométrico de estradas, as inclinações, curvas e distâncias arquitetadas devem atentar, também, para a área de visão dos condutores e o tempo até a parada completa dos veículos, para garantir segurança

nas manobras realizadas pelos operadores (Thompson, 2014). A Figura 5 e Figura 6 ilustram como o a inclinação e o raio da curva interferem na segurança da operação.

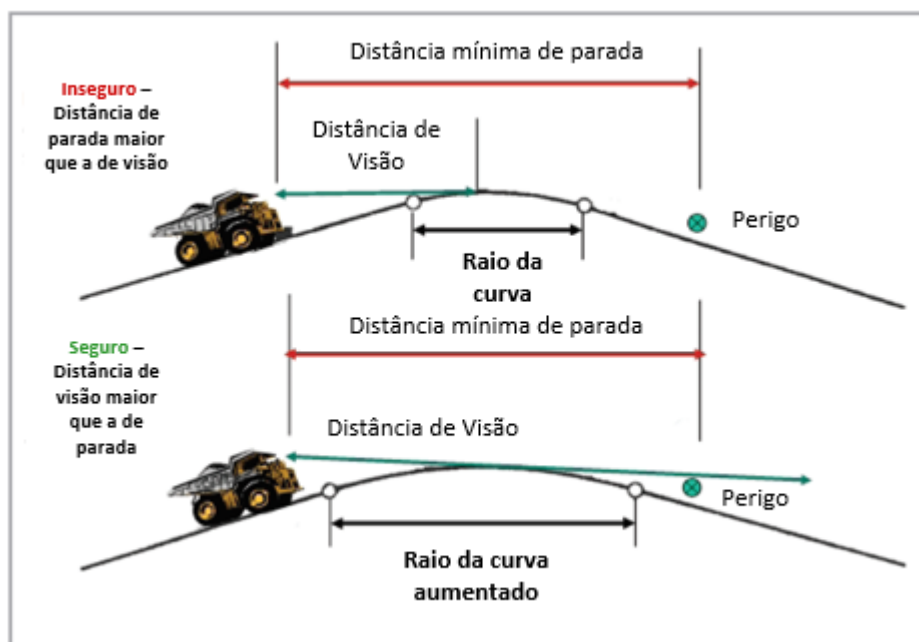


Figura 5 - Esquemático para mostrar influência da inclinação na operacionalização do transporte.

Fonte: Thompson (2014)

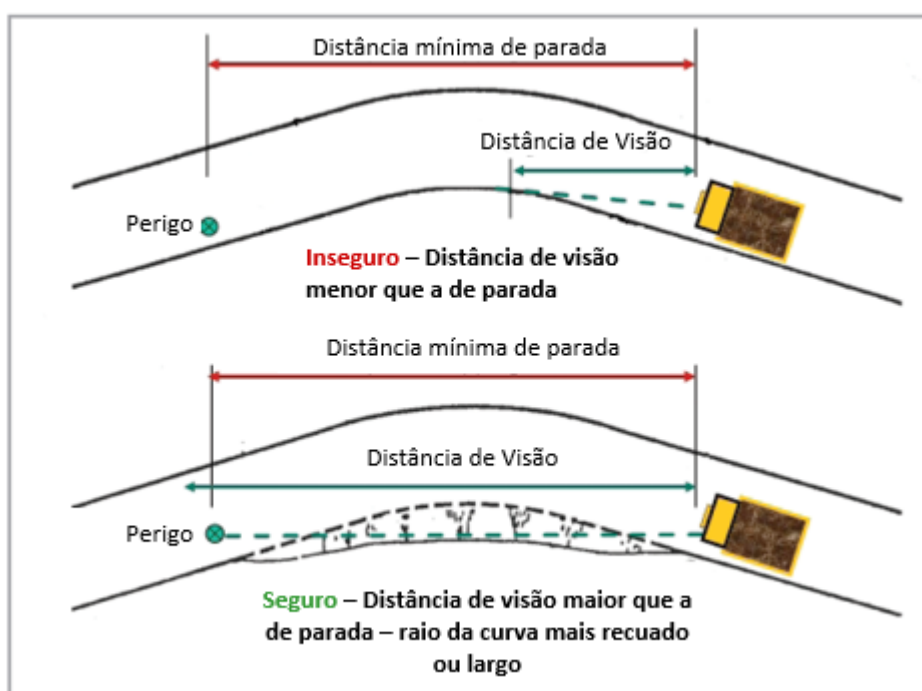


Figura 6 - Esquemático para mostrar influência das curvas na operacionalização do transporte.

Fonte: Thompson (2014)

Leiras de proteção ou leiras de segurança podem ser definidas como uma elevação de terra que tem como objetivo segurar ou conter algum material ou equipamento que venha a se chocar contra, e segundo a NRM 13, elas devem ser feitas nas vias de acessos, nas laterais de bancadas ou onde houver risco de queda de veículos. A altura das leiras de segurança deve ser igual à metade do diâmetro do maior pneu que trafega na via da mina, enquanto sua largura é dada em função do ângulo de repouso do material utilizado.

Tendo em vista essas evoluções da tecnologia e mudanças constantes, para se projetar as cavas com acessos realmente adequados, deve ser feito, além do projeto geométrico, um estudo estrutural, funcional e de manutenção detalhados. Cada projeto tem sua importância para a boa operacionalização do acesso, como descrito na Figura 7.

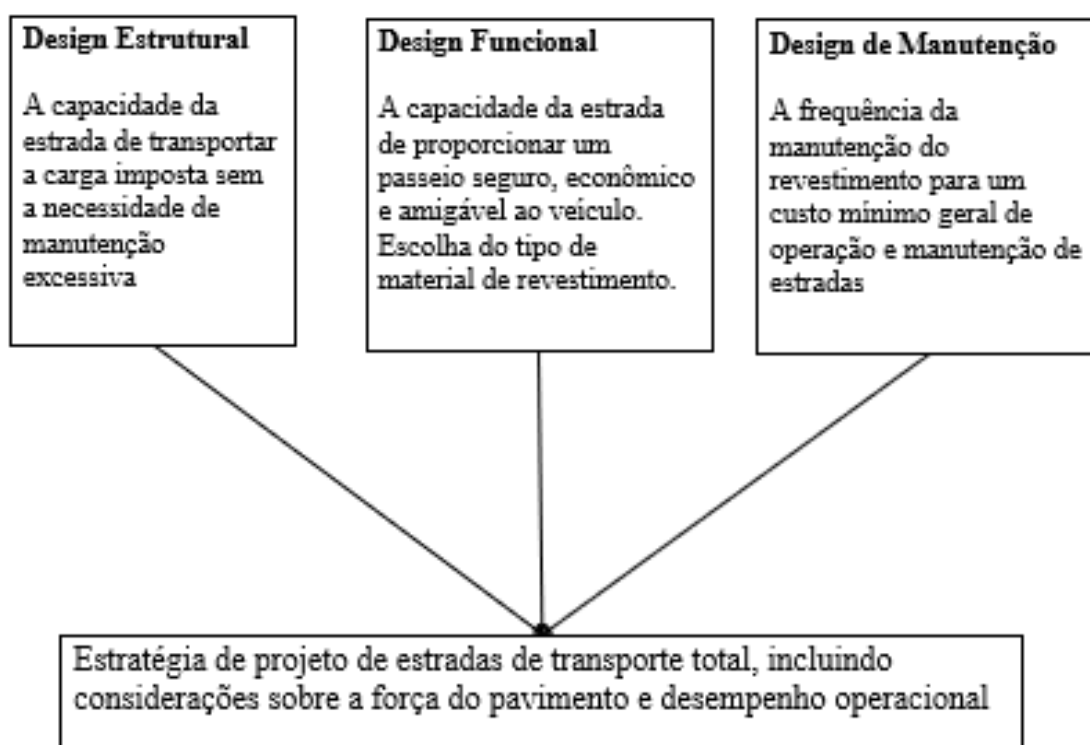


Figura 7 - Os três componentes do design estratégico de acessos

Fonte: Modificado de Thompson e Visser (1999)

Para Thompson e Visser (1999), o parâmetro estrutural das estradas de mina nada mais é que a disposição das faixas do pavimento da maneira mais econômica, tendo em vista o tipo de

material e a espessura das camadas, bem como o volume a ser trafegado, o material *in situ* disponível e a vida útil do acesso.

Conforme Oliveira Filho *et al.* (2012), nas estradas da mineração, a sub-base e base possuem propriedade estrutural, ao passo que o revestimento possui propriedade funcional. O início da construção das estradas é feito geralmente sob um subleito *in situ*. Vias mineiras de má qualidade são causadas, na maioria das vezes, por problemas ou deformações de uma ou mais camadas da estrutura do acesso (THOMPSON, 2014). A Figura 8 ilustra a configuração das camadas do pavimento.

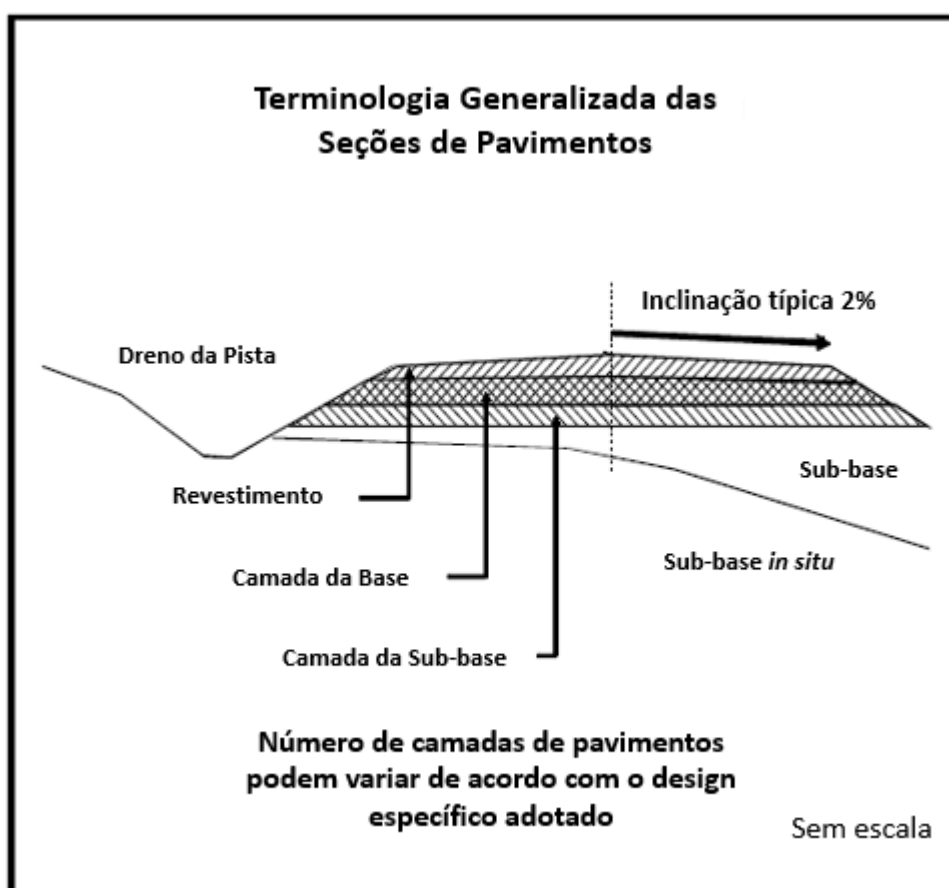


Figura 8 - Distribuição das camadas do pavimento das estradas na mineração

Fonte: Thompson (1999)

Quanto ao projeto funcional dos acessos, de acordo com Thompson (2000), seu principal objetivo é a escolha do material de revestimento adequado para que seja reduzida as chances de desintegração e diminuição da resistência de rolamento na superfície da estrada. Um desempenho funcional baixo implica em má qualidade do acesso, excesso de poeira, aumento

de desgastes das rodas e pneus e, acompanhado a isso, perda de produtividade, resultando em maiores custos de manutenção e operação geral dos veículos. A Figura 9 mostra uma estrada com excesso de umidade, gerando pontos de instabilidade e baixo poder de suporte, conhecidos popularmente como “trechos borrachudos”.



Figura 9 - Praça de carregamento com solo saturado.

Fonte: Autor.

Por fim, o projeto de manutenção tem como objetivo determinar qual será a frequência ideal de manutenção que será dada em cada parte da rede de acessos, de maneira que possa ser feito um planejamento, um cronograma e determinação de prioridades. Esse tipo de programação é especialmente importante em minerações, onde há poucos recursos para manutenção.

2.3.2 Manutenção

Segundo Tannant e Regensburg (2001), a conjuntura de superfície das estradas tem grande relevância no desempenho de curto e longo prazo delas, inclusive quanto aos custos de transporte. Ainda, para os mesmos autores, os impactos causados por acessos com lombadas e buracos são transferidos para a suspensão, para os eixos e para o trem de força do veículo através dos pneus, sendo que essas forças de impacto são proporcionais a carga total aplicada à superfície com intensidades de forças que crescem de maneira exponencial em função da velocidade do caminhão. As forças de impacto aumentam os custos com pneus, uma vez que é reduzido sua vida útil. Além disso, como citado, são causados maiores desgastes na suspensão

e no eixo do caminhão, reduzindo o tempo de vida do equipamento e elevando seus custos de manutenção.

Existem dois fatores determinantes nas pistas, considerando a alta velocidade e capacidade de carga dos veículos atualmente, que são: a resistência de rolamento e a dureza dos materiais. Tais fatores precisam ser gerenciados, a fim de fornecer melhores condições de operação e menores custos de manutenção, seja com as máquinas ou com as vias.

Na mineração, os materiais mais utilizados para forro dos acessos (revestimento) são cascalho moído ou pedra britada, que podem ser obtidos na própria mina ou, caso eles não atendam às características adequadas de durabilidade e resistência ao tempo, devem ser comprados ou tomados de empréstimos de outras fontes. Deve ser levado em conta a facilidade do material de se quebrar quando submetido ao tráfego de equipamentos, o que influencia na quantidade gerada de partículas suspensas, podendo essa ser a principal causa das manutenções por umectação da via. Para mitigar o problema, é utilizado aspersores móveis ou fixos, como mostrado na seção 2.1.7, ou até mesmo por meio da aplicação de aditivos para formar soluções para aumentar a durabilidade do efeito.

A resistência ao rolamento e a aderência são as principais preocupações no projeto de superfície da estrada, já que a resistência ao rolamento impacta na velocidade média, na produção e gastos de combustível. A adesão do pneu ao acesso, por sua vez, garante boa tração do equipamento e minimiza as chances de deslizamento e possíveis acidentes, aumentando a segurança da operação.

A manutenção, para Thompson (2014), consiste na aspersão, nivelamento e compactação, sendo seu objetivo amenizar ou eliminar a perda de material solto, irregularidades e manter o acesso firme, para condições adequadas de tráfego. Para isso, a manutenção dos acessos deve ser aceita como parte de um projeto e seus custos devem ser considerados. Em geral, os maiores problemas encontrados nos acessos, segundo Ferreira e Paiva (2007), são:

- Buracos;
- Corrugações;
- Trilhas de rodas;

- Superfície empoeirada;
- Seção transversal inadequada;
- Segregação de agregados;
- Drenagem lateral inadequadas.

Manter boas drenagens para escoamento de fluxos de água ao longo dos acessos é outro fator que ajuda a manter a vida útil e garantir maior segurança nas operações, pois a água enfraquece as camadas de pavimentação e tem grande potencial para danificar de diversas maneiras as estradas da mina.

Apesar de constante em todas as minerações, os métodos e frequência de manutenção são muito particulares (e, geralmente, irregulares) considerando que cada uma tem suas características próprias. Torna-se difícil padronizar atividades de infraestrutura, mas é possível, através de estudos na mina, encontrar manutenções ótimas para diferentes serviços por ela demandados.

2.3.3 Readequação

Para Vieira (2013), quando a manutenção dos acessos já não tem mais efeito duradouro e se torna apenas uma medida constante e paliativa, fica evidente que o problema real não será resolvido dessa maneira. Para situações como essa, a readequação das estradas se torna necessária. Entende-se por readequação a retirada e reconstrução das camadas estruturais dos pavimentos. Os acessos podem ser classificados, segundo Ferreira (2007), em quatro tipos de manutenção, considerando as condições do acesso de “falido” à “excelente”: reconstrução, restauração, reconformação e rotina.

Como a readequação de acessos é um procedimento bem mais trabalhoso e que demanda mais equipamentos, mão de obra e tempo, é preciso estudar de maneira detalhada quais são os problemas detectados e os fatores críticos no processo de construção do pavimento que devem ser refeitos. Vieira (2013) diz que, dentre os elementos que devem ser analisados, o fluxo de caminhões e o tempo de vida útil são muito importantes para decidir quanto à necessidade da reforma do acesso. Outros parâmetros que requerem atenção, quando a readequação se torna uma possibilidade, são a gravidade das irregularidades e os impactos na utilização, produção e segurança dos acessos.

Muitas vezes, acessos com defeitos podem estar com problemas apenas funcionais, que podem ser resolvidos de maneira mais rápida, ou problemas funcionais causados por má-condições das suas camadas estruturais, por isso, é necessário estudar caso a caso para se obter a resposta mais eficaz para solução do problema.

2.4 Drenagens

Para Silveira (2014), sistemas de drenagem é todo tipo de estrutura que tem o intuito de transportar, reter, tratar e destinar as águas pluviais, podendo ser feito através de canais, valas, fossos, tubos ou túneis. A estrutura pode ser natural ou artificial e deve guiar as águas que chegam aos canais por precipitação ou por fluxos subterrâneos para áreas próximas, da maneira mais natural possível.

A principal função da drenagem, na mineração, é possibilitar que seja feita uma exploração de forma segura e sem interferência da água. Existem vários tipos de projetos de drenagem, dependendo do local onde ela é instalada, sendo eles: sistema de drenagem de acessos; sistema de drenagem da cava; e sistema de drenagem da pilha. Independentemente do tipo, o objetivo é direcionar a água para locais apropriados, de forma que a água permaneça o menor tempo possível no local indesejado e que interfira minimamente nos processos de produção (SILVEIRA, 2014).

Nos acessos de mina, ter um bom projeto de drenagem é imprescindível para reduzir os danos à sub-base, à base e ao revestimento das estradas, pois a erosão (consequente do escoamento superficial das águas e o ajuntamento nos leitos e margens) é a principal causa da degradação das estradas na mineração. Portanto, quanto menor for o tempo de contato das águas com as camadas dos pavimentos, menor será o estrago causado. Para tal, são necessários sistemas de drenagens eficientes para vazão da água na superfície e drenagens mais profundas, para impedir a saturação das camadas estruturais. Considerando o grande potencial de dano a todos os estratos do pavimento, ter sistemas de drenagem eficientes garantem maior tempo de vida aos acessos, com menos manutenções e muito menos readequações, garantindo também menor custo de manutenção e de operação dos equipamentos.

A Figura 10 exemplifica o trajeto ideal da água em uma mina. Iniciando nas porções mais elevadas da cava, passando pelas drenagens presentes nas pistas, bermas e taludes, sendo direcionada para uma sarjeta e posteriormente às diversas saídas d'água, para finalmente se acomodar nas bacias preparadas para armazenamento e decantação. Sarjeta é um tipo de vala de seção triangular com a finalidade de acomodar e transportar a água.

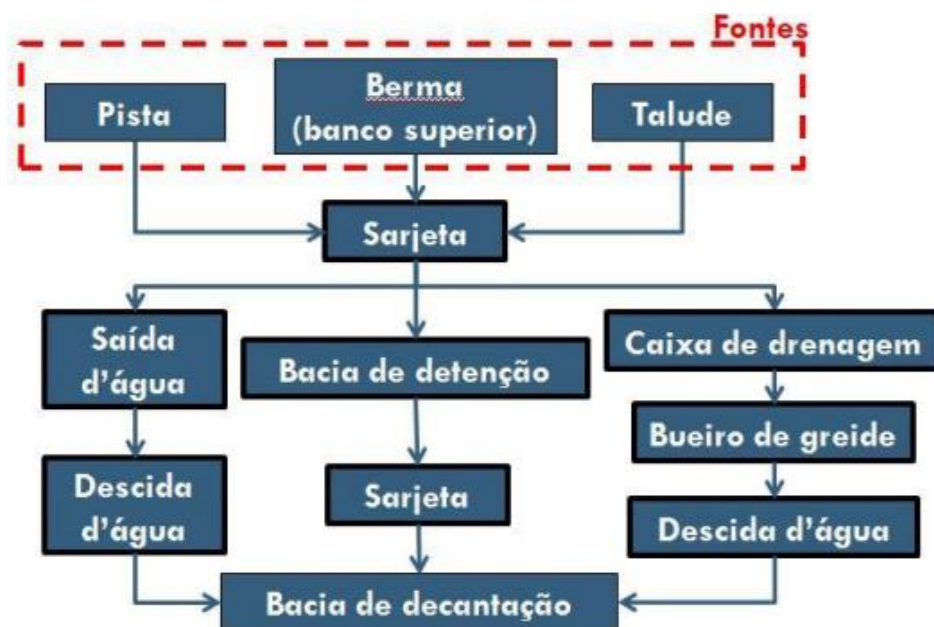


Figura 10 - Projeto de drenagem nos acessos principais da lavra.

Fonte: Reis *et al* (2014)

Por conta da maior tecnologia e dos menores teores de minério, o número de cavas profundas aumentou nas últimas décadas, o que requer a utilização de bombas e motores potentes para o rebaixamento do lençol freático, no intuito de possibilitar trabalhos em fundo de cava. Isso ocorre porque, em grandes profundidades, as lavras devem ocorrer abaixo do nível freático, o que torna impossível o desenvolvimento das operações sem o bombeamento da água. Algumas minas optam por uma lavra sazonal, em que, durante o período chuvoso, lavram as frentes superiores e, quando fora da época de chuva, são lavradas as frentes de maiores profundidades.

No que diz respeito a geotécnica de mina, de acordo com Júnior (1987), a água subterrânea é o principal agente responsável pela instabilidade dos taludes de minerações a céu aberto, devido ao estabelecimento de pressão neutras no seu interior. Em se tratando de superfície de bancada, as drenagens direcionam a água (Figura 11) para se ter o menor contato possível da água com

o talude e as bermas, assim minimizando o estrago e garantindo a boa aparência da superfície (Figura 12).



Figura 11 - Drenagens no Complexo Itabira, da Vale

Fonte: Reis *et al.* (2014)



Figura 12 - Problemas nos taludes causados pela drenagem ineficaz

Fonte: Autor (2019)

Muitas vezes, a água que passa pelos sistemas de drenagem da cava e dos acessos é encaminhada, juntamente com água das bacias e cursos naturais da região, para abastecimento do complexo minero-industrial, sendo usada para inúmeros propósitos. Depois de reutilizada, deverá ser feito o lançamento da água em local adequado. Caso tenha sido utilizada no processo de beneficiamento, onde é acumulado altos níveis de contaminantes e/ou reagentes, faz-se necessário seu armazenamento e tratamento para posterior liberação nos canais. Já a água que

não é contaminada com sua utilização pode ser lançada novamente nos cursos d'água ou bombeada para reutilização no empreendimento.

Para taludes finais ou áreas em que já foram encerradas as operações, comumente é verificado drenagens de concreto por possuírem maior resistência, maior tempo de vida e menos correções e manutenção (Figura 13).



(a)



(b)



(c)

Figura 13 – (a) Descida d'água de concreto; (b) Vista de frente da drenagem nos taludes; (c) Drenagem ao longo da lateral da cava

Fonte: GOMES (2015)

Logo, fica nítido o papel antagônico que a água tem na mineração, pois ao mesmo tempo que é necessária para diversos processos e operações, é também o ingrediente que proporciona vários problemas que para serem evitados ou reduzidos geram custos significantes (IBRAM, 2006).

2.5 Taludes

Segundo Brito (2011), o talude é o principal componente de uma mina a céu aberto e ele é definido quanto à geologia e geotecnia da área. A geologia define a profundidade e a extensão da cava, enquanto a geotecnia trata da inclinação dos taludes operacionais e finais da mina.

O ângulo de um talude varia de mina para mina, e o ângulo máximo deriva de trabalhos geotécnicos. Os ângulos mais íngremes resultam em maior rentabilidade e os ângulos mais suaves, em maior segurança. Logo, é necessário encontrar o equilíbrio entre as duas necessidades.

Brito (2011) classifica as deformações dos taludes em quatro grupos:

- Descarregamento;
- Movimento;
- Ruptura;
- Queda de rochas.

O descarregamento não é visível, sendo detectado apenas por instrumentos e não resulta, necessariamente, em uma ruptura. O movimento é uma constatação visual de trincas ou estofamentos no pé da instabilidade no talude, podendo ser monitorada e corrigida com alterações na geometria e inclinação do talude e das drenagens, para evitar ruptura. Já a ruptura ocorre quando o deslocamento do material no talude não possibilita mais sua operação ou condições seguras de trabalho. E a queda de rochas, que é o desprendimento de rochas do talude, pode indicar movimentos maiores, devido a problemas na execução ou no projeto.

A partir de monitoramentos constantes dos taludes, é possível verificar a necessidade para conformação ou readequação do mesmo, para garantir que não haja queda de blocos ou deslizamento de material e, assim, evitar obstáculos nas pistas, mantendo a segurança para

taludes operacionais e taludes finais. As Figuras 14 e 15 que mostram a diferença entre taludes da mesma mina antes e depois de sua reconformação.



Figura 14 – Área sem retaludamento em uma mina brasileira.

Fonte: Autor (2019)



Figura 15 - Taludes após reconformação em uma mina brasileira.

Fonte: Autor (2019)

2.6 Indicadores de Desempenho

Indicador de desempenho, segundo Lima (2005) é a união de medidas que concede as informações e dados sobre quão bem o trabalho de um produto ou processo tem sido feito, contribuindo à liderança da mina na tomada de decisão.

Na mineração, existe uma infinidade de indicadores de desempenho que nos dá o grau de desempenho executado em cada trabalho realizado, desde a pesquisa mineral até o desempenho econômico. No que tange a operação de mina, como exemplo de indicadores pode-se citar: tempo de carregamento, tempo de basculamento, tempo de transporte, tempo de perfuração, inclinação das pistas e rampas, distância até a descarga, massa carregada por hora, toneladas produzidas por hora, relação estéril-minério (REM) etc. Vale ressaltar que cada tipo de material tem valores referência para sua exploração, como por exemplo, podemos citar a REM de uma lavra de minério de ferro ser geralmente maior que a REM de uma pedreira por conta dos seus valores de venda.

Esses indicadores podem ser classificados em 3 grandes grupos, que competem à diferentes setores (ou gerências) em uma mina, como listado a seguir.

- Distância média de transporte (DMT): determinação advindo do planejamento de lavra;
- Velocidade média: determinada pelos trabalhos de infraestrutura de mina;
- Tempos fixos: tempos de tarefas cíclicas, monitorados pela operação de mina.

A DMT é definida, de maneira geral, pelo planejamento de lavra, quando são projetadas e sequenciadas as frentes de lavra. Portanto é uma determinação com pouca flexibilidade, pois para que mudanças significativas ocorram, é necessário uma nova distribuição e rearranjo do plano diretor do projeto. A DMT também é uma consequência da distribuição do minério *in situ* e das instalações fixas, como a usina e a pilha de depósito de estéril.

A infraestrutura de mina atua diretamente nos tempos variáveis presentes na operação, como o tempo movimentando cheio ou tempo movimentando vazio. Em resumo, sua atuação determina as velocidades máximas instantâneas que poderão ser atingidas nos trechos pelos veículos de rodas.

A operação de lavra, por sua vez, é o setor que tem como responsabilidade a distribuição correta dos equipamentos de operação na mina e redução dos tempos fixos, a fim de se melhorar a produção. São exemplos de tempos fixos para caminhões: tempo de manobra, tempo de fila para carregamento, tempo de carregamento, tempo de fila para basculamento, tempo de basculamento e tempos de paradas para desmonte.

Tratando-se de infraestrutura, as variáveis que mais impactam na produtividade estão relacionadas aos itens que interferem nas condições de trafegabilidade nos acessos e dificultam o rendimento dos equipamentos, diminuindo produções e aumentando custos. Os itens mais relevantes são, como comentado na seção 3.3.2, a resistência ao rolamento e a inclinação.

Em estudo realizado por Thompson e Visser (2003b), foi possível constatar a influência do coeficiente de rolamento e da inclinação nos custos operacionais de transporte, as necessidades de manutenção e as condições da camada funcional dos pavimentos. No mesmo estudo, foi verificado que, a partir de bom projeto e execução das camadas estruturais, a superfície tornava-se mais resistente às cargas e tráfego dos equipamentos, sendo causados menos danos e alterações, resultando num menor valor de resistência ao rolamento. Apesar disso, é de suma importância que todos os projetos estejam bem definidos para que se tenha a menor resistência de rolamento possível.

A resistência ao rolamento é uma força contrária ao sentido de movimento do veículo, ou em outras palavras, é uma manifestação das perdas de energia causadas pelo afundamento do pneu na via e pelas deformações do pneu devido ao próprio peso ou devido sua carga. Para o mesmo torque, quanto maior for a força contrária, menor será a velocidade de transporte. Em condições de grande resistência ao rolamento, maiores velocidades requerem maiores torques, ou seja, requerem maior consumo de combustível. De maneira análoga, a inclinação dificulta o transporte dos equipamentos, aumenta o consumo de diesel e o desgaste dos pneus e componentes mecânicos. Dessa forma, é importante que as inclinações dos acessos respeitem o projeto para se ter melhores condições de operação. A Figura 16 ilustra as variações de inclinação de rampa ao longo das pistas de uma mina.



Figura 16 - Variações de gradiente ao longo do acesso

Fonte: Modificado de Thompson (2014)

No que tange a produção, a principal influência da inclinação de rampas e da resistência ao rolamento é na velocidade de transporte dos equipamentos, pois essas são variáveis que impactam diretamente o ciclo operacional e, consequentemente, na produtividade da mina. Segundo Thompson (2014), para cada 1% que se aumenta na resistência ao rolamento, 10% da velocidade é reduzida em rampas e 26% da velocidade é reduzida nos acessos horizontais.

Comumente, na mineração, a resistência ao rolamento e a inclinação são tratadas em termos percentuais, de maneira que cada 1% de resistência equivale à 10kg/t, ou seja, para cada ponto percentual a mais na resistência, há um incremento representativo de 10kg por tonelada, referente a carga total aplicada na superfície, sendo necessário maior esforço do motor do caminhão para vencer as resistências que lhe são impostas, seja devido uma via mais esburacada ou uma rampa mais inclinada. Para retratar o impacto dessas variáveis, a Figura 17 demonstra, numericamente, a influência da resistência total no tempo de trajeto do equipamento de carga quando vazio e a Figura 18 quando carregado:

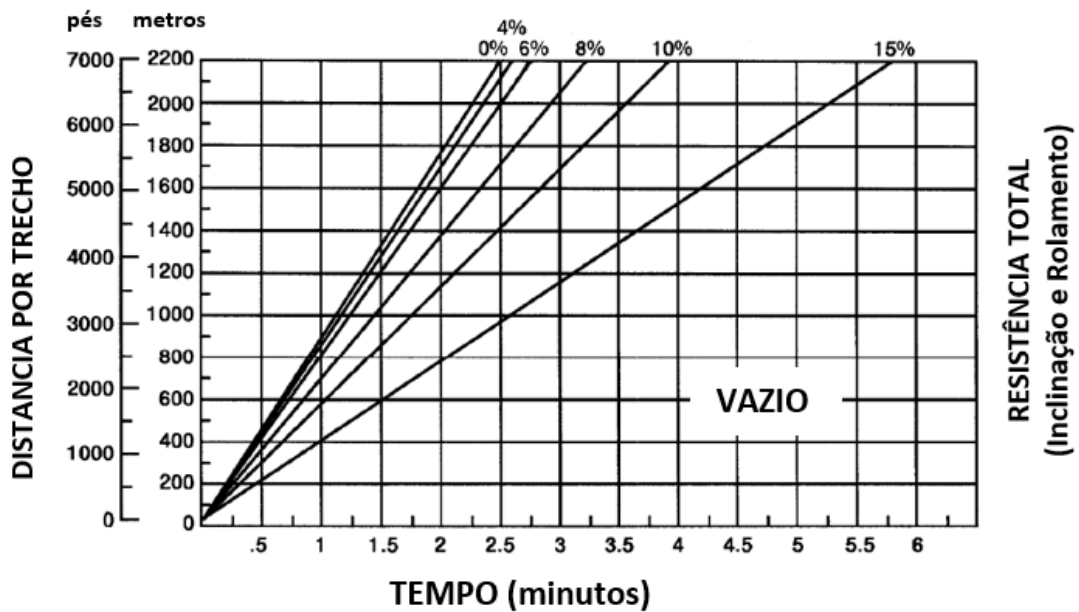


Figura 17 - Tempo de transporte vazio do caminhão CAT 793C com variação da resistência total

Fonte: Modificado de Tannant e Resenburg (2001)

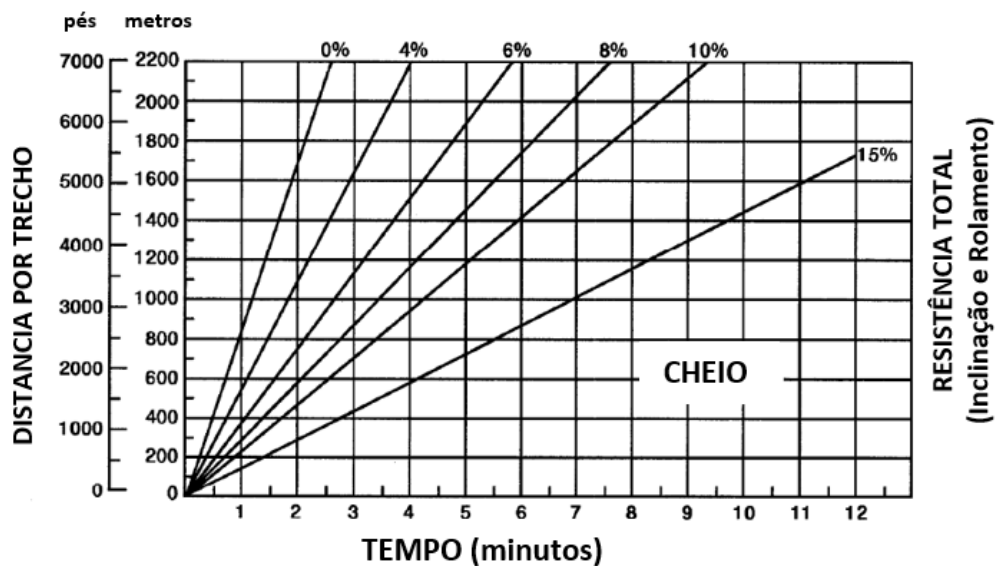


Figura 18 - Tempo de transporte carregado do caminhão CAT 793C com variação da resistência total

Fonte: Modificado de Tannant e Resenburg (2001)

Ter em uma mina um tempo de ciclo muito maior que o dimensionado gera perdas em filas e paradas, uma vez que isso representaria um superdimensionamento da quantidade de equipamentos, além de maiores custos de combustível pelos equipamentos nas filas e redução

significativa da produção horária. Esse impacto das forças contrárias ao movimento do caminhão é mostrado na Figura 19.

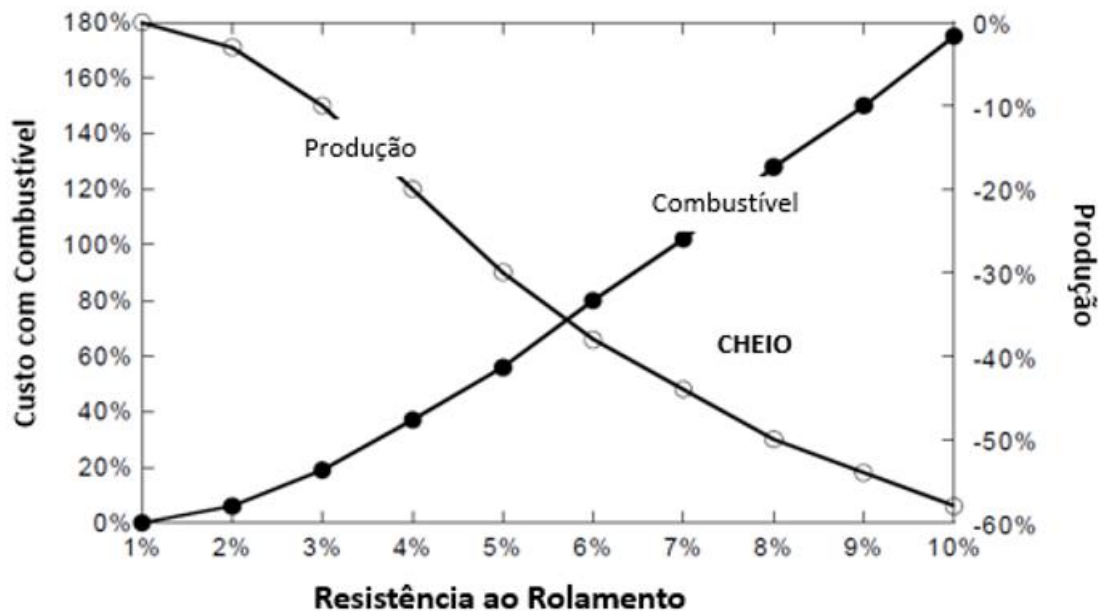


Figura 19 - Influência da resistência de rolamento no desempenho de mina

Fonte: Modificado de Tannant e Resenburg (2001)

Acessos bem obrados e preservados possibilitam melhorias na produção, menores desgastes dos equipamentos, redução de trocas de componentes, maior vida útil dos caminhões e pneus, redução no consumo de combustível e colaboradores operando em melhores condições de segurança e trabalho.

Portanto, deve-se ter muita atenção quanto aos projetos de estradas na mineração, analisando todas as variáveis possíveis para otimizar seu custo de construção, custo de manutenção, custo de operação e garantir que o trabalho ocorra de maneira adequada.

3 EQUIPAMENTOS AUXILIARES NA MINERAÇÃO A CÉU ABERTO

3.1 Atividades na mineração à céu-aberto

Na mineração, as atividades que geralmente atraem maior atenção são aquelas que produzem valor para a empresa, ou seja, geram receita. Para Hartman e Mutmanský (2002), essas atividades têm por objetivo levar o material da frente de lavra até a usina. Elas são divididas em etapas cíclicas, denominadas operações unitárias de lavra, que geralmente são: perfuração, desmonte, carregamento e transporte.

Ainda, segundo Hartman e Mutmanský (2002), as operações que dão suporte ao ciclo de produção são denominadas operações auxiliares. Essas operações compõem os serviços de infraestrutura de mina, que, de acordo com Vieira (2013), são atividades suplementares, que desempenham os trabalhos necessários para que o que foi planejado seja executado com níveis de desempenho e de segurança adequados. Dentre as responsabilidades da infraestrutura de mina, pode-se destacar:

- Abastecimento dos equipamentos de produção;
- Construção do sistema de drenagens da cava;
- Criação e manutenção de acessos e rampas;
- Disposição e conformação de material nas pilhas de estéril (PDE) e pilhas-pulmão;
- Retaludamento e rebaixamento de bancos;
- Apoio à geologia de mina;
- Sinalização de mina.

Essas atividades serão citadas ao longo do trabalho de forma a explicitar a importância delas para o bom andamento da mina.

3.2 Equipamentos auxiliares

Equipamentos auxiliares são aqueles utilizados nas atividades de infraestrutura previamente mencionadas. Para realizar esses serviços, são necessários diversos tipos de máquinas. Sendo

assim, faz-se necessário tomar conhecimento dos equipamentos existentes, suas principais características e suas aplicações nas atividades suplementares.

Os equipamentos auxiliares a serem apresentados no presente trabalho são:

- Motoniveladora;
- Trator de Esteiras;
- Trator de Pneus;
- Carregadeira de Pneus;
- Escavadeiras;
- Rompedor Hidráulico;
- Retroescavadeiras;
- Caminhão Pipa;
- Comboio de Abastecimento e Lubrificação;
- Caminhão Pipa de Abastecimento;
- Caminhão Guindauto.

3.2.1 Motoniveladora

A motoniveladora, conhecida popularmente como “patrol”, é um equipamento nivelador que tem acoplado uma lâmina que possui diversas formas de movimentação. Através de seus pistões hidráulicos, pode ser abaixada, levantada e girar sob um eixo (JAWORSKI, 2011)

A motoniveladora é utilizada na infraestrutura de mina para nivelar terrenos, conformar superfícies e pés de taludes, realizar espalhamento de material e romper o piso através de pequenos cortes (valetas) pouco profundos. Além disso, ela é utilizada na construção e manutenção dos acessos. É um equipamento que possui baixo torque (quando comparado a um trator) e, por isso, não é recomendado como quebra-montes, pelo contrário, foi projetada para acabamentos de material descarregado.

O escarificador é outro componente que pode ser acoplado à motoniveladora. Ele tem como função principal a mistura, para homogeneização de materiais e é utilizado em escarificações

leves. A Figura 20 mostra uma motoniveladora da marca Caterpillar® e a Figura 21 ilustra a movimentação da lâmina em planta.



Figura 20 - Motoniveladora Caterpillar 140M AWD

Fonte: Caterpillar (2019).

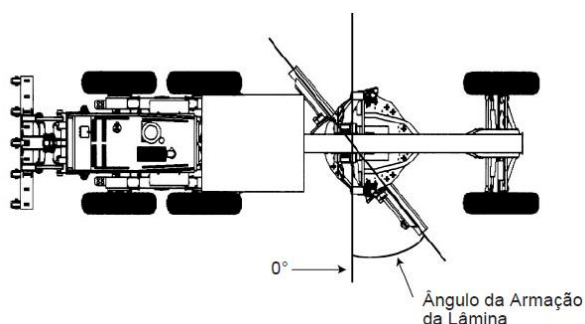


Figura 21 - Motoniveladora Caterpillar em planta

Fonte: Caterpillar (2017).

Jaworski (2011) sugere que a via seja laminada 5 vezes para que a pista seja regularizada de maneira adequada, divididas da seguinte forma: 2 passadas na extremidade do acesso; 2 passadas entre a área já regularizada e o centro; e, por fim, uma laminada final no centro, de maneira a espalhar e nivelar o material. Tal metodologia é retratada na Figura 22, enquanto a Figura 23 ilustra o equipamento em atividade.



Figura 22 - Regularização de acessos na mineração.

Fonte: Jaworski (2011).



Figura 23 - Motoniveladora Caterpillar em Operação

Fonte: Caterpillar (2019)

Da mesma forma que existem caminhões de diferentes portes, existem as motoniveladoras de diferentes tamanhos. Elas podem variar tanto no tamanho e no torque do equipamento, como variar apenas na largura da lâmina para melhorar a produtividade de acabamento e nivelamento da superfície. Portanto, existe uma compatibilidade esperada entre a largura dos acessos e a motoniveladora.

Caso seja escolhida uma motoniveladora mais econômica, de menor tamanho e força para um acesso muito largo, pode-se pensar na troca de lâmina optando por uma de maior comprimento. Apesar do raciocínio ser válido, a parte mecânica do equipamento não suportaria o esforço realizado pelo material contra a lâmina, gerando maiores desgastes e menor produtividade,

reduzindo o tempo de vida do equipamento e, conseqüentemente, aumentando custos. Logo, a troca de lâmina não é recomendável, apesar de possível. Existem algumas combinações de motoniveladoras para o tipo de caminhão utilizado na mina, sugeridas pelo fornecedor do equipamento. A Figura 24 relaciona os caminhões (representados pelos números 740, 770, 745, 777, 785, 789, 783 e 797) com o modelo sugerido de motoniveladora.

	740	770	775	777	785	789	793	797
12/140/160								
14								
16								
18								
24								

Figura 24 - Compatibilidade Motoniveladora versus caminhão.

Fonte: Caterpillar (2017).

Portanto, é de grande importância uma boa avaliação das propriedades e das dimensões de todos acessos para escolher o equipamento que realizará uma manutenção adequada e econômica.

3.2.2 Trator de esteiras e rodas

Para Vieira (2013), trator é definido como uma unidade autônoma que atua tracionando ou empurrando outras máquinas e/ou materiais. Além disso, é tido como um dos mais versáteis equipamentos de infraestrutura, podendo ser adicionado a ele diversos acessórios para realizar diversos tipos de atividades. O trator é imprescindível para a movimentação de terra em pequenas distâncias.

Atualmente, existem dois tipos de tratores com lâmina, cuja denominação depende do mecanismo utilizado para sua locomoção. Quando sobre um par de esteiras, é denominado por trator de esteiras; quando montado sobre pneus, é conhecido como trator de rodas (Figura 25a e 25b).



Figura 25 – Trator (a) de esteiras; (b) de rodas

Fonte: Caterpillar (2019).

Em decorrência da diferença de conjunto para locomoção entre os dois tratores, o esforço trator, a velocidade, a aderência, a flutuação e o balanceamento são fatores que também variam.

Os tratores montados sobre esteiras possuem maior área de contato com o terreno, portanto, exercem menor pressão sobre ele. Além disso, as esteiras propiciam maior aderência com o solo e melhor equilíbrio da máquina. A pressão exercida pelo trator de esteira no terreno varia de 0,5 a 0,8 kg/cm². Já os equipamentos sobre rodas apresentam uma pressão entre 3,0 a 6,0 kg/cm², entretanto, podem desenvolver maiores velocidades de locomoção e, por isso, abranger maiores áreas de trabalho (VIEIRA, 2013).

Devido à essas diferentes características, os tratores de roda e de esteiras têm campos de atuação distintos. Segundo Vieira (2013), para locais de trabalhos com rampas e acessos de grande inclinação, curtas distâncias para realização do serviço e necessidade de grande força de tração, os tratores de esteiras são a melhor opção. Já o trator de pneus exerce melhor suas funções quando trabalha sob locais com menores declividades, com uma topografia apropriada para veículos com rodas, podendo atender pontos separados por muitos metros de distância; dessa forma, ele faz uso da sua característica mais vantajosa, que é a velocidade de trabalho. A Tabela 1 retrata de maneira simplificada as características de cada tipo de trator.

Tabela 2 - Características dos tratores de esteiras e de rodas

CARACTERÍSTICAS	TRATORES	
	ESTEIRAS	RODAS
Esforço de Tração	Elevado	Limitado
Aderência	Boa	Má
Flutuação	Boa	Regular a má
Equilíbrio	Bom	Bom
Velocidade	Baixa (<10 km/h)	Alta (<70 km/h)
Custos de Manutenção	Elevados	Menos Elevados

Fonte: Couto (1990).

Tratando-se de mineração a céu aberto, a topografia desfavorável dificulta a utilização de tratores de pneus, por isso as mineradoras optam pelos tratores de esteiras para os serviços de infraestrutura de mina na maioria das vezes. Dentre os trabalhos executados pelos tratores de esteira estão:

- Execução de rampas e criação de acessos;
- Construção, manutenção e readequação das praças e pistas de rolamento;
- Disposição e espalhamento de estéril nas Pilhas de Depósito de Estéril (PDE);
- Disposição e espalhamento de minério em pilhas pulmões;
- Retaludamento de PDE e taludes;
- Rebaixamento de banco;
- Redistribuição de minério ou estéril em pequenas distâncias.

Os tratores de esteiras, por possuírem alta tração e resistência, são utilizados para cortar e modificar as superfícies do terreno, muitas vezes com alta declividade, de forma a amenizar a inclinação, a fim de criar novas rampas e estradas para o tráfego. Pelo mesmo motivo, são utilizados para espalhamento e conformação do material descarregado nas pilhas de depósito de estéril e pilhas pulmões. São utilizados também para juntar os fragmentos de material provenientes do desmonte de rochas espalhados na via e nas praças de carregamentos, para facilitar o carregamento e reduzir possíveis problemas de pneus furados.

Pela facilidade de locomoção em locais de instabilidade e inclinados, os tratores de esteiras são utilizados para retirar o excesso de material presente nas laterais e taludes da cava e da pilha de depósito de estéril, com o objetivo de melhorar a sua geometria e reduzir riscos de queda do material remanescente. O mesmo pode ser feito para bancos, sendo que o trator é usado para movimentar e empurrar o material do banco para algum lugar mais seguro, para reduzir o risco de deslizamento e, conseqüentemente, acidentes. A Figura 26 mostra um trator empurrando material em uma mina.



Figura 26 - Trator D11T movimentando terra em uma mina

Fonte: Caterpillar (2019).

3.2.3 Pá carregadeira

A pá carregadeira é um equipamento que pode estar sobre rodas ou sobre esteiras, sendo o mais comum a utilização de pneus como material rodante. Para as atividades auxiliares da mineração, as pás-carregadeiras de pneus são mais recorrentes. Podem variar de tamanho acompanhando o porte dos caminhões para que trabalhem no carregamento de materiais, sendo enquadrada, nesse caso, como equipamento das operações unitárias de lavra.

No caso das atividades de infraestrutura de mina, geralmente utiliza-se pás-carregadeiras de menor porte. Para os serviços suplementares, as mineradoras optam por equipamentos de conchas com capacidade entre 2 a 5 m³ e que, por conta do tamanho reduzido, tem certa facilidade de realizar tarefas em locais mais apertados ou até mesmo no meio das vias, não bloqueando totalmente o acesso.

Segundo Jaworski (2011), assim como o trator de pneus, a carregadeira de pneus utiliza o mesmo conjunto de rodas para se locomover, logo, as características relacionadas às condições, tipo de terreno e as circunstâncias de seu trabalho são igualmente aplicáveis. Assim como para o trator, ela deve ser utilizada sob terrenos mais firmes e secos e operar, preferencialmente, carregando materiais bem fragmentados. A Figura 27a mostra o equipamento e a Figura 27b as dimensões do equipamento.

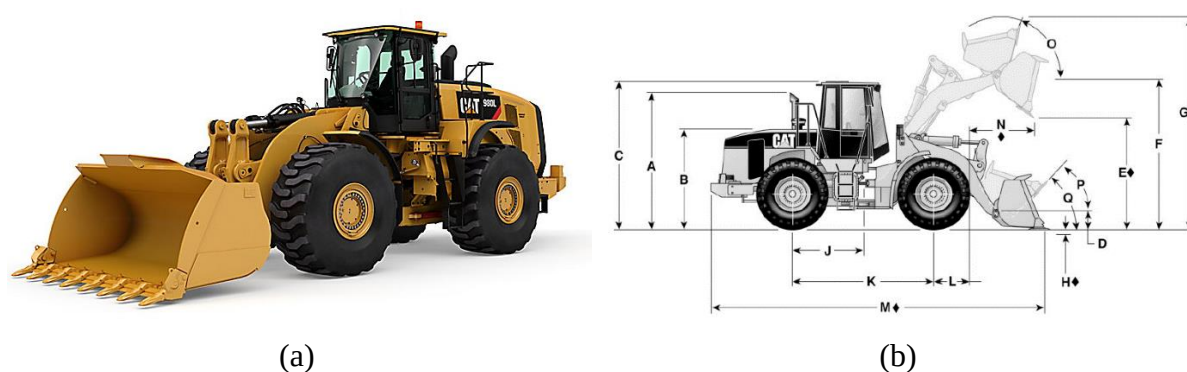


Figura 27 -(a) Carregadeira 980L; (b) Carregadeira 980H

Fonte: (a) Caterpillar (2019); (b) Caterpillar (2017).

Suas vantagens são a grande mobilidade devido à direção articulada, agilidade no deslocamento de uma frente de serviço para outra e grande capacidade de carregamento e transporte (o transporte recomendado é até aproximadamente 50 m). A Figura 28 ilustra a articulação da carregadeira de pneus.

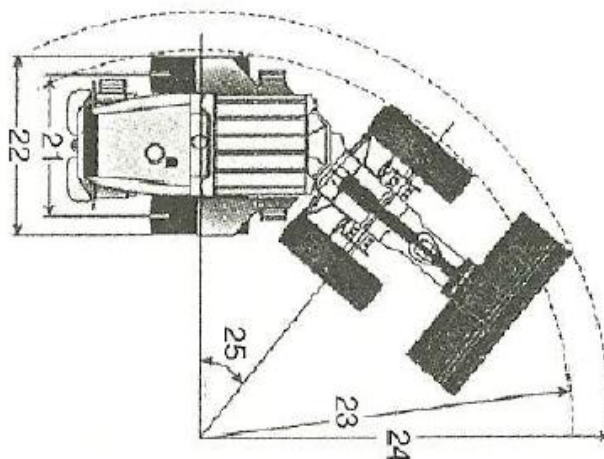


Figura 28 - Articulação e movimento CAT 925G

Fonte: Caterpillar (2006)

Como serviços suplementares em que se utiliza a pá-carregadeira pode-se destacar:

- Limpeza de praças;
- Limpezas para detonação e outros;
- Carga e descarga de insumos;
- Criação e manutenção de leiras de proteção.

Pela sua facilidade de locomoção, são comumente utilizadas para transporte de quantidades menores de materiais, sejam eles estéril (para criação de leiras ou de coque), gesso ou algum outro insumo necessário para atender uma solicitação específica. Geralmente, são utilizadas para manutenção de leiras nos acessos e para fechar algum caminho, utilizando sua concha para compactar e conformar a leira de segregação.

3.2.4 Escavadeira

As escavadeiras são equipamentos que possuem baixa mobilidade, portanto, operam melhor em atividades que utilizam a máquina estacionada ou com pouca locomoção (JAWOSKI, 2011). Suas esteiras possibilitam trabalhos em locais de maior declividade, sobre materiais pouco compactados e até considerável umidade. A Figura 29a e Figura 29b ilustram o equipamento e os movimentos de seu braço, respectivamente.

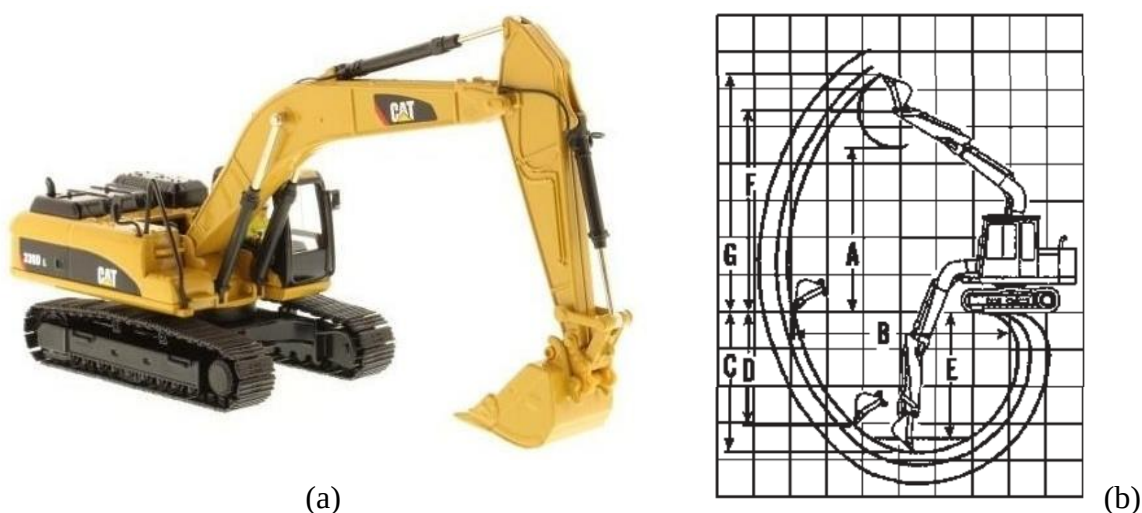


Figura 29 - (a) Escavadeira 336D; (b) Movimento da Escavadeira 336D

Fonte: (a) Caterpillar (2019); (b) Caterpillar (2016).

Assim como as pás-carregadeiras, as escavadeiras são comumente conhecidas na mineração por atuarem no carregamento dentro das operações principais de lavra. Apesar disso, o que é pouco conhecido, é que esses mesmos equipamentos são utilizados pela equipe de infraestrutura de mina para reconfiguração de taludes de frentes de lavras. A intensa movimentação de materiais implica em contínuas alterações da geometria da cava, portanto, gera momentos em que seus taludes não necessariamente estão de acordo com o projeto para garantir sua estabilidade, exigindo os trabalhos de acerto nas zonas de extração (VIEIRA, 2013).

Durante a etapa de produção, o carregamento é feito objetivando a maior quantidade de material movimentado por hora, assim, após a conclusão da extração do bloco, certa quantidade de minério ou de estéril que não foi completamente retirar permanece no talude. Com isso, é utilizado escavadeiras para remover o material em excesso e garantir maior segurança com a redução da probabilidade de queda de blocos, bem como no cumprimento do planejamento de lavra quanto aos parâmetros geotécnicos para taludes operacionais e finais.

A reconformação de taludes, também conhecida como “peantear” é uma atividade secundária e que não é feita para gerar receita, por isso, é considerada improdutiva. A Figura 30 exemplifica esse trabalho de “pentear” o talude de bancada.



Figura 30 - Vista lateral da atividade de reconfiguração de talude

Fonte: Imagem adaptada do Relatório CI, Vale/Sotreq, Melhoria no Processo de Estabilização de Taludes (2012)

3.2.5 Rompedor Hidráulico

Rompedores hidráulicos, martelo rompedor ou martelo hidráulico é um tipo de ferramenta utilizada para perfurar, demolir ou quebrar material por ação de ar comprimido. Existem diversos tamanhos de rompedores que variam de acordo com o objetivo de uso. Eles podem ser divididos pelo seu peso como mostra a seguinte lista (REVISTA M&T, 2015):

- Rompedores leves: de 50 a 700 kg;
- Rompedores médios: de 750 a 1.700 kg;
- Rompedores pesados: de 2.000 a 10.000 kg

A Figura 31 ilustra os tamanhos dos rompedores mencionados.



Figura 31 - Diferentes tamanhos de rompedores hidráulicos

Fonte: Epiroc (2019).

Os menores são constituídos de uma estrutura única com um corpo e lança. Já os rompedores maiores e mais pesados, que geralmente são usados na mineração, são acoplados às máquinas-portadoras como escavadeiras hidráulicas (Figura 32).



Figura 32 - Rompedor Hidráulico acoplado à uma escavadeira

Fonte: Getefer (2016)

Os rompedores hidráulicos são utilizados para perfurar e quebrar os matacos e blocos maiores resultantes de um desmonte de rocha inadequado, de maneira que seja possível realizar o carregamento correto do material pelos equipamentos de carga, bem como não danificar os equipamentos de transporte. A atividade realizada pelos rompedores hidráulicos é também conhecida como desmonte secundário.

3.2.6 Retroescavadeira

As retroescavadeiras são os menores e mais versáteis equipamentos de infraestrutura de mina. Ela é basicamente um trator composto por uma caçamba na parte da frente e uma pequena concha em sua traseira. Ela também é um dos equipamentos mais requisitados nas atividades de infraestrutura de menor porte na mineração e construção civil devido a sua grande agilidade. A Figura 33 mostra uma retroescavadeira Caterpillar modelo 420F e a Figura 34 ilustra sua articulação e possíveis movimentos da sua concha e caçamba.



Figura 33 - Retroescavadeira CAT 420F

Fonte: Caterpillar (2019)

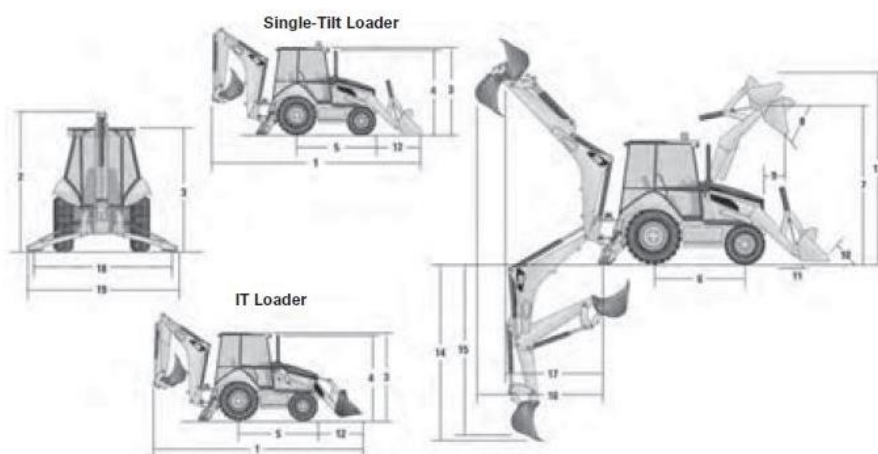


Figura 34 - Retroescavadeira CAT 420F

Fonte: Caterpillar (2017)

A caçamba da parte dianteira é utilizada para transporte dos mais diversos materiais de uma frente de serviço para outra, retirada de entulhos e outros objetos, além de nivelamento de pequenos terrenos. Já na parte de trás, a concha é responsável por escavações de valas e buracos de pequenas profundidades, muito utilizado na construção de *sumps* na mineração (Figura 35) Entende-se por *sump* como um tanque ou uma bacia escavada, com a finalidade de armazenamento e coleta de água para decantação.



Figura 35 - *Sump* no fundo da Cava

Fonte: Gomes (2015)

Comparativamente, o baixo custo de aquisição, manutenção e a função “2 em 1” fazem com que a retroescavadeira seja um equipamento versátil para diversos tipos de atividade de infraestrutura de mina.

Na mineração, as retroescavadeiras são responsáveis, principalmente, pelas escavações de valas para o sistema de drenagens da cava. Essa atividade é feita tanto em bancadas finais de menor largura, como nos acessos e rampas de trânsito incessante. Dessa forma, o tamanho da retroescavadeira se torna um importante fator para não interferir muito nos acessos e na produção e possibilitar a entrada do equipamento nas bancadas. A Figura 36 exemplifica uma retroescavadeira escavando uma vala para drenagem e direcionamento da água. A situação retrata um serviço feito em uma rodovia, mas o mesmo ocorre nos acessos da mineração.



Figura 36 - Retroescavadeira escavando vala para escoamento de drenagem

Fonte: Soma Construtora (2012)

3.2.7 Aspersores fixos e móveis

A geração de poeira e particulados provenientes dos acessos não pavimentados é um problema da maioria das minerações. Para Thompson e Visser (2000), mesmo com a utilização de melhores materiais para serem usados como revestimento nos acessos, a geração das partículas suspensas não é eliminada e, por isso, a aspersão de água e/ou solução é necessária para mitigar esse problema.

Atualmente, existem dois métodos de aspersão: o primeiro é o método de aspersão fixa, em que são colocados, ao longo de acessos específicos, os aspersores que fazem a umectação da via em com uma frequência determinada. A Figura 37 e 38 abaixo retratam a utilização de aspersores fixos no Complexo de Carajás e na Mina de Brucutu, respectivamente.



Figura 37 - Aspersão fixa no Complexo Carajás

Fonte: Irricom (2016)



Figura 38 - Aspersão fixa na Mina de Brucutu

Fonte: Irricom (2016)

O segundo método é a aspersão móvel, em que utiliza-se o caminhão-pipa ou caminhão-cisterna. Segundo Silva (2018), o caminhão-pipa pode ser definido como um caminhão que possui um tanque que varia sua capacidade de 10 m³ até 30 m³ e possui um sistema de bombeamento interno, que, através de aspersores ou irrigadores, consegue liberar água ao ambiente, ilustrados pela Figura 39. Devido à facilidade de transporte de água, pode-se utilizar

o caminhão-pipa para situações emergenciais, como combates a pequenos incêndios nas matas e nas imediações de uma mineração.



Figura 39 - Caminhão Pipa de 22m³

Fonte: Lafaete (2016)

Para minas de grande porte, é mais comum a utilização de foras de estrada adaptados para esse fim, uma vez que possuem capacidade de transportar maior volume de água e, conseqüentemente, menos paradas para abastecimento. Entende-se como minas de grande porte aquelas que, anualmente, produzem mais de 1 milhão de toneladas por ano de minério-bruto (DNPM, 2017). Como exemplo, tem-se o CAT 773-G (Figura 40) com capacidade do tanque para aproximadamente 50 m³. A Komatsu também tem feito adaptações similares, como exemplificado na Figura 41.



Figura 40 - CAT 773-E em operação

Fonte: GroundForce Worldwide (2019)



Figura 41 - Fora de Estrada Komatsu adaptado para aspersão

Fonte: Autor (2018).

3.2.8 Equipamento de abastecimento e lubrificação

Existem equipamentos responsáveis pelo abastecimento de combustível para as máquinas da operação ou que estão distribuídos na cava, que, por algum motivo, apresentam dificuldades de locomoção. Entre eles, pode-se citar: os equipamentos de esteira (escavadeiras, tratores e perfuratrizes) que possuem, originalmente, limitação quanto a sua locomoção; e equipamentos de pneus que permanecem constantemente nas frentes de serviço (retroescavadeiras e motoniveladoras). Geralmente, os caminhões fora de estrada são abastecidos em postos fixos instalado em local estratégico ou durante o tempo de desmonte, hora de manutenção preventiva ou corretiva, mas caso estejam com o nível de combustível baixo no meio de sua operação, eles também são abastecidos pelos comboios para evitar pane seca.

Para o fornecimento de diesel necessário para manutenção e operação dessas máquinas é utilizado o comboio de lubrificação. Segundo Stabelini (2019), comboio de lubrificação é uma unidade móvel de abastecimento e lubrificação que consegue atender aos chamados em locais de difícil acesso e atuam como oficinas volantes, ou seja, fazem pequenas manutenções na frente de lavra para não haver necessidade de a máquina ser encaminhada para a oficina. Também conhecida no Brasil como “Melosa”, os comboios de lubrificação transportam, além do combustível diesel, ferramentas para manutenções, óleos, água potável, graxa, tanque ARLA, tanque de arrefecimento e compressores de ar.

Os comboios, por sua vez, são comumente divididos em dois grupos, de acordo com sua configuração:

- Configuração aberta;
- Configuração fechada.

O comboio de configuração aberta é aquele que apenas cobre na parte superior os insumos carregados pelo equipamento. Esse tipo está em desuso, uma vez que apresenta menor segurança e menores cuidados em relação ao meio ambiente, por existir a possibilidade de saída dos fluídos para o ambiente externo, já que o compartimento não é confinado (STABELINI, 2019) (Figura 42). Já o modelo de configuração fechada possui estrutura modular e protegida, para segregar os diferentes tipos de insumos que carrega, além de evitar possíveis contaminações. Por isso, os comboios de configuração fechada são os preferíveis da indústria pesada e da mineração. Dentre os materiais que o equipamento transporta, um que tem destaque é o kit de mitigação, utilizado para situações emergenciais de vazamento de óleo ou combustível. A Figura 43 ilustra o Comboio de Lubrificação (fechado) e seus compartimentos.



Figura 42 - Comboio de Lubrificação (Aberto)

Fonte: EMAQ – Indústria e Comércio (2019)



Figura 43 – Compartimentação do Comboio de Lubrificação (Fechado).

Fonte: Romanelli Equipamentos (2019)

Quanto à divisão física do equipamento, geralmente, utiliza-se um lado para transporte de óleos, água, graxas e itens diversos, enquanto na outra metade do caminhão é colocado um único tanque para armazenamento de combustível diesel. Dessa maneira, a versatilidade do equipamento aumenta consideravelmente, atendendo diversas demandas das máquinas em operação na lavra.

3.2.9 Caminhão Guindauto

O guindaste veicular articulado ou caminhão guindauto ou caminhão Munck, como é popularmente conhecido, é um automóvel que possui acoplado ao chassi um guindaste de içamento para carregamento, transporte e descarga de variados tipos de carga, desde que atenda a capacidade mencionada no guindaste e do chassi do caminhão. O guindauto é utilizado para o içamento e transporte de peças grandes, pesadas ou desajeitadas, que precisam mudar de local.

Existem variações nas partes do conjunto, ou seja, vários tipos de caminhões para diferentes tipos de guindastes, não necessariamente do mesmo fabricante. Para a mineração especificamente, é preferível caminhões traçados ou *bi-truck* para poderem acessar com facilidade à área de mina e poderem atender aos serviços demandados, bem como guindastes mais robustos para transportar objetos mais pesados.

Para operar, primeiramente, é necessário que a área seja isolada para garantir a segurança de pessoas que possam transitar na proximidade. Após isso, as patolas (de uso obrigatório) devem ser abertas para fornecer estabilidade ao equipamento para o içamento da peça que se deseja transportar, evitando tombamentos. É recomendável que o caminhão carregue e descarregue os

objetos em local plano e estável. Logo depois, pode-se iniciar o processo de abertura do guindaste e carregamento do caminhão.

Os caminhões Munck são também máquinas muito versáteis podendo movimentar diversos itens para os serviços auxiliares de minas, alguns deles são: pneus velhos para serem utilizados para sinalização, radar, container, escritórios de campo, bombas, geradores, banheiro químicos, torres de iluminação, peças pesadas nas oficinas de manutenção e os pontos de acesso, conhecidos como COW (*Cell-on-wheel*). Na Figura 44 é possível visualizar um caminhão guindauto fazendo carregamento de placas metálicas.



Figura 44 - Caminhão Guindauto em operação

Fonte: JZ Munck (2019)

O trabalho dos guindautos é garantidor da continuação da lavra em determinadas situações, como, por exemplo, movimentação de torres de iluminação de uma frente de serviço finalizada para uma que está em operação.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho possibilitou uma abordagem mais generalizada sobre infraestrutura de mina e seus equipamentos, detalhando os diversos fatores que influenciam na operação de lavra.

Primeiramente, as atividades da infraestrutura de mina foram apresentadas por meio de diversos exemplos, para mostrar que as peculiaridades de uma mina poderão demandar mais de um serviço do que do outro, de forma que é improvável que exista uma padronização para os serviços de infraestrutura. Dessa forma, a geografia e a geologia são aspectos fundamentais na programação e planejamento da manutenção de acessos, de estruturas de drenagens e taludes de mina.

Na sequência, foram identificados 9 equipamentos auxiliares nas minas a céu aberto e suas principais funções na viabilização das operações de lavra. Características das motoniveladoras, tratores, pás-carregadeiras, escavadeiras, rompedores, retroescavadeiras, caminhões-pipa, equipamentos de abastecimentos e guindautos foram apresentadas e discutidas.

Tendo em vista os aspectos observados, conclui-se que a mineração a céu aberto tem seu rendimento vinculado às condições da infraestrutura de mina, em que a qualidade das praças de carregamento, das estradas e rampas mineiras, da operacionalização das frentes de lavra e pilhas de estéril, das drenagens superficiais e da condição dos taludes definem quais serão os resultados da mina, se haverá aumento ou redução de custos e de produção em vários níveis.

Por fim, conclui-se que uma boa interface entre os setores da lavra, constituído pelo planejamento de lavra, operação e infraestrutura, assegura uma produção eficiente, econômica, segura e sustentável.

Em vista da quantidade de material sobre o assunto e que esses equipamentos geralmente são dimensionados empiricamente, os seguintes tópicos são sugeridos para trabalhos futuros:

- Ser feito um estudo que possa quantificar a influência das atividades de infraestrutura de mina na operação de lavra, de maneira que seja possível analisar números e dados e verificar os pontos mais relevantes para otimização de custos e da produção;

- Propor um cálculo para dimensionamento de equipamentos auxiliares que se baseie na necessidade de infraestrutura de mina e não apenas em uma proporção referente aos equipamentos principais de operação;
- Na possibilidade de haver um caso de implantação ou redimensionamento desses equipamentos em um empreendimento já em operação, propor um comparativo quanto a produtividade e custos de operação e manutenção antes e depois de ser adicionado os equipamentos de infraestrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO E AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **A Gestão dos Recursos Hídricos e a Mineração**. Brasília, 2006. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2006/AGestaoDosRecursosHidricosEAMineracao.pdf>. Acessado em 11 nov. 2019.

BRITO, SÉRGIO. **Os Taludes da Mineração: Importância e Riscos** 14º Congresso Brasileiro de Mineração. Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00003540.pdf>. Acessado em 10 nov. 2019.

CATERPILLAR, **Performance Handbook**. 36ª edição, Peoria Illinois, USA. 2006.

CATERPILLAR, **Performance Handbook**. 46ª edição, Peoria Illinois, USA. 2016.

CATERPILLAR, **Performance Handbook**. 47ª edição, Peoria Illinois, USA. 2017.

CATERPILLAR WEBSITE. https://www.cat.com/pt_BR/products.html. Acessado em 07 nov. 2019.

COUTO, RUI TORRES DA SILVA. **Lavras a Céu Aberto e Equipamentos Principais**. Dissertação de Universidade do Porto. Porto, 1990.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Anuário Mineral Brasileiro - Principais Substâncias Metálicas 2017**. Brasil, 2017. Disponível em: http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb_metalicos2017. Acessado em 07 dez. 2019.

FERREIRA, FÁBIO MUTTI; PAIVA, CÁSSIO E. L. DE. **Uma aplicação comparativa de métodos de avaliação das condições superficiais de estrada não-pavimentada**. Revista Vias Gerais. Fevereiro de 2007. Disponível em: <http://www.assender.com.br/wp-content/uploads/2015/09/4.pdf>. Acessado em 12 nov. 2019

GOMES, ROMERO CÉSAR. **Engenharia Geotécnica Aplicada à Mineração – Estudo de Casos, Perspectivas e Desafios Tecnológicos**. UFOP. Em 11ª Palestra Milton Vargas. 2015. Disponível em: <https://www.abms.com.br/links/PalestraMiltonVargas2015%20Final.pdf>. Acessado em: 20 nov. 2019.

HARTMAN, HOWARD L.; MUTMANSKY, JAN M. **Introductory mining engineering**. John Wiley & Sons, 2002.

JAWORSKI, TADEO. **Equipamentos para Escavação – Compactação e Transporte**. Apostila. 2011.

JUNIOR, PAULO B. T.; LEITE, CLAUDIO B. BATISTA. **Estudos de drenagem superficial aplicados às minas a céu aberto**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. 1987. Disponível em: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/17/087/17087445.pdf. Acessado em 09 nov. 2019.

LIMA, H. M. R. **Concepção e Implementação de Sistema de Indicadores de Desempenho em Empresas Construtoras de Empreendimentos Habitacionais de Baixa Renda**. 2005. 171 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SOUSA, LILIAN MASETTI LOBO SOARES de; OLIVEIRA FILHO, WALDYR LOPES de; LIMA, HERNANI MOTA de. **Dimensionamento estrutural de estradas de mina a céu aberto**. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, 2012. p 279-284.

REIS, M. dos S. *et al.* **Diagnóstico do estado de projeto, construção e manutenção de estradas de mina de minério de ferro no quadrilátero ferrífero – caso complexo de Itabira**. 8º Congresso Brasileiro de Mina a Céu Aberto. Belo Horizonte. 2014. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005675.pdf>. Acessado em 08 nov. 2019.

REVISTA MANUTENÇÃO E TECNOLOGIA. **Muito além da demolição**. 11 de novembro de 2015. Disponível em: <http://www.revistamt.com.br/Materias/Exibir/muito-alem-da-demolicao>. Acessado em 03 nov. 2019.

RODOVALHO, EDMO. **Planejamento de lavra aplicado a Infraestrutura de Mina**. 2019. Disponível em: <https://institutominere.com.br/blog/planejamento-de-lavra-aplicado-a-infraestrutura-de-mina>. Acessado em 05 nov. 2019.

SILVA, BRENO HELENO FERREIRA. **Consumo, desperdício e parâmetros operacionais das atividades dos caminhões pipa aplicados à mineração**. Trabalho de Conclusão de Curso. CEFET – Araxá. 2018.

SILVEIRA, MARINA LEMOS. **Drenagem em minas de bauxita na região de Poços de Caldas**. Trabalho de Conclusão de Curso – UNIFAL – Poços de Caldas. 2014. Disponível em: <https://www.unifal-mg.edu.br/engenhariademinas/sites/default/files/anexos/DRENAGEM%20EM%20MINAS%20DE%20BAUXITA%20NA%20REGI%C3%83O%20DE%20PO%C3%87OS%20DE%20CALDAS%20-%20Silveira,%20M.%20L..pdf>. Acessado em 09 nov. 2019.

STABELINI, DELTON. **Comboio de lubrificação: produtividade na manutenção de frota de campo**. Disponível em: <https://blog.texaco.com.br/ursa/comboio-lubrificacao-texaco/>. Acessado em 03 nov. 2019.

TANNANT, DWAYNE D.; REGENSBURG BRUCE. **Guidelines for mine haul roads design**. 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/277759950_Guidelines_for_Mine_Haul_Road_Design. Acessado em 07 nov. 2019.

THOMPSON, R. J. **Mining Roads – Mine haul roads design, construction and maintenance management**. MIEAust PrEng. [2014]. Disponível em: <http://aspasa.co.za/wp-content/uploads/2017/07/road-design-and-maintanance-Molefe.compressed.pdf>. Acessado em: 04 out. 2019.

THOMPSON, R. J. and VISSER, A. T. **An overview of the structural design of mine haul roads.** Em: The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. 1996.

THOMPSON, R. J. and VISSER, A. T. **Designing and managing unpaved opencast mine haul roads for optimum performance.** Em: Encontro Annual SME, Anais... Denver: SME, 1999. p. 90-99.

Thompson, R. J. and Visser, A. T. (2003b). **Mine haul road maintenance management systems.** The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, p. 303 – 312, South Africa.

THOMPSON, R. J. and VISSER, A. T. **The functional design of surface mine haul roads.** Em: The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. 2000.

VIEIRA, JOÃO CARLOS. **Determinação e quantificação de elementos de relevância em infraestrutura de mina.** Dissertação– Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2013.