



RUDSON DOMINGUES MARTINS

**CONTRIBUIÇÕES NA MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE
MINA CONFORME CONDIÇÕES DE VIAS**

Itabira, MG

2022

RUDSON DOMINGUES MARTINS

**CONTRIBUIÇÕES NA MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE
MINA CONFORME CONDIÇÕES DE VIAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista em Lavra de Minas a Céu Aberto.

Área de concentração: Lavra de mina a céu aberto

Orientador: Janine Rodrigues Figueiredo, Dra.

Itabira, MG

2022

Título: CONTRIBUIÇÕES NA MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE MINA CONFORME CONDIÇÕES DE VIAS

Classificação: () Confidencial () Restrita () Uso Interno (X) Pública

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço.

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação(CIP)

M343c

Martins, Rudson Domingues

Contribuições na manutenção e operação de equipamentos de mina conforme condições de vias. Rudson Domingues Martins... [et al.] - Ouro Preto, MG: ITV, 2022.

58 p.: il.

Monografia (Especialização latu sensu) - Instituto Tecnológico Vale, 2022.

Orientadora: Janine Rodrigues Figueiredo

1. Análise de Carga e Fadiga. 2. Manutenção. 3. Pista. 4. Projeto e Via. I. Figueiredo, Janine Rodrigues. II. Título.

CDD.23. ed. 622.6

Bibliotecária responsável: Andréia Dias Silva

Rudson Domingues Martins

**CONTRIBUIÇÕES NA MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO DE EQUIPAMENTOS
DE MINA CONFORME CONDIÇÕES DE VIAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista *lato sensu* em [Lavra de Minas a Céu Aberto].

Orientadora: Prof. Janine Rodrigues Figueiredo

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em 28 de novembro de 2022 pela banca examinadora constituída pelos professores:

Janine Rodrigues Figueiredo
Orientadora – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Diogo da Silva Menezes
Membro interno – Vale

Carlos Enrique Arroyo Ortiz
Membro externo – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

Os Signatários declaram e concordam que a assinatura será efetuada em formato eletrônico. Os Signatários reconhecem a veracidade, autenticidade, integridade, validade e eficácia deste Documento e seus termos, nos termos do art. 219 do Código Civil, em formato eletrônico e/ou assinado pelas Partes por meio de certificados eletrônicos, ainda que sejam certificados eletrônicos não emitidos pela ICP-Brasil, nos termos do art. 10, § 2º, da Medida Provisória nº 2.200-2, de 24 de agosto de 2001 (“MP nº 2.200-2”).



PROTOCOLO DE ASSINATURA(S)

O documento acima foi proposto para assinatura digital na plataforma Portal de Assinaturas Vale. Para verificar as assinaturas clique no link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/FFF9-0752-748C-73CB> ou vá até o site <https://vale.portaldeassinaturas.com.br> e utilize o código abaixo para verificar se este documento é válido. The above document was proposed for digital signature on the platform Portal de Assinaturas Vale . To check the signatures click on the link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/FFF9-0752-748C-73CB> or go to the Website <https://vale.portaldeassinaturas.com.br> and use the code below to verify that this document is valid.

Código para verificação: FFF9-0752-748C-73CB



Hash do Documento

F48DD800EB4A321B0A279891075E0A5BC6D36A9CE5BA47142E46ECE75371E84A

O(s) nome(s) indicado(s) para assinatura, bem como seu(s) status em 01/12/2022 é(são) :

- Janine Rodrigues Figueiredo (Signatário) - em 01/12/2022 07:35 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: janine.figueiredo@itv.org

Evidências

Client Timestamp Thu Dec 01 2022 07:35:00 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

Geolocation Latitude: -19.8307524 Longitude: -43.8470922 Accuracy: 17.23

IP 189.80.142.83

Hash Evidências:

1C22DEC08267149EDDA9E134999DB7B89B14F806DE28110F24318CD1811B0CB3

- Carlos Enrique Arroyo Ortiz (Signatário) - em 30/11/2022 20:54 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: carroyo@ufop.edu.br

Evidências

Client Timestamp Wed Nov 30 2022 20:54:42 GMT-0300 (Hora padrão de Brasília)

Geolocation Latitude: -20.2768384 Longitude: -43.7518336 Accuracy: 3111.6442289948354

IP 179.42.52.194

Hash Evidências:

3533AB00A53BD5C5BE2DC15C73C198D44B9E79E23E9C7F40D2F5785587F9DD0E

- Diogo da Silva Menezes (Signatário) - em 29/11/2022 10:36 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: diogo.menezes@vale.com

Evidências

Client Timestamp Tue Nov 29 2022 10:35:55 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

Geolocation Latitude: -6.070228 Longitude: -50.073092 Accuracy: 163

IP 177.44.184.119

Hash Evidências:

9C2516F62F8E8258B7E2940556A2A5A8F593775B14F4C0A6A5AC9A0E26D563DA



Dedico este trabalho primeiramente a Deus e a Nossa Senhora Aparecida que me concederam sabedoria e força na realização desta caminhada. Aos meus líderes pelo apoio e compreensão, aos meus pais e amigos pelas palavras de apoio e gestos que me ajudaram a acreditar neste sonho. A minha esposa Fabianna e minha princesa Elis, que me deram apoio e força durante esta caminhada. A todos, a minha gratidão pelo carinho, força e paciência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a Nossa Senhora Aparecida por me proporcionarem força, saúde e sabedoria para superar as dificuldades e alcançar este sonho;

Meus pais, exemplos de amor, coragem e dignidade;

Aos meus irmãos pelo grande apoio e incentivo durante estes anos;

Minha esposa Fabianna Majeviski, pelo carinho e parceria de sempre;

A minha princesa Elis, por carregar minhas energias com um simples sorriso;

A minha orientadora, professora Janine Figueiredo pelo grande apoio, ensinamentos compartilhados e palavras de incentivo ao longo desta jornada;

Aos líderes que me confiaram esta oportunidade de aprendizado, Clarice Romariz, João Jr, Rodrigo Castro, Rodrigo Augusto e Amanda Bricy;

Aos parceiros da Operação, Infraestrutura e Planejamento de mina que suportaram com informações e apoio na construção desta pesquisa;

Aos colegas de trabalho, que se prontificaram a contribuir nesta jornada devido minhas ausências ao trabalho;

E aos meus grandes amigos, que direta ou indiretamente torceram por esta conquista.

RESUMO

O presente trabalho propôs avaliar as condições de pistas e suas contribuições positivas e negativas aos equipamentos de mina, através da análise de carga de fadiga, assim como abranger para outros sites da Vale. Avaliou-se com detalhes as condições de pista, tais como obstruções, irregularidades de nível, raios de curvatura, inclinação de rampa, dentre outros, fatores que podem afetar ou beneficiar as estruturas e componentes dos equipamentos de mina.

Adicionalmente, analisou-se a velocidade média de caminhões devido à redução de buraco/lombada preventivas nas vias, os indicadores de produtividade e a expectativa de intervenção em chassi dos equipamentos de transporte de grande porte.

Como caso de estudo, foi selecionado o Complexo de Itabira, em Minas Gerais, onde as estradas de mina são divididas em acessos principais, secundários e praças de carga e descarga. Alguns desses acessos foram avaliados segundo as blindagens, executadas com o objetivo de melhorar a performance do corpo estrutural da estrada como estratégia de ganhos nas operações nos períodos chuva.

Constata-se que após a aplicação da blindagem, seguindo a execução do projeto conforme padrões estabelecidos para os elementos geométricos, estrutural e drenagem, foi possível alcançar resultados significativos no índice de severidade das vias e produtividade. No entanto, ainda é possível realizar trabalhos futuros para melhorias nas praças de cargas e descargas, que vão proporcionar ganhos estruturais e pneus dos equipamentos.

Palavras-chave: Análise de Carga e Fadiga. Manutenção. Pista. Projeto e Via.

ABSTRACT

The present work was proposed to evaluate the conditions of runways and their positive and negative contributions to mine equipment, through fatigue load analysis, as well as to extend to other Vale sites. The track conditions were evaluated in detail, such as obstructions, level irregularities, radius of curvature, ramp inclination, among others, factors that can affect or benefit the structures and components of the mine equipment.

Additionally, the mean speed of trucks was analyzed due to the reduction of preventive holes/bumps on the roads, the productivity indicators, and the expectation of intervention in the chassis of large transport equipment.

As a case study, the Itabira Complex, in Minas Gerais, was selected, where the mine roads are divided into main and secondary accesses and loading and unloading sites. Some of these accesses were evaluated according to the shielding, carried out with the objective of improving the performance of the structural body of the road as a strategy for gains in operations in the rainy season.

It appears that after the application of the shielding, following the execution of the project according to established standards for the geometric, structural and drainage elements, it was possible to achieve significant results in the severity index of the roads and productivity. However, it is still possible to carry out future work to improve the loading and unloading sites, which will provide structural gains and equipment tires.

Keywords: Load Analysis and Fatigue. Maintenance. Track. Project and Road.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Elementos para construção das vias	18
Figura 2 - Camadas de um pavimento típico.....	20
Figura 3 - Seção típica de um pavimento e as características avaliadas no dimensionamento	21
Figura 4 - Valetas de proteção de corte e de aterro para interceptação da água afluyente superficial	23
Figura 5 - Valetas de proteção de corte e de aterro para interceptação da água afluyente superficial	24
Figura 6 - Ilustração da relação entre os valores das pressões das suspensões para rack	28
Figura 7 - Ilustração da relação entre os valores das pressões das suspensões para pitch	29
Figura 8 - Ilustração da relação entre os valores das pressões das suspensões para roll.....	30
Figura 9 - Leitura de pressões de suspensões de um caminhão em operação	31
Figura 10 - Índice de Severidade de Mina.....	33
Figura 11 - Índice de <i>payload</i>	33
Figura 12 - Índice FELA	34
Figura 13 - Severidade da Estrada FELA e Estimativa de vida útil (Horas).....	34
Figura 14 - Imagem aérea da mina de Itabira/MG	36
Figura 15 - Elementos para projeto de vias	39
Figura 16 - Etapas de construção	41
Figura 17 - Cronograma de blindagens	42
Figura 18 - Escarificação das vias	42
Figura 19 - Mapeamento de velocidades por trecho	44
Figura 20 - Velocidade média – Ano 2021	45
Figura 21 - Pluviometria - 2021	45
Figura 22 - Relatório Distribuição de velocidade 2021.....	46
Figura 23 - Relatório Distribuição de velocidade 2022.....	46
Figura 24 - Build Up Perdas de Produtividade.....	47
Figura 25 - Aguardando Condições Acesso 2021	48
Figura 26 - Horas de intervenções em chassi dos caminhões	49
Figura 27 - Inspeção condições de vias.....	50
Figura 28 – Monitoramento de Pista	52
Figura 29 - Controle quantidade de alertas/horas trabalhadas	53

Figura 30 - Tendência de FELA - Trecho não blindado	53
Figura 31 - Tendência de FELA - Trecho blindado	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista de documentos	37
Tabela 2 - Critérios para inspeção das condições de vias.....	50

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BIAS – Diferença Lateral

CE - Conceição

CVM - Cadeia de Valor Mineral

DD - Dianteira Direita

DE - Dianteira Esquerda

DMT – Distância Média de Transporte

FS - Fator de Segurança

FELA - *Fatigue Equivalent Load Analysis* (Análise de Carga de Fadiga Equivalente)

GPS - Sistema de Posicionamento Global

HO - Horas Ociosas

KPI - *Key Performance Indicators* (Indicadores Chave de Desempenho)

MM - Minas do meio

MSI - *Mine Severity Index* (Índice de Severidade de Mina)

PITCH – Diferença Entre Eixos

PTX - Location Action (Ação de localização)

RAC - *Road Analysis Control* (Controle e Análise de Estrada)

RACK - *Twisting Motion* (Força de Torção)

τ - Resistência ao Cisalhamento.

ROLL – Diferença Lateral

σ - Tensão Normal

TD - Dianteira Traseira Direita

TE - Dianteira Traseira Esquerda

VIMS - *Vital Information Management System* (Sistema de Gerenciamento de Informações Vitais)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVO	16
2.1	OBJETIVO ESPECÍFICO	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1	PROJETO DE VIAS	17
3.1.1	Projeto geométrico	18
3.1.2	Projeto de pavimentação	19
3.1.3	Projeto de drenagem	22
3.2	CONSTRUÇÃO	24
3.3	MANUTENÇÃO E READEQUAÇÃO	26
3.4	INDICADORES DE PRODUTIVIDADE	26
3.5	FELA, RELACIONADO AS CONDIÇÕES DAS VIAS	28
3.5.1	Força de torção ou RACK	28
3.5.2	Diferença entre eixos ou PITCH	29
4	METODOLOGIA	35
4.1	MÉTODO	35
4.2	ESTUDO DE CASO	35
4.3	INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
5.1	DESCRIÇÃO DO PROJETO DE VIAS	38
5.1.1	Blindagem dos acessos	40
5.2	AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE CONDIÇÕES DAS VIAS E VELOCIDADE MÉDIA DOS CAMINHÕES	43
5.3	ANÁLISE DOS GANHOS NOS INDICADORES DE PRODUTIVIDADE DE TRANSPORTE	46
5.4	MEDIÇÃO DOS RESULTADOS EM INTERVENÇÕES EM CHASSI DOS CAMINHÕES, MEDIANTE AS CONDIÇÕES DAS VIAS	48
5.5	COMPROVAR GANHOS NO RESULTADO DO FELA	52
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

A influência da globalização no mercado empresarial vem gerando uma competição acirrada por espaço nesse mercado. Tal situação demanda que as empresas desenvolvam políticas estratégicas que permitam obter vantagens competitivas. Através da adoção de práticas e ferramentas de gestão que proporcionem o aumento de sua capacidade produtiva, redução de desperdícios, melhor aproveitamento de recursos e redução de acidentes pessoais ou materiais. Oferecendo, saúde, segurança, conforto e eficiência aos equipamentos que trafegam no ambiente da mineração.

Em lavras de minas a céu aberto, o transporte de minério é habitualmente feito por caminhões, que conduzem às instalações de beneficiamento mineral ou pilhas de estoque de produtos intermediários. O estéril é transportado para pilhas de disposição deste material. Em minas de operação em larga escala, a capacidade de transporte desses equipamentos, em termos de fluxo e/ou volume, tende a crescer em função de aumentos na demanda de produção, assim como devido à exigência para movimentar massas cada vez maiores desses materiais.

As estradas de mina nem sempre foram consideradas como fator importante para garantir os resultados das atividades relacionadas à mineração. É perceptível como os acessos para movimentação de materiais (minérios, estéreis, produtos etc.) nas minas não evoluíram a ponto de se dizer que é praticada uma engenharia satisfatória para demonstrar a importância que têm no processo produtivo.

Estradas de minas são geralmente projetadas por profissionais de planejamento de lavra e executadas por equipes de operação ou infraestrutura de mina. Ao operacionalizar uma cava final, o objetivo primordial do engenheiro é projetar acessos que considerem o máximo aproveitamento de minério associado a menor remoção de estéril. Assim como as menores distâncias médias de transporte (DMT) das frentes de lavra aos locais de destino. O estudo das estradas conceitua, basicamente, alguns parâmetros de projeto geométrico, tais como inclinação de rampa, largura e raio de curvatura, mas não é voltado aos parâmetros contemplados nos projetos estrutural, funcional e de drenagem.

É de extrema importância que, os vários componentes de um projeto estrutural de estradas de mina também sejam estudados e aplicados, desde a definição dos tipos de material a serem usados no dimensionamento das camadas, até a caracterização das

propriedades físico-mecânicas deles. Tal estudo deve ser feito de forma a conduzir a um melhor custo/benefício. Além disso, deve-se estabelecer os parâmetros mais eficientes para a projeção estrutural de estradas de mina.

Conforme as demandas mencionadas acima, este trabalho visa avaliar as condições de pistas e suas contribuições positivas e negativas aos equipamentos de mina no complexo Itabira, Minas Gerais. Através da análise de carga de fadiga equivalente, ou grau de severidade FELA (*Fatigue Equivalent Load Analysis*). E se possível abranger iniciativas para outras minas da Vale. As condições de pista, tais como obstruções, irregularidades de nível, raios de curvatura, inclinação de rampa, entre outros fatores serão avaliados. De modo a identificar como podem afetar ou beneficiar estruturas e componentes dos equipamentos de mina e seus riscos associados à operação e impactos nos custos.

Adicionalmente, pretende-se apresentar resultados para o aumento de velocidade média devido à redução de buraco/lombada preventivamente, melhora nos indicadores de produtividade, aumento da expectativa de intervenção em chassi dos equipamentos de transporte.

2 OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma pesquisa para identificar as contribuições na manutenção e operação de equipamentos de mina conforme condições de vias em uma empresa do ramo de mineração da cidade de Itabira/MG.

2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO

Para que seja alcançado o objetivo geral desse estudo foram definidos os objetivos específicos abaixo:

- Descrever o projeto de vias;
- Avaliar a relação entre condições das vias e velocidade média dos caminhões Caterpillar 793F;
- Analisar os ganhos nos indicadores de produtividade de transporte;
- Mediar os resultados em intervenções em chassi dos caminhões, mediante as condições das vias;
- Comprovar ganhos no resultado do FELTA, relacionado às condições das vias.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Para maior compreensão dos objetivos da presente pesquisa, este capítulo faz-se necessário para promover fundamentos, nortear a pesquisa e imprimir consistência ao estudo.

O referencial teórico apresenta com clareza a formação do problema de pesquisa, o que auxilia em hipóteses e suposições para sinalizar o método adequado para a solução do problema, apontando os melhores instrumentos para a coleta e tratamento dos dados, além de proporcionar embasamento para a interpretação dos dados (VERGARA, 2011).

O referencial teórico da presente pesquisa apresenta diversas contribuições para manutenção e operação de equipamentos de mina, conforme as condições de vias, e para os equipamentos de mina no complexo Itabira, através do grau de severidade FELA.

3.1 PROJETO DE VIAS

Neste tópico serão apresentados conceitos sobre a construção de vias, bem como métodos e técnicas utilizadas no controle, manutenção e construção das vias no ramo da mineração.

Conforme, Thompson e Visser (2008), avalia-se hoje o impacto negativo que uma estrada em más condições de serventia ocasiona sobre a mineração, diminuindo a segurança e eficiência do transporte, o que afeta diretamente os lucros produzidos pela atividade.

A concepção do projeto, a construção e a manutenção de tais estradas, são hoje realizados de forma empírica sem uma metodologia pré-definida (OLIVEIRA FILHO et al., 2010c). Cada empresa utiliza técnicas próprias e as tarefas são executadas de modo distinto. Estas diferenças podem ser justificadas pela diversidade das condições ambientais às quais cada mina está sujeita. Mas é preciso pontuar que as diferentes experiências deveriam ser compartilhadas, pois evitaria o retrabalho (o que já foi testado sem sucesso em uma unidade, serviria de base para direcionar testes em unidades com condições ambientais e tráfego similares), contribuindo para um avanço no

conhecimento dos problemas relacionados às estradas de mina (OLIVEIRA FILHO et al., 2010c).

Para estradas rodoviárias a padronização, da construção é responsabilidade de órgãos gestores públicos. No entanto, para estradas de mina não existe órgão responsável pela gestão de estradas e padronização dos procedimentos relacionados ao projeto, construção e manutenção, por se tratar de estradas privadas. Desta forma, a iniciativa de se estabelecer padrões deve partir de empresas mineradoras ou pesquisadores interessados no assunto, como levantado por Oliveira Filho (2010).

De acordo com os autores mencionados, a construção das vias no ramo da mineração, utiliza técnicas próprias, diferente ao processo de manutenção das vias mantidas pelos órgãos públicos. Conforme disposto pelos autores, a manutenção das vias pode afetar diretamente ao processo produtivo da empresa, sendo de grande importância o compartilhamento de experiências e realização de testes.

O próximo tópico apresentará os critérios específicos para elaboração de projetos de estradas em áreas de mina, o qual inclui definições de ordem: geométrica, pavimentação (estrutural e funcional) e drenagem. Esta deve estar em conformidade com as legislações ambientais e normas regulamentadoras de saúde e segurança aplicáveis ao processo. Além das fases de projeto, vale complementar outras fases: construção, manutenção e readequação das vias conforme apresentado na Figura 1.



Fonte: Adaptada de Vale (2022).

3.1.1 Projeto geométrico

Nesta fase do projeto é definido o melhor traçado para a estrada de mina. Nos próximos parágrafos serão apresentadas algumas recomendações e observações de boas práticas sugeridas por alguns autores.

Pontes Filho (1998) define projeto geométrico como a correlação entre os elementos físicos de uma estrada e os parâmetros operacionais, tais como frenagem, aceleração e características de operação.

Kaufman e Ault (1977) consideram relevante para as estradas de mina os seguintes parâmetros geométricos: largura, distância de frenagem e distância de visibilidade, rampa máxima sustentável, configuração de curvas verticais, superelevação, inclinação para direcionamento das águas, traçado de curvas horizontais e superlargura, coordenação entre os alinhamentos horizontal e vertical e espaçamento entre leiras de segurança.

Thompson e Visser (2008) julgam com as características geométricas de interesse para estradas de mina já citadas por Kaufman e Ault (1977), onde apresentam uma série de formulações já difundidas em pavimentação rodoviária. Segundo o Inventário de Estradas de Mina (OLIVEIRA FILHO et al., 2010c), em geral, as características geométricas das estradas de mina são também governadas por especificações técnicas dos equipamentos que por elas trafegam.

O melhor traçado para a estrada de mina é definido no projeto geométrico. Nesta fase identifica-se o tipo de veículo que tráfegará pela via e define-se a velocidade diretriz (BRASIL, 1999). Além disso, a localização do traçado da estrada de mina geralmente é definida, por exemplo, como no interior da cava, na pilha de estéril ou no exterior da mina (OLIVEIRA FILHO et al., 2010c). Do mesmo modo, o projetista deve incluir no traçado, a origem e destino, além do veículo a ser utilizado neste trajeto, adicionalmente, os trechos retos ou curvilíneos, em nível ou em rampa, são alguns dos exemplos que também são considerados nesta etapa.

Em resumo, neste projeto são estabelecidas todas as características geométricas da estrada.

3.1.2 Projeto de pavimentação

Neste tópico será abordado o projeto de pavimentação, que engloba a parte estrutural e funcional, para dimensionamento de um pavimento para condições operacionais de mina.

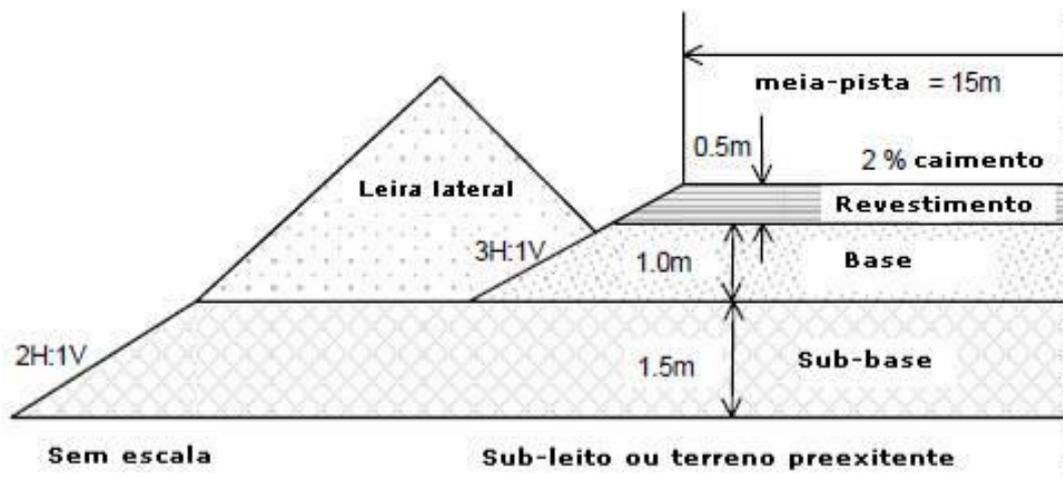
O projeto estrutural de uma estrada de mina refere-se à capacidade de suporte de carregamentos impostos à estrada ao longo da sua vida útil, sem que seja necessário recorrer à manutenções excessivas (HUGO, 2005). Além disso, trata-se da seleção de materiais e dimensionamento das camadas que dispõem função estrutural. Estas camadas conhecidas como base, sub-base e reforço do subleito, são dispostas nesta

ordem da camada superior à camada inferior da via. O projeto funcional refere-se à seleção e construção da camada de revestimento, que tem caráter funcional (THOMPSON e VISSER, 2008).

Por Brasil (2006) é necessário que haja uma discriminação da capa superior do pavimento, pois as tensões cisalhantes solicitantes devido ao tráfego são mais expressivas na região próxima à superfície. Já nas camadas inferiores os valores destas tensões são mais baixos, predominando os esforços normais. Por consequência, como as solicitações têm caráter distinto em relação a profundidade, as características dos materiais superficiais e daqueles em profundidade no pavimento devem ser diferentes.

Além da natureza distinta das solicitações (cisalhantes e normais), Bernucci et al. (2007) destacam que, os esforços transmitidos pelos veículos à superfície do pavimento atenuam-se com a profundidade da estrutura. Para esforços maiores na superfície das vias (tanto compressão como cisalhamento), o revestimento deve possuir uma qualidade superior quanto à resistência à compressão comparado com a resistência do revestimento da base. Este deve ser mais resistente que o revestimento da sub-base, assim por diante até o subleito. Na Figura 2 tem-se uma concepção típica de um pavimento que busca, de forma otimizada, atender às características de solicitação.

Figura 2 - Camadas de um pavimento típico

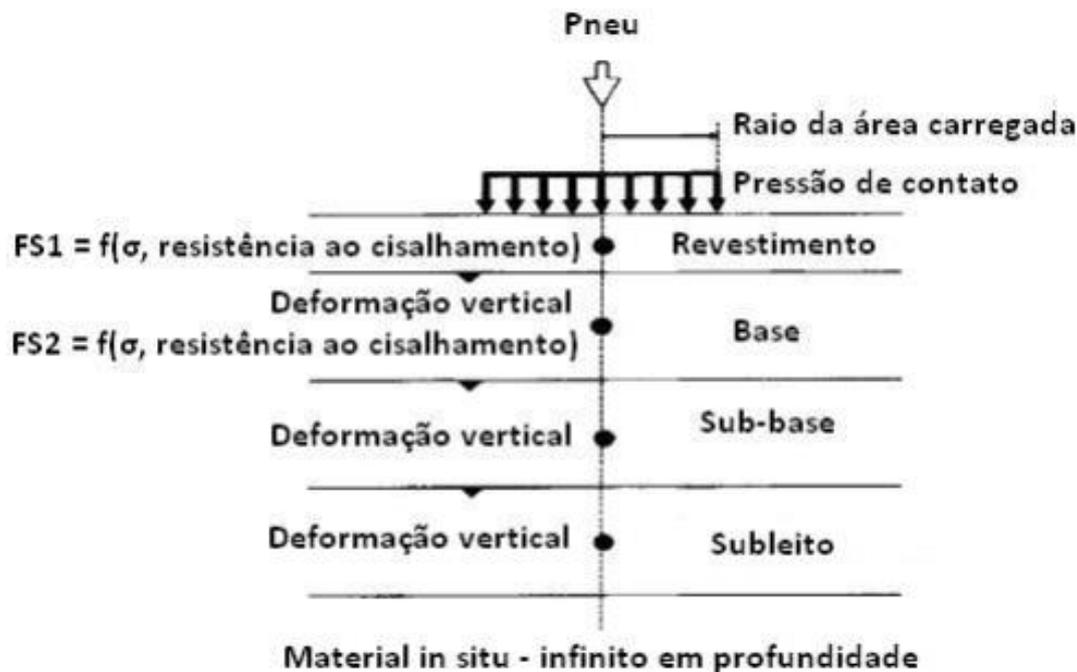


Fonte: Adaptada de Tannant e Regensburg (2001).

Verificando as solicitações e os limites dos materiais, Thompson e Visser (1996) sugerem os requisitos por camada a serem considerados no dimensionamento do pavimento, como na Figura 3. Onde o fator de segurança de cada camada (FS) é

apresentado em função da tensão normal atuante (σ) e da resistência ao cisalhamento do material (τ) utilizado para construí-la.

Figura 3 - Seção típica de um pavimento e as características avaliadas no dimensionamento



Fonte: Traduzido de Thompson e Visser (1996).

Na Figura 3, observa-se que as deformações verticais são consideradas nas camadas que possuem função estrutural, ao invés de considerar os níveis de tensões normais verticais. De acordo com Thompson e Visser (1996), o dimensionamento de pavimentos de estradas de mina deve ser baseado em níveis de deformações verticais toleráveis.

Thompson (1996) enfatiza que o projeto estrutural é composto por um processo de composição do arranjo mais econômico das camadas do pavimento (considerando sua espessura e tipos de materiais disponíveis), que seja compatível com o material *in situ* e com o volume de tráfego previsto para a vida útil das estradas. Em resumo, o projeto de pavimento pode ser dividido em projeto estrutural e funcional, no qual é tratada a seleção de materiais e o dimensionamento das camadas que dispõem a estrutura. Sendo necessário para o dimensionamento do pavimento, a verificação das solicitações e os limites dos materiais aplicados.

3.1.3 Projeto de drenagem

Este tópico apresenta o projeto de drenagem e os pontos cruciais para a concepção e boa qualidade das estradas de mina.

A elaboração e execução de um projeto de drenagem são fundamentais em estradas de mina. Pois um dos principais fatores que provocam 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, formada 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 concentração localizado no terreno marginal, são objetos do projeto de drenagem (Oliveira et al., 2009, Griebeler et al., 2005 e Griebeler, 2002).

Por Oliveira Filho et al. (2010a), o projeto de drenagem de estradas de mina é muitas vezes tratado indistintamente com o projeto de drenagem de cavas ou de depósitos de estéreis durante o planejamento geral de mina. Apesar da importância, poucas são as referências encontradas a respeito deste tema na literatura especializada em estradas de mina.

Kennedy (1977) ressalta a necessidade de controle do escoamento superficial em estradas de mina, que possibilita a melhor operação delas. Através de estabilização do material de revestimento e interceptação do deslizamento (*runoff*) propriamente dito, utilizando a inclinação transversal da estrada, canaletas, canais, drenos e bueiros.

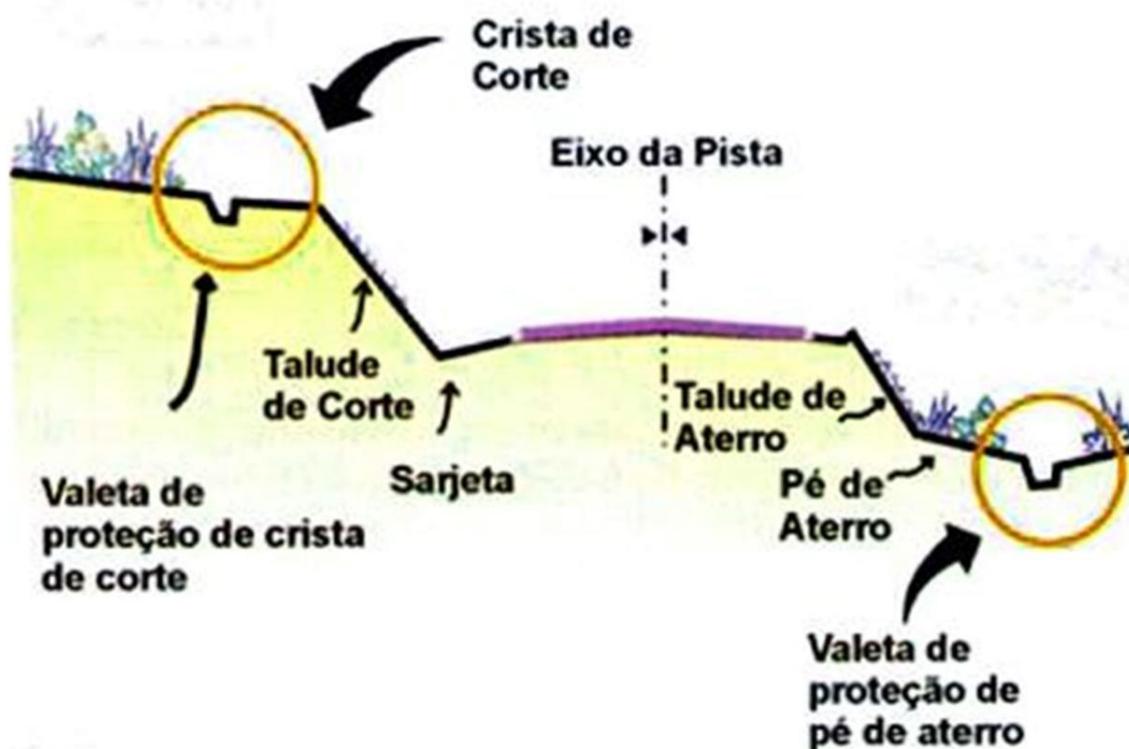
Kaufman e Ault (1977) advertem sobre a importância da presença da inclinação transversal da estrada, como forma de evitar o escoamento difuso sobre sua superfície. Consideram que, o valor da inclinação transversal depende da textura da superfície de rolamento. Para estradas com superfícies lisas, onde o escoamento é rápido, ou locais com problemas de gelo ou lama, recomendam uma inclinação transversal de 2%. Para estradas com superfície de rolamento relativamente irregular, ou onde o gelo e a neve não são problemas, sugerem 4%. Estradas com rampas maiores que 5%, onde a tendência ao deslizamento é maior, é indicada a utilização de inclinações transversais menores.

Oliveira Filho et al. (2010a) consideram os dispositivos para projeto de drenagem: valetas de proteção de corte e de aterro, sarjetas de corte e de aterro, descidas

e saídas d'água, caixas coletoras, bueiros de greide, dissipadores de energia, escalonamento de taludes, e corta-rios. Este pode não ser utilizado, já que para o caso de estradas de mina, pelo seu curto período de vida e pequena extensão em geral, o encontro com cursos d'água é pouco provável e pode ser evitado.

Dispositivos como valetas de crista e de aterro impedem que a água afluyente atinja o corpo estradal, conforme mostra na Figura 4.

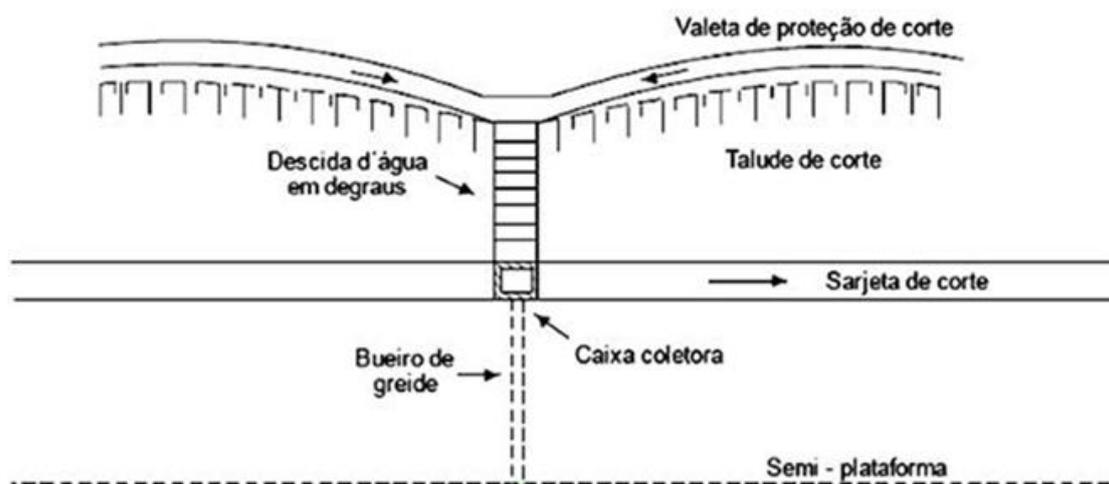
Figura 4 - Valetas de proteção de corte e de aterro para interceptação da água afluyente superficial



Fonte: Vale (2022).

Descidas d'água, caixas coletoras e bueiros de grade constituem outros elementos de drenagem superficial que possibilitam a transferência de volumes excessivos de água para pontos fora do corpo da estrada, conforme mostrado na Figura 5 (Vale, 2022).

Figura 5 - Valetas de proteção de corte e de aterro para interceptação da água afluyente superficial



Fonte: Vale (2022).

Para realizar o dimensionamento hidráulico dos elementos que compõe o projeto de drenagem é necessário estimar parâmetros como descarga de contribuição, dimensões de passagem d'água, levantamento de bacias de contribuição e determinação de seções transversais com capacidade hidráulica suficiente para atender à descarga de projeto (VALE, 2022).

Conforme exposto pelos autores acima, a necessidade de controle do escoamento superficial em estradas de mina, que possibilita a melhor operação, eliminando a degradação de estradas não pavimentadas é a erosão provocada pelo escoamento superficial e o acúmulo de água.

3.2 CONSTRUÇÃO

Neste tópico serão apresentados conceitos sobre a construção de um pavimento, considerando a escolha dos materiais mais adequados para composição das camadas.

Conforme já enfatizado por Sousa (2011), para que os métodos construtivos empregados em estradas de diferentes naturezas sejam aproveitados em estradas de mina, é necessário que se derivem algumas adaptações. No entanto, quando a via se encontrar fora da cava, o procedimento de construção será muito próximo daquele empregado em estradas pavimentadas, diferindo simplesmente no porte das operações.

Estradas em boas condições reduzem a resistência ao rolamento e promovem aumento de produtividade e segurança. A relação entre resistência ao rolamento e perda de produtividade pode ser determinada usando-se a aplicação de dados obtidos nos

manuais dos fabricantes de equipamentos em programas específicos de simulação, tais como Talpac. Em linhas gerais, considera-se que redução de 1% a 2% na inclinação da rampa leva à redução de 1% a 2% na resistência ao rolamento. A redução de 1% na resistência ao rolamento equivale ao aumento de 10% da velocidade do caminhão em rampa e de 26% no plano (THOMPSON e VISSER, 2008).

Antes da execução de uma estrada de mina é necessário que ao longo da extensão promova-se o desmatamento na faixa de domínio e haja a remoção do solo superficial. Os procedimentos posteriores são comuns também em estradas dentro da cava e naquelas construídas nas pilhas de estéril. O subleito é então conformado topograficamente (inclinação e seção) e regularizado, considerando a espessura total do pavimento (correção altimétrica), e demais características definidas no projeto geométrico (rampa, largura, superlargura, raio de curvatura, dentre outros). Essas atividades constituem a operação de terraplenagem. Quando o subleito apresentar características de resistência inferiores àquelas consideradas em projeto, será necessária a remoção do material pouco competente e substituição por outro (reforço do subleito), que tenha propriedades equivalentes ao material predominante no subleito de projeto. A porção superficial do subleito deve ser ainda escarificada e recompactada. Tem-se no final do processo, uma superfície pronta para receber as camadas do pavimento (REIS, 2014).

A construção de um pavimento deve considerar os materiais mais adequados que serão dimensionados para compor as camadas. A investigação do parâmetro resistência ao rolamento é fundamental nessa fase, visto que alterações na camada de revestimento provocam alterações nesse parâmetro. Especial atenção deve ser dada também ao tratamento anti-pó dessa camada, que provoca alteração nas condições do tráfego, nas questões relativas à segurança e saúde ocupacional dos trabalhadores (VALE, 2022).

De acordo com os autores, estradas construídas e mantidas em boas condições reduzem a resistência ao rolamento e promovem aumento de produtividade e segurança a longo de sua extensão, para isso devem ser construídas com materiais adequados para compor todas suas camadas.

3.3 MANUTENÇÃO E READEQUAÇÃO

Neste tópico será abordado a manutenção e readequação da pavimentação, com objetivo de conservar as condições operacionais das estradas de mina.

A manutenção de uma estrada depende de itens como, materiais constituintes, solicitações do tráfego, esforços aplicados ao piso e intempéries. A qualidade dos materiais usados na construção das camadas influencia no desempenho das estradas. Esse desempenho está relacionado com os defeitos, que são agravados à medida que a estrada é mais solicitada pelo tráfego (VALE, 2022).

As técnicas de gerenciamento de manutenção de estradas normalmente empregadas em minas apresentam respostas em curto prazo e não são desenvolvidas e utilizadas da forma mais eficaz possível (HUGO et al., 2005). Além disso, estradas mal ou não projetadas, construídas com pouca técnica e mantidas de maneira indevida, levam a maiores desgastes nos equipamentos de transporte e aumento na frequência de manutenções deles.

Brown et al. (2001) apontam que a manutenção dos equipamentos provoca perda de produção e aumento de custos. A manutenção corretiva de equipamentos, por exemplo, depende do tempo necessário para diagnosticar a falha, da disponibilidade de componentes de reposição e do tempo adequado para a realização do reparo.

Thompson e Visser (2003b) elaboraram um estudo de sistema de gerenciamento de manutenção de estradas de mina. Onde o parâmetro de resistência ao rolamento é utilizado na avaliação de desempenho funcional das estradas e em modelos de custo operacional de caminhões, com o objetivo de obter a frequência ótima de manutenção de tais vias.

3.4 INDICADORES DE PRODUTIVIDADE

Neste tópico serão apresentados conceitos sobre indicadores de produtividade, relacionados as condições operacionais dos equipamentos de transporte em mina.

O termo *Key Performance Indicators* (KPI) – surgiu no Reino Unido, na subsequência do relatório "*Rethinking Construction*" publicado em 1998, foram desenvolvidos diversos indicadores, designados por KPI utilizados pelas empresas da

indústria da construção e pelo próprio governo para avaliar o nível de desempenho dessa indústria para definir metas anuais a atingir (SILVA, 2020).

Segundo Nader (2013) KPIs são indicadores que servem para medir, gerenciar e validar parâmetros que possam ser quantificados para o monitoramento de âmbitos operacionais, tornando assim uma maior facilidade da integração da cadeia de valor, como no caso da mineração a Cadeia de Valor Mineral (CVM). Uma vez que estes são deliberados, eles mostram o quanto um determinado setor está em risco ou está dentro das normalidades.

Segundo Passos et al. (2010), a reconciliação, com o controle de indicadores de desempenhos, proporciona benefícios relacionados ao fortalecimento da interação entre os setores da mina (geologia, operações, processos e outros), melhoria no padrão de qualidade e nível de compreensão dos dados coletados, ganho de eficiência, economia de tempo dos empregados e melhor utilização de recursos.

Hacker & Brotherton (1998:18) destacam que, um efetivo sistema de indicadores deve propiciar capacitação aos administradores de uma organização para determinar se as atividades programadas seguem para o atendimento dos objetivos da empresa.

3.5 FELA, RELACIONADO AS CONDIÇÕES DAS VIAS

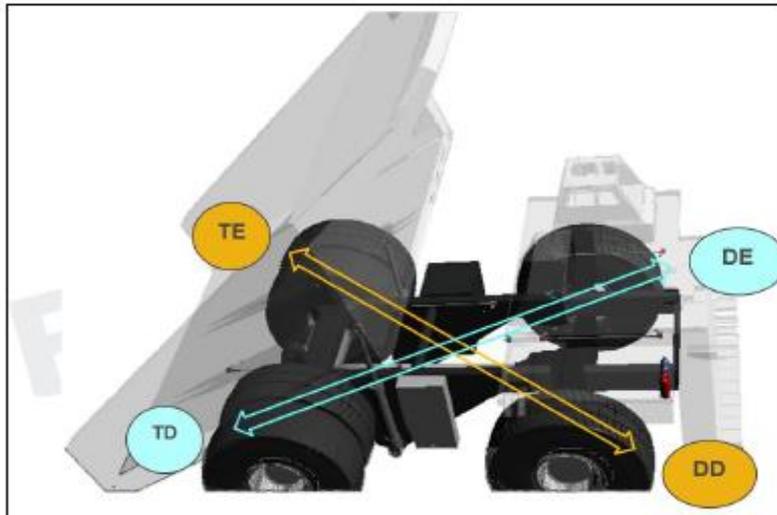
Neste tópico serão apresentados conceitos sobre o indicador FELA e seus KPI's relacionados as condições das vias.

3.5.1 Força de torção ou RACK

A definição deste primeiro indicador, RACK, é a força de torção, ou *twisting motion* para descrição de RACK. Forças de torção aplicadas constantemente nas estruturas de caminhões levam a trincas e, com repetições potenciais, podem diminuir a vida útil dos equipamentos. Uma das principais causas de quebras prematuras de componentes e chassis (CHAMANARA, 2013).

Na Figura 6 observam-se as suspensões dianteira direita (DD), dianteira esquerda (DE), dianteira traseira direita (TD) e dianteira traseira esquerda (TE) de um rack.

Figura 6 - Ilustração da relação entre os valores das pressões das suspensões para rack



Fonte: SOTREQ (2021).

O valor de rack é calculado como:

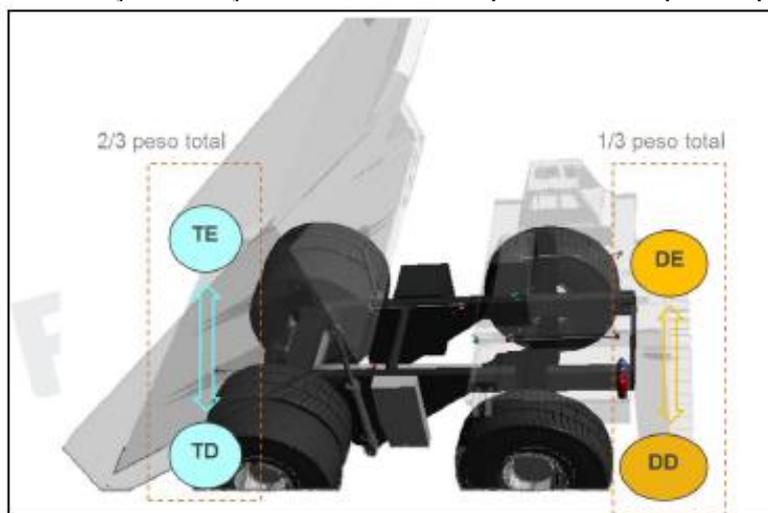
$$\text{RACK} = (\text{DE} + \text{TD}) - (\text{DD} + \text{TE})$$

As forças de torção aplicadas constantemente nas estruturas dos equipamentos podem ocasionar trincas, sucateamento precoce de suspensões e ao aquecimento anormal de fluidos, como óleo de freio e de sistema de basculamento. Aliado ao movimento de rotação do conjunto de rodas, causando danos aos pneus com forças de arraste em curvas e em rampas, o que leva ao aquecimento anormal de seus elementos (TEIXEIRA, 2016).

3.5.2 Diferença entre eixos ou PITCH

Neste segundo indicador, a diferença entre eixos, ou PITCH, é definida pela diferença entre eixos, subtraindo-se a somatória das pressões encontradas no eixo dianteiro pelos valores de ambas as suspensões traseiras, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Ilustração da relação entre os valores das pressões das suspensões para pitch



Fonte: SOTREQ (2021).

Como regra geral, para cada pneu suportar uma mesma carga, a divisão do peso bruto total de operação deve ser 1/6 por pneu. Dessa forma, como o conjunto de pneus tem uma relação de um para dois, comparando os eixos dianteiro e traseiro, tem-se que 2/3 (67%) da carga centralizada é esperada no eixo traseiro e os restantes 1/3 (33%) sobre o eixo dianteiro (SOTREQ, 2021).

Sendo assim, para o cálculo do PITCH usa-se a seguinte equação:

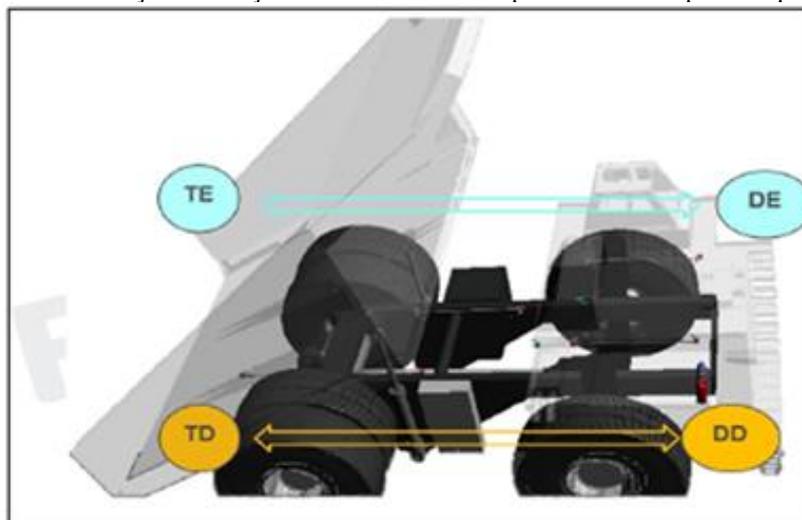
$$\text{PITCH} = (\text{DE} + \text{DD}) - (\text{TE} + \text{TR})$$

Essa diferença entre eixos, quando a carga transportada está uniformemente distribuída sobre a estrutura do caminhão, é 1/3 negativo da somatória dos valores encontrados em todas as quatro suspensões, conferindo equilíbrio da carga entre eixos transversais (CHAMANARA, 2013).

Nesse sentido, durante o percurso nos acessos de mina, em curvas, rotatórias e situações de pisos irregulares, a descentralização de cargas agrava as forças atuantes durante a passagem do equipamento. Interferindo na sua produtividade, devido à necessidade de redução de velocidade nestes trajetos por parte do operador.

Para análise da centralização de cargas, ROLL ou BIAS, entendido como a diferença da somatória das suspensões do lado direito pela somatória das suspensões do lado esquerdo. Este indicador reflete de forma direta o posicionamento de cargas devido à comparação entre as laterais, conforme exposto na Figura 8.

Figura 8 - Ilustração da relação entre os valores das pressões das suspensões para roll



Fonte: SOTREQ (2021).

O cálculo de ROLL é feito da seguinte maneira:

$$\text{ROLL} = (\text{DE} + \text{TE}) - (\text{DD} + \text{TD})$$

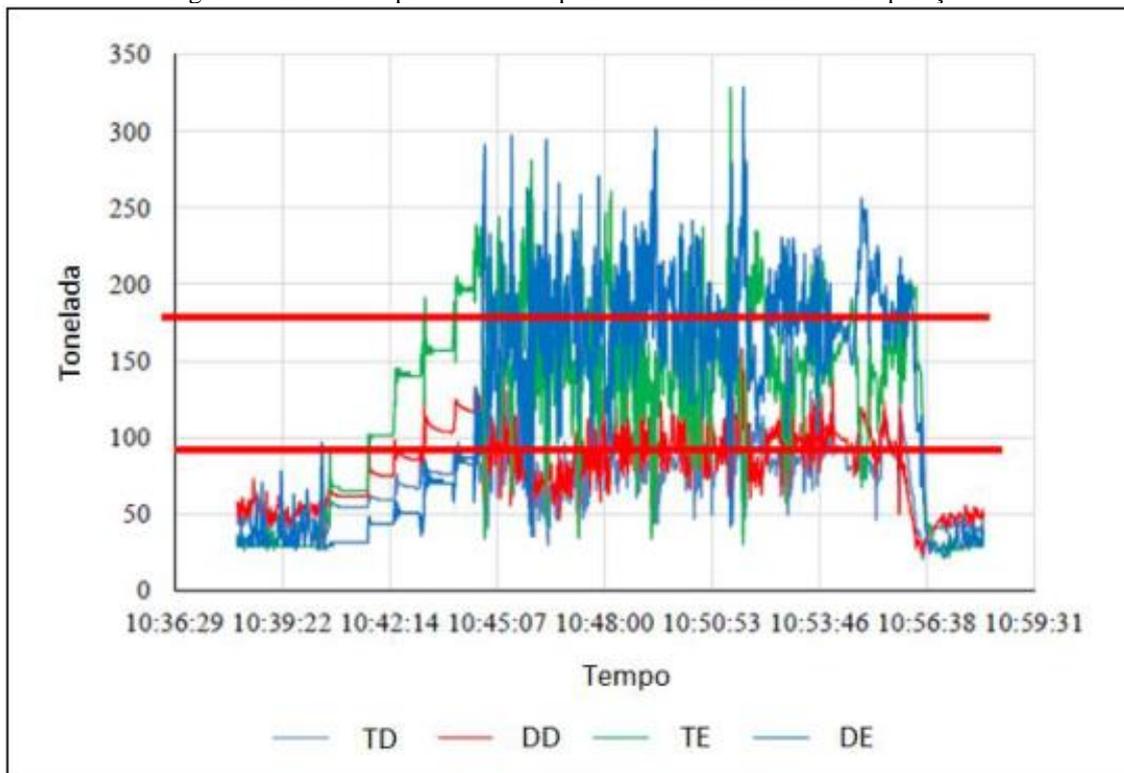
Pode-se concluir que, assim como para RACK, o valor de ROLL será nulo ou bem próximo a este patamar quando o volume de material transportado está bem

distribuído sobre o caminhão. Sendo o valor de ROLL zero, isso reflete que a carga está uniformemente centralizada longitudinalmente e, que as laterais do caminhão transportam a mesma massa.

Conforme Teixeira (2016), a centralização de cargas pode ser identificada por meio das análises dos três indicadores, sendo uma das principais causas de sucateamento e redução de vida útil de pneus grande porte. O ideal é que cada pneu suporte, durante o transporte, o equivalente a 1/6 da carga total do equipamento (tara e carga média - *payload*). Desse modo, equipamentos alocados em longos percursos e com cargas descentralizadas penalizam não apenas a estrutura dos equipamentos, mas também os pares de pneus que estão suportando maior peso. O que se pode entender como sendo uma sobrecarga para o pneu.

Chamanara (2013) descreve como é possível comparar os dados de pressão de suspensões através da coleta de dados via telemetria e, em forma gráfica, expõe os valores no decorrer do tempo de um ciclo de transporte, como mostra a Figura 9.

Figura 9 - Leitura de pressões de suspensões de um caminhão em operação



Fonte: CHAMANARA (2013).

A comparação visual entre as suspensões dianteiras e, também, entre as traseiras nos revela que elas oscilam próximas a valores médios (linha de tendência evidenciada

em vermelho), mas não distanciam muito entre os pares. Assim, seguindo a distribuição regular de carga, sendo $2/3$ do total no eixo traseiro e o restante $1/3$ sobre o eixo dianteiro para cargas centradas, espera-se sempre encontrar maiores valores de pressões sobre o par traseiro de suspensões dos caminhões.

A automatização do sistema de coleta de dados, o uso da telemetria com criação de regras de tendência torna-se uma ferramenta indispensável, sistema de gerenciamento de informações vitais VIMS (Vital Information Management System) armazena os eventos de controle e análise de estrada (Road Analysis Control, RAC) e cria uma medição resumida chamada de análise de carga de fadiga equivalente – FELA (Fatigue Equivalent Load Analysis). O FELA permite rastrear a gravidade e comparar as condições da estrada.

FELA utiliza dados de pressão estruturais, a fim de determinar o quanto as condições de pista estão impactando no chassi, e permite estabelecer tendência das condições de pista em tempo real e ao longo prazo.

Estudos mostram que, a vida do chassi dos caminhões é mais sensível às condições de pista do que ao carregamento. No entanto, a carga útil, ou *payload*, potencializa os picos de Rack e Pitch. Valores mais altos de FELA (RACK e PITCH) resultarão em menor vida útil do chassi.

O conceito do índice de severidade da mina reconhece o fato de que, a gravidade da aplicação da máquina está relacionada à condição da estrada de transporte e à carga útil da máquina. Anteriormente, os dois parâmetros eram classificados em uma escala de 1 a 10 e depois multiplicados para gerar um Índice de Severidade de Mina (MSI). Para evitar confusão ao relatar o MSI, a escala de Classificação de carga útil foi alterada para um intervalo de valores alfa, de A à J, como mostra a Figura 10.

Figura 10 - Índice de Severidade de Mina



Fonte: SOTREQ (2021).

O índice é baseado na Regra de Carga útil 10/10/20 da Caterpillar, que declara que a média da distribuição da carga útil não deve ser maior que a carga útil nominal, não mais que 10% das cargas podem exceder 1,1 vezes a carga útil nominal / target e nenhuma carga deve exceder 1,2 vezes a carga útil nominal. Índice este, exposto na Figura 11.

Figura 11 - Índice de *payload*

Índice de Distribuição de Cargas

Classificação A: 100% das cargas menor que 110% da carga útil.

Classificação B: 95% das cargas menor que 110% da carga útil e nenhuma superior a 120%.

Classificação C: 90% das cargas menor que 110% de carga útil e nenhuma superior a 120%.

Classificação D: 85% das cargas menor que 110% da carga útil e nenhuma excedendo 120%.

Classificação E: 80% das cargas menor que 110 da carga útil e/ou até 2% de cargas superiores a 120%.

Classificação F: 75% das cargas menor que 110% da carga útil e/ou até 5% de cargas superiores a 120%.

Classificação G: 70% das cargas menor que 110% da carga útil e/ou até 10% de cargas superiores a 120%.

Classificação H: 65% das cargas menor que 110% da carga útil e/ou até 15% de cargas superiores a 120%.

Classificação I: 60% das cargas menor que 110% de da carga útil e/ou até 20% de cargas superiores a 120%.

Classificação J: 55% das cargas de menor que 110% de da carga útil e/ou 20+% de cargas superiores a 120%.

Fonte: SOTREQ (2021).

A plotagem dessa figura no gráfico de referência de gerenciamento de estradas de transporte indica um intervalo de reparo do Chassi de aproximadamente 10.000 horas se o índice de Rack FELA de 1600 for alcançado. Os valores do Rack FELA abaixo de 1600 (em alguns lugares até 800 FELA) são certamente alcançáveis, juntamente com

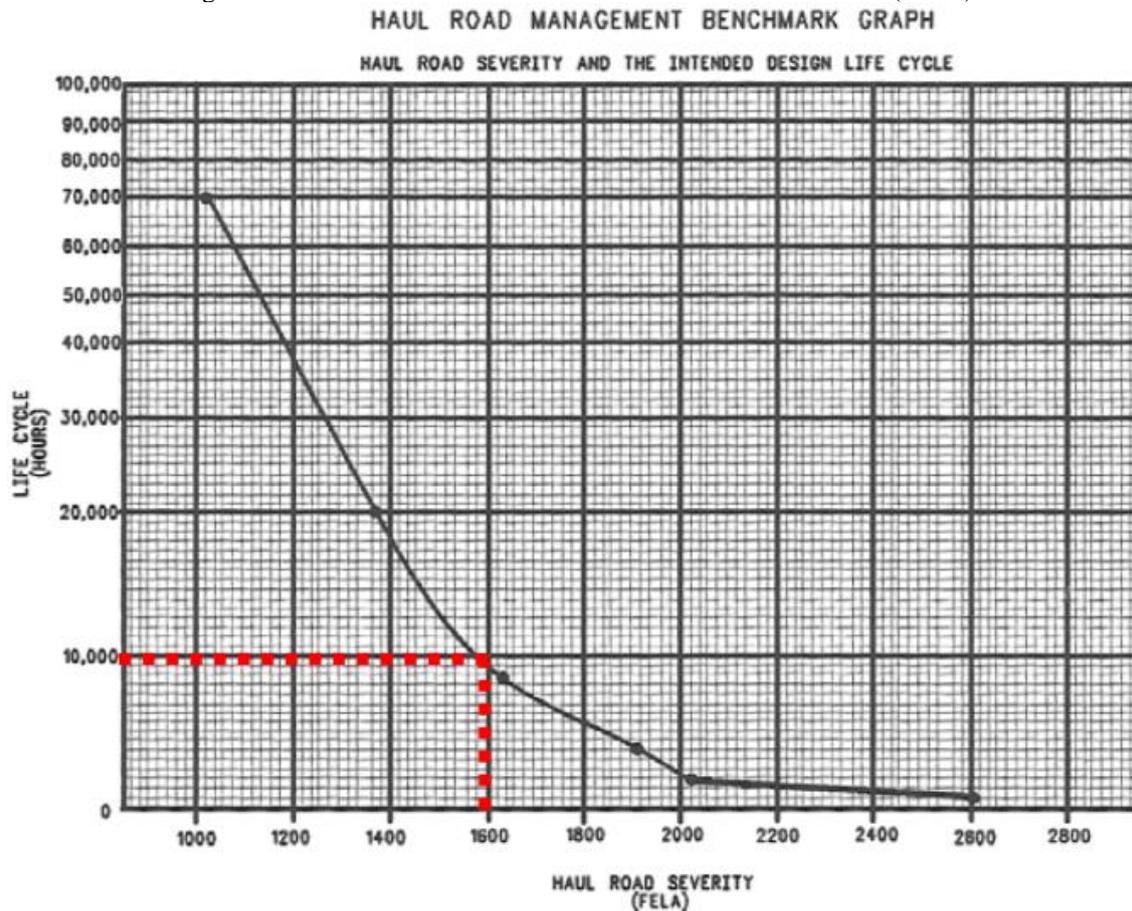
uma redução correspondente na manutenção por reparo do Chassi. Conforme mostra nas Figuras 12 e 13.

Figura 12 - Índice FELA

ÍNDICE DE SEVERIDADE DA ESTRADA	RACK FELA
1	< 800
2	≥ 800 e < 1000
3	≥ 1000 e < 1200
4	≥ 1200 e < 1400
5	≥ 1400 e < 1600
6	≥ 1600 e < 1800
7	≥ 1800 e < 2000
8	≥ 2000 e < 2300
9	≥ 2300 e < 2600
10	≥ 2600

Fonte: SOTREQ (2021).

Figura 13 - Severidade da Estrada FELA e Estimativa de vida útil (Horas)



Fonte: SOTREQ (2021).

4 METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, o presente capítulo apresenta a metodologia científica, que visa orientar o processo de desenvolvimento do mesmo.

O método científico pode ser compreendido como o conjunto das atividades sistemáticas e racionais, que permite alcançar os objetivos e decisões do cientista com segurança e economia, auxiliando na determinação do caminho a ser seguido, detectando erros e fortalecendo suas decisões (MARCONI; LAKATOS, 2010).

Segundo Santos (2010), o método pode ser considerado como, regra, norma, busca pela verdade e identificação de erros na tentativa de encontrar um objetivo desejado com foco no resultado.

4.1 MÉTODO

O método utilizado na pesquisa foi o estudo de caso com o objetivo de aprofundar o conhecimento sobre contribuições na manutenção e operação de equipamentos de mina conforme condições de vias.

O estudo de caso é amplamente utilizado nas ciências biomédicas e sociais onde o estudo é aprofundado exaustivamente, de modo a permitir o seu amplo e detalhado conhecimento (GIL, 2010).

Conforme Santos (2010), o estudo de caso analisa com profundidade um ou poucos fatos, buscando o conhecimento de detalhes do objeto estudado, podendo ser utilizado em pesquisas com maior grau de complexidade.

Portanto, o estudo de caso foi utilizado nesta pesquisa para identificar de forma mais profunda e clara, detalhes sobre as contribuições na manutenção e operação de equipamentos de mina conforme condições de vias e por estar o setor estudado no contexto real da investigação do fenômeno pesquisado.

4.2 ESTUDO DE CASO

O universo de pesquisa para o estudo de caso foi uma empresa do ramo de mineração situada na cidade de Itabira/MG.

Segundo Vergara (2011), a população (universo) não é o número de habitantes de um local e sim um conjunto de elementos como empresas, produtos e pessoas, ou seja, um conjunto de elementos com características que serão o objeto de estudo.

Para Marconi e Lakatos (2010), o universo consiste em explicitar o objeto pesquisado, sendo que estes devem ter, no mínimo, uma característica em comum. Em complementação a esta ideia.

A escolha da empresa e unidade de Itabira/MG, justifica-se em decorrência da identificação e contribuições na manutenção e operação de equipamentos de mina conforme condições de vias, onde foram obtidas as informações necessárias para responder ao problema de pesquisa e seus respectivos objetivos.

Figura 14 - Imagem aérea da mina de Itabira/MG



Fonte: Adaptada de Google Earth (2022).

4.3 INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS

Os instrumentos de coleta utilizados foi a pesquisa documental.

Para Gil (2010), a pesquisa documental vale-se de materiais que não receberam ainda um tratamento analítico, ou ainda podem ser refeitas conforme os objetivos da pesquisa.

Investigação documental é aquela efetuada em documentos conservados no interior de órgãos públicos e privados de qualquer natureza, ou com pessoas (VERGARA, 2011).

Segundo Marconi e Lakatos (2010), a coleta de dados para pesquisa documental está restrita a documentos, escritos ou não. Podendo ser feita no instante em que o fato ou fenômeno ocorrem, ou depois.

A pesquisa documental neste trabalho é necessária pois permite analisar documentos que identifique as contribuições na manutenção e operação de

equipamentos de mina conforme condições de vias, como fonte de contribuição para o estudo.

A Tabela 1 apresenta a lista de documentos utilizados para análise documental, contribuindo para o estudo.

Tabela 1 - Lista de documentos

Documentos	Descrição documentos pesquisados	Data de publicação
	Procedimento Geral para Projeto	
PGS-004292	Construção e Manutenção de Estradas a Céu Aberto	Mar/2022
PGS-003682	Regulamento de Operação de Mina	Fev/2021
PGS-005210	Procedimento Geral para Projetos de Praças de Carregamento	Dez/2021
PRO-028298	Realizar Confecção e Manutenção de Acessos e Praças - Rev.03	Jul/2021

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Visando atingir os objetivos específicos do presente trabalho, de acordo com a metodologia descrita no capítulo 4, este capítulo apresenta a análise e interpretação dos dados, tratados de forma qualitativa, sendo compilados e analisados de maneira estruturada, utilizando-se a técnica de análise de conteúdo. Os dados aqui apresentados e analisados foram obtidos por meio da utilização dos instrumentos de coleta de dados: análise de documentos pertinentes de condições de vias do setor estudado e a observação participante.

Os resultados da análise são apresentados na seguinte ordem: descrição do projeto de vias; avaliação da relação entre condições das vias e velocidade média dos caminhões; análise dos ganhos nos indicadores de produtividade de transporte; medição dos resultados em intervenções em chassi dos caminhões, mediante as condições das vias e ganhos no resultado do FELA, relacionado às condições das vias no setor pesquisado.

No próximo tópico será apresentado o primeiro objetivo desse estudo referente à descrição do projeto de vias aplicado ao setor estudado.

5.1 DESCRIÇÃO DO PROJETO DE VIAS

Esse tópico teve como objetivo descrever o projeto de vias, aplicado ao setor estudado, a partir dos dados coletados por meio de análise documental e observação participante do autor.

De acordo com avaliações realizadas por meio da análise documental no procedimento geral para projeto construção e manutenção de estradas a céu aberto, PGS-004292 (VALE, 2022), alguns dos elementos mais relevantes para o projeto de vias, levando em consideração normas aplicáveis ao setor, estão representados na Figura 15.

Figura 15 - Elementos para projeto de vias

Projeto		
Geométrico	Estrutural	Drenagem
Distância de parada	Revestimento	Valetas de proteção de corte e aterro
Distância de visibilidade	Base	Sarjetas de corte
Largura	Sub-base	Saídas d'água
Superelevação	Sub-leito	Descidas d'água
Raio de curvatura		Caixas coletoras
Grade		Bueiros de greide
Leiras de segurança		Dissipadores de energia
Interseções entre elementos geométricos		Caixas de retenção/infiltração
Inclinação para direc. de drenagem		Drenos profundos

Fonte: Adaptado de Vale, 2022.

Conforme apresentado na Figura 15, os elementos geométricos que compõem um projeto de estradas de mina devem estar alinhados com as questões relativas à segurança e à prática de uma engenharia bem aplicada. Estes elementos, quando corretamente projetados, geram benefícios baseados em aumento de segurança, performance otimizada a um custo mínimo por tonelada transportada e redução da utilização dos equipamentos de manutenção.

No projeto estrutural da estrada de transporte, apresentado acima, diz respeito à capacidade da estrada de suportar e distribuir as cargas impostas sem a necessidade de

manutenção ou reabilitação excessiva, além de visar melhores condições de rolamento quanto à comodidade e segurança.

A Figura 15 apresenta os principais elementos responsáveis pelo controle da drenagem superficial e profunda. Em linhas gerais, o objetivo da drenagem superficial é encaminhar a água de escoamento que incide sobre a estrada, a drenagem profunda e drenagem subterrânea, destina-se ao direcionamento da água de percolação ou de infiltração.

5.1.1 Blindagem dos acessos

As blindagens dos acessos consistem em melhorar a performance do corpo estrutural da estrada com estratégia de operações nos períodos chuvosos.

As camadas que constituem o pavimento são classificadas como revestimento, base, sub-base subleito. Com exceção da camada superior (revestimento), cujo caráter é basicamente funcional, as outras camadas exercem papel estrutural.

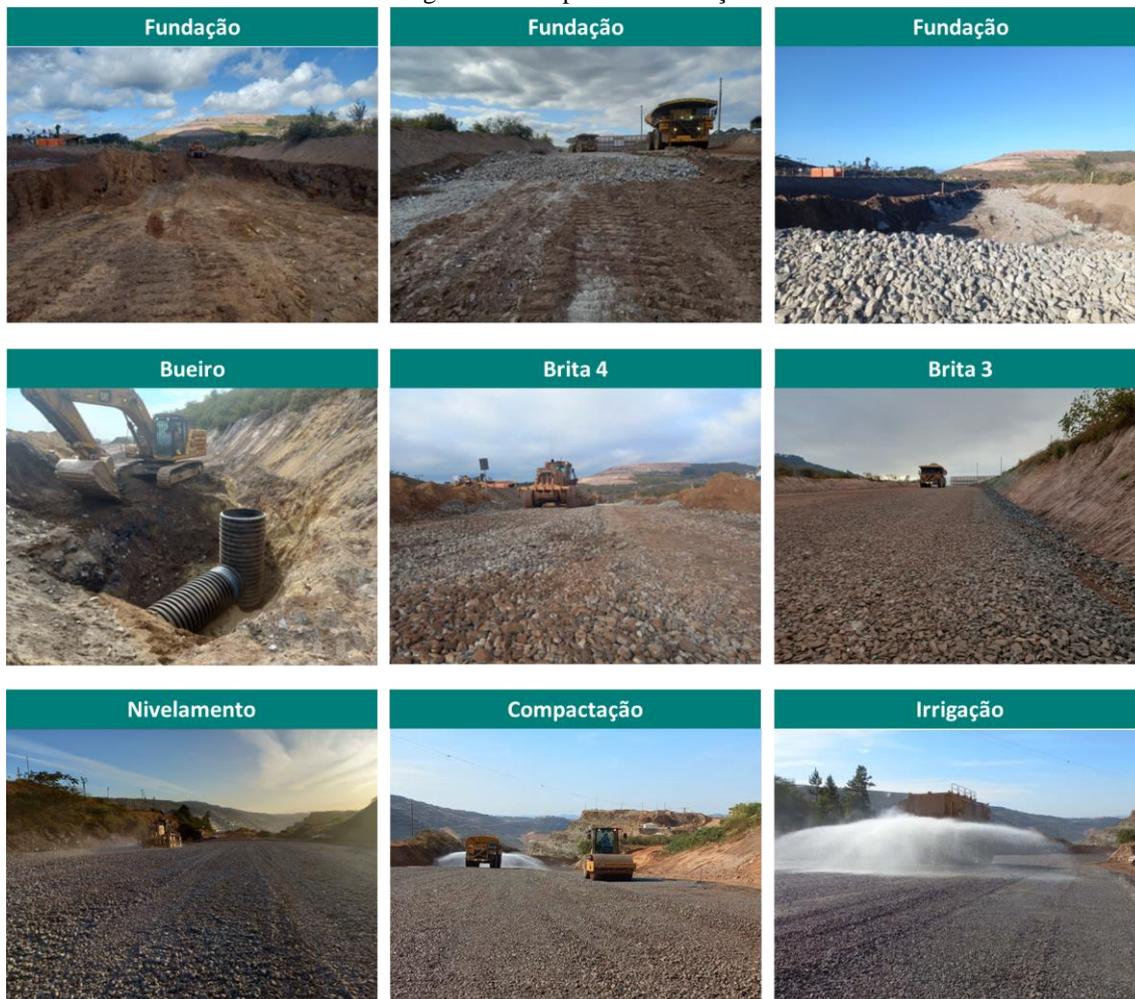
- **Revestimento** é a camada em contato direto com os pneus que promove tração, resistência à ação abrasiva do tráfego e ao cisalhamento;
- **Base** é uma camada de alta densidade e estabilidade. A sua função principal é distribuir as tensões criadas pelos pneus atuando na camada de revestimento;
- A **Sub-base** é a camada intermediária entre a base e o subleito, pode ou não existir. Ela é geralmente projetada sobre subleitos de solos extremamente incompetentes. Em geral é constituída por material granular.

As etapas construtivas podem variar conforme a avaliação do projeto para cada trecho da blindagem. Podem ser em aterro, corte ou ambos e ou apenas regularização com britas do tipo 3 e 4. Para este último, considera que já existem fundações compatíveis e requer somente raspagem da pista de rolamento para retirada do revestimento contaminado com material de baixa resistência.

Para as blindagens dos acessos, considera-se somente a massa das britas tipo 3 e 4 devido sua granulometria e capacidade de aderência. O pó de brita na presença de água provoca escorregamento dos caminhões. São aproveitados nas leiras, trevos e

outros serviços de mina. Na Figura 16 é possível verificar algumas das etapas de construção da blindagem de acessos.

Figura 16 - Etapas de construção



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A Figura 17 apresenta o cronograma com as definições dos trechos a serem mantidos e blindados no ano de 2022, conforme definições do time do planejamento de mina. Foram blindados 9000m em 2021 e 9500m de novos trechos blindados em 2022, o que corresponde 35% das vias do complexo Itabira já blindados.

Figura 17 - Cronograma de blindagens



Fonte: Vale (2022d).

Após as melhorias deve-se sempre inspecionar as blindagens, a fim de identificar aspectos que reduzem a segurança, o conforto e a eficiência aos equipamentos que ali trafegam, são estes:

- Pista lisa, gerando risco de perda de aderências dos pneus dos equipamentos e veículos (ausência de granulados ao longo da via);
- Ondulações ocasionadas por frenagem, patinagem e contaminantes (causando desconforto e perda de velocidade dos equipamentos);

Para tratar estas condições detectadas é permitido utilizar o escarificador das motoniveladores ao longo dos acessos “blindados”, conforme Figura 18. Esta tarefa deve ser executada corretamente, seguindo as técnicas operacionais existentes.

Figura 18 - Escarificação das vias



Fonte: Vale (2022c).

A manutenção na via tem como objetivo conservar a superfície da estrada reduzindo condições que possam gerar riscos operacionais e perdas no processo produtivo cuidando dos acessos de mina como um ativo da empresa, com qualidade e dentro dos padrões exigidos.

5.2 AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE CONDIÇÕES DAS VIAS E VELOCIDADE MÉDIA DOS CAMINHÕES

Visando a produtividade, redução de combustível e emissão de CO2 equivalente conectado aos objetivos da VALE para 2030, os trechos que possuem recomendações de velocidade são os destinos em que o caminhão está carregado. A priorização desses trechos é devido ao maior consumo e esforço do ativo em relação a condição de operação em que o caminhão está se deslocando vazio.

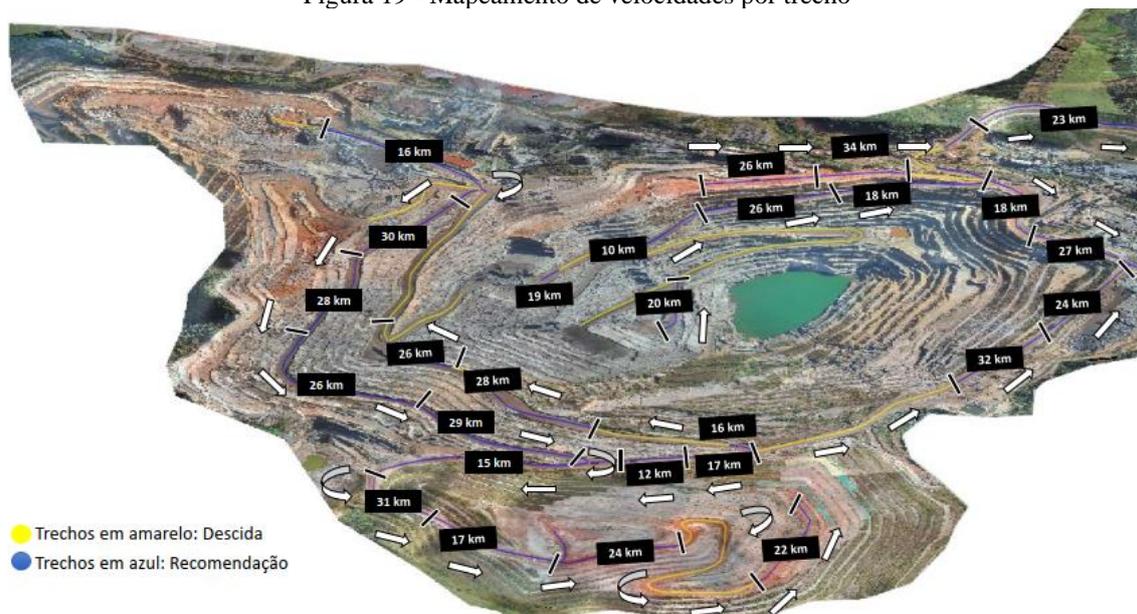
As velocidades dimensionadas por trechos levam em consideração a inclinação, resistência ao rolamento, consumo, carga e velocidade.

Durante o transporte, os sensores dos caminhões enviam dados como a posição no sistema de posicionamento global (GPS), velocidades, cargas e distâncias para o sistema de despacho da mina. As recomendações de velocidade são validadas pela operação de mina e entregues via *Location Action* (PTX), exibido no painel do caminhão.

Ao iniciar trechos planos e ou trechos de subida, o operador recebe a velocidade e a distância do trecho. Ao percorrer toda a extensão do trecho, o operador receberá uma nova recomendação de velocidade com sua respectiva distância. Nos casos de trechos em descida, a mensagem enviada não é uma recomendação e sim uma indicação do tipo de trecho que vem a seguir, é utilizada a velocidade de segurança estabelecida pela operação.

A Figura 19, apresenta um exemplo da proposta de velocidade por trecho para mina de Conceição no Complexo Itabira/MG.

Figura 19 - Mapeamento de velocidades por trecho

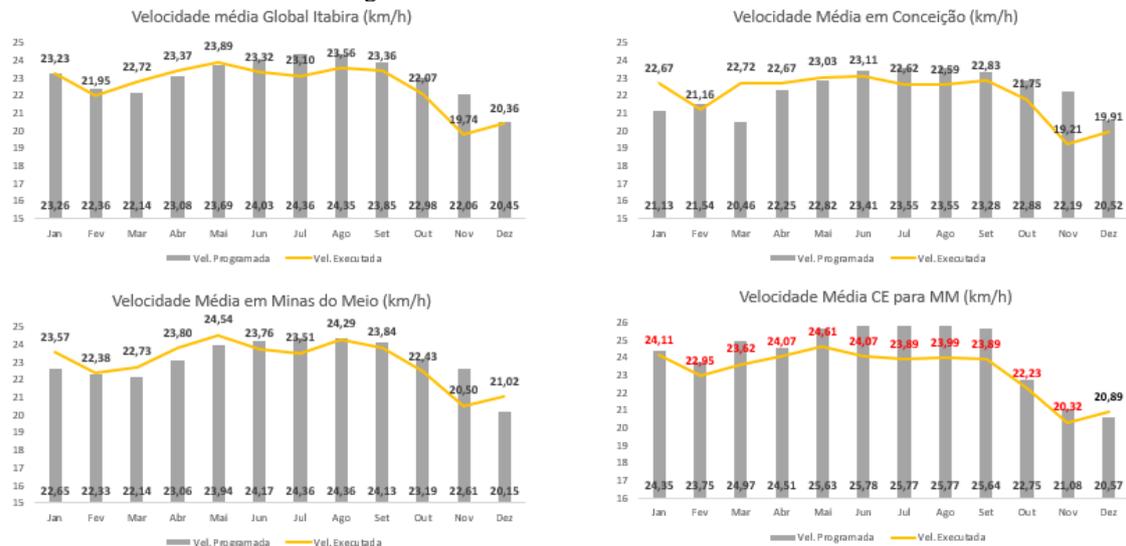


Fonte: Vale (2022a).

Os gráficos expostos abaixo, apresentam a relação entre a velocidade média executada e a velocidade média programada. É possível identificar nos gráficos apresentados, que no trajeto de Conceição (CE) para Minas do meio (MM), praticamente todos os meses do ano tiveram um comportamento inferior à velocidade média programada.

Analisando a Figura 20 apresentada abaixo, é possível identificar que na região da mina de Conceição e Minas do meio tiveram a menor aderência à velocidade programada para o trecho. Esta situação pode ser justificada pelo volume pluviométrico excessivo no período.

Figura 20 - Velocidade média – Ano 2021

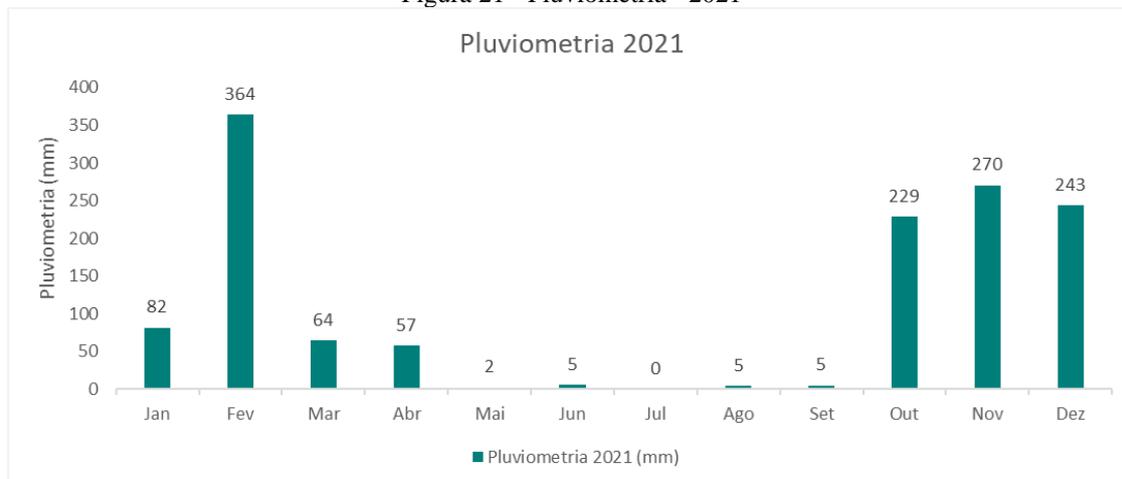


Fonte: Vale (2022a).

Na Figura 21, é possível identificar o volume pluviômetro no ano de 2021, conforme apresentado no gráfico o volume de chuvas no mês de fevereiro superou os demais meses do ano. Quando avaliado em conjunto com o Gráfico 1, percebe-se que não gerou impacto na velocidade média, este fator deu-se pelo curto intervalo de chuvas no período.

Portanto, nos meses de outubro a dezembro, por apresentar um volume elevado e constância nos dias de chuva, apresentando impactos na velocidade média em todos os trechos apresentados na Figura 20 do Complexo Itabira.

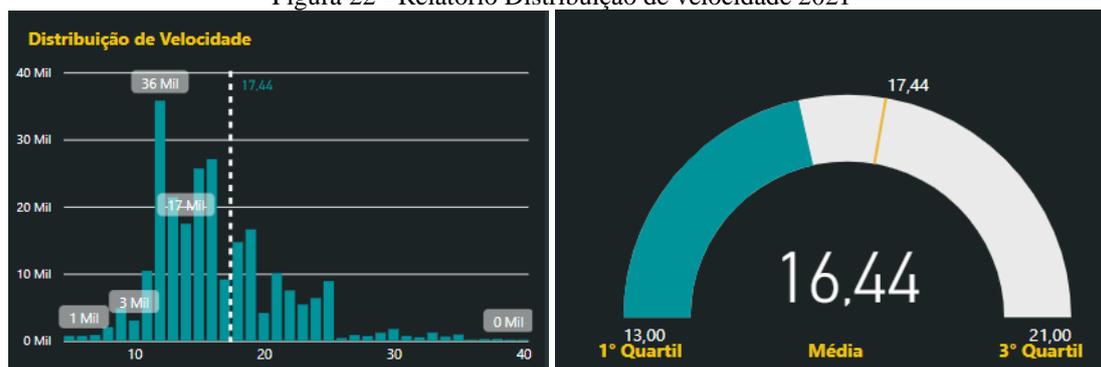
Figura 21 - Pluviometria - 2021



Fonte: Vale (2022b).

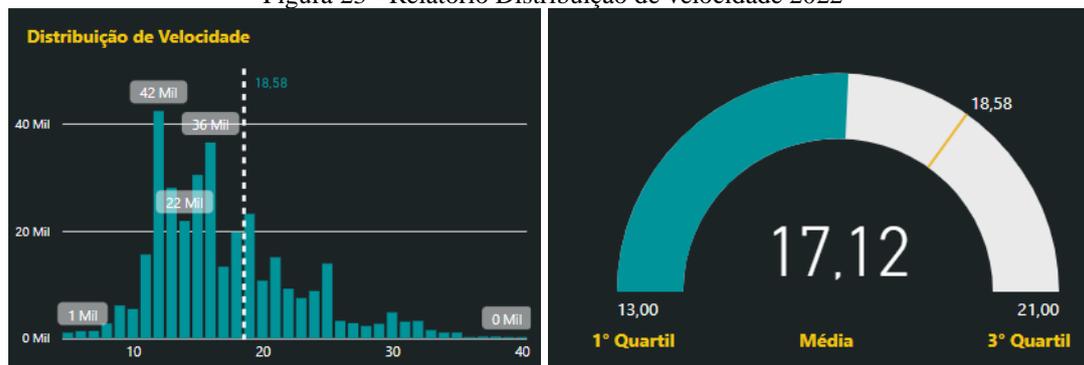
Na Figura 22 e 23 é possível avaliar a relação da distribuição de velocidade em 2021 e 2022, conforme as condições de vias do complexo Itabira, através de dados e desdobramento apresentado no relatório de consumo de combustíveis. Onde é possível realizar análise por velocidade, rota, identificação do equipamento e trechos. Estas informações suportam na tomada de decisões e correções em trechos críticos da mina.

Figura 22 - Relatório Distribuição de velocidade 2021



Fonte: ITA - Consumo de Combustível (2022).

Figura 23 - Relatório Distribuição de velocidade 2022



Fonte: ITA - Consumo de Combustível (2022).

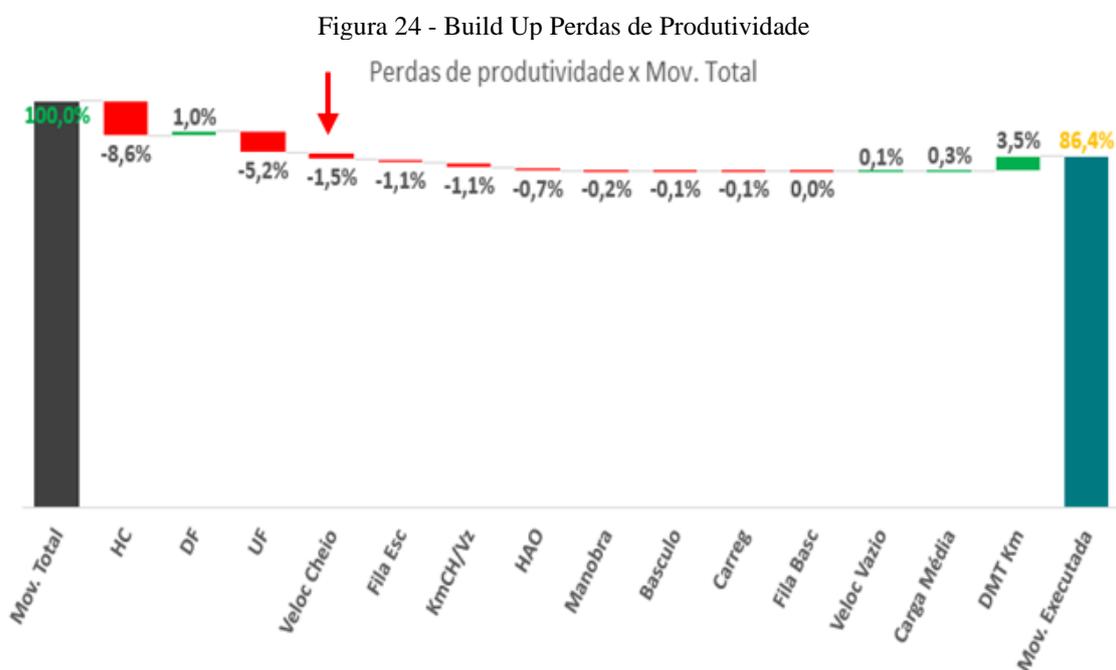
5.3 ANÁLISE DOS GANHOS NOS INDICADORES DE PRODUTIVIDADE DE TRANSPORTE

O aumento expressivo na capacidade de carga nominal dos caminhões deixa claro que o projeto estrutural de estradas de mina deve ser bem planejado, executado e reavaliado, de forma a viabilizar maior segurança, produtividade e vida útil dos equipamentos. Além disso, conforme descrito por Thompson (2011), a recente oferta de caminhões autônomos no mercado da mineração exige maior critério nas especificidades de projeto e construção de estradas de mina.

Certas especificações de traçado geométrico tais como raio de curvatura, superlargura e superelevação, são definidas de acordo com a velocidade de tráfego, as diretrizes determinadas nos manuais dos equipamentos e a experiência prática das equipes de infraestrutura e topografia. Em algumas seções típicas das estradas é possível perceber uma suave superelevação e o abaulamento das pistas para o adequado direcionamento da água.

Dentre as perdas de produtividade da frota de transporte, o parâmetro de velocidade cheio teve o maior impacto nas parcelas de produtividade.

A melhoria das condições de acesso permite capturar ganhos de velocidade e utilização dessa frota. Com a proposta de velocidade por trecho é possível refinar o dimensionamento e apontar tratativas para os trechos críticos priorizados.



Fonte: Vale (2022b).

A Figura 24, retrata as perdas de produtividade para frota de transporte, sendo que a terceira maior perda, “Veloc Cheio”, está relacionado as condições das vias. Os impactos de velocidade cheio, estão relacionados as condições de acesso. No próximo tópico serão apresentados trabalhos que estão sendo conduzidos para aumentar a velocidade nos trechos.

Figura 25 - Aguardando Condições Acesso 2021



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Na Figura 25 é possível identificar o cumprimento as horas ociosas (HO) programadas e executadas em 2021, para aguardando condição de acesso. No início do ano foi realizado um menor resultado de aguardando a condição de acesso em relação ao programado devido menor volume de chuvas e trabalhos realizados pela equipe de infraestrutura para mitigar os impactos, já no final do ano o resultado teve impacto por apresentar um volume elevado e constância nos dias de chuva.

5.4 MEDIÇÃO DOS RESULTADOS EM INTERVENÇÕES EM CHASSI DOS CAMINHÕES, MEDIANTE AS CONDIÇÕES DAS VIAS

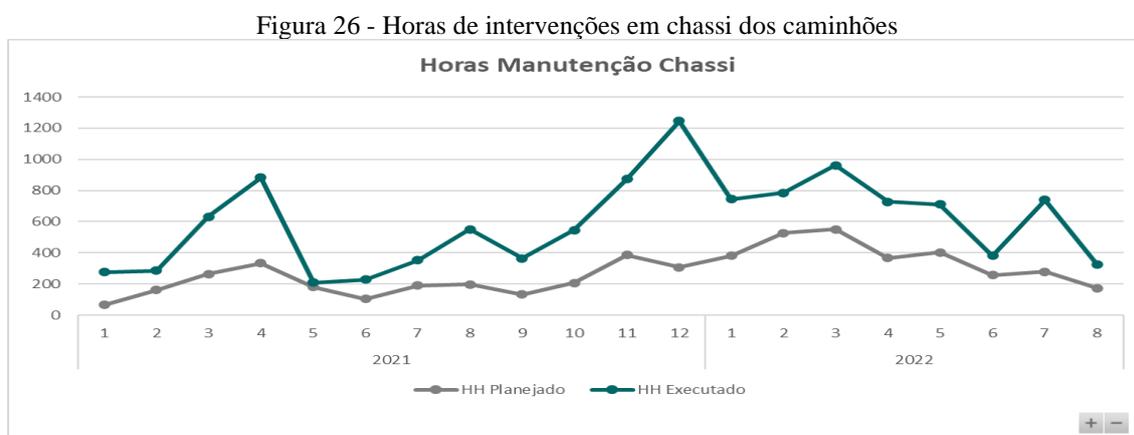
Pontes Filho (1998) define projeto geométrico como a correlação entre os elementos físicos de uma estrada e parâmetros operacionais, tais como frenagem, aceleração e características de operação. O projeto geométrico de estradas de mina deve contemplar elementos que proporcionem basicamente maior segurança de operação dos equipamentos que trafegam pelas vias. Deve também considerar condições que levem ao maior rendimento dos equipamentos de transporte, através de menor desgaste de pneus e do chassi. O aumento contínuo nas dimensões dos caminhões fabricados ao longo dos anos, principalmente os fora de estrada, afeta diretamente parâmetros geométricos.

Quando transportamos cargas centralizadas, as forças estão bem distribuídas sobre o chassi e os demais componentes do caminhão, não havendo sobrepeso para nenhum componente. Caso não esteja centralizada, gastos com recuperação de chassis e

riscos de acidente aumentam, pois a estabilidade do conjunto caminhão e carga fica desigual durante o transporte em rampas e raios de curvatura (CHAMANARA, 2013).

O Figura 26, apresenta o histórico de horas de intervenções em chassi dos caminhões na mina em estudo. Pode-se identificar, que após trabalhos realizados na blindagem e melhorias no acompanhamento das condições de vias em 2021, houve uma tendência de redução nas horas de intervenção nos chassis dos equipamentos em 2022.

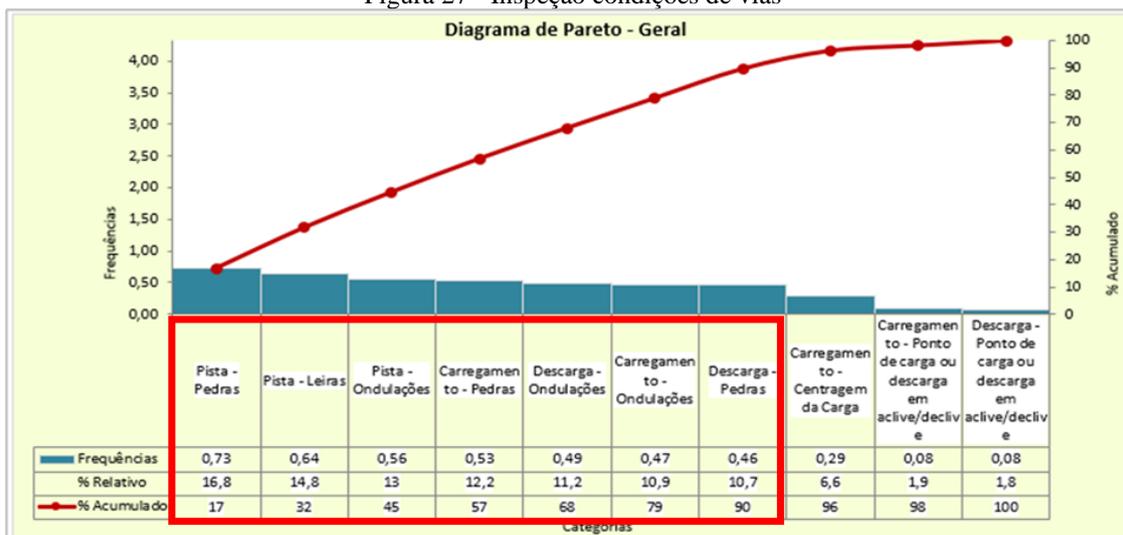
Ponto de atenção para os períodos após chuvas, fevereiro e outubro, que devido ao grande volume pluviométrico nos períodos geram um aumento das intervenções em chassis dos caminhões nos meses subsequentes.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Apesar de apresentar ganhos nas intervenções em chassi, a Figura 27 nos mostra que os maiores problemas identificados nas condições das vias do Complexo Itabira, estão relacionados a pedras e ondulações, que foram identificados em inspeção sensitiva nas pistas, praças de carga e descarga. É possível observar que 45% dos impactos estão relacionados às condições de pistas, levando em consideração análise realizada no intervalo de um ano.

Figura 27 - Inspeção condições de vias



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A Tabela 2 apresenta os parâmetros e critérios de avaliação para inspeção das condições de vias no complexo Itabira, apresentando critérios conforme as regiões de carregamento, descarga e pistas. Os resultados apresentados na Figura 27, retrata resultados de medições realizadas me um intervalo de 1 ano, seguindo os critérios mencionados abaixo.

Tabela 2 - Critérios para inspeção das condições de vias

Região	Parâmetro	Valor	Descrição
Zona de carregamento	Pedras	15%	UM PONTO OU MAIS com pedras que podem causar sucateamento PREMATURO POR IMPACTO OU PENETRAÇÃO
Zona de carregamento	Pedras	40%	UM PONTO OU MAIS com pedras que podem causar o sucateamento no MÉDIO PRAZO - Exemplo: cortes na borracha, cortes que podem causar oxidação, cortes que podem atingir lonas
Zona de carregamento	Pedras	65%	Presença de pedras que podem ser retidas no fundo da escultura
Zona de carregamento	Pedras	100%	Ausência de pedras
Zona de carregamento	Pontos de carga em aclave/declive	25%	Carregadeira realizando carregamento em praça estreita E ponto de carga inclinado - Considerar posicionamento do caminhão E da carregadeira na praça
Zona de carregamento	Pontos de carga em aclave/declive	50%	Carregadeira realizando carregamento em praça estreita OU ponto de carga inclinado - Considerar posicionamento do caminhão E da carregadeira na praça
Zona de carregamento	Pontos de carga em aclave/declive	75%	Carregadeira realizando carregamento em praça plana E estreita - Considerar posicionamento do caminhão E da carregadeira na praça

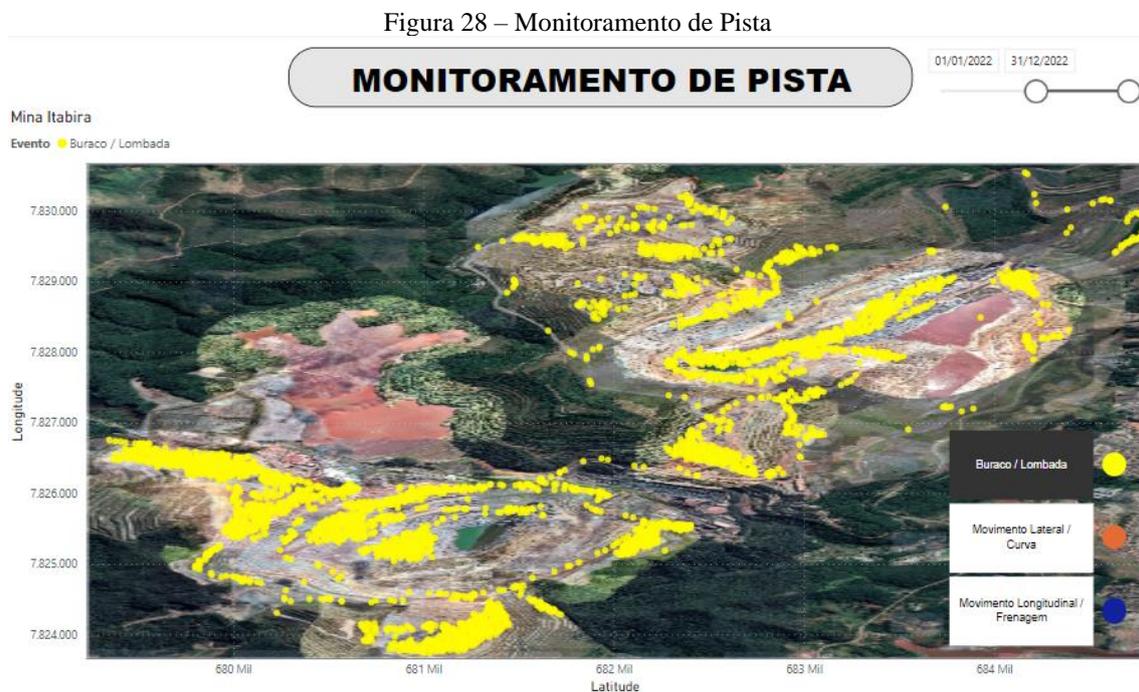
Região	Parâmetro	Valor	Descrição
Zona de carregamento	Pontos de carga em aclave/declive	100%	Carregadeira realizando carregamento em praça plana E larga - Considerar posicionamento do caminhão E da carregadeira na praça
Zona de carregamento ou descarga	Ondulações	25%	Grandes ondulações ocasionando grande movimentação da carga e queda de pedras.
Zona de carregamento ou descarga	Ondulações	40%	Ondulações que não causam caídas de pedras, porém causam sobrecarga dinâmica nos pneus.
Zona de carregamento ou descarga	Ondulações	65%	Pequenas ondulações
Zona de carregamento ou descarga	Ondulações	100%	Ausência de ondulações.
Zona de carregamento	Centragem da Carga	15%	Carga mal centrada para esquerda/direta E para frente/traz da balsa
Zona de carregamento	Centragem da Carga	30%	Carga mal centrada para esquerda/direta OU para frente/traz da balsa
Zona de carregamento	Centragem da Carga	65%	Carga levemente mal centrada
Zona de carregamento	Centragem da Carga	100%	Carga bem centrada
Pistas	Pedras	15%	UM PONTO OU MAIS com pedras que podem causar sucateamento PREMATURO POR IMPACTO OU PENETRAÇÃO
Pistas	Pedras	40%	UM PONTO OU MAIS com pedras que podem causar o sucateamento no MÉDIO PRAZO - Exemplo: cortes na borracha, cortes que podem causar oxidação, cortes que podem atingir lonas
Pistas	Pedras	65%	Presença de pedras que podem ser retidas no fundo da escultura
Pistas	Pedras	100%	Ausência de pedras
Pistas	Ondulações	25%	Grandes ondulações ocasionando grande movimentação da carga e queda de pedras.
Pistas	Ondulações	40%	Ondulações que não causam caídas de pedras, porém causam sobrecarga dinâmica nos pneus.
Pistas	Ondulações	65%	Pequenas ondulações
Pistas	Ondulações	100%	Ausência de ondulações.
Pistas	Leiras	15%	Pneus passando na leira com presença de pedras que podem causar sucateamento prematuro por impacto ou cortes
Pistas	Leiras	30%	Pneus passando na leira com presença de pedras que podem causar sucateamento no médio prazo - Exemplo: cortes na borracha, cortes atingindo lonas, oxidação.
Pistas	Leiras	65%	Pneus passando nas leiras sem presença de pedras
Pistas	Leiras	100%	Pneus não passam sobre as leiras

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

5.5 COMPROVAR GANHOS NO RESULTADO DO FELA

O indicador de severidade, FELA é um valor calculado que utiliza dados de pressão estruturais coletados a cada 01 hora. É recomendado pela Caterpillar (Fabricante de equipamentos) uma operação de no mínimo 8h no trecho a fim de determinar o quanto as condições de pista estão impactando no chassi.

A Figura 28, apresenta o monitoramento de pista do complexo de Itabira, onde é possível identificar as regiões que apresentaram o maior número de alerta de buracos e lombadas. Estes alertas produzem impactos negativos ao indicador de severidade FELA.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A Figura 29, complementa as informações citadas na figura acima, apresentando o acompanhamento do número de alertas pelas horas trabalhadas dos caminhões 793F no complexo Itabira no ano de 2022.

Figura 29 - Controle quantidade de alertas/horas trabalhadas



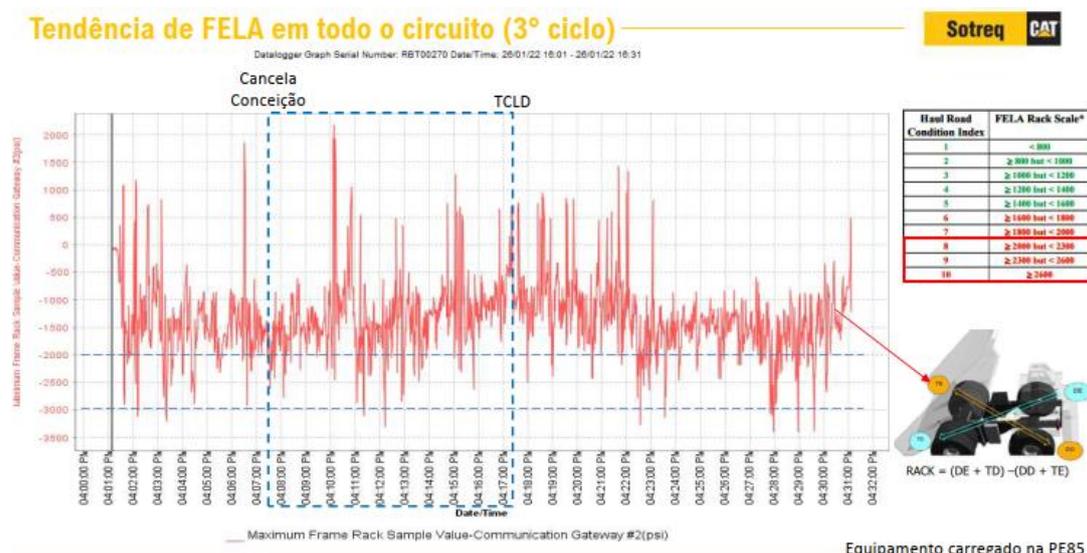
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

As irregularidades da praça como depressões, lombadas e alta resistência ao rolamento, levam à perda eficiência de tração do equipamento, contribuindo consideravelmente para diminuição da velocidade média e aumento do tempo de ciclo.

Além disso, a vida útil dos componentes e estrutura do equipamento são reduzidos e existe um maior desconforto para o operador na operação do equipamento.

A Figura 28, apresenta a variabilidade da força de torção aplicada constantemente nas estruturas de caminhões, conforme medições realizadas no equipamento em um trecho não blindado. Conforme referenciado na Figura 12, os valores apresentados, classificam a via analisada com um índice FELA entre 8 e 10.

Figura 30 - Tendência de FELA - Trecho não blindado



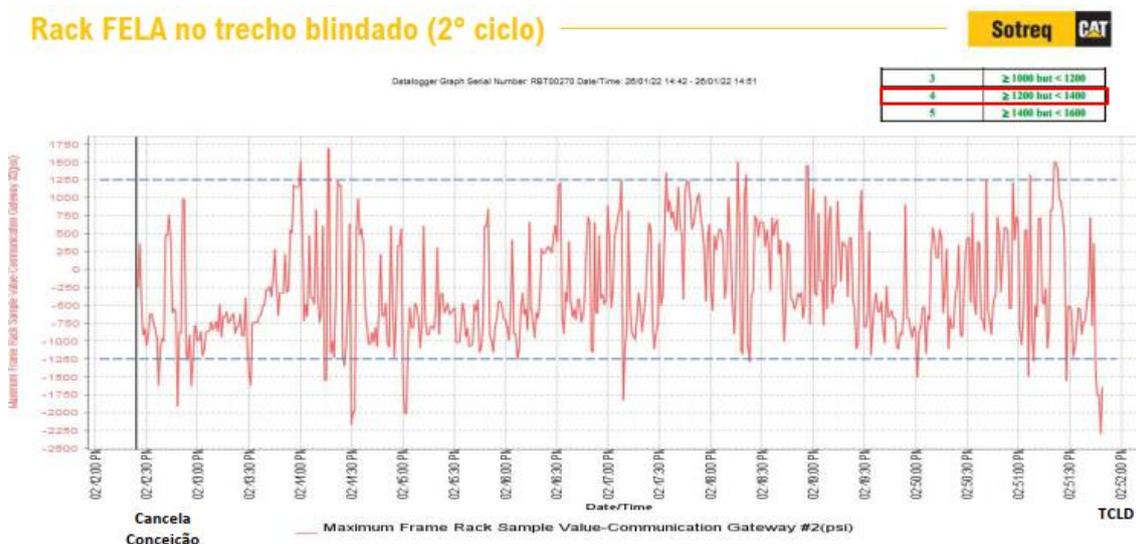
Equipamento carregado na PE85

Fonte: SOTREQ (2022a).

O trecho blindado da cancela de entrada da mina de Conceição até o TCLD, sentido britador de Cauê, representa 1/3 em tempo de ciclo do circuito completo. Assim conclui-se que o trecho blindado está classificado em um FELA 4, conforme apresentado na Figura 29, este resultado se deu após a realização de trabalhos de blindagem, melhorias na drenagem e condições operacionais da via.

Contudo, o circuito por completo da mina de Itabira, via parâmetros de tendência está classificado como FELA 10. Para melhorar o resultado global do indicador FELA é necessário trabalhar melhorias nas praças de carregamento e descarga, conforme identificado na Figura 27 pelas inspeções realizadas.

Figura 31 - Tendência de FELA - Trecho blindado



Fonte: SOTREQ (2022b).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O escopo deste trabalho foi desenvolver uma pesquisa para identificar as contribuições na manutenção e operação de equipamentos de mina conforme condições de vias, em uma empresa do ramo de mineração da cidade de Itabira/MG. A escolha do tema desse estudo se justifica pelo fato de contribuir para outras empresas e unidades com um modelo de referência. Apresentando um estudo das condições de vias com aplicação de blindagem. Estudou-se projetos de vias, relação entre condições das vias e velocidade média dos caminhões, ganhos nos indicadores de produtividade, resultados em intervenções em chassi e comprovação dos ganhos no resultado do FELA.

O primeiro objetivo específico foi descrever o projeto de vias aplicado à mineração, a partir dos dados coletados por meio de análise documental e observação participante do autor. Evidenciou-se que, o setor orienta-se para preparação das vias por um procedimento geral de projeto construção e manutenção de estradas à céu aberto, contendo, por exemplo, elementos geométricos, estrutural e drenagem. Verificou-se que a concepção das blindagens dos acessos consiste em melhorar a performance estrutural da estrada como estratégia de operações nos períodos chuvosos. Finalmente, após a construção da via a manutenção tem como objetivo conservar a superfície da estrada, reduzindo condições que possam gerar riscos operacionais e perdas no processo produtivo.

O segundo objetivo específico foi avaliar a relação entre condições das vias e velocidade média dos caminhões. Constatou-se que, as velocidades dimensionadas por trechos levam em consideração a inclinação, resistência ao rolamento, consumo, carga e velocidade. Evidenciou-se através dos instrumentos de coletas utilizados que, praticamente todos os meses do ano tiveram um comportamento inferior à velocidade média programada, sendo justificado esta situação em alguns períodos pelo volume pluviométrico excessivo.

O terceiro objetivo específico foi analisar os ganhos nos indicadores de produtividade de transporte. Através dos instrumentos de coleta utilizados, foi possível identificar que, o aumento expressivo na capacidade de carga nominal dos caminhões deixa claro que o projeto estrutural de estradas de mina deve ser bem planejado, executado e reavaliado. De forma a viabilizar a segurança, produtividade e vida útil dos equipamentos. Observou-se que, as especificações de traçado geométrico como raio de

curvatura, superlargura e superelevação, são definidas conforme a velocidade de tráfego, as diretrizes estabelecidas nos manuais dos equipamentos e experiência das equipes de infraestrutura e topografia.

O quarto objetivo específico foi medir os resultados em intervenções em chassi dos caminhões, mediante as condições das vias. Identificou-se que, caso as cargas não estejam centralizadas, os gastos com recuperação de chassis e riscos de acidente aumentam, pois a estabilidade do conjunto caminhão e carga fica desigual durante o transporte em rampas e raios de curvatura. Pode-se identificar, trabalhos realizados na blindagem e melhorias no acompanhamento das condições de vias em 2021, no qual apresentaram redução nas horas de intervenção nos chassis dos equipamentos em 2022. Também foi possível constatar, que os maiores problemas identificados nas condições das vias estão relacionados às pedras e ondulações nas pistas, praças de carga e descarga.

O quarto objetivo específico desta pesquisa, foi comprovar ganhos no resultado do indicador de severidade FELA. Constatou-se que, as irregularidades da praça como depressões, lombadas e alta resistência ao rolamento faz com que o equipamento perca eficiência de tração, diminuindo a velocidade média e aumento do tempo de ciclo. Apresentado a variabilidade da força de torção aplicadas constantemente nas estruturas de caminhões, conforme medições realizadas no equipamento em um trecho não blindado, no qual classificou a via analisada com um índice FELA entre 8 e 10, sendo percebido ganhos nos trechos após a execução da blindagem que classificou a via com um índice FELA de 4.

Conclui-se que, mesmo com todas as dificuldades encontradas para aplicar a blindagem nos trechos principais e secundários da mina, faz-se viável a execução do projeto seguindo os padrões estabelecidos para os elementos geométricos, estrutural e drenagem. Pôde-se verificar resultados significativos no índice de severidade FELA, após blindagem de trechos mapeados em 2021 e 2022, realizado em conjunto entre as áreas de planejamento, operação e infraestrutura de mina.

Para trabalhos futuros, sugere-se avaliar oportunidades de melhorias nas condições das praças de carregamento e descarga, minimizando impactos nos indicadores de produtividade.

REFERÊNCIAS

- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERETTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica – formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Associação brasileira das empresas distribuidoras de asfalto (ABEDA) - Gráfica Minister, 2007.
- BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. Rio de Janeiro, 1999. 195 p.
- BROWN, G. M.; EBACHER, B. J. and KOELLNER, W. G. **Increased productivity with AC drives for Mining Excavators and haul trucks**. Surface Mining. Trans tech publications, No. 1, p. 45-54, Clausthal-Zellerfeld, Germany, 2001.
- CHAMANARA, A. **Enhancing mine haul truck KPI's via payload balance**. Edmonton: Alberta, 2013.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- 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.
- GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; SILVA, J. M. A. da; RAMOS, M. M. e SILVA, D. D. da. **Modelo para a determinação do espaçamento entre desaguadouros em estradas não pavimentadas**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 29, n.2, Viçosa, 2005.
- HACKER, Marla E., BROTHERSON, Paul A. Designing and installing effective performance measurement systems, **IIE Solutions**, Vol. 30, Nº 8, pp18-23, Aug., 1998.
- HUGO, D. **Haul road defect identification and condition assessment using measured truck response**. Dissertation (Master of Engineering in the Department of Mechanical and Aeronautical Engineering) – University of Pretoria. 109 f. 2005.
- ITA - **Consumo de Combustível**. Disponível em: <https://app.powerbi.com/groups/me/apps/5fabdcab-2b10-4821-8b52-a62d7b82feb7/reports/7f1bbc18-83b8-43b9-b70c-5f46ea5dbf8e/ReportSection9b0632088e08b571b029>. Acesso em: 30 Ago. 2022. 2022.
- KAUFMAN, W. W.; AULT, J. C. **Design of Surface Mine Haulage Roads – A Manual**. United States Department of the Interior, Information Circular 8758. United States, 49 p., 1977.
- KENNEDY, B. A. **Surface Mining**. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME). Littleton – Colorado, 1977.

TANNANT, D. D.; REGENSBURG, B. **Guidelines for Mine Haul Road Design**. Canada, 115 p., 2001.

THOMPSON, R. J.; VISSER, A. T. An Overview of the structural design of mine haulage roads. **The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy**. Pretoria, South Africa. p 29 – 37, 1996.

THOMPSON, R. J.; VISSER, A. T. **Mine Haul Road Design, Construction and Maintenance Management** (Material de curso). Belo Horizonte, 2008.

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

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2010.

NADER, Alzeibek Saleimen. **Monitoramento de taludes via radar SSR como indicador chave de desempenho geotécnico integrado às atividades da cadeia primárias de valor mineral**. 2013. 208 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mineral, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

OLIVEIRA FILHO, W. L. **Estradas Não Pavimentadas de Mineração**. Projeto de pesquisa. Ouro Preto, 13 p, 2010a.

OLIVEIRA FILHO, W. L.; FERNANDES G.; VAM HAM, G. H. J.; RODRIGUES, C. A.; MASETTI, L.; COSTA, W. **Manual de Drenagem em Minas de Minério de Ferro**. Ouro Preto, 80 p., 2010b.

OLIVEIRA, J. F. de; GRIEBELER, N. P.; CORRECHEL, V. e SILVA, V. C. da.. Erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento em solos de estradas não pavimentadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, supl. 0, Campina Grande, 2009.

PONTES FILHO, G. **Estradas de rodagem: projeto geométrico**. BIDIM, 432 p., São Carlos, 1998.

REIS, M. S. **Classificação e Diagnóstico das Estradas de Mina de Lavra a Céu Aberto de Minério de Ferro Dentro do Quadrilátero Ferrífero**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 132p, 2014.

SANTOS, I. E. **Manual de métodos e técnicas de pesquisa científica**. 7. ed. Niterói: Impetus, 2010.

SILVA, André de Souza. **Avaliação de indicadores operacionais: estudo de caso na operação de mina da mineração Buritirama S.A.**, p. 32, 2020.

SOTREQ. **RAC-FELA - 793F Brucutu (003)**, 2021.

SOTREQ. **Medição de Vias - Substação BSM - Substação ADC**, 2022a.

SOTREQ. **Haul Road Condition - Itabira 26-01-22**, 2022b.

SOUSA, L. M. L. S. **Estudos de Dimensionamento Estrutural de Estradas de Mina a Céu Aberto**. 2011. 200 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2011.

PASSOS, A. O., SAHÃO H., DE TOMI, G. **Gestão sistêmica na mineração**. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA, MATERIAIS E MINERAÇÃO, p. 65, 2010.

TEIXEIRA, L. **Payloads analysis using telemetry**. World Mining Congress: Rio de Janeiro, 2016.

VALE. **Procedimento Geral para Projeto Construção e Manutenção de Estradas a Céu Aberto. PGS-004292 – Rev.: 01 – 08/03/2022**. Disponível em: Sispav <<https://vale.softexpert.com/softexpert/workspace?page=home>>. Acesso em: 11 jul. 2022. 2022a.

VALE. **PROPOSTA DE VELOCIDADE DE VIAS POR TRECHO - COMPLEXO DE ITABIRA**, 2022b.

VALE. **CONDIÇÃO DE PISTA - COMPLEXO ITABIRA**, 2022c.

VALE (008) **Dicas Operação - Manutenção das rampas Blindadas**, 2022d.

VALE. **Blindagem dos acessos_2022**, 2022e.

VALE. **Regulamento de Operação de Mina. PGS-003682 – Rev.: 01 – 12/02/2021**. Disponível em: Sispav <<https://vale.softexpert.com/softexpert/workspace?page=home>>. Acesso em: 11 jul. 2022, 2022f.

VALE. **Procedimento Geral para Projetos de Praças de Carregamento. PGS-005210 – Rev.: 0 – 14/12/2021**. Disponível em: Sispav <<https://vale.softexpert.com/softexpert/workspace?page=home>>. Acesso em: 11 jul. 2022, 2022g.

VALE. **Realizar Confecção e Manutenção de Acessos e Praças - PRO-028298 - Rev.: 03 – 26/07/2021**. Disponível em: Sispav <<https://vale.softexpert.com/softexpert/workspace?page=home>>. Acesso em: 11 jul. 2022, 2022h.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 13. ed. São Paulo: Atlas, 2011.