

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP**

**ESCOLA DE MINAS**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS**

**DÉCIO FARIAS SODRÉ**

**ANÁLISE DE TEMPOS E MOVIMENTOS E  
DIMENSIONAMENTO DE FROTA DE UMA MINA A  
CÉU ABERTO**

**OURO PRETO - MG  
2019**

**DÉCIO FARIAS SODRÉ**  
**deciosodre@gmail.com**

**ANÁLISE DE TEMPOS E MOVIMENTOS E  
DIMENSIONAMENTO DE FROTA DE UMA MINA A CÉU  
ABERTO**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Engenheiro de Minas.

**Professor orientador:** Hernani Mota de Lima

**OURO PRETO – MG**  
**2019**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S679a Sodre, Decio Farias .  
Análise de tempos e movimentos e dimensionamento de frota de uma mina a céu aberto.. [manuscrito] / Decio Farias Sodre. - 2019.  
69 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Hernani Mota de Lima.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas.

2. Minas e mineração - Transporte. 3. Produtividade. 4. Mina a céu aberto. I. Sodre, Decio Farias . II. Lima, Hernani Mota de. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 622.271

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas - Departamento de Engenharia de Minas

## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 30 dias do mês de agosto de 2019, às 14h00min, no auditório do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas - DEMIN/EM, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Minas requisito da disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II, intitulado “ANÁLISE DE TEMPOS E MOVIMENTOS E DIMENSIONAMENTO DE FROTA DE UMA MINA A CÉU ABERTO”, pelo aluno **Décio Farias Sodré**, sendo a comissão avaliadora formada por **Prof. Dr. Hernani Mota de Lima (orientador)**, **Prof. M.Sc. José Fernando Miranda** e **Eng.º de Minas Pablo Augusto Reis Batista**.

Após arguição sobre o trabalho, a comissão avaliadora deliberou por unanimidade pela *aprovação* do candidato, com a nota *9,0* concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporar no texto final da monografia as alterações determinadas/sugeridas pela banca.

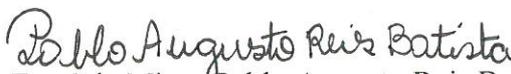
O aluno fará jus aos créditos e conceito de aprovação na disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II após o depósito, no site do Repositório UFOP, da versão final da monografia defendida, conforme modelo do CEMIN-2009, no Colegiado do Curso de Engenharia de Minas – CEMIN.

Para fins de registro, foi lavrada a presente ata que, depois de lida e aprovada é assinada pelos membros da comissão avaliadora e pelo discente.

Ouro Preto, 30 de agosto de 2019.

  
Prof. Dr. Hernani Mota de Lima  
Presidente da Comissão Avaliadora e Orientador

  
Prof. M.Sc. José Fernando Miranda  
Membro da Comissão Avaliadora

  
Eng.º de Minas Pablo Augusto Reis Batista  
Membro da Comissão Avaliadora

  
Décio Farias Sodré

  
Prof. M.Sc. José Fernando Miranda  
Professor responsável pela Disciplina Min 492 – Trabalho de Conclusão de Curso

## **AGRADECIMENTO**

Dedico esse trabalho a minha família, sobretudo meus pais por todo o apoio durante todo este tempo.

Ao meu orientador Hernani Mota de Lima por toda paciência e por me ensinar e orientar em todo este trabalho e apoiar todas as minhas decisões.

A todos que contribuíram e me deram apoio na empresa em que realizei este trabalho, e por me auxiliar em tudo o que precisei, bem como por me ensinar e ajudar em minha formação.

A todos os colegas da graduação tanto da UFBA e da UFOP por me ajudarem sempre que precisei e por fazerem parte deste caminho.

Aos meus amigos do Mining Team Escola de Minas por terem me proporcionado uma chance única e incrível de fazer parte de um projeto fantástico de muito aprendizado.

A todos os professores que tive e que contribuíram e muito para o meu processo de graduação e formação.

A UFOP por me proporcionar tanto conhecimento e oportunidades de aprendizado.

A República Mataburro por me acolher e todos que pude conhecer e conviver neste tempo incrível em que passei aqui em Ouro Preto.

*“Nunca deixe de ter dúvidas. Quando as dúvidas param de existir, é porque você parou em sua caminhada. Então vem Deus e desmonta tudo, porque é assim que Ele controla os seus eleitos; fazendo com que percorram sempre, por inteiro, o caminho que precisam percorrer. Ele nos obriga a andar quando paramos por qualquer razão – comodismo, preguiça, ou a falsa sensação de que já sabemos o necessário.”*

Paulo Coelho.

## RESUMO

O dimensionamento de frotas de equipamentos de carregamento e transporte na mineração é de crucial importância na viabilidade técnica e econômica dos empreendimentos, uma vez que a aquisição, manutenção e operação destas máquinas representa a maior parte dos custos totais de uma mina. É imprescindível fazer um bom dimensionamento, dado que impacta diretamente nas operações de carregamento e transporte, e em todas as partes do processo de extração do minério. A grande demanda por minérios e a redução das reservas, bem como a busca pela atenuação dos custos e aumento de produtividade das empresas do setor, fomenta maiores estudos e análises cada vez mais profundas dos indicadores que influenciam todos os processos e etapas desde o planejamento até a operação. A partir disso, este estudo foi elaborado em uma mina a céu aberto, em que todos os tempos de ciclo e os dados citados, foram extraídos no ambiente da própria mina, em situações reais de operação por observação, aferindo dados e indicadores de produção, ponderando e analisando as situações que podem influenciar na correta seleção e no dimensionamento dos equipamentos. Com o propósito de verificar a confiabilidade dos dados coletados, alguns cenários foram analisados, considerando parâmetros e indicadores de produção, bem como mudanças de jornadas de trabalho, aumento do porte e do número de equipamentos, para estudos futuros de viabilidade econômica, e uma possível elevação da capacidade atual de produção da mina em estudo. Estes métodos de dimensionamento dos equipamentos e as devidas observações, assim como as formas de cálculo, dentre outras considerações estudadas para esta mina, podem ser utilizados por qualquer empreendimento de mineração a céu aberto, independentemente do volume de produção e do porte da mina, apenas alterando os números e adaptando-os para a mina em estudo. Ao fim do trabalho, foi concluído que apenas o aumento diretamente proporcional do número de equipamentos em relação ao aumento de produção, nem sempre é a maneira mais viável de atender esta nova demanda, assim como é possível promover ganhos significativos de produtividade, dimensionando e equilibrando corretamente o porte dos equipamentos.

**Palavras-chave:** Dimensionamento de frota, carregamento e transporte, produtividade, indicadores de produção.

## ABSTRACT

*The sizing of fleets of loading and transport equipment in mining, is of crucial importance in the technical and economic viability of the enterprises, since the acquisition, maintenance and operation of these machines represent the majority of the total costs of a mine. Good sizing is essential as it directly impacts loading and transportation operations and all parts of the ore extraction process. The high demand for ores and the reduction of reserves, as well as the search for cost mitigation and increased productivity of companies in the sector, promotes further studies and deeper analysis of the indicators that influence all processes and steps from planning to operation. From this, this study was elaborated in open pit mine, such as all cycle times and the data cited, were extracted in the environment of the mine itself, in real situations of operation by observation, gauging data and indicators of production, considering and analyzing situations that may influence the correct selection and sizing of equipment. In order to verify the reliability of the collected data, some scenarios were analyzed, considering parameters and indicators of production, as well as changes in working hours, increased size and number of equipment, for future economic feasibility studies, and a possible increase of the current production capacity of the mine under study. These equipment sizing methods and the appropriate observations, as well as the forms of calculation, among other considerations studied for this mine, can be used by any open-pit mining enterprise, regardless of the production volume and the size of mine, just by changing the numbers and adapting them to the mine under study. At the end of the work, it was concluded that only the directly proportional increase in the number of equipment in relation to the increase in production, is not always the most viable way to meet this new demand, as well as it is possible to promote significant productivity gains by correctly sizing and balancing the size of the equipment.*

**Key-words:** *Fleet sizing, loading and transportation, productivity, production indicators.*

## **LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

DMT - Distância Média de Transporte

REM - Relação Estéril-Minério

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Considerações preliminares .....	1
1.2. Justificativa .....	2
1.3. Objetivo Geral .....	2
1.4. Estrutura do Trabalho .....	3
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
2.1. Processos de Carregamento e Transporte .....	4
2.2. Tipos de Equipamentos de Carregamento em Minas a Céu Aberto.....	4
2.2.1. Tipos de Escavadeiras .....	5
2.2.2. Tipos de Equipamentos de Transporte.....	10
2.2.3. Vantagens do Transporte por Caminhões .....	11
2.2.4. Desvantagens do Transporte por Caminhões .....	12
2.3. Critérios para Seleção de Equipamentos de Carregamento e Transporte.....	14
2.3.1. Compatibilização do Porte de Equipamentos de Carregamento e Transporte .	15
2.3.2. Produtividade dos Equipamentos de Carregamento e Transporte.....	16
2.3.3. Conceitos Fundamentais para Estimativa de Produtividade dos Equipamentos .....	17
2.4. Substituição de Equipamentos .....	24
<b>3. DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>26</b>
3.1. Descrição do Caso .....	26
3.2. Sistemas de Carregamento e Transporte.....	28
3.3. Análise de Tempos e Movimentos .....	28
3.3.1. Tempos Perdidos .....	29
3.3.2. Tempos de Ciclo dos Caminhões .....	33
3.3.3. Tempos de Ciclo das Escavadeiras .....	37
3.4. Dimensionamento da Frota por Indicadores de Produção .....	40
3.4.1. Jornada de Trabalho.....	41
3.4.2. Manutenções e Horas Efetivamente Trabalhadas.....	42
3.4.3. Equações de Produtividade .....	44
3.4.4. Cálculo do Número de Equipamentos .....	47
3.4.5. Produtividades dos Equipamentos.....	48

<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>50</b>
4.1. Influência dos Indicadores de Produção no Dimensionamento de Frotas .....	50
4.1.1. Dimensionamento com Base na Produção Atual .....	50
4.1.2. Dimensionamento com Base no Aumento de Produção em 2 turnos.....	51
4.1.3. Aumento de Produtividade Com Base no Aumento de 1 Turno de Operação .	54
4.2. Análise de Passes e Aumento de Porte da Escavadeira.....	61
4.2.1. Comparativo Operacional dos Equipamentos de Carregamento.....	61
4.2.2. Aumento de Produtividade dos Caminhões .....	63
4.2.3. Aumento de Produtividade das Escavadeiras.....	64
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>66</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>68</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Considerações preliminares

A correta seleção e utilização dos equipamentos de carregamento e transporte é de grande importância para prover a otimização de operação, o aumento de produtividade e a redução dos custos em empreendimentos de mineração. Para auxiliar as tomadas de decisão na rotina dos trabalhos de dimensionamento e alocação de equipamentos, novas tecnologias, softwares e equipamentos são frequentemente desenvolvidos, visando o aumento da eficiência dos processos de mineração no mundo.

A atratividade dos preços das commodities e a expansão global da economia de diversos países emergentes, culminou num elevado aporte de recursos e investimentos na indústria da mineração. Em vários países, na busca de novos depósitos minerais e em projetos de empreendimento mineiros produtivos, observa-se uma alta da aplicação de investimentos voltados à exploração mineral (KOPPE, 2007).

Grandes minas a céu aberto e até mesmo minas de porte médio nos Estados Unidos, Austrália e Canadá, caracterizam-se por uma intensa utilização de equipamentos de grande porte, tanto para as operações de carregamento, como para as de transporte, com utilização de GPS, gerenciamento on-line das operações de lavra e pouca mão-de-obra (KOPPE, 2007).

Uma correta seleção e utilização dos equipamentos, podem invariavelmente, tornar uma operação de mineração lucrativa ou inviabilizá-la completamente, ocasionando numa operação marginal (SILVA, 2009).

Para se definir os tipos de equipamentos e sistemas que serão utilizados na manipulação de média ou longa distância, uma série de aspectos devem ser avaliados e levados em consideração, tal qual a capacidade a ser manuseada, a distância de transporte, topografia do terreno, tipo de infraestrutura disponível na região, intercessão com o meio ambiente e economicidade (SILVA, 2009).

Um dimensionamento otimizado da frota de equipamentos de lavra, é de grande importância, uma vez que os custos envolvidos, tanto de capital quanto de operação, representam uma parcela considerável dos custos de uma mina (SILVA, 2009).

Um dos métodos largamente utilizados na indústria da mineração para otimização da frota, é a estimativa da capacidade de produção, uma vez que, é através dos indicadores de produção inerentes aos processos e operação, que é realizado o correto dimensionamento de frota requerido para o cumprimento de um determinado volume de produção. Assim, tais

indicadores podem ajudar a estimar e confrontar variados cenários de produção e custos, optando pela alternativa que maximize os resultados da empresa. Tal método, permite avaliar a viabilidade operacional deste sistema de carregamento e transporte, bem como os diferentes tipos e portes de equipamentos, reduzindo os custos e auxiliando na tomada de decisão (BORGES, 2013).

Em minas que não possuem um conhecimento adequado dos parâmetros operacionais e um estudo embasado em indicadores de produção capazes de detectar incompatibilidade entre o porte e o tipo de equipamentos de carregamento e transporte, bem como, uma operação bem conjugada, pode acarretar numa redução da produtividade, provocando um alto índice de desperdícios e uma elevação dos custos de operação.

## **1.2.Justificativa**

Um dos principais problemas em diferentes minas a céu aberto é a seleção correta do número de equipamentos de carregamento e transporte que atende critérios operacionais e econômicos dentro de uma mina. Este problema é enfrentado desde a fase de projeto e até durante o funcionamento do empreendimento (ÇETIN, 2004).

As operações de carregamento e transporte são as mais complexas dentro dos processos de lavra, pois representam mais da metade dos custos operacionais entre todos os processos relacionados (QUEVEDO, 2009). Os tradicionais métodos utilizados para os dimensionamentos, baseiam-se na experiência dos tomadores de decisão ou informações obtidas em manuais técnicos das empresas fornecedoras dos equipamentos, o que ocasionam grandes desperdícios, diminuição da produtividade e elevação dos custos (QUEVEDO, 2009).

## **1.3.Objetivo Geral**

O presente trabalho tem como objetivo geral estudar e analisar a melhor maneira de aquisição de equipamentos de carregamento e transporte, avaliando o desempenho das operações, para se fazer um dimensionamento de frota adequado, com a finalidade de aumentar a produtividade, reduzir os custos operacionais, e mitigar eventuais desperdícios e perdas em uma mina a céu aberto situada no estado de Minas Gerais, Brasil.

Com o propósito de se atingir objetivo geral, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Avaliar o desempenho operacional dos atuais equipamentos de carregamento e transporte, mediante análise dos tempos de ciclo deles;
- ✓ Dimensionar possíveis desperdícios nos tempos decorrentes das trocas de turno, almoço, deslocamentos, trocas de frentes, abastecimento, dentre outros que possam influenciar nos tempos de ciclo dos equipamentos;
- ✓ Calcular e analisar a produtividade atual da frota da empresa;
- ✓ Determinar o número de unidades de transporte adequados para operar com base nos tempos de ciclo dos equipamentos;
- ✓ Dimensionar a frota, considerando o dobro da produção atual e verificar a viabilidade do aumento de mais 1 turno de operação;
- ✓ Analisar a necessidade de aquisição de escavadeira de maior porte ou aumento nas capacidades e no porte das caçambas das escavadeiras e a influência no desempenho e nos números de passes para o carregamento dos caminhões.

#### **1.4. Estrutura do Trabalho**

O presente trabalho é composto por 5 capítulos:

- ✓ O primeiro capítulo é uma introdução ao trabalho, apresentando a importância e os propósitos do estudo.
- ✓ O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica com conceitos básicos sobre dimensionamento de frota de equipamentos de carregamento e transporte.
- ✓ O terceiro capítulo apresenta o desenvolvimento do trabalho, onde são apresentados todos os parâmetros responsáveis para o cálculo de produtividade e dimensionamento da frota de equipamentos com base no estudo de caso prático.
- ✓ O capítulo 4 apresenta análise de cenários de produção, considerando a produtividade atual, uma nova produção requerida, e as possibilidades de aumento de turno, equipamentos e capacidades para atender a nova demanda.
- ✓ As conclusões do estudo de caso são apresentadas no capítulo 5.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

No presente capítulo, serão discorridos os critérios e as considerações para um adequado dimensionamento e seleção de quantidade e porte de equipamentos de carregamento e transporte na literatura atual, levando-se em consideração indicadores e parâmetros de produtividade e volumes de produção dos equipamentos, compatibilizando à realidade da operação atual.

### **2.1.Processos de Carregamento e Transporte**

Na mineração o processo de carregamento envolve a escavação do minério e/ou estéril, o carregamento e o transporte desses materiais para os pontos de descarga. Em minas a céu aberto o primeiro passo é a correta e adequada preparação da área onde será feito o processo de lavra. Em seguida, a escavação e o carregamento serão feitos pelo equipamento de carga, que irá transferir o material extraído para os equipamentos de transporte. Assim, o equipamento de transporte levará o material até o ponto de descarga.

As operações de carregamento e transporte consistem em transportar o material lavrado da jazida até diferentes pontos de descarga. Os locais de extração e remoção são classificados como frentes de lavra ou áreas de escavação (QUEVEDO, 2009).

A mesma autora, afirma que os pontos de descarga podem ser classificados como:

- ✓ Pilhas de estéril (material não aproveitado pelo processo);
- ✓ Pilhas de homogeneização (para mistura de material);
- ✓ Britador (em que o minério é enviado até a usina de beneficiamento).

### **2.2.Tipos de Equipamentos de Carregamento em Minas a Céu Aberto**

Os equipamentos de carregamento mais comumente utilizados nas operações de escavação e carregamento, são escavadeiras a cabo, hidráulicas, retroescavadeiras hidráulicas, carregadeiras sobre pneus ou esteiras, motoscrapers, dragas e monitores hidráulicos (BORGES, 2013).

As operações de escavação e carregamento podem ser feitas de maneira simultânea por unidades escavocarregadoras ou por equipamentos distintos, sendo o primeiro caso, mais comum em corpos de minério friáveis (RICARDO e CATALANI, 2007).

Na mineração em outros países, equipamentos de maior porte são mais comuns, onde as escavadeiras a cabo de grande porte são utilizadas em sua maioria. Nas mineradoras do Brasil é mais comum o uso de escavadeiras do tipo “shovel” ou caçamba frontal, para as operações de escavação direta nas frentes de lavra, e para o carregamento simultâneo das unidades de transporte em corpos friáveis (BORGES, 2013).

### **2.2.1. Tipos de Escavadeiras**

As escavadeiras e as retroescavadeiras podem ser montadas sobre esteiras (figuras 1, 2 e 3), sobre trilhos (figura 4) e sobre rodas (figura 5), mas a escavadeira mais usual é a montada sobre esteiras. A escavadeira trabalha estacionada, realizando o corte e enchimento da sua caçamba sem se deslocar, e por isso o deslocamento não faz parte de seu ciclo. O deslocamento da escavadeira é somente aconselhável em curtas distâncias, pois sua velocidade de deslocamento é muito baixa atrasando a produção. No entanto, em distâncias acima de 5 km é recomendado o transporte por caminhão, reboque, balsa ou trem (RICARDO e CATALANI, 2007).

#### **2.2.1.1. Escavadeira Shovel a Cabo:**

A escavadeira tipo “shovel” a cabo (figura 1) é mais utilizada em grandes empreendimentos minerários, tais como de cobre, de carvão e de minério de ferro. Isso acontece devido a relação entre o custo de operação versus manutenção, ser a menor entre elas, e de uma maneira geral, possuir uma maior vida útil (TEIXEIRA, 2016).

Por utilizarem sistema de roldanas acopladas a lanças e as forças aplicadas de escavação e elevação das estruturas da máquina serem através de cabos de aço, tem-se o nome shovel a cabo. Esta classe de equipamento possui grande poder de escavação e essas escavadeiras podem ser utilizadas em bancadas com alturas de até 20 m, apresentando grande produtividade quando em lavra com altura da massa desmontada, propícia para o enchimento

total da caçamba. Ou seja, quanto maior a bancada, maior a produtividade para este perfil de carregamento (TEIXEIRA, 2016).

Vantagens da utilização da escavadeira Shovel a cabo:

- ✓ Custo baixo por tonelada;
- ✓ Robustez elevada;
- ✓ Vida útil longa;
- ✓ Trabalha com segurança em bancadas altas.



*Figura 1 - Escavadeira shovel a cabo*

Fonte: Caterpillar (2019)

#### **2.2.1.2. Escavadeira Shovel Hidráulica:**

A escavadeira shovel hidráulica (figura 2) possui as mesmas características da escavadeira shovel a cabo, porém com uma maior flexibilidade de escavação, podendo ser operada em ângulos mais acentuados, sendo habilitadas a realizar acabamentos em cristas de talude, eliminando o risco de formação de ângulos negativos. Além disso, pelo fato do sistema de escavação ser hidráulico, permite que o material seja liberado sobre a estrutura dos caminhões de maneira mais branda e suave, com um maior acerto no carregamento e na formação de cargas concentradas (TEIXEIRA, 2016).

Vantagens da utilização da escavadeira Shovel hidráulica:

- ✓ Grande alcance;
- ✓ Ciclos rápidos;
- ✓ Vida útil longa.



*Figura 2 - Escavadeira Shovel Hidráulica*

Fonte: Liebherr (2019)

### **2.2.1.3. Retroescavadeiras:**

As retroescavadeiras (figuras 3, 4 e 5), bem como as escavadeiras são equipamentos que podem ter tamanhos variados e possuem sistemas de funcionamento a cabo ou hidráulico. No caso das retroescavadeiras, elas operam sobre plataformas construídas com o próprio material que está sendo escavado. Em comparação com as escavadeiras hidráulicas, as retroescavadeiras possuem um tempo de ciclo de carregamento menor, pelo fato de operarem sobre estas plataformas. Portanto, retroescavadeiras possuem produtividade (tonelada por hora) superior a escavadeiras do mesmo modelo, com concha de mesmo volume.

Vantagens da utilização das retroescavadeiras:

- ✓ Ciclos rápidos;
- ✓ Grande flexibilidade no carregamento;
- ✓ Precisão de corte;
- ✓ Trabalha em solos de sustentação baixa.



*Figura 3 - Retroescavadeira hidráulica sobre esteiras*  
Fonte: Liebherr (2019)



*Figura 4 - Retroescavadeira hidráulica adaptada sobre trilhos*  
Fonte: Liebherr (2019)



*Figura 5 - Retroescavadeira hidráulica sobre rodas*  
Fonte: Portal Archi Expo (2019)

#### 2.2.1.4.Pá Carregadeira

As pás carregadeiras (figura 6) são equipamentos versáteis, utilizados na lavra de materiais em minas a céu aberto. A maior vantagem oferecida pelas pás carregadeiras, se deve a facilidade de locomoção, considerando que utilizam pneus (ABREU, 2017).

De acordo BOHNET (2011), as pás carregadeiras são equipamentos muito móveis, portanto são ideais para situações que exijam constantes mudanças de frente de lavra.

As pás carregadeiras mais comuns são as com caçamba frontal, a qual é acionada através de um sistema de braços articulados, instaladas na parte dianteira do equipamento. As carregadeiras executam diversos serviços como: serviços de escavação, transporte, descarga de material em veículos de transporte, limpeza de praça e nivelamentos. É um equipamento que tem deslocamento intenso durante seu trabalho, já que para o carregamento das unidades de transporte, são as carregadeiras que se deslocam, movimentando-se entre o talude e o equipamento de transporte (RICARDO E CATALANI, 2007).

As pás carregadeiras são equipamentos usualmente utilizados para escoar materiais que propiciam de baixa a média resistência ao serem manuseados. Além disso, tais equipamentos podem ser empregados para transportar minério de uma pilha até o britador, caso a distância seja relativamente curta. O tempo de ciclo de carregamento das pás carregadeiras é aproximadamente 25% a 50% inferior ao de uma escavadeira. Porém, em determinados casos devido ao menor tamanho de concha das pás carregadeiras, elas tendem a ser menos produtivas. Um ponto relevante, é que a disponibilidade física das pás carregadeiras tende a ser menor se comparada às escavadeiras (BOHNET, 2011).

Vantagens do uso das pás carregadeiras:

- ✓ Fator de enchimento da caçamba alto;
- ✓ Ciclos rápidos;
- ✓ Mobilidade alta;
- ✓ Útil na operação de *blendagem*;
- ✓ Raio de giro pequeno, permitindo manobras em locais de dimensões reduzidas.



*Figura 6 - Pá Carregadeira*

Fonte: Portal Construção Latino Americana (2019)

## **2.2.2. Tipos de Equipamentos de Transporte**

O método de transporte por caminhões e por correias são os mais comumente utilizados na mineração. O mais largamente utilizado em todo o mundo é o transporte por caminhões, detalhado a seguir (BORGES, 2013).

### **2.2.2.1. Transporte por Caminhões**

A seleção da frota de transporte requer um entendimento mais profundo do método de lavra, assim como, uma melhor análise das vantagens e desvantagens considerando os equipamentos disponíveis no mercado. Assim, a análise de um sistema de transporte mais adequado para a operação, é de crucial importância para a definição ótima de uma frota de caminhões. O transporte de material na mineração de forma totalmente segura, eficiente e viável economicamente é um ponto crítico para as operações da mina (ABREU, 2017).

Os caminhões acompanharam o porte das escavadeiras, no entanto, por falta de tecnologia, foram limitados pelo tamanho dos pneus. Ultimamente, a tecnologia de fabricação de pneus teve um grande avanço, até atingir os níveis atuais de porte e capacidade de produção, sendo possível um ajuste de tamanho das escavadeiras para as dimensões atuais dos equipamentos de transporte (LOPES, 2010).

Ainda segundo LOPES (2010), atualmente, o mercado oferece caminhões com capacidades que variam de 10 t a 400 t, e também, disponibiliza escavadeiras compatíveis com o porte e produtividade dos caminhões para prover um carregamento eficiente. A aplicação e o porte do conjunto de carga e transporte, estão interligados à escala de produção, geometria da cava e geologia da jazida.

### **2.2.3. Vantagens do Transporte por Caminhões**

De acordo com LOPES (2010), as vantagens de operações de transporte por caminhões são:

- ✓ Alta flexibilidade operacional especialmente quando a lavra seletiva é exigida. O equipamento pode ser transferido para outras frentes de operação conforme necessidade dos planos de lavra;
- ✓ A lavra pode ocorrer simultaneamente em vários níveis, facilitando a “blendagem” do material, garantindo a qualidade;
- ✓ Os caminhões podem ser deslocados para a operação no estéril quando a estação de tratamento que recebe o minério dos caminhões estiver parada;
- ✓ Menor variação nos teores médios da jazida devido à possibilidade de verticalização da mina;
- ✓ Facilidade de contratação de mão de obra no mercado de trabalho devido à predominância do método por caminhões nas minas a céu aberto;
- ✓ Tempo de “posto-em-marcha” reduzido. Os caminhões são pré-montados na fábrica por partes e transportados, bastando montar o conjunto total no local da obra;
- ✓ O desenvolvimento de estradas e praças para que os caminhões comecem as operações são reduzidos, pois assim que são montados e iniciam as operações a continuação dos trabalhos pode ser feita pela própria frota;
- ✓ As operações não são interrompidas quando uma unidade de transporte é paralisada por problemas de manutenção, é possível continuar a atividade até um limite mínimo econômico de caminhões operando simultaneamente;
- ✓ Pode-se manter a frota em operação, mesmo quando o silo de descarga estiver paralisado, construindo pilhas reservas estratégicas próximo às estações de descarga, para retomada posterior, quando a frota não puder operar normalmente;

- ✓ O casamento das operações conjugadas com escavadeiras (shovel ou backhoe), e carregadeiras (esteiras ou pneumáticos), pode ser alterado, caso as dimensões sejam compatíveis, aumentando as opções de carregamento;
- ✓ Agilidade na evacuação dos equipamentos das áreas de risco iminente.

#### **2.2.4. Desvantagens do Transporte por Caminhões**

Segundo LOPES (2010), as desvantagens da operação de transporte com caminhões são:

- ✓ Possui eficiência energética relativamente baixa, dividida em 50% para o próprio deslocamento do seu peso e 50% para o deslocamento das cargas;
- ✓ Elevado tempo de deslocamento vazio, em média 50% do tempo de ciclo de transporte é gasto na atividade de retorno da descarga para frente de lavra em operação;
- ✓ As estradas são relativamente longas devido à limitação de inclinação das rampas, aumentando a distância de transporte gradativamente à medida que novos níveis de operação são abertos na mina. Recomenda-se o máximo de 10% de inclinação das rampas;
- ✓ Custo elevado para a abertura e conservação das vias de acesso dos caminhões;
- ✓ Redução e por vezes paralisação das operações devido às chuvas e neblinas que causam instabilidade de tração e baixa visibilidade;
- ✓ Necessidade de equipamento de apoio para umectação de vias de acesso com o objetivo de reduzir a poeira (sólidos em suspensão no ar), garantindo a boa visibilidade para o operador e a redução do impacto ambiental da atividade;
- ✓ O aumento da distância de transporte implica em aditivo no número de caminhões da frota necessário para garantir a produção desejada ou ampliação do porte unitário com aquisição de caminhões de maior capacidade de transporte de carga.

As figuras 7, 8 e 9 evidenciam alguns modelos de caminhão utilizados nos transportes de material das minas a depender da necessidade, da compatibilidade com o equipamento de carga, das condições operacionais a que eles se submeterão e do porte do empreendimento, dentre outras considerações.



*Figura 7 - Caminhão rodoviário*

Fonte: Notícias de Mineração Brasil (2019)



*Figura 8 - Caminhão articulado*

Fonte: Notícias de Mineração Brasil (2019)



*Figura 9 - Caminhão fora-de-estrada*

Fonte: Portal Tecnoblog (2019)

### 2.3. Critérios para Seleção de Equipamentos de Carregamento e Transporte

A seleção de equipamentos para aplicações de mineração não é um processo bem definido. Uma das razões para isso é que não há duas minas com características idênticas que proporcionem as mesmas condições para seleção dos equipamentos mais adequados. As características do minério, condições climáticas e a disposição dos depósitos são algumas das variáveis que podem diferir entre minas, mesmo essas contendo o mesmo tipo de minério (AMARAL, 2008).

A dificuldade de seleção de equipamentos, provém desde as fases de projeto das instalações da mina e durante a fase de produção, influenciando nos parâmetros econômicos operacionais e de longo prazo (BAŞÇETIN *et al.* 2006).

Equipamentos de carregamento são tipicamente selecionados para corresponder às condições de minas em termos de capacidade necessárias às condições climáticas, exigências de mobilidade e número de frentes de lavra simultâneas (BORGES, 2013).

Apesar das considerações supracitadas, o conhecimento pessoal e experiência do engenheiro de minas ou do gerente com o equipamento de carga é a principal influência sobre a escolha dos equipamentos (BORGES, 2013).

Para a seleção de equipamentos de transporte, como caminhões, muitas empresas, com o auxílio do fabricante e de seus manuais técnicos, apresentam uma proposta baseada em requisitos de produção determinados (BORGES, 2013).

Assim, as empresas selecionam o tipo e a capacidade do caminhão, tomando como base os critérios a seguir:

- ✓ Compatibilidade com equipamento de carga existente;
- ✓ Capacidade de atender às projeções de produção;
- ✓ Experiência anterior com o equipamento;
- ✓ Requisitos de serviço e manutenção;
- ✓ Custo de aquisição e custo operacional;
- ✓ Utilização e disponibilidade estimadas.

Conforme SILVA (2009), as principais considerações na seleção primária dos equipamentos são:

- ✓ Geologia do depósito;
- ✓ Metas de produção;

- ✓ Vida útil do projeto;
- ✓ Disponibilidade de capital;
- ✓ Custo de operação;
- ✓ Parâmetros geotécnicos;
- ✓ Retorno de investimentos;
- ✓ Interferências com o meio ambiente.

### **2.3.1. Compatibilização do Porte de Equipamentos de Carregamento e Transporte**

Uma vez selecionados os tipos de equipamentos que atendam às condições específicas do trabalho, é de suma importância que selecione também os portes destes equipamentos, que irão operar conjuntamente, tendo em vista uma maior eficiência global, bem como para evitar que os cálculos do dimensionamento sejam feitos para alternativas que, de antemão, já se mostrem incompatíveis (SILVA, 2009). Esta compatibilização deve, inicialmente, basear-se em restrições físicas, como, por exemplo:

- ✓ A altura da bancada (H), que condiciona o porte do equipamento de carregamento;
- ✓ Pá carregadeira:  $H = 5 \text{ a } 15 \text{ (m)}$ ;
- ✓ Escavadeira hidráulica:  $H = 4 + 0,45cc \text{ (m)}$ ;
- ✓ Escavadeira a cabo:  $H = 10 + 0,57 (cc - 6) \text{ (m)}$ ;
- ✓ Sendo  $cc = \text{capacidade da caçamba em m}^3$ ;
- ✓ O alcance da descarga do equipamento de carregamento, condicionando o porte do equipamento de transporte.

Deve-se considerar, de acordo com SILVA (2009), que além de uma compatibilização em operação conjugada dos equipamentos, outros fatores, que irão afetar diretamente a eficiência da operação, devem ser atendidos em seguida:

- ✓ O número de passes do equipamento de carregamento para encher o equipamento de transporte, que represente um bom equilíbrio, deve permanecer na faixa de 3 a 5 passes. Um número menor seria preferível, contanto que:
- ✓ O tamanho da caçamba da unidade de transporte não seja muito pequeno em comparação com o tamanho da caçamba da unidade de carregamento, resultando em impactos

sobre a suspensão e a estrutura do veículo e derramamento excessivo da carga;

- ✓ O tempo de carregamento não seja tão curto que ocasione a demora da chegada da unidade de transporte seguinte, ocasionando um tempo excessivo de espera por parte da unidade de carregamento;

- ✓ O número de unidades de transporte para cada unidade de carregamento seja balanceado. Se este número for muito pequeno poderá ocorrer ociosidade da unidade de carregamento; se o contrário, é provável que ocorram filas dos equipamentos de transporte;

- ✓ O número excessivo de unidades da frota não resulte em dificuldades de tráfego e manutenção.

### **2.3.2. Produtividade dos Equipamentos de Carregamento e Transporte**

Para uma boa produtividade das frotas de carregamento e transporte, nas minas a céu aberto, o projeto e o planejamento de lavra devem ser adequados à jazida, como também, os equipamentos selecionados e dimensionados, estejam ajustados e em harmonia às demais operações unitárias de lavra e beneficiamento (SILVA, 2009). Dessa maneira, o tipo, o número de equipamentos a serem utilizados e a produtividade, dependem das considerações a seguir:

- ✓ Dimensões e porte das jazidas: vida da mina, taxa de produção, método de lavra;
- ✓ Projeto de cava: altura das bancadas, largura das frentes de trabalho, diferença de nível entre as frentes de lavra e o destino dos caminhões;

- ✓ Tipos de rocha: características do minério e do estéril, como massa específica “*in situ*”, empolamento, umidade, resistência à escavação, grau de fragmentação;

- ✓ Projeto de deposição do estéril: local da deposição, forma de disposição do estéril;

- ✓ Projetos das estradas: largura das estradas (recomenda-se uma largura mínima de pista igual a 3,5 vezes a largura do caminhão, permanecendo uma margem equivalente à metade da largura de um caminhão, tanto nas laterais quanto no cruzamento entre os veículos. Caso a faixa seja estreita, o motorista se sentirá inseguro e reduzirá a velocidade ao se aproximar um veículo em sentido contrário), inclinação longitudinal das rampas de acesso, raio de curvatura em trechos curvos, acabamento da superfície de rolamento;

- ✓ Planejamento de lavra: número de frentes simultâneas, relação estéril/minério, frequência de deslocamento entre as frentes de lavra;

✓ Destino do minério: distância, tipo, dimensões e taxa de produção do equipamento que receberá o minério do caminhão, tais como britadores, silos, pilha para lixiviação, entre outros.

✓ Infraestrutura de apoio: recursos de manutenção, recursos para abastecimento, comunicações etc.;

✓ Equipamentos para demais operações: manutenção das estradas, frentes de lavra, desmontes de minério e do estéril.

### **2.3.3. Conceitos Fundamentais para Estimativa de Produtividade dos Equipamentos**

Com o propósito de se fazer uma escolha adequada para o número, capacidade e porte dos equipamentos de carregamento e transporte, os cálculos de estimativa de produtividade são fundamentais para atender a demanda de produção.

Para SILVA (2009), os seguintes parâmetros para estimativa de produção devem ser considerados:

#### **2.3.3.1. Volume da caçamba (Vc)**

Deve representar a capacidade operacional, rasa ou coroada conforme o caso, dos equipamentos de carregamento e transporte.

$$VC = \frac{\text{carga máxima admissível na caçamba}}{\text{peso específico do material solto}} \quad (1)$$

#### **2.3.3.2. Fator de enchimento da caçamba (*Fill Factor*)**

Fator aplicável sobre a capacidade operacional da caçamba e que, basicamente, será função das características do material, e/ou das condições dos desmontes, da altura da bancada e da forma de penetração do equipamento.

### 2.3.3.3. Empolamento (e)

É o aumento aparente de volume que a rocha apresenta depois de fragmentada, ou mais amplamente, é o aumento aparente de volume em relação a um estado anterior de maior compactação.

$$\lambda = \frac{\lambda_c}{\lambda_s} \quad (2)$$

Onde:

$\lambda$  = fator de empolamento;

$\lambda_c$  = peso específico do material no corte;

$\lambda_s$  = peso específico do material empolado ou solto;

$$e = (\lambda - 1) \times 100\% \quad (3)$$

Onde: e = empolamento

$$V_s = V_c \times \frac{\lambda_c}{\lambda_s} = \lambda \times V_c \quad (4)$$

Onde:

$V_c$  = volume originalmente no “corte” ou volume “*in situ*”;

$V_s$  = volume do material rochoso após a fragmentação.

### 2.3.3.4. Carga de Tombamento (Tipping-Load)

É a carga que faz com que uma escavadeira hidráulica equipada para determinada finalidade e, considerando a posição em que a sustentação é mais desfavorável, perca o equilíbrio e tombe.

### 2.3.3.5.Carga Útil (Pay-Load)

É a carga que não ultrapassa 80% do “tipping-load” (fator de segurança de 100/80 = 25%).

### 2.3.3.6.Fator de Operação Conjugada

Compreende o tempo não produtivo de um equipamento em decorrência das esperas do equipamento que com ele opera dependentemente.

### 2.3.3.7.Fator de Disponibilidade do Equipamento

A palavra disponibilidade é extremamente flexível e a sua correta determinação é primordial para os cálculos de rendimento em longo prazo.

Fatores tais como má organização da mina, condições de trabalhos adversas, operações em vários turnos e manutenção preventiva e corretiva inadequadas poderão reduzir a disponibilidade do equipamento. A disponibilidade do equipamento se divide em:

### 2.3.3.8.Disponibilidade Mecânica

$$DM = \frac{HT - (MP + MC + TP)}{HT} \times 100\% \quad (5)$$

Onde:

DM = disponibilidade mecânica;

HT = corresponde às horas teóricas possíveis no período, por exemplo, por ano.

MP = manutenção preventiva, compreendendo todo o serviço programado, conservação e inspeção dos equipamentos, executados com a finalidade de manter o equipamento em condições satisfatórias de operação;

MC = manutenção corretiva. Significa o serviço executado no equipamento com a finalidade de corrigir deficiências que possam acarretar a sua paralisação;

TP = tempo perdido correspondente à locomoção da máquina por motivos de desmonte de rocha ou outros intervalos do operador (almoço, café, troca de turno, entre outros).

### 2.3.3.9. Disponibilidade Física

Corresponde à parcela das horas programadas em que o equipamento está apto para operar, isto é, não está à disposição da manutenção.

$$DF = \frac{HP - HR}{HP} \quad (6)$$

Onde:

DF = disponibilidade física que representa a percentagem do tempo que o equipamento fica à disposição do órgão operacional para a produção;

HP = corresponde às horas calculadas por ano, na base dos turnos previstos, já levando em conta a disponibilidade mecânica e/ou elétrica;

HR = corresponde às horas de reparos na Oficina ou no Campo, incluindo a falta de peças no estoque ou falta de equipamentos auxiliares.

### 2.3.3.10. Fator de Utilização do Equipamento

Fator aplicável sobre as horas disponíveis do equipamento. Corresponde à parcela em que o equipamento está em operação. Alguns dos fatores que influem na utilização de um equipamento são:

- Número de unidades ou porte compatível, maior ou menor que o requerido;
- Paralisação de outros equipamentos;
- Falta de operador;
- Deficiência do operador;
- Condições climáticas que impeçam a operação dos equipamentos;
- Tipo de desmonte de rocha na mina;

➤ Preparação das frentes de lavra.

$$U = \frac{HT}{HP-HR} \times 100\% \quad (7)$$

Onde:

HT = total de horas efetivamente trabalhadas;

HP = corresponde às horas calculadas por ano, na base dos turnos previstos, já levando em conta a disponibilidade mecânica e/ou elétrica;

HR = corresponde às horas de reparos na Oficina ou no Campo, incluindo a falta de peças no estoque ou falta de equipamentos auxiliares.

#### 2.3.3.11. **Rendimento**

É a relação entre as horas efetivamente trabalhadas e as horas programadas, ou seja, o rendimento é o produto da disponibilidade física pela utilização.

#### 2.3.3.12. **Ciclo, Tempo de Ciclo, Tempos e Movimentos Elementares**

É o tempo gasto pelo equipamento para executar um conjunto de determinadas operações como, por exemplo: manobra, carga, descarga, basculamento, deslocamento.

O tempo de ciclo total de uma operação é o somatório de tempo de todas as atividades que compõem essa operação:

**Ciclo:** Conjunto de operações executadas por um equipamento durante um período, voltando, em seguida, à posição inicial para recomeçá-los.

**Tempo de Ciclo:** é o intervalo de tempo decorrido entre duas passagens consecutivas do equipamento por qualquer ponto do ciclo.

**Tempos Elementares:** duração de cada movimento elementar.

O ciclo produtivo, pode ser dividido em seis componentes:

➤ Carregamento;

- Transporte;
- Descarga;
- Retorno;
- Posicionamento;
- Atraso.

### **Número de ciclos por hora**

Os ciclos são subdivididos em:

- **Equipamentos de Carregamento:** tempo total de enchimento da caçamba; posicionamento para descarga; posicionamento para o enchimento da caçamba.
- **Equipamentos de transporte:** tempo de carregamento; viagem carregado; manobra; descarga; retorno vazio; posicionamento para carregamento.

### **Ciclo Básico de alguns equipamentos**

- **Carregadeiras:** avanço até a frente; carga da caçamba; manobra; avanço até o veículo, descarga; retorno vazio e manobra.
- **Escavadeiras:** carga da caçamba, giro carregado, descarga e giro vazio.
- **Caminhões:** tempo de carga da unidade, tempo de transporte carregado, tempo de manobra e descarga, tempo de retorno vazio, tempo de posicionamento para carga.

Analisando-se as seis operações básicas que constituem o ciclo, verifica-se que este pode ser decomposto numa sequência de movimentos elementares repetidos através dos ciclos consecutivos:

### **Tempos Elementares**

- **Tempos fixos (tf)**
  - Tempo de carga;
  - Tempo de descarga;
  - Tempo de manobra.

### **Tempos Variáveis (tv)**

O tempo de transporte carregado ou vazio (retorno)

**Tempo de ciclo mínimo ( $t_{cmin}$ )**

$$t_{cmin} = \Sigma t_f + \Sigma t_v \quad (8)$$

**Tempo de ciclo efetivo ( $t_{cef}$ )**

$$t_{cef} = t_{cmin} + \Sigma t_p \quad (9)$$

sendo:  $\Sigma t_p$  = somatório dos tempos perdidos.

**2.3.3.13. Eficiência de Operação (E)**

É de máxima importância que a produção seja mantida em ritmo estável. É esta eficiência de trabalho que resulta em maior lucratividade.

Fatores devido às paradas, atrasos ou deficiências em relação ao máximo desempenho do equipamento devem-se, entre outros, aos seguintes motivos:

- Características do material;
- Supervisão no trabalho;
- Esperas no britador;
- Falta de caminhão;
- Maior ou menor habilidade do operador;
- Interrupções para a limpeza da frente de lavra;
- Desmontes de rochas;
- Capacidade da caçamba;
- Pequenas interrupções devido aos defeitos mecânicos, não computados na

manutenção.

$$E = \frac{t_{cmin}}{t_{cef}} = \frac{t_{cmin}}{t_{cmin} + \Sigma t_p} = \frac{1}{1 + \frac{\Sigma t_p}{t_{cmin}}} \quad (10)$$

Se  $\Sigma t_p = 0 \Rightarrow E = 1$  ou  $E = 100\%$

Se  $\Sigma t_p \neq 0 \Rightarrow E < 1$  ou  $E < 100\%$

### 2.3.3.14. OEE – Overall Equipment Efficiency – Eficiência Geral de Equipamento

É o indicador que expressa a Eficiência Geral do equipamento e é dado pelo produto do Rendimento pela Eficiência.

### 2.3.3.15. Produção de um Equipamento

#### Cálculo das Produções Unitárias dos Equipamentos

O procedimento de cálculo apresentado na equação 11 é válido tanto para os equipamentos de carregamento quanto para os equipamentos de transporte.

$$\text{PRODUÇÃO ANUAL} = N \times E \times C \times FE \times OC \times HP \times DM \times U \quad (11)$$

Onde:

N = número de ciclos por hora;

E = fator de eficiência (%);

C = capacidade da caçamba (t ou m<sup>3</sup>);

FE = fator de enchimento da caçamba (%);

OC = fator de operação conjugada;

HP = horas programadas por ano;

DM = disponibilidade mecânica do equipamento (%);

U = fator de utilização do equipamento (%).

## 2.4. Substituição de Equipamentos

Os estudos de substituição devem ser feitos para se fazer o correto dimensionamento e para que se compatibilizem às realidades de operação da mina. Serve também, para saber o momento em que os equipamentos devem ser substituídos (SOUSA JÚNIOR, 2012). A seguir, estão os fatores que conduzem a substituição dos equipamentos:

- Desgaste: mudanças físicas ocorrem com os equipamentos de acordo com a

forma, aplicação e o período de uso, reduzindo a eficiência, a qualidade do serviço prestado e elevando os custos de operação e manutenção;

- **Obsolescência:** ao longo do tempo, podem surgir novas tecnologias e equipamentos mais eficientes com menores custos de operação e desempenho superior aos atuais, justificando a sua substituição;

- **Exigências do mercado:** Novas exigências são feitas pelo cliente em torno de requisitos, e requer uma nova adaptação dos fornecedores para suprir a demanda atual dos clientes;

- **Financiamento:** oportunidades de aquisição de equipamentos proporcionado por subsídios, desonerações e isenções do governo, linhas de crédito atraentes, entre outros:

- **Custos Irreversíveis:** são custos que não podem ser resgatados, mas que possuem significância para a empresa;

- **Perspectiva Externa:** refere-se à visão de mercado e mudanças no âmbito dos planejamentos;

- **Impostos:** referem-se às taxas envolvidas com a aquisição e lucro proporcionado pelo equipamento.

### 3. DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo será apresentado o dimensionamento de uma frota de carregamento e transporte, utilizando, como estudo de caso, uma mina de pequeno porte, ressaltando a situação atual das operações na mina em questão, ponderando considerações e observações para o dimensionamento da frota, bem como análises de cenários de produção e de tempos e movimentos.

#### 3.1. Descrição do Caso

A empresa em estudo, situada no estado de Minas Gerais, Brasil, está instalada em uma mina a céu aberto, de pequeno porte, que utiliza o método de lavra em bancadas e avalia a possibilidade de dobrar a produção anual, estimada em 1.800.000,00 t para o ano de 2019, sendo, aproximadamente, 950.000 toneladas de minério. Para tanto, deve-se fazer uma análise do rendimento operacional, do porte, da capacidade, do número e da compatibilidade atual dos equipamentos de carregamento e transporte, e a partir desta, fazer um novo estudo de dimensionamento com a frota adequada para um possível aumento de produção.

As horas programadas estão relacionadas ao regime de trabalho da mineração, sendo 2 turnos de 7,28 horas cada, totalizando 14,56 horas por dia em 295 dias por ano, já que o setor de lavra não opera aos domingos e feriados.

As Distâncias Médias de Transporte (DMTs), foram aferidas e calculadas, a partir dos hodômetros dos caminhões, seja para o transporte do minério das frentes de lavra em operação em toda a mina durante o período de estudo, até a usina de beneficiamento e para os lotes intermediários, como também, para a movimentação do estéril até o local de deposição de estéril, uma vez que todos os tempos de ciclo listados durante o trabalho foram coletados por observação, ora no interior dos caminhões durante o transporte do material até o seu destino, ora por observação nas próprias frentes de lavra.

O transporte do material é feito em toda sua integralidade por caminhões rodoviários e o desmonte é mecânico em sua grande maioria, uma vez que o minério lavrado é friável, não havendo necessidade do uso de explosivos, salvo em situações atípicas em que um corpo de minério mais compacto e resistente, prejudique, em demasia, o rendimento do desmonte mecânico. O transporte de todo o material é feito pelos caminhões até a pilha de

estéril, para as pilhas de estoque situadas em pontos estratégicos da mina e para a usina de beneficiamento para que seja feita a blendagem do minério em conformidade com as demandas de produção.

Os equipamentos em operação na mina são: caminhões basculantes de propriedade de uma empresa terceirizada com capacidade máxima de 30 t e 18 m<sup>3</sup> de volume raso das caçambas, e outro tipo de caminhão de propriedade da mina com 37 t de capacidade máxima e 20 m<sup>3</sup> de volume raso da caçamba. Os equipamentos de carregamento são escavadeiras hidráulicas, também de propriedade da mina, do modelo Liebherr 954C com capacidade máxima da concha de 3,3 m<sup>3</sup>, e outra Liebherr 944C com capacidade máxima da concha de 2,8 m<sup>3</sup> e pás-carregadeiras Liebherr 580 com capacidade máxima da concha de 4,5 m<sup>3</sup>. A mina possui outros equipamentos responsáveis por fazer terraplanagem, para manter o bom funcionamento e manutenção adequada das vias, como tratores de esteira, motoniveladoras e caminhão pipa.

A geometria da cava foi projetada e dimensionada, considerando as premissas do planejamento, no intuito de reduzir a Relação Estéril/Minério, como também, compatibilizada com as características dos equipamentos de desmonte/carregamento e transporte a serem utilizados. Para tanto, alguns parâmetros foram respeitados:

- ✓ Bancos com 6 a 12 m de altura a depender da frente de lavra;
- ✓ Larguras de berma que variam de 6 a 11 m;
- ✓ Ângulos de talude que variam de 70° a 75°;
- ✓ Ângulos globais com variação de 36° a 52° a depender da competência do maciço e das condições de estabilidade geotécnica;
- ✓ Inclinação de rampas de acesso com no máximo 12%.

As motoniveladoras são utilizadas para a terraplanagem e nivelamento de acessos. As carregadeiras são utilizadas para limpeza e abertura de acessos nas frentes de lavra, confecção de bermas de segurança, leiras, carregamento dos caminhões, desmontes em material friável, organização das praças, blendagem do minério no galpão da usina de beneficiamento e alimentação da planta. Os tratores são responsáveis por alguns desmontes mecânicos, terraplanagem de pilhas de estéril e minério, limpeza de acessos e blendagem das pilhas de minério na usina de beneficiamento.

Todos os dados deste trabalho, evidenciados nas tabelas e gráficos, foram coletados e elaborados pelo autor durante a pesquisa realizada na empresa em estudo no ano de 2019.

A tabela 1, apresentará os dados de movimentação anual para o ano de coleta dos dados (2019), como também para o ano seguinte, considerando a hipótese de que a produção seja dobrada:

*Tabela 1 - Produção anual*

<b>Produção Anual</b>				
Ano	Minério (t)	Estéril (t)	REM	Massa total (t)
2019	950.000,00	850.000,00	0,89	1.800.000,00
2020*	1.900.000,00	1.700.000,00	0,89	3.600.000,00

\* estimativa a ser considerada no dimensionamento com base no aumento da produção

### **3.2.Sistemas de Carregamento e Transporte**

Após todas as considerações e informações citadas ao longo do trabalho, levando-se em consideração as massas movimentadas citadas acima durante o ano estudado, como também, as características e dimensões da mina, do minério e estéril, para se obter o número de equipamentos e a capacidade de produção compatível, harmônica e equilibrada nos ciclos de operação conjugada, algumas observações serão evidenciadas posteriormente. Dito isto, deve-se ressaltar também, que as operações de desmonte e carregamento são feitos em sua maioria por retroescavadeiras hidráulicas e o transporte do material é feito exclusivamente por caminhões.

### **3.3.Análise de Tempos e Movimentos**

Devido a mina em questão não utilizar, no setor de mineração, nenhum sistema de despacho, software de controle, monitoramento ou gerenciamento de frota, houve-se uma necessidade de ir a campo fazer uma amostragem mais detalhada de todos os tempos de ciclo dos equipamentos de carregamento e transporte, listados nas tabelas adiante, com o intuito de se obter dados fidedignos e mais próximos à realidade de operação atual da mina.

Todos os tempos de ciclo coletados, medidos e calculados durante o tempo de pesquisa foram aferidos por observação, utilizando-se de um cronômetro profissional Casio modelo HS-70W (figura 10), que possui uma precisão na cronometragem de 99,99%, apresentando resultados fidedignos e próximos da realidade dos tempos de operação dos equipamentos.



*Figura 10 - Cronômetro HS-70W*

Fonte: Tecno Ferramentas (2019)

Assim como citado anteriormente, como no caso do cálculo da DMT, estes tempos foram observados no interior dos próprios caminhões durante o transporte do material, nas frentes de lavra enquanto ocorriam as operações de desmonte e durante o processo de carregamento dos caminhões realizado pelas escavadeiras e pás carregadeiras.

### **3.3.1. Tempos Perdidos**

Os tempos perdidos são a contagem do tempo intrínsecos à operação, que correspondem às locomoções dos equipamentos durante o período de desmonte de rocha e pelos intervalos dos operadores (almoço, troca de turno, café, entre outros), além dos tempos de abastecimento e pesagem dos caminhões (SILVA, 2009). Estes tempos foram aferidos concomitante aos tempos de ciclo dos equipamentos, seja nas frentes de lavra, durante o transporte dos caminhões, no estacionamento da mina e nos postos de abastecimento.

Estes dados auxiliam no processo de cálculo e estimativa das horas efetivamente trabalhadas, da eficiência da operação e disponibilidade mecânica, e que também fazem parte dos tempos de ciclo médio totais (SILVA, 2009). Outrossim, o somatório dos tempos perdidos,

segundo o mesmo autor, somado aos tempos fixos e variáveis, resultam nos tempos de ciclo efetivos, que são utilizados para o cálculo da capacidade e produtividade dos equipamentos de carregamento e transporte.

Nas figuras 11 e 12, foram calculados tempos médios totais, uma vez que os dados foram coletados em situações, horários e dias distintos para se obter uma maior precisão e compensar possíveis situações atípicas que podem elevar ou diminuir tais tempos em demasia e, por conseguinte, reduzir sua confiabilidade.

Na figura 11, estão evidenciados os tempos perdidos observados durante a aferição dos tempos de ciclo. Todos são uma média de todos os tempos cronometrados, e ocorrem a cada dia de operação da mina com base nos 2 turnos atuais.

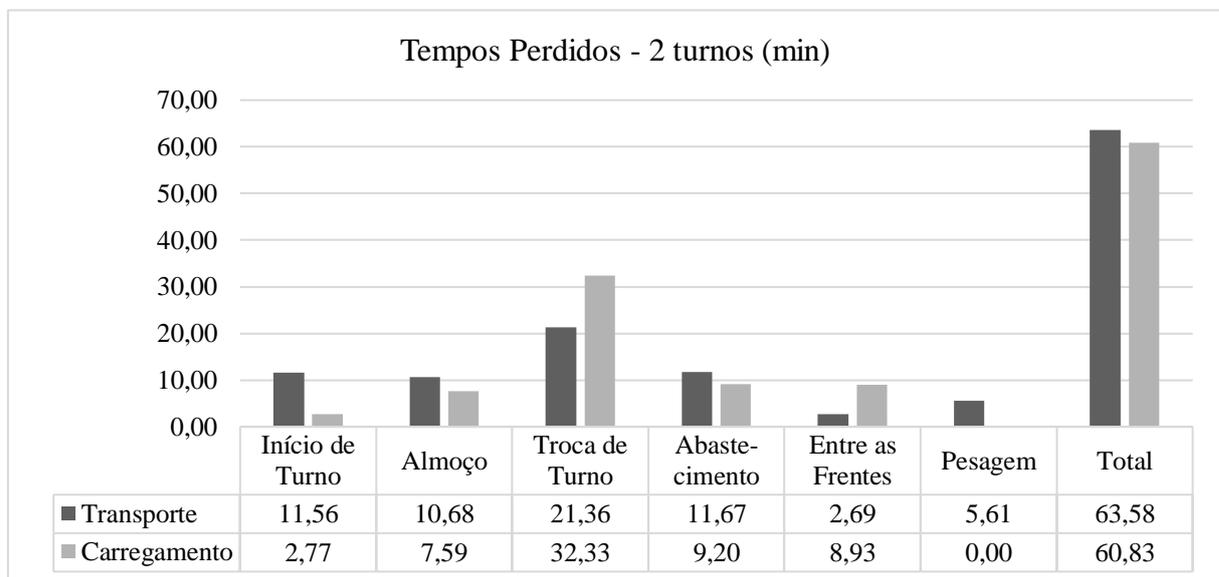


Figura 11 - Gráfico e tabela da média dos tempos perdidos em 2 turnos de operação

Alguns critérios foram respeitados para medição dos tempos da tabela da figura 11 e estão listados a seguir:

**Início de Turno:** Os tempos desta coluna foram calculados a partir do momento em que os operadores dos respectivos equipamentos registravam presença no ponto eletrônico até o momento em que eles partiam do estacionamento das instalações da mina, somando-se ao tempo de deslocamento até as frentes de lavra.

**Almoço:** A segunda coluna refere-se aos tempos perdidos em função da hora de almoço, em que foram contabilizados os tempos de deslocamento de ida e volta até o ponto de encontro do transporte que levava para o refeitório, como também, foram somados os tempos

em que o mesmo transporte aguardava até que os outros operadores chegassem, sendo zerados os cronômetros assim que a hora do almoço de fato começava.

**Troca de Turno:** Estes tempos foram aferidos levando-se em consideração tanto os deslocamentos de ida e volta do trajeto normal de operação, como também, era cronometrado o momento em que os operadores do turno seguinte registravam presença no ponto eletrônico, até aguardarem seu respectivo caminhão chegar ao estacionamento, somando-se ao tempo em que ele ficava parado até partir novamente para as frentes ou para os pontos de descarga do material. No caso dos operadores das escavadeiras e carregadeiras, além de contabilizar o mesmo tempo desde o registro no ponto eletrônico, foram contabilizados os deslocamentos de caminhonete de ida e volta das frentes para o estacionamento da mina.

**Abastecimento:** No caso do abastecimento, eram contabilizados tanto os trajetos de ida e volta do roteiro normal de operação até o local de abastecimento, somando-se aos tempos do abastecimento propriamente dito dos eventuais tempos de espera do bombista começar a abastecer, além de possíveis filas, uma vez que toda a frota abastecia em horários próximos no início do turno da manhã e uma parte da frota fazia um segundo abastecimento no período da tarde.

**Entre as Frentes:** A quinta coluna refere-se aos tempos contabilizados durante a cronometragem dos tempos de ciclo tanto dos caminhões quanto das escavadeiras, já que por diversas vezes é necessária uma mudança entre as frentes por diversas situações intrínsecas à operação de desmonte e carregamento do material, justificados pelas características da frente, restrições topográficas, geotécnicas, pelo aumento da relação estéril/minério, por exigências de produção e teor, por manutenção e/ou abastecimento dos equipamentos de carregamento, dentre outros motivos.

**Pesagem:** Esta última coluna refere-se ao tempo gasto de ida e volta do caminhão do seu trajeto normal de operação até o local da balança, somando-se ao tempo de pesagem propriamente dita. As pesagens eram feitas tanto carregado quanto vazio, ou seja, 2 pesagens por vez no intuito de se fazer a compensação do peso do caminhão vazio e o cálculo da carga líquida. As pesagens eram feitas de maneira aleatória e por diversas vezes ao dia a critério da supervisão de mineração.

Pode-se observar pela análise do gráfico da figura 11 que os tempos perdidos em função das trocas de turno representam mais da metade do total para os equipamentos de carregamento e mais de 30% do total para os equipamentos de transporte. Percebe-se, também, que o total dos tempos perdidos para os 2 turnos atuais de todos os equipamentos ultrapassa 60 minutos diariamente, evidenciando-se como uma grande causa de redução de produtividade.

A figura 12, lista a média dos tempos perdidos pelos equipamentos de carga para cada hora de funcionamento. Estes eventos ocorrem a depender das características e situações de operação, que exigem preparação do ambiente de trabalho, para que melhore a eficiência do desmonte e do carregamento dos caminhões.

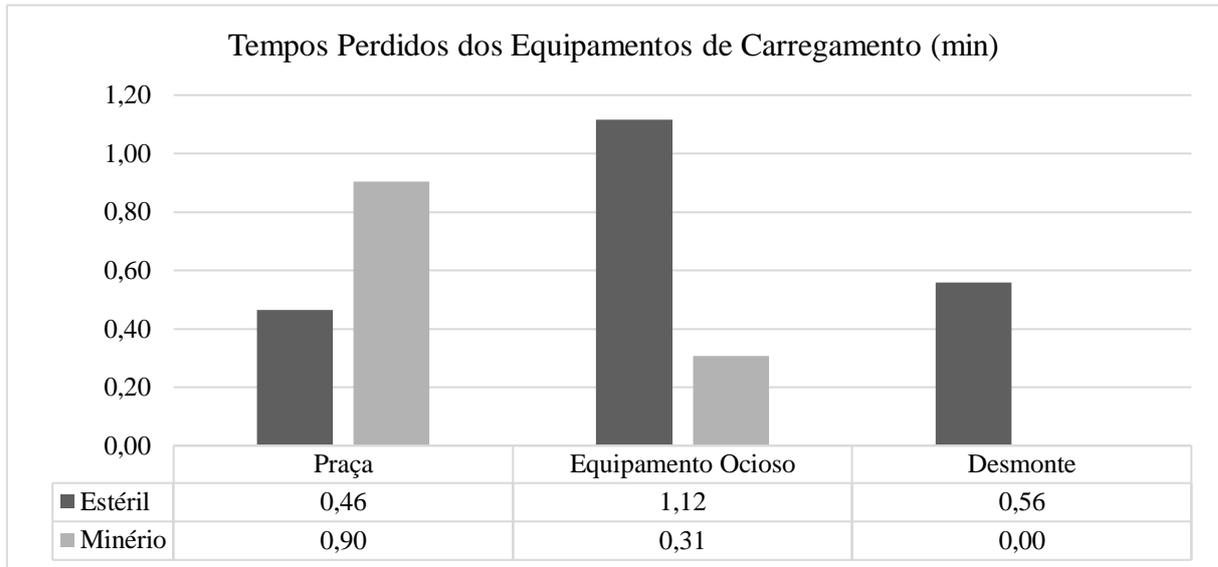


Figura 12 - Gráfico e tabela da média dos tempos perdidos pelos equipamentos de carregamento por cada hora de operação

Estes tempos da figura 12, a exemplo da figura 11, também seguiram alguns critérios. São eles:

**Praça:** Os tempos medidos e utilizados para se calcular a média presente nesta coluna foram cronometrados a partir do momento em que a escavadeira/carregadeira, parava o processo de carregamento dos caminhões, com o propósito de organizar a frente de lavra, para prover um processo de desmonte mecânico em simultâneo ao carregamento de maneira mais eficiente, com um melhor posicionamento do equipamento, evitando situações de desnível entre os equipamentos que prejudicam a eficiência e boa harmonia de operação, e até mesmo para melhorar ou abrir um novo acesso para os caminhões.

**Equipamento Ocioso:** Esta média dos tempos foi calculada com base nos momentos em que o equipamento de carregamento terminava o ciclo de enchimento do caminhão e não havia outro caminhão disponível para ser carregado, nem havia situações de necessidade de preparação das frentes ou qualquer outro tipo de operação, permanecendo o equipamento em marcha lenta ou totalmente desligado, sendo o cronômetro zerado no exato instante em que outro caminhão retornava para ser carregado novamente.

**Desmonte:** Esta última coluna, refere-se ao tempo médio gasto pelo equipamento de carregamento para se fazer um desmonte mecânico que exigisse uma maior atenção e força de desagregação do material, que por vezes era compacto e mais duro ou por uma presença em demasia de matacões, responsáveis por diminuir o fator de enchimento da caçamba da escavadeira, e por conseguinte, prejudicar os tempos de carregamento dos caminhões, ocasionando no aumento do número de passes por caminhão.

Nota-se, pelo gráfico da figura 12, que o tempo para organizar a praça no estéril é bem menor se comparado ao tempo no minério. Pode ser explicado pelo estéril ser mais friável e macio, facilitando o desmonte mecânico realizado pelas escavadeiras, sendo o minério mais duro, compacto e conseqüentemente mais difícil de penetrar e desagregar.

No que se refere ao tempo de equipamento ocioso no estéril, ele é bem maior se comparado ao tempo no minério, uma vez que a mina prioriza, na maioria das vezes, o transporte do minério e por vezes há uma insuficiência no número de caminhões nestas frentes. Também pode ser explicado pelo minério mais friável e mais fácil de ser desagregado e carregado, reduzindo-se os tempos de carregamento, aliado ao número insuficiente de caminhões deixa o equipamento com mais tempo de ociosidade.

Observa-se, de acordo com a figura 12, que não foi registrado tempo de desmonte no minério, porém este fato não implica que esta situação nunca ocorra, mas evidencia que durante as aferições tal situação não foi registrada.

### 3.3.2. Tempos de Ciclo dos Caminhões

A tabela 2 evidencia as DMTs tanto para as frentes de estéril quanto de minério, as velocidades médias dos caminhões nestes trajetos e todos os tempos fixos e variáveis responsáveis por calcular o tempo de ciclo total dos caminhões. A exemplo das figuras 11 e 12, também foram calculados tempos médios com base em uma extensa coleta de dados de todos os caminhões presentes na mina.

Os tempos foram cronometrados em diversas situações e dias distintos, no intuito de registrar variações atípicas nos tempos de ciclo em decorrência de problemas de operação, de harmonia entre os equipamentos, de identificar possíveis problemas de desconhecimento dos supervisores e quaisquer outras anomalias, além de se obter dados mais precisos e mais próximos à realidade da operação.

Tabela 2 - Tempos de ciclo dos caminhões

<b>Tempos de Ciclo Médio dos Caminhões</b>			
		<b>Estéril</b>	<b>Minério</b>
<b>DMT (km)</b>		2,75	4,47
<b>Vel. Média (Km/h)</b>	<b>Carregado</b>	18,86	32,61
	<b>Vazio</b>	28,50	38,12
<b>Tempos de Carregamento (min)</b>	<b>Espera</b>	02:19	00:57
	<b>Fila</b>	01:25	01:59
	<b>Manobra</b>	00:42	00:47
	<b>Carregamento</b>	02:12	02:21
<b>Tempos de Trajeto (min)</b>	<b>Carregado</b>	08:21	08:36
	<b>Vazio</b>	05:32	07:23
<b>Tempos de Descarregamento (min)</b>	<b>Espera</b>	00:00	00:17
	<b>Fila</b>	00:00	00:07
	<b>Manobra</b>	00:22	00:48
	<b>Basculamento</b>	00:47	00:50
<b>Tempo de Ciclo Total (min)</b>		21:42	24:05

Embora estes tempos acima foram explicados durante o trabalho, algumas observações devem ser feitas. Os tempos de espera foram aferidos no intuito de contabilizar situações de perda de tempo, já que o equipamento de carregamento, estava operando em alguma situação que não estava relacionada ao carregamento dos caminhões.

Na figura 13, o gráfico mostra um comparativo de todas as composições dos tempos de ciclo dos caminhões entre as frentes de estéril e de minério.

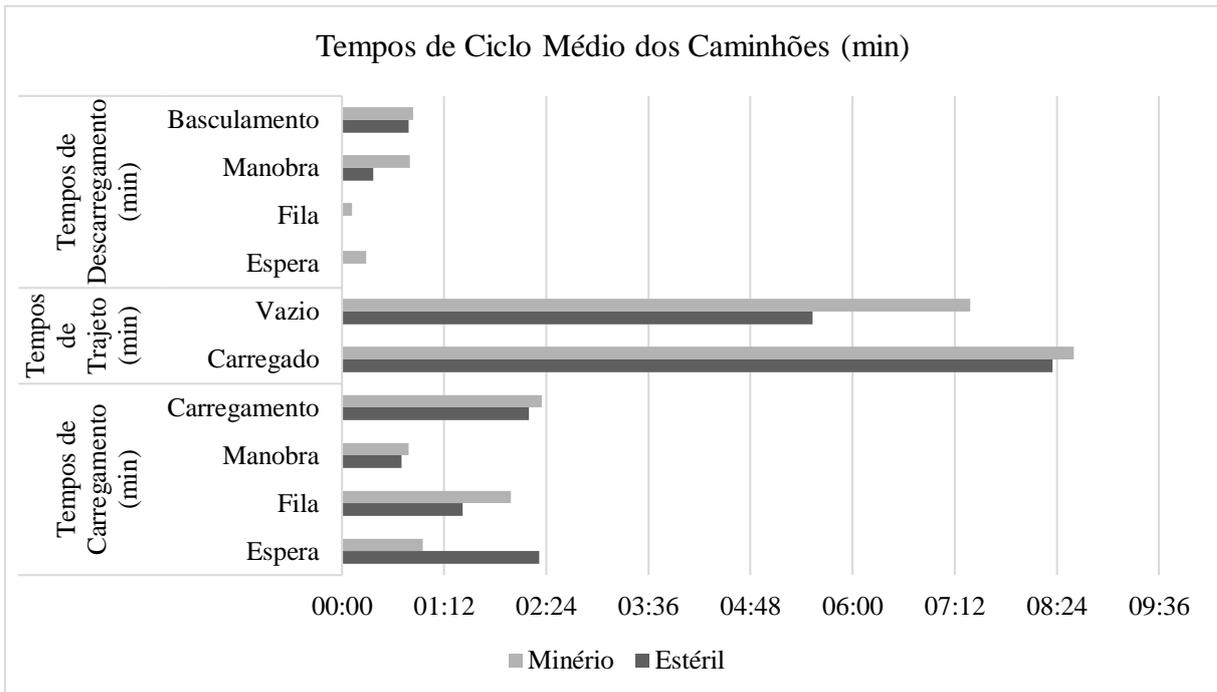


Figura 13 - Gráfico dos tempos de ciclo médio dos caminhões

De acordo com a Figura 13, algumas conclusões podem ser tiradas e estão listadas a seguir:

#### **Tempos de descarregamento:**

✓ **Basculamento** – Os tempos são praticamente iguais para estéril e minério e são limitados pela própria tecnologia dos componentes do implemento dos caminhões;

✓ **Manobra** – Os tempos de manobra para o minério são maiores, uma vez que o galpão da usina de blendagem possui espaço limitado e tem apenas 1 entrada estreita, além de ser o local da homogeneização do minério realizado pelo trator que impedia a manobra em alguns momentos; o local da deposição do estéril é bem amplo e havia espaço suficiente para realizar uma manobra eficiente;

✓ **Fila e espera** – No caso do estéril, por ter um espaço amplo para deposição do material, não havia fila e nem espera; para o caso do minério no galpão de homogeneização, além de haver espaço para apenas 1 caminhão fazer o descarregamento por vez, o trator que fazia a mistura do minério impedia em algumas situações a entrada dos caminhões e a própria entrada do galpão precisava ser refeita e mudada de lugar com frequência, e conseqüentemente, ocasionava esperas do primeiro caminhão que chegava e gerava tempos elevados de fila para os seguintes.

### **Tempos de trajeto:**

✓ **Vazio** – Os tempos de trajeto para o caminhão vazio eram bem menores para os que trafegavam no estéril, pois as DMTs eram bem menores;

✓ **Carregado** – Para o trajeto com os caminhões carregados há uma diferença pequena entre os tempos de ciclo dos caminhões no minério e no estéril, mesmo apesar das DMTs serem bem menores para o estéril. Pode ser explicado por haver um aclive acentuado até o local de deposição do estéril, que diminuía consideravelmente as velocidades médias dos caminhões neste trajeto e que podem ser observados na tabela 2.

### **Tempos de carregamento:**

✓ **Manobra e carregamento** – Não se observa pelo gráfico da figura 13, diferenças consideráveis entre os tempos de manobra e carregamento no estéril e no minério, pois o primeiro depende do espaço que se tem para executar a manobra e pela eficiência do operador, mas que tem uma tendência a ficar dentro de uma média para ambos os tipos de material; no caso do carregamento, ele é limitado pela eficiência do equipamento de carregamento e pelas características do material lavrado, porém pode-se observar que estes tempos estão acima do aceitável e serão analisados posteriormente;

✓ **Espera** – Os tempos de espera dos caminhões foram causados por diversas situações como desmontes realizados pelos equipamentos de carregamento, deslocamentos entre as frentes, tempo em que a escavadeira estava arrumando a praça para se fazer um carregamento mais eficiente, manutenção, verificação antes do funcionamento e abastecimento das escavadeiras, abertura de novas entradas, chegada do operador no começo de turno e a volta após o almoço. Percebe-se, pelo gráfico, que os tempos de espera no estéril são maiores e pode ser explicado por ter havido uma quantidade grande de manutenções da escavadeira nas frentes de estéril durante as aferições, que leva em média de 10 a 15 minutos para ser realizada e acabou por elevar as médias destes tempos, além da espera pelo operador da escavadeira iniciar o turno ou voltar do almoço que teve uma média 6 minutos por cada ocorrência desta situação;

✓ **Fila** – Os tempos de fila foram registrados, na maioria das vezes, pelas situações que provocavam a espera do(s) caminhão(ões) que estava(m) logo a frente. Percebe-se que os tempos médios de fila e espera somados representam mais de 10% do tempo de ciclo total dos caminhões, sendo as manutenções, os começos de turno e a volta do almoço os eventos que mais influenciam nestes tempos elevados. Foi registrado um tempo de fila maior no minério em função de um tempo maior para arrumar a praça, uma vez que o material é mais compacto e

duro e mais difícil de ser desagregado. Estas situações demandam um maior tempo de desmonte do material realizado pelas escavadeiras e causam mais tempos de espera e filas dos caminhões.

### 3.3.3. Tempos de Ciclo das Escavadeiras

As tabelas 4 e 5 possuem dados médios da escavadeira 954C, seja para as situações em que o material de carregamento era o estéril e também para o minério, com a intenção de utilizar o máximo de dados possível da operação atual e prover um dimensionamento mais bem direcionado e embasado para a mina em estudo.

O **tempo de carga** foi calculado utilizando-se de uma extensa base de dados coletados em vários dias de observação dos equipamentos de carga nas frentes de lavra por meio do cronômetro já citado durante o trabalho.

O **peso específico *in situ*** foi fornecido pelo setor de Geologia da Mina estudada com base nos planos de lavra mais recentes através de médias de todas as frentes de lavra em que os tempos de ciclo foram coletados.

O **peso específico empolado** foi obtido por meio de coletas em campo de todas as frentes estudadas e de diversos pontos distintos, com o propósito de se obter uma amostragem mais próxima do real, seguindo os mesmos critérios do setor de Geologia da Mina, uma vez que a mina em questão não dispunha de tais dados no momento utilizando-se da equação 2.

O **empolamento**, foi calculado com base na literatura consultada e citada na revisão bibliográfica, por meio da equação 3.

A tabela 3 apresenta a média dos pesos específicos *in situ* e empolado e o empolamento calculado de acordo com a equação 3, de todas as frentes em que foram aferidos os tempos de ciclo.

*Tabela 3 - Peso específico*

<b>Peso Específico Médio</b>			
	<i>in situ (t/m<sup>3</sup>)</i>	Empolado (t/m <sup>3</sup> )	Empolamento
<b>Minério</b>	2,01	1,35	49,15%
<b>Estéril</b>	1,87	1,26	48,28%
<b>Total</b>	1,94	1,31	48,71%

As **capacidades das caçambas** dos equipamentos foram fornecidas pelos setores administrativos da mina e da empresa contratada pela mina para fornecimento dos caminhões.

Os **números de passes** foram obtidos seguindo alguns critérios:

✓ **Número de passes calculado** – Refere-se ao número de caçambadas do equipamento de carregamento para encher o caminhão, ou seja, dividindo-se a capacidade volumétrica rasa do caminhão pela capacidade volumétrica rasa do equipamento de carregamento;

✓ **Número de passes real** – Foi calculado com base nas observações dos tempos de ciclo dos caminhões e das escavadeiras, tanto no interior dos caminhões quanto na própria frente de lavra. Para tanto, cada tempo de ciclo único do equipamento de carga foi contabilizado como um passe real. Os resultados presentes nas tabelas 4 e 5, representam as médias de cada equipamento de carga ao longo da coleta extensa de dados e de todos os tempos de ciclo, chegando-se a um valor mais próximo da realidade da operação.

O **fator de enchimento do caminhão** foi fornecido pelo setor administrativo da empresa contratada para fornecimento dos caminhões, por meio de manual técnico do implemento em questão.

O **fator de enchimento do equipamento de carga** foi obtido por meio das médias do número de passes para se encher cada caminhão. Assim, divide-se o número de passes calculado pelo número de passes real.

*Tabela 4 - Operação da 954C no estéril*

<b>Dados Operacionais nas Frentes de Estéril da 954C</b>				
<b>Capacidade do Caminhão</b>		<b>30 t</b>	<b>37 t</b>	<b>Média Total</b>
<b>Tempo de Carga (min)</b>		02:06	02:16	02:11
<b>Empolamento</b>		49,45%	38,28%	43,87%
<b>Peso Específico (t/m<sup>3</sup>)</b>	<i>In Situ</i>	1,86	1,77	1,81
	<b>Empolado</b>	1,24	1,28	1,26
<b>Capacidade da Caçamba (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Escavadeira</b>	3,30	3,30	-
	<b>Caminhão</b>	18,00	20,00	-
<b>Nº de Passes</b>	<b>Calculado</b>	5,45	6,06	5,76
	<b>Real</b>	6,67	8,40	7,54
<b>Fator de Enchimento</b>	<b>Caminhão</b>	100,00%	100,00%	100,00%
	<b>Escavadeira</b>	83,06%	72,73%	77,89%

Tabela 5 - Operação da 954C no minério

<b>Dados Operacionais nas Frentes de Minério da 954C</b>				
<b>Capacidade do Caminhão</b>		<b>30 t</b>	<b>37 t</b>	<b>Média Total</b>
<b>Tempo de Carga (min)</b>		02:24	02:33	02:28
<b>Empolamento</b>		45,91%	50,14%	48,02%
<b>Densidade (t/m<sup>3</sup>)</b>	<b>In Situ</b>	1,97	2,09	2,03
	<b>Empolada</b>	1,35	1,39	1,37
<b>Capacidade da Caçamba (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Escavadeira</b>	3,30	3,30	-
	<b>Caminhão</b>	18,00	20,00	-
<b>Nº de Passes</b>	<b>Calculado</b>	5,45	6,06	5,76
	<b>Real</b>	7,41	8,00	7,71
<b>Fator de Enchimento</b>	<b>Caminhão</b>	100,00%	100,00%	100,00%
	<b>Escavadeira</b>	74,76%	76,96%	75,86%

A tabela 6 evidencia os tempos de ciclo médio de cada passe de todos os equipamentos de carga aferidos tanto na operação no minério quanto no estéril, bem como a média dos tempos de carregamento total dos caminhões. Possui também, a quantidade de passes aferidos em cada equipamento, e mostra que, ao todo, foram coletados 865 passes que embora não seja um número tão expressivo se comparado às quantidades reais de operação, são suficientes para ter uma representatividade significativa no tocante à precisão das médias de tempo em diversas situações, em vários tipos de materiais e em distintas frentes de lavra.

Embora os dados dos outros equipamentos também foram coletados como será visto na tabela 6, eles não serão considerados para efeito de dimensionamento. Tanto a escavadeira 944C, que está em processo de desativação, como a carregadeira 580 são utilizadas em situações excepcionais de operação, sendo a 954C o principal equipamento em operação e adequado para atender aos requisitos da mina.

Tabela 6 - Ciclos dos equipamentos de carregamento

Ciclos dos Equipamentos de Carregamento							
Equipamento	Estéril			Minério			Nº Total de Ciclos
	Tempo de Ciclo Médio (min)		Nº de Ciclos Coletados	Tempo de Ciclo Médio (min)		Nº de Ciclos Coletados	
	Por Cada Passe	Ciclo Total		Por Cada Passe	Ciclo Total		
944	00:25	03:08	88	-	-	-	88
954	00:22	02:11	463	00:22	02:28	229	692
580	00:42	02:50	45	00:44	02:21	40	85
<b>Total</b>	-	-	<b>596</b>	-	-	<b>269</b>	<b>865</b>

### 3.4. Dimensionamento da Frota por Indicadores de Produção

A mina atualmente conta com uma frota de 4 escavadeiras hidráulicas, todas da empresa Liebherr, sendo 2 unidades do modelo 954C, uma unidade do modelo 954B e uma unidade do modelo 944C. Os caminhões são contratados por produtividade de uma empresa terceirizada, sendo 7 unidades de 18 m<sup>3</sup> e 30 t de capacidade e mais uma unidade de propriedade da mina, com capacidade de 37 t e 20 m<sup>3</sup>.

Para verificar o dimensionamento atual da frota de carregamento e transporte e fazer um novo dimensionamento com base num possível aumento de produção, alguns indicadores serão considerados. Dentre eles, os Tempos de Ciclo Efetivos coletados e calculados durante este trabalho, o Fator de Eficiência, a Disponibilidade Mecânica dos equipamentos, o Fator de Utilização, o Rendimento, Capacidades das Caçambas e seus Fatores de Enchimento, o Fator de Operação Conjugada, Horas Programadas por Ano, dentre outros evidenciados a seguir.

Para ponto de partida, deve-se, primeiro, calcular a produção anual de cada equipamento, por meio da equação 11 presente no capítulo 2.3.3.15 da revisão bibliográfica e que está evidenciada a seguir:

$$\text{Produção anual} = N \times E \times C \times FE \times OC \times HP \times DF \times U \quad (11)$$

Onde:

N = número de passes / ciclos por hora;

E = fator de eficiência (%);

C = capacidade da caçamba (t ou m<sup>3</sup>);

FE = fator de enchimento da caçamba;

OC = fator de operação conjugada;

HP = horas programadas por ano;

DM = disponibilidade mecânica do equipamento (%);

U = fator de utilização do equipamento.

### 3.4.1. Jornada de Trabalho

A tabela 7 contém as horas trabalhadas com base nos turnos, folgas e feriados considerados para o ano de 2019:

*Tabela 7 - Dias e Horas Trabalhadas no Ano em 2 Turnos*

<b>Dias e Horas Trabalhadas – 2 Turnos</b>	
<b>Número de Turnos por Dia</b>	2
<b>Horas Trabalhadas por Turno</b>	7,28
<b>Horas Trabalhadas por Dia</b>	14,56
<b>Horas Calculadas com Base nos Turnos</b>	4.222,40
<b>Dias no Ano</b>	365
<b>Semanas no Ano</b>	52
<b>Feriados</b>	11
<b>Folgas por Ano (h)</b>	174,72
<b>Folgas por Ano (dias)</b>	7,28
<b>Dias Efetivamente Trabalhados no Ano</b>	<b>294,72</b>

Para se obter os resultados de horas trabalhadas por turno, foi considerado o turno que começa às 7:48 e tem uma pausa para o almoço às 11:20 e recomeça às 12:20 e vai até às 16:05, ou seja, são 7 horas e 17 minutos efetivamente trabalhados. Portanto são 7,28 horas por turno e 14,56 horas por dia.

Para se calcular as Horas Programadas por Ano (**HP**), utiliza-se a equação 12 que tem como base as horas programadas do capítulo 2.3.3.9 presente na revisão bibliográfica e adaptada para jornada de trabalho da tabela 7 desta mina em estudo. A equação está evidenciada a seguir:

$$\text{HP} = \text{Horas Trabalhadas por dia} \times (\text{Dias no Ano} - \text{Semanas no Ano} - \text{Feriados no Ano}) - \text{Folgas por Ano} \quad (12)$$

As folgas por ano (equação 13) foram obtidas pelo regime de trabalho da mina, que alterna turnos de uma equipe a cada 14 dias e possui folga de 1 sábado por mês, além das folgas dos domingos e feriados. Logo, as folgas foram calculadas da seguinte forma:

$$\text{Folgas Por Ano} = \text{N}^\circ \text{ de Turnos} \times \text{Horas por Turno} \times \text{N}^\circ \text{ de Meses do Ano} \quad (13)$$

Os dias trabalhados por ano foram calculados pela equação 14 com os dados da tabela 7 fornecidos pela mina:

$$\text{Dias Trabalhados por Ano} = \text{Dias no Ano} - \text{Semanas no Ano} - \text{Feriados} - \text{Folgas por Ano} \quad (14)$$

### 3.4.2. Manutenções e Horas Efetivamente Trabalhadas

A tabela 8 a seguir refere-se aos tempos de horas efetivamente trabalhadas já considerando os turnos previstos e os tempos de manutenção dos equipamentos que serão utilizados nos parâmetros acima:

*Tabela 8 - Manutenções em 2 Turnos*

<b>Tabela de Manutenções Para 2 Turnos</b>			
	<b>30 t</b>	<b>37 t</b>	<b>Liebherr 954C</b>
<b>Manutenção Preventiva (h)</b>	-	203,85	329,60
<b>Manutenção Corretiva (h)</b>	-	67,95	81,20
<b>Tempos Perdidos (h)</b>	312,30	312,30	298,79
<b>Horas de Reparos na Oficina/Campo</b>	52,04	52,04	52,00
<b>Horas Efetivamente Trabalhadas</b>	3.623,66	3.586,26	3.460,82

Para o cálculo das horas efetivamente trabalhadas (**HT**) dos caminhões de 30 t da empresa contratada foi informado pelo setor de manutenção que a disponibilidade mecânica (**DM**) é de 93,56%, segundo planilhas próprias. A partir disso, é possível calcular as horas

efetivamente trabalhadas utilizando-se a equação 15, que tem como base, os parâmetros dos conceitos fundamentais do capítulo 2.3. A equação está evidenciada a seguir.

$$\text{Horas Efetivamente Trabalhadas} = \text{Horas Programadas por Ano} \times \text{Disponibilidade Mecânica Informada} \quad (15)$$

Para obtenção das horas de manutenções preventivas, corretivas e de reparos na oficina/campo do caminhão de 37 t, também foram utilizados dados históricos no período de 1 ano, informados pelo setor de manutenção da mina.

No caso do equipamento de carga foi informado pelo setor de manutenção da mina que a manutenção preventiva (MP) ocorre a cada 250 horas de funcionamento do equipamento e tem duração em média de 21 horas. Para tanto, deve-se utilizar as horas programadas por ano e subtrair o total de tempos perdidos do equipamento de carregamento da figura 11, e ao mesmo tempo, somar o tempo entre as frentes do equipamento de carregamento da mesma figura 11, pois deve-se levar em consideração apenas o tempo do equipamento em funcionamento. Logo, pode ser obtido pela equação 16, que tem como base os conceitos do capítulo 2.3 da revisão bibliográfica e que foram adaptados para a mina em estudo. A equação está evidenciada a seguir:

$$\text{MP} = ((\text{Horas Programadas por Ano} - \text{Tempos Perdidos} + \text{Tempo de deslocamento entre as frentes}) \times \text{Tempo de duração da manutenção}) / \text{Intervalo Entre Manutenções} \quad (16)$$

Para a manutenção corretiva (MC) da escavadeira foi informado pelo setor de manutenção que ocorre, em média, 1 hora por semana. Logo, para se calcular este tempo a equação 17, evidenciada a seguir, foi baseada nos conceitos do capítulo 2.3 e os parâmetros foram adaptados para a mina estudada. Tem-se que:

$$\text{MC} = (\text{Horas Programadas no ano} \times \text{Número de horas de manutenção por semana}) / (\text{Número de semanas no ano}) \quad (17)$$

Os tempos perdidos (TP), foram obtidos com base na figura 11 e são iguais para os caminhões de 30 t e 37 t, já que a média dos tempos perdidos inclui a operação de todos os caminhões. Para se calcular e obter estes resultados, a equação 18 a seguir tem como base, os conceitos do capítulo 2.3 e foi adaptada para a mina em estudo:

$$\text{Tempos perdidos} = \text{Somatório de Tempos Perdidos} \times \text{Número de dias trabalhados no ano} \quad (18)$$

Para se obter o tempo de Reparos na Oficina/Campo (**HR**), que tem como base os conceitos do capítulo 2.3 da revisão bibliográfica adaptados para a mina em estudo, no caso dos caminhões de 30 t e 37 t, foi informado pelo setor de manutenção da mina. Para se obter estes tempos, foram tomados como base situações em que os caminhões ficaram parados na oficina por falta de peças ou ferramentas. Logo, foi estimado, por meio de planilhas próprias que o tempo por ano perdido com estas horas ociosas é de aproximadamente **52,04 h** e estes tempos estão evidenciados na tabela 8.

Para o caso das escavadeiras 954C o tempo de Reparos na Oficina/Campo em que o equipamento ficou parado por falta de peças ou ferramentas, foi informado pelo setor de manutenção da mina que ocorre, em média, 1 hora por semana. Logo, este tempo foi multiplicado pelo número de semanas no ano, ou seja, **52 h**. Este tempo está evidenciado na tabela 8.

Para o Tempo Efetivamente Trabalhado (**HT**) tanto para a escavadeira quanto para os caminhões de 37 t a equação 19 a seguir foi utilizada e tem como base os conceitos fundamentais do capítulo 2.3 da revisão bibliográfica, que foram adaptados para os parâmetros desta mina em estudo. Tem-se:

$$\text{Tempo Efetivamente Trabalhado} = \text{HP} - \text{MP} - \text{MC} - \text{TP} - \text{HR} \quad (19)$$

### 3.4.3. Equações de Produtividade

O número de ciclos por hora (**N**) pode ser calculado dividindo-se a quantidade de segundos que se tem em 1 hora (3600) pelo tempo de ciclo total do equipamento a ser calculado (SILVA, 2009).

O número de ciclos por hora (**N**) dos caminhões será calculado com base nos tempos de ciclo médio dos caminhões da tabela 2, que tem como base os conceitos citados acima, adaptando-os para a mina em estudo por meio da equação 20 a seguir:

$$\text{Nº de ciclos por hora} = 3600 / (\text{tempo de ciclo médio total dos caminhões}) \quad (20)$$

No caso das escavadeiras o número de passes por hora será calculado pela equação 21 a seguir, que tem como base os mesmos conceitos utilizados pelos caminhões para a elaboração da equação 20:

$$\mathbf{N^{\circ} \text{ de Passes por hora} = 3600 / (\text{tempo de caçambada})} \quad (21)$$

O fator de eficiência (**E**) para os caminhões foi calculado a partir da equação 22 com base nos conceitos do capítulo 2.3 e adaptando-os para a mina em estudo, fazendo uso dos tempos de ciclo total na tabela 2 e dos tempos de espera e de fila tanto no carregamento quanto no descarregamento, uma vez que considera as paradas, atrasos e deficiências em relação ao máximo desempenho do equipamento. A equação está evidenciada a seguir:

$$\mathbf{E = (\text{tempo de ciclo total} - \text{tempos de espera} - \text{tempos de fila}) / \text{tempo de ciclo total}} \quad (22)$$

No caso das escavadeiras o fator de eficiência (**E**) foi calculado com base nos conceitos do capítulo 2.3 e adaptando-os para a mina em estudo utilizando-se dos tempos perdidos da escavadeira que estão na figura 12, já que estes eventos ocorreram, em média, 1 vez a cada hora de funcionamento da escavadeira. Portanto, pode-se de calcular dividindo o somatório de todos tempos perdidos em segundos por 1 hora de funcionamento do equipamento de carga. Assim, temos a equação 23 a seguir:

$$\mathbf{E = 1 - (\text{tempo para arrumar a praça} + \text{tempo do equipamento ocioso} + \text{tempo de desmonte}) / 3600} \quad (23)$$

As capacidades das caçambas (**C**) dos caminhões e da escavadeira, são as atuais em operação na mina e por isso foram consideradas para este cálculo de produtividade e dimensionamento.

Os Fatores de Enchimento (**FE**) dos equipamentos foram os mesmos das tabelas 4 e 5, respectivamente, para o cálculo da produtividade de minério e de estéril, uma vez que para o cálculo deste dimensionamento só serão consideradas as escavadeiras 954C, pois é o equipamento de carga principal em uso na mina, sendo a carregadeira 580 e a escavadeira 944C utilizada em situações excepcionais e específicas.

O Fator de Operação Conjugada (**OC**) para o equipamento de transporte foi obtido com base nos conceitos do capítulo 2.3 e adaptado para a situação desta mina em estudo

utilizando-se dos tempos de espera do caminhão tanto no carregamento, quanto no descarregamento, já que ele compreende o tempo não produtivo de um equipamento em decorrência das esperas do equipamento que com ele opera dependentemente, para tanto, a equação 24 a seguir foi utilizada:

$$\text{OC} = (\text{Tempo de Ciclo total do Caminhão} - \text{Tempo de Espera do Carregamento} - \text{Tempo de Espera do Descarregamento}) / \text{Tempo de Ciclo Total do Caminhão} \quad (24)$$

Para o equipamento de carga a equação 25 teve como base os mesmos conceitos abordados pelos caminhões para equação 24 e adaptados para o contexto da mina em estudo, onde foi utilizado o tempo de equipamento ocioso da figura 12 por cada hora de funcionamento da escavadeira. O fator foi calculado com base na equação 25 a seguir:

$$\text{OC} = 1 - (\text{Tempo do Equipamento Ocioso (em segundos)} / 3600) \quad (25)$$

As horas programadas (**HP**), utilizadas para os cálculos tanto dos caminhões, quanto das escavadeiras são as mesmas da tabela 7.

A Disponibilidade Mecânica (**DM**) foi obtida com base nos conceitos do capítulo 2.3 e foi adaptada para a mina em estudo, por meio das horas programadas (**HP**) citadas acima nas manutenções preventivas (**MP**), manutenções corretivas (**MC**) e tempos perdidos (**TP**) de cada respectivo equipamento da tabela 8. Para tanto, a equação 6 a seguir foi utilizada:

$$\text{DM} = (\text{HP} - (\text{MP} + \text{MC} + \text{TP}) \times 100\%) / \text{HP} \quad (5)$$

A utilização (**U**) das escavadeiras e do caminhão de 37 t foram obtidas com base nos conceitos do capítulo 2.3 e adaptados para a situação da mina em estudo e estão evidenciados na equação 26 a seguir:

$$\text{U} = \text{HT} / (\text{HP} - (\text{MC} + \text{MP} + \text{HR})) \quad (26)$$

Para os caminhões de 30 t a utilização (**U**) foi calculada com base nos conceitos do capítulo 2.3 e adaptados para o contexto da mina, uma vez que os tempos de manutenção corretiva e preventiva já estavam inseridos na disponibilidade mecânica informada. Logo, a equação 27 a seguir foi utilizada:

$$U = HT / (HP * DM - HR) \quad (27)$$

As tabelas 9 e 10 representam a produtividade anual de estéril e minério dos equipamentos de carga e transporte evidenciados durante o trabalho, seguindo os parâmetros e equações explicados neste capítulo.

As massas totais (**P**) foram obtidas pela equação 11 e representam as capacidades calculadas de produção dos equipamentos com base nos parâmetros atuais de operação.

#### 3.4.4. Cálculo do Número de Equipamentos

Para se calcular o número de equipamentos, divide-se a massa total movimentada pela produtividade anual de cada equipamento (SILVA, 2009).

Com base no conceito acima e adaptando-se para a mina estudada deve-se considerar que a mina possui um caminhão de 37 t e este será utilizado independentemente da quantidade de caminhões contratados da empresa terceirizada. Logo, para se chegar ao número ideal de caminhões será subtraída metade da produtividade calculada para este caminhão para o estéril e a outra metade da produtividade para o minério, uma vez que ele opera em todas as frentes da mina independentemente do material a ser transportado. Portanto, serão usadas as equações 28, 29, 30 e 31 a seguir:

$$\text{Nº de equipamentos de Carga no Estéril} = \text{Massa de Estéril Movimentada} / \text{Produtividade de Estéril Anual de Cada Equipamento} \quad (28)$$

$$\text{Nº de Caminhões no Estéril} = (\text{Massa de Estéril Movimentada} - \text{Metade da Produtividade de Estéril do Caminhão de 37 t}) / \text{Produtividade de Estéril Anual de Cada Equipamento} \quad (29)$$

$$\text{Nº de equipamentos de Carga no Minério} = \text{Massa de Minério Movimentada} / \text{Produtividade de Minério Anual de Cada Equipamento} \quad (30)$$

$$\text{Nº de Caminhões no Minério} = (\text{Massa de Minério Movimentada} - \text{Metade da Produtividade de Minério do Caminhão de 37 t}) / \text{Produtividade de Minério Anual de Cada Equipamento} \quad (31)$$

### 3.4.5. Produtividades dos Equipamentos

Através de planilhas do Excel, pôde-se utilizar todos os dados coletados por meio dos parâmetros supracitados e fazer todos os cálculos abordados neste estudo. As tabelas 9 e 10 apresentam as produtividades totais das escavadeiras e caminhões em 2 turnos para o ano de 2019 e estão evidenciados a seguir:

*Tabela 9 - Produtividade das escavadeiras em 2 turnos*

<b>Produtividade da Escavadeira 954C Para 2 Turnos</b>		
	<b>Estéril</b>	<b>Minério</b>
<b>N (ciclos/h)</b>	164,93	161,21
<b>E (%)</b>	96,43%	97,98%
<b>C (m<sup>3</sup>)</b>	3,30	3,30
<b>FE (%)</b>	81,76%	73,57%
<b>OC (%)</b>	97,74%	99,49%
<b>HP (h)</b>	4.222,40	4.222,40
<b>DM (%)</b>	83,19%	83,19%
<b>U (%)</b>	92,05%	92,05%
<b>y (t/m<sup>3</sup>)</b>	1,24	1,35
<b>P (t)</b>	<b>1.688.000,19</b>	<b>1.661.518,61</b>

*Tabela 10 - Produtividade dos caminhões para 2 turnos*

<b>Produtividade dos Caminhões Para 2 turnos</b>				
	<b>Estéril</b>		<b>Minério</b>	
	<b>30 t</b>	<b>37 t</b>	<b>30 t</b>	<b>37 t</b>
<b>N (ciclos/h)</b>	2,76	2,76	2,49	2,49
<b>E (%)</b>	82,75	82,75	86,17	86,17
<b>C (t)</b>	30,00	37,00	30	37,00
<b>FE (%)</b>	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>OC (%)</b>	89,30	89,30	94,89	94,89
<b>HP (h)</b>	4.222,40	4.222,40	4.222,40	4.222,40
<b>DM (%)</b>	93,56	86,17	93,56	86,17
<b>U (%)</b>	93,32	91,99	93,32	91,99
<b>P (t)</b>	<b>225.953,69</b>	<b>252.975,59</b>	<b>225.232,84</b>	<b>252.168,53</b>

Para o caso de equipamentos, os resultados devem ser constituídos por números inteiros. Se os valores permitirem uma margem de melhora, recomenda-se arredondar o número para baixo. Caso não seja possível, recomenda-se fazer o arredondamento para cima, pois os equipamentos sofrerão desgaste natural ao longo de vida útil da mina e conseqüentemente, o rendimento dos equipamentos diminuirá.

Quanto maior a proximidade entre os indicadores de produção calculados durante o planejamento aos indicadores atuais de operação, mais precisa será a produção estimada se comparada a real. As estimativas dos indicadores de produção devem ter como base os estudos de campo, os manuais de fabricantes, levando-se em consideração o histórico de dados praticados em cada operação. Estas considerações têm o propósito de evitar situações em que haja equívocos de planejamento e dimensionamento, seja por subestimar ou superestimar os resultados. Assim, as estimativas de produtividade permanecerão dentro de uma margem tolerável e o equilíbrio entre produtividade e custos será obtido com uma maior solidez.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Influência dos Indicadores de Produção no Dimensionamento de Frotas

#### 4.1.1. Dimensionamento com Base na Produção Atual

Com base nas equações e cálculos efetuados ao longo do capítulo 3.4, para se fazer um correto dimensionamento no que tange a produção estimada de 2019 deve-se considerar os indicadores de produção de cada equipamento das tabelas 9 e 10.

Para tanto, utilizando-se das equações 28, 29, 30 e 31, evidenciadas no capítulo 3.4.4, e dos números de produção de estéril e minério da tabela 11 a seguir se obtém os números de equipamentos de carregamento e transporte tanto para minério quanto para estéril. Com isso, as tabelas 12 e 13 a seguir mostram as quantidades calculadas levando-se em consideração que foram subtraídas das massas de minério e de estéril a metade da produção anual do caminhão de 37 t, uma vez que ele operará em todas as frentes e é de propriedade da mina.

*Tabela 11 - Produtividade anual planejada para 2019*

<b>Produtividade Anual Planejada 2019 (t/ano)</b>	
Estéril	850.000,00
Minério	950.000,00
Total	1.800.000,00

*Tabela 12 - Número de equipamentos calculados para estéril*

<b>Nº de Unidades dos Equipamentos no Estéril em 2019</b>		
	<b>Caminhões</b>	<b>Liebherr 954C</b>
<b>Calculado</b>	3,20	0,50
<b>Considerado</b>	3	1

*Tabela 13 - Número de equipamentos calculados para minério*

<b>Nº de Unidades dos Equipamentos no Minério em 2019</b>		
	<b>Caminhões</b>	<b>Liebherr 954-C1</b>
<b>Calculado</b>	3,66	0,57
<b>Considerado</b>	4	1

Com base nestes cálculos das tabelas 12 e 13 e na premissa de que os arredondamentos devem seguir critérios que avaliem vida útil e melhoria na eficiência dos equipamentos e da operação, ao se somar os valores calculados das tabelas 12 e 13 obtém-se o número de 6,86 equipamentos de transporte. Logo, este número deve ser arredondado para 7, uma vez que todos os caminhões operam em todas as frentes de minério e estéril ao mesmo tempo. Assim, adicionadas ao caminhão de 37 t, totalizando 8 caminhões, haverá uma pequena capacidade de produção de quase 1% a mais da massa planejada neste ano atingindo 1.831.724,90 t considerando que algumas situações podem diminuir ou aumentar a produtividade efetiva dos equipamentos.

Para o caso das escavadeiras, poder-se-ia considerar praticamente 1 escavadeira para movimentar toda essa massa anual, entretanto deve-se considerar que as frentes de lavra são distantes entre si e isso requereria não só um deslocamento excessivo das escavadeiras provocando desgaste nos componentes da máquina, como também elevaria muito os tempos de deslocamento entre as frentes e conseqüentemente os tempos perdidos, as filas, os tempos de espera diminuindo os fatores de eficiência e de operação conjugada, bem como a produtividade geral dos equipamentos.

Portanto, 2 unidades da escavadeira posicionadas cada uma em uma determinada localização da mina atendem de maneira muito mais eficiente e mantém a produtividade requerida com uma margem muito segura, para inclusive admitir aumento de produtividade futura.

Confrontando os dados deste dimensionamento, com a quantidade de equipamentos de carregamento e transporte atual da mina em estudo, conclui-se que a quantidade atual de equipamentos é a ideal, uma vez que há 7 caminhões de 30 t e mais 1 caminhão de 37 t em operação e 3 escavadeiras Liebherr 954C de mesma capacidade que atendem a produtividade requerida e estão em pleno funcionamento, além de uma Liebherr 944C e mais uma carregadeira 580 que são usadas em situações específicas.

#### **4.1.2. Dimensionamento com Base no Aumento de Produção em 2 turnos**

Considerando que o aumento da produção será de 100% para 2020, evidenciados na tabela 14, as tabelas 15 e 16 consideram o número de caminhões e escavadeiras necessários e as respectivas produtividades máximas dos equipamentos. Para tanto, as equações 28, 29, 30 e 31 foram utilizadas. Então, temos:

Tabela 14 - Produtividade anual estimada para 2020

<b>Produtividade Anual em 2020 (t/ano)</b>	
<b>Estéril</b>	1.700.000,00
<b>Minério</b>	1.900.000,00
<b>Total</b>	3.600.000,00

Tabela 15 - Dimensionamento dos caminhões em 2020

<b>Dimensionamento dos Caminhões em 2020</b>			
		<b>Estéril</b>	<b>Minério</b>
<b>Massas (t)</b>	<b>Requerida</b>	1.700.000,00	1.900.000,00
	<b>Produtividade - 30 t</b>	225.953,69	225.232,84
	<b>Metade da Produtividade Média - 37 t</b>	126.286,03	126.286,03
	<b>Considerada</b>	1.573.512,20	1.773.915,74
<b>Nº de Equipamentos</b>	<b>Calculado</b>	6,96	7,88
	<b>Considerado</b>	7	8
<b>Produtividade Máxima (t)</b>	<b>30 t</b>	1.581.675,83	1.801.862,69
	<b>37 t</b>	1.708.163,63	1.927.946,95

Tabela 16 - Dimensionamento das escavadeiras Liebherr 954C em 2020

<b>Dimensionamento da Escavadeira Liebherr 954C</b>			
		<b>Estéril</b>	<b>Minério</b>
<b>Massa Requerida (t)</b>		1.700.000,00	1.900.000,00
<b>Produtividade Anual da Escavadeira (t)</b>		1.688.000,19	1.661.518,61
<b>Nº de Equipamentos</b>	<b>Calculado</b>	1,01	1,14
	<b>Considerado</b>	1	2
<b>Produtividade Máxima (t)</b>		1.688.000,19	3.323.037,21

No que se referem as tabelas 15 e 16, algumas considerações serão feitas:

**Massas:** A “massa requerida” é a massa considerada para o ano de 2020 onde a produção será dobrada, extraída da tabela 14; a “produtividade de 30 t” é a produtividade **P** calculada na tabela 10 para estéril e minério; a “metade da produtividade de 37 t” é a metade da média da produtividade **P** do caminhão de 37 t para estéril e minério que foi calculada na tabela 10; a “massa considerada” é a “massa requerida”, subtraída da “metade da

produtividade do caminhão de 37 t” tanto para o estéril, quanto para o minério.

**Produtividade Anual da Escavadeira:** É a produtividade **P** anual da escavadeira 954C retirada da tabela 9 para o estéril e o minério.

**Nº de Equipamentos:** para a tabela 15, o “calculado” é o resultado da divisão da “massa considerada” pela produtividade **P** do caminhão de 30 t para o estéril e o minério; o “considerado” é o número de caminhões calculado, arredondado para cima; para a tabela 16, o “calculado” é o resultado da divisão da “massa requerida” pela “produtividade anual da escavadeira”; o “considerado” é o número de escavadeiras efetivamente consideradas para atender a produção anual de 2020.

**Produtividade Máxima:** Para a tabela 15, a produtividade máxima “30 t”, se refere ao número de equipamentos “considerado”, multiplicado pela respectiva produtividade no estéril ou minério; a produtividade máxima “37 t”, é a produtividade de “30 t” somada à “metade da produtividade média do caminhão de 37 t”; para a tabela 16, a “produtividade máxima” é o número de equipamentos “considerado” multiplicado pela “produtividade anual da escavadeira”.

Após estas considerações verifica-se que para a nova exigência de produção, 2 escavadeiras não são suficientes, pois ultrapassa sua capacidade máxima de operação tanto para minério quanto para estéril. Logo, é necessária a adição de mais uma escavadeira para atender a nova demanda. No caso da mina em estudo não será necessária a aquisição de mais uma escavadeira, justamente por ela já possuir 3 escavadeiras que atendem tranquilamente esta produção requerida.

No caso dos caminhões a quantidade necessária para atender a nova demanda de produção será de 15 caminhões além do caminhão de 37 t, chegando-se ao total de 16 caminhões, já considerando o arredondamento de caminhões de minério para 8. Com isso, atinge-se uma capacidade produtiva calculada dos caminhões de 3.636.110,58 t, ou seja, uma pequena margem de folga se os atuais indicadores de produção se mantiverem. Além disso, deve-se levar em conta que a DMT aumenta ao longo da vida da mina e um incremento da distância vai aumentar os tempos de ciclo dos caminhões, o que fatalmente diminuirá a produtividade.

Com base nestas observações, o tomador de decisão da mina deve considerar o fato de que a quantidade calculada e a requerida estão muito próximas e uma diminuição de rendimento dos indicadores de produção atuais e o aumento da DMT podem sobrecarregar os caminhões fazendo com que trabalhem sempre no limite de sua produtividade máxima atual. Pode, também, provocar um maior desgaste e uma redução prematura da vida útil dos

caminhões, reduzindo também a disponibilidade mecânica e eventualmente impactar na produtividade total dos equipamentos.

No entanto, considerar 17 caminhões para se obter uma margem segura para atender a nova demanda, no momento, pode superestimar a capacidade de produção dos caminhões e deixar por vezes equipamentos ociosos e diminuir os indicadores de utilização, aumento excessivo de filas, do trânsito, da produção de poeira, do pátio de estacionamento e de logística de manutenção, sem contar nos custos de manutenção e aquisição da empresa contratada, como um aumento de custos trabalhistas de 2 motoristas a mais para a mina.

Portanto, caso a opção seja pelo aumento do número de caminhões para atender a nova demanda de produção, o recomendado é admitir a adição de mais 8 caminhões à frota atual, ao total de 16 caminhões e promover, por meio de mecanismos adequados e ferramentas corretas, uma verificação e monitoramento dos indicadores de produção. Estas medidas tem o propósito de prever e evitar sobrecarga dos equipamentos atuais e não prejudicar as metas de produção e até mesmo, promover uma melhoria na eficiência dos equipamentos, na capacitação dos operadores, na redução dos tempos perdidos, no aumento da utilização, dentre outros.

#### **4.1.3. Aumento de Produtividade Com Base no Aumento de 1 Turno de Operação**

As tabelas 17, 18, 19, 20 e 21 referem-se ao cálculo da produtividade dos equipamentos e números de horas trabalhadas em 3 turnos, já levando-se em conta os novos tempos de manutenção e sua influência nos indicadores de produção. Assim, quanto mais horas trabalhadas com o aumento dos turnos mais horas de manutenção exigirá para os equipamentos. Este problema impactará diretamente na utilização, na disponibilidade mecânica, na eficiência, e até mesmo nos tempos perdidos. A partir destas considerações é importante fazer esta e outras avaliações.

Estes parâmetros das tabelas 17, 18, 19, 20 e 21 foram calculados utilizando-se das mesmas considerações, equações, referências e métodos utilizados para os cálculos em 2 turnos do capítulo 3.4 deste estudo. Os resultados estão logo a seguir:

Tabela 17 - Dias e horas trabalhadas - 3 turnos

<b>Tabela de Dias e Horas Trabalhadas – 3 Turnos</b>	
Número de Turnos por Dia	3
Horas Trabalhadas por Turno	7,28
Horas Trabalhadas por Dia	21,84
Horas Calculadas com Base nos Turnos	6.333,60
Dias no Ano	365
Semanas no Ano	52
Feriados	11
Folgas por Ano (h)	262,08
Folgas por Ano (dias)	10,92
<b>Dias Efetivamente Trabalhados no Ano</b>	<b>291,08</b>

Tabela 18 - Produtividade dos caminhões para 3 turnos

	<b>Estéril</b>		<b>Minério</b>	
	<b>30 t</b>	<b>37 t</b>	<b>30 t</b>	<b>37 t</b>
<b>N (ciclos/h)</b>	2,76	2,76	2,49	2,49
<b>E (%)</b>	82,75	82,75	86,17	86,17
<b>C (t)</b>	30,00	37,00	30	37,00
<b>FE (%)</b>	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>OC (%)</b>	89,30	89,30	94,89	94,89
<b>HP (h)</b>	6.333,60	6.333,60	6.333,60	6.333,60
<b>DM (%)</b>	93,56	85,28	93,56	85,28
<b>U (%)</b>	92,37	91,03	92,37	91,03
<b>P (t)</b>	<b>335.460,28</b>	<b>371.676,84</b>	<b>334.390,07</b>	<b>370.491,09</b>

Tabela 19 – Produtividade das escavadeiras para 3 turnos

	<b>Estéril</b>	<b>Minério</b>
	<b>N (ciclos/h)</b>	164,93
<b>E (%)</b>	96,43	97,98
<b>C (m³)</b>	3,30	3,30
<b>FE (%)</b>	81,76	73,57
<b>OC (%)</b>	96,62	99,49
<b>HP (h)</b>	6.333,60	6.333,60
<b>DM (%)</b>	80,27	80,27
<b>U (%)</b>	88,50	88,50
<b>y (t/m³)</b>	1,24	1,35
<b>P (t)</b>	<b>2.321.808,75</b>	<b>2.312.060,49</b>

Tabela 20 - Tempos perdidos em 3 turnos

<b>Tempos Perdidos – 3 Turnos (min)</b>							
<b>Equipamento</b>	<b>Início de Turno</b>	<b>Almoço</b>	<b>Troca de Turno</b>	<b>Abastecimento</b>	<b>Entre as Frentes</b>	<b>Pesagem</b>	<b>Total</b>
Carregamento	00:00:00	00:11:23	01:37:00	00:12:14	00:13:24	-	2:14:02
Transporte	00:00:00	00:16:01	01:04:05	00:15:32	00:04:02	00:08:25	1:48:05

Tabela 21 - Manutenção para 3 turnos

<b>Manutenção – 3 Turnos</b>			
	<b>30 t</b>	<b>37 t</b>	<b>Liebherr 954C</b>
<b>Manutenção Preventiva (h)</b>	-	305,78	477,42
<b>Manutenção Corretiva (h)</b>	-	101,93	121,80
<b>Tempos Perdidos (h)</b>	524,33	524,33	650,21
<b>Horas de Reparos na Oficina/Campo</b>	78,06	78,06	78,00
<b>Horas Efetivamente Trabalhadas</b>	5.401,57	5.323,51	5.006,16

A respeito das tabelas 20 e 21 deve-se fazer algumas observações importantes para a opção de aumento de mais 1 turno, uma vez que ele impacta diretamente no aumento dos tempos perdidos e que possivelmente pode prejudicar o desempenho dos equipamentos. Embora os cálculos de produtividade já considerem estes fatores, é importante fazer algumas ponderações para se entender a influência destes tempos perdidos em todo o processo. A figura 14 faz um comparativo entre os tempos perdidos dos equipamentos para 2 e 3 turnos.

Ao se optar pelo 3º turno de trabalho não haverá mais início de turno, que demanda menos tempo de começo de operação como visto na figura 14. Este parâmetro será substituído por 3 trocas de turno - diferentemente da troca de turno única atualmente para 2 turnos - que pode demandar muito mais tempo de recomeço das atividades. Portanto, este tempo perdido pode ser triplicado caso não haja melhoria nestes índices, o que poderá reduzir severamente as horas efetivamente trabalhadas.

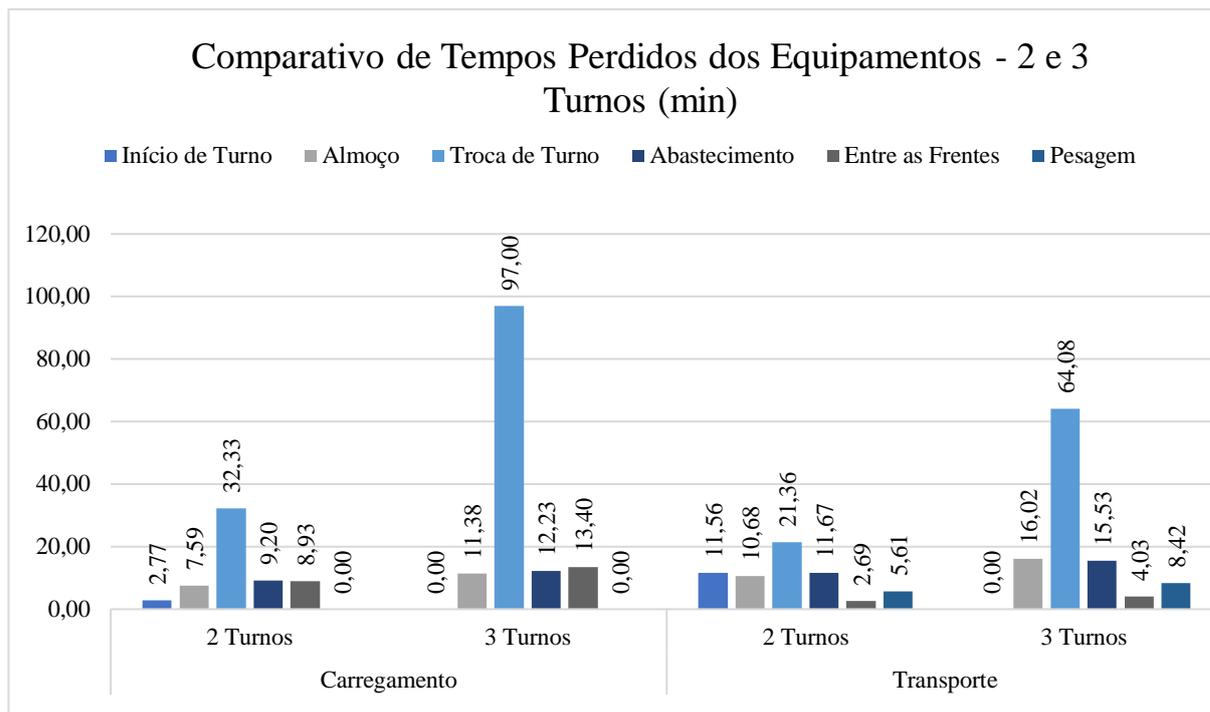


Figura 14 - Gráfico do comparativo de tempos perdidos dos equipamentos de 2 e 3 turnos

Haverá também mais tempo perdido para realização de lanche e almoço, que a exemplo dos 2 turnos, perde-se muito tempo para os operadores irem para o ponto de encontro onde fica o transporte que leva para o refeitório. Logo, este tempo poderá ser aumentado em até 60% como visto na figura 14, caso estes índices se mantenham após a adição de mais 1 turno de operação.

Optar pelo acréscimo de mais 1 turno poderá gerar uma maior frequência de abastecimentos dos equipamentos e uma maior perda de produtividade com a interrupção das atividades para este fim. Ao se observar a figura 14, um acréscimo de aproximadamente 33% foi admitido em relação a 2 turnos, pois é uma estimativa baseada nas aferições dos dados.

Deve-se salientar, também, que são feitos 2 abastecimentos diários atualmente por metade da frota dos caminhões que possui um tanque de combustível de 200 litros de capacidade. Este volume é insuficiente para dar uma autonomia de 2 turnos completos de operação, potencializando mais ainda este problema ao se admitir uma maior jornada de trabalho, fazendo-se necessários mais estudos para quantificar de maneira mais precisa este impacto.

Serão feitas mais pesagens dos caminhões que também aumentarão os desperdícios de tempo, pois são necessárias 2 pesagens por vez com o caminhão cheio e vazio, além de aumentar o tempo de deslocamento entre as frentes que é inerente ao aumento de produção, mas que impacta diretamente no tempo total observado na figura 14 onde há um aumento de

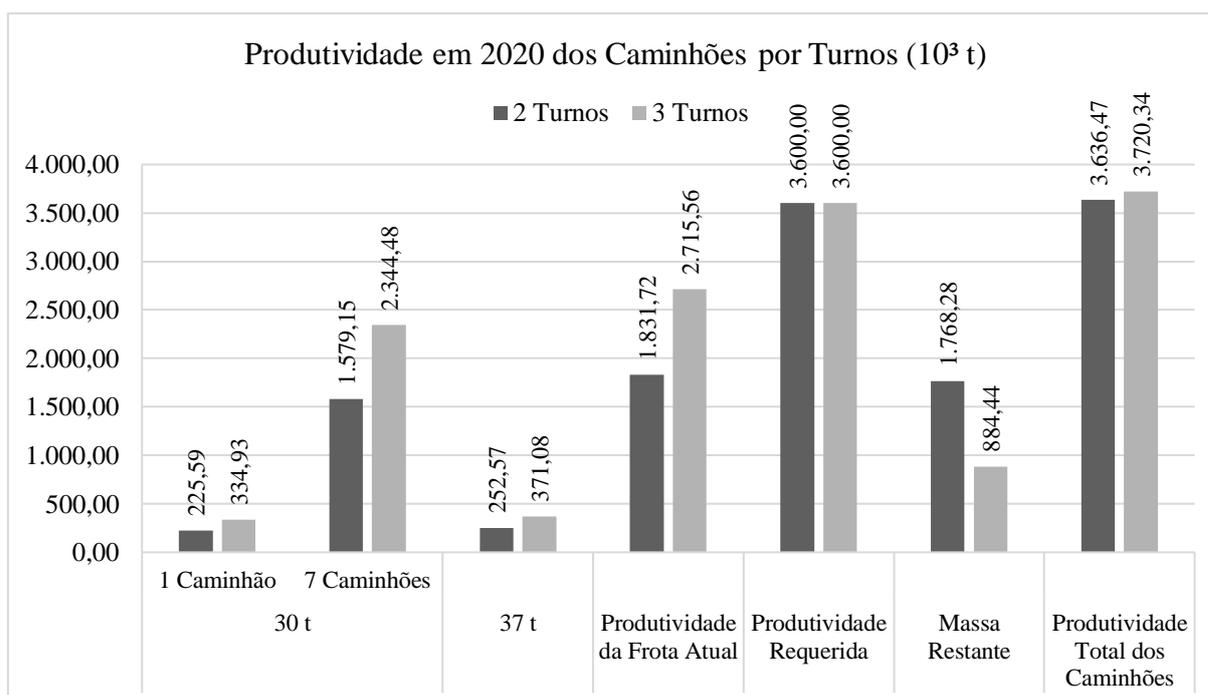
mais de 30% nos tempos de pesagem se adicionarmos mais um turno de operação.

As tabelas 22, 23 e a figura 15 fazem uma comparação em relação à produtividade dos caminhões nos casos de 2 e 3 turnos, com o propósito de verificar qual situação é melhor para atender à nova demanda de produção.

As produtividades dos caminhões e das escavadeiras são uma média das produtividades de estéril e minério da tabela 18, pois todos os caminhões trabalham em todas as frentes e com os 2 tipos de materiais. Este fato explica uma pequena diferença na produtividade total da frota atual em 2 turnos calculada no capítulo 4.1.2 (3.636.110,58 t) se comparada a produtividade total em 2 turnos dos caminhões da tabela 22 (3.636.470,96 t).

*Tabela 22 - Produtividade dos caminhões por turnos*

<b>Produtividade dos Caminhões por Turnos (t)</b>			
		<b>2 Turnos</b>	<b>3 Turnos</b>
<b>30 t</b>	<b>1 Caminhão</b>	225.593,26	334.925,18
	<b>7 Caminhões</b>	1.579.152,84	2.344.476,24
	<b>37 t</b>	252.572,06	371.083,96
	<b>Produtividade da Frota Atual</b>	1.831.724,90	2.715.560,20
	<b>Produtividade Requerida</b>	3.600.000,00	3.600.000,00
	<b>Massa Restante</b>	1.768.275,10	884.439,80
	<b>Nº de Caminhões a Adicionar</b>	7,84	2,64
	<b>Nº de Caminhões em 2020</b>	16	11
	<b>Produtividade Total dos Caminhões</b>	3.636.470,96	3.720.335,76



*Figura 15 - Gráfico de Comparação da Produtividade em 2020 dos Caminhões em 2 e 3 Turnos*

Analisando os cenários e situações possíveis na figura 15 e nas tabelas 22 e 23, percebe-se que aumentar 1 turno de operação é tecnicamente mais favorável para atender ao aumento de produção, pois no caso dos caminhões, será necessário aumentar apenas 3 unidades às 8 da frota atual considerando o arredondamento para cima. Além disso, possui uma margem de 3% a mais de capacidade de produção se comparada a massa requerida e 2% de produtividade anual maior se comparada à capacidade de produção em 2 turnos com 16 caminhões.

É importante ressaltar que isso se deve ao fato de que é mais viável para o bom trânsito da mina, à medida que produzirá menos poeira, menos filas, menos tempos de espera de operação conjugada dos equipamentos, exigindo menos espaços para estacionamento na mina e de uma melhor logística de manutenção, além de exigir um menor capital de investimento da empresa contratada.

No entanto, ao aumentar 1 turno de operação, como pode ser visto na tabela 23, será necessária a contratação de 1 motorista a mais para este novo regime de trabalho se comparado aos atuais 2 turnos, pois mais um turno exigirá que se contrate mais 17 motoristas (3 para o turno da manhã, 3 para o turno da tarde e mais 11 para o turno da madrugada). No caso de se manter os 2 turnos e adicionar mais 8 caminhões serão contratados mais 16 motoristas (8 adicionais para cada turno).

*Tabela 23 - Número de motoristas em 2020*

<b>Número de Motoristas em 2020</b>							
	<b>Dia</b>		<b>Noite</b>		<b>Madrugada</b>		<b>Total</b>
	<b>Atualmente</b>	<b>A adicionar</b>	<b>Atualmente</b>	<b>A adicionar</b>	<b>Atualmente</b>	<b>A adicionar</b>	
<b>2 Turnos</b>	8	8	8	8	-	-	16
<b>3 Turnos</b>	8	3	8	3	-	11	17

Ao se analisar a produção das escavadeiras na tabela 24, percebe-se que com 3 turnos, 2 escavadeiras atenderão com folga a massa requerida, pois a capacidade de produção das 2 somadas para os 3 turnos é de 4.633.869,24 t, ou seja, quase 30% superior à produtividade requerida para o ano de 2020, possibilitando ainda um aumento de capacidade de produção futura.

Para 2 turnos será necessária a utilização de 3 escavadeiras, pois a massa restante, que é a produtividade requerida do ano 2020, subtraída da produtividade de 1 escavadeira é

superior ao que 1 unidade seria capaz de atender chegando-se ao número de 1,15 escavadeiras a adicionar. Portanto, admitir 2 turnos para atender o aumento de produção teria um custo mais elevado de operação, manutenção e aquisição se comparado aos 3 turnos de operação.

*Tabela 24 - Produtividade das Escavadeiras por Turnos*

<b>Produtividade das Escavadeiras por Turnos (t)</b>				
	<b>Liebherr 954C</b>	<b>Produtividade Requerida</b>	<b>Massa Restante</b>	<b>Escavadeiras a Adicionar</b>
<b>2 Turnos</b>	1.674.759,40	3.600.000,00	1.925.240,60	1,15
<b>3 Turnos</b>	2.316.934,62	3.600.000,00	1.283.065,38	0,77

No que tange ao número de operadores, para 2 turnos de operação, mais 2 operadores (1 para cada turno) devem ser contratados, pois haverá 3 escavadeiras operando em cada turno passando de atuais 4 para 6 operadores. Ao aumentar para 3 turnos, apenas 2 escavadeiras serão utilizadas em cada turno, ou seja, haverá 2 operadores por turno passando dos 4 operadores atualmente para 6. Logo, qualquer das soluções adotadas exigirá o mesmo número de operadores com uma desvantagem, a ser estudada mais detalhadamente, para o caso de 3 turnos, pois o turno da madrugada possui custos trabalhistas mais elevados.

Por outro lado, o aumento de um turno aumenta o desgaste e a vida útil dos equipamentos e deve ser avaliado o impacto deste aumento para possíveis custos antecipados com substituições das escavadeiras.

Conclui-se então, que embora exija a contratação de 1 motorista a mais ao aumentar 1 turno e por consequência aumentar severamente os tempos perdidos, os benefícios com os ganhos de produtividade são bem maiores se comparado a 2 turnos. Assim, um menor número de equipamentos será adquirido com uma maior margem de capacidade de produção dos equipamentos se comparado à demanda requerida.

Adicionalmente, haverá melhores condições de tráfego proporcionados por um menor número de caminhões e um menor custo de operação, pois apenas 2 escavadeiras serão necessárias para atender toda a produção sendo esta solução de aumentar mais 1 turno de operação tecnicamente mais viável para atender o aumento de produção para 2020.

## 4.2. Análise de Passes e Aumento de Porte da Escavadeira

Ao se analisar as tabelas 4 e 5 e durante as observações em campo, pôde-se perceber que a escavadeira 954C está subdimensionada para a capacidade dos caminhões, uma vez que o ideal de número de passes seria permanecer entre 3 e 5 por carregamento total do caminhão.

Logo, ao se dividir a capacidade volumétrica dos caminhões de 18 e 20 m<sup>3</sup> pela capacidade volumétrica da escavadeira 954C de 3,3 m<sup>3</sup> obterá os valores de 5,45 e 6,06 respectivamente. Isso quer dizer, que se todos os equipamentos operassem em condições ideais e 100% de enchimento para ambos ela já estaria operando acima do valor ideal.

Entretanto, ao se analisar os valores reais de passes coletados durante as observações percebe-se o baixo enchimento da caçamba da escavadeira. Esta situação pode ser justificada por diversos problemas de minério compacto e excessivamente empolado e pela presença em demasia de matacões em frentes de lavra que possuíam um maciço rochoso mais duro, dificultando a penetração dos dentes da concha e prejudicando o desmonte mecânico realizado pelas escavadeiras.

Pode-se concluir, após estas considerações, que os números de passes estão além do aceitável e, por conseguinte, estes índices podem prejudicar severamente os tempos de carregamento dos caminhões, aumentando as filas e os tempos de ociosidade dos equipamentos.

### 4.2.1. Comparativo Operacional dos Equipamentos de Carregamento

A tabela 25 mostra um comparativo de operação real entre a escavadeira 954C de capacidade da caçamba de 3,3 m<sup>3</sup> e a carregadeira 580 de capacidade de 4,5 m<sup>3</sup> no estéril e no minério:

*Tabela 25 - Número de passes e ciclos de carregamento*

<b>Número de Passes e Tempos de Ciclo de Carregamento</b>									
Equipamento	Estéril			Minério			Média dos Tempos de Ciclo Totais	Média do N° de Passes	Capacidade da Caçamba (m <sup>3</sup> )
	Tempo de Ciclo Médio (min)		N° de Passes Médio	Tempo de Ciclo Médio (min)		N° de Passes Médio			
	Por Cada Passe	Ciclo Total		Por Cada Passe	Ciclo Total				
954C	00:22	02:11	7,54	00:22	02:28	7,71	02:20	7,63	3,3
580	00:42	02:50	4,06	00:44	02:21	3,96	02:35	4,01	4,5

Pode-se perceber, pelos números, que o tempo por cada passe da carregadeira 580 é o dobro da escavadeira. Isso se deve ao fato de que o tempo de carregamento, manobra e descarregamento da carregadeira ser bem maior, justificado por muitos movimentos de ida e volta para realizar o carregamento total, enquanto a escavadeira faz todo o processo de carregamento parada e com movimentos mais ágeis do braço até a caçamba do caminhão.

Percebe-se também que o tempo de carregamento total no estéril da 954C é menor, porém se invertendo no minério. Isso se deve ao fato de que a escavadeira promove o desmonte mecânico e o carregamento simultaneamente e o estéril da mina em estudo é mais friável e menos compacto facilitando o carregamento.

Para o caso do minério, como já citado durante o trabalho, em algumas frentes ele é mais compacto e possui maciço duro e com empolamento maior, fazendo com que o fator de enchimento da concha seja bem menor e mais demorado, exigindo um número maior de passes que por vezes chegaram a 10 durante as observações, sendo muito acima do limite ideal de 5 passes por cada carregamento de caminhão.

Para o caso da carregadeira 580, ela carrega quase sempre em material já pré-desmontado, o que diminui muito o tempo de carregamento. Porém, isso demanda um outro equipamento para fazer o desmonte previamente o que pode aumentar os custos de operação. Por este fato, na mina em estudo, este equipamento costuma ser utilizado, em sua maior parte, em situações específicas de manutenção das escavadeiras ou em frentes que estão distantes das escavadeiras.

Imaginando-se uma possível solução para o elevado número de passes da escavadeira não é possível uma simples troca da caçamba por uma de capacidade e tamanho maiores, uma vez que, segundo o manual do fabricante, o maior tamanho de caçamba da escavadeira é de 3,7 m<sup>3</sup>. Este tamanho máximo de caçamba, talvez não reduza significativamente o número de passes, sem contar que quanto maior o tamanho da caçamba, menor será o rendimento do carregamento e menos ágil ela será pelas dimensões e maiores pesos aumentando os tempos de carregamento e de ciclo.

Em contrapartida, ao se analisar o manual de especificações da escavadeira Liebherr 964C de maior porte, verifica-se que possui caçambas de largura de 2,35 m (compatível com o comprimento do caminhão de 5,30 m atualmente em operação na mina) e capacidade volumétrica de 4,5 m<sup>3</sup>.

A escavadeira 964C é adequada para trabalhar com minério de até 2,20 t/m<sup>3</sup> de densidade *in situ* e se utiliza do braço de 2,60 m, cujo tamanho supera em 25 cm o braço da 954C em operação atualmente na mina. Ela se mostra como possibilidade, no caso de uma

substituição e modernização futura dos equipamentos, por possuir dimensões de caçamba semelhantes a carregadeira 580.

Esta capacidade volumétrica de 4,5 m<sup>3</sup> se provou compatível com o tamanho e capacidade dos caminhões em operação atualmente na mina, justamente por estar dentro da margem recomendada de 3 a 5 passes por carregamento e não traz um impacto significativo no desgaste dos componentes dos caminhões.

Na tabela 25, observa-se que o número de passes da carregadeira 580 se mantém dentro desta margem tanto para as frentes de estéril, quanto para as frentes de minério. Ainda que a escavadeira tenha que realizar o desmonte e o carregamento simultaneamente, estudos de desempenho devem ser feitos no intuito de saber qual é a perda de rendimento da escavadeira 964C em relação a 954C. Isto se faz necessário, pois quanto maior o porte da escavadeira, maior poderá ser o tempo de ciclo e de carregamento.

#### 4.2.2. Aumento de Produtividade dos Caminhões

A tabela 26 demonstra uma simulação dos ganhos de produtividade dos caminhões com uma possível redução em seus tempos de ciclo totais a partir da substituição da caçamba atual de 3,3 m<sup>3</sup> por uma de 4,5 m<sup>3</sup> utilizando-se das mesmas equações, considerações e índices de produção atual para os cálculos de produtividade do capítulo 3.4.5.

*Tabela 26 - Ganho de produtividade dos caminhões em função do aumento da caçamba*

<b>Ganho de Produtividade dos Caminhões para a Caçamba de 4,5 m<sup>3</sup></b>				
<b>Número médio de passes reduzidos</b>	<b>Tempo de Redução (min)</b>	<b>Produtividade por Caminhão 30 t (t/ano)</b>	<b>Produtividade por Caminhão 37 t (t/ano)</b>	<b>Frota Atual de Caminhões (t/ano)</b>
0,05	00:01	119,54	133,83	970,60
0,45	00:10	1.200,42	1.343,98	9.746,90
1,00	00:22	2.655,81	2.973,42	21.564,08
1,36	00:30	3.635,18	4.069,92	29.516,20
2,73	01:00	7.373,83	8.255,67	59.872,51
3,63	01:20	9.925,22	11.112,18	80.588,70

Observando a tabela 26 conclui-se que para cada segundo de redução no tempo médio de carregamento dos caminhões a produtividade anual do caminhão de 30 t será aumentada em 119,54 t e do caminhão de 37 t em 133,83 t. Com isso, o somatório de ganhos

de produtividade da frota atual de 8 caminhões, para cada segundo de redução, será de 970,60 t anualmente com a aquisição de uma escavadeira com caçamba de 4,5 m<sup>3</sup> de capacidade.

Percebe-se também, de acordo com a tabela 26, que para cada passe reduzido com a caçamba de 4,5 m<sup>3</sup> obtém-se um ganho de produtividade anual de 2.655,81 t e 2.973,42 t para os caminhões de 30 t e 37 t respectivamente. Chega-se a um somatório de ganhos de produtividade anual com a frota atual de 21.564,08 t.

Por fim, na tabela 26 observa-se que uma redução de 3,63 passes (7,63 em média atualmente para 4 passes) da escavadeira por cada carregamento, equivalente a 80 segundos, proporcionada pelo aumento da caçamba, pode representar, na melhor das hipóteses, um aumento de produtividade anual da frota atual de caminhões de até 80.588,70 t. Esta hipótese é tecnicamente possível, pois como visto na tabela 25 a carregadeira 580 tem uma média real de passes de 4,01 por cada carregamento utilizando-se de uma caçamba de 4,5 m<sup>3</sup>.

Após estas considerações é evidente que não seria uma redução tão direta dos tempos de ciclo, uma vez que depende de como a nova escavadeira de maior porte vai se comportar nas condições desta mina. Por ser de um maior porte e por possuir tempos maiores de ciclo é considerável uma redução de desempenho se comparada a escavadeira atual.

Analisando as especificações técnicas no manual do fabricante ela se mostra muito mais robusta e com potência significativamente superior se comparada a 954C o que pode compensar o seu maior porte e para tanto deve-se fazer testes reais e operacionais na mina para se chegar a conclusões e resultados mais precisos.

#### 4.2.3. Aumento de Produtividade das Escavadeiras

A tabela 27 evidencia o impacto da variação dos tempos de ciclo na produtividade das escavadeiras com o aumento da capacidade das caçambas de 3,3 m<sup>3</sup> para 4,5 m<sup>3</sup>:

*Tabela 27 - Ganho de produtividade da escavadeira com o aumento da caçamba para 4,5 m<sup>3</sup>*

Ganho de Produtividade da Caçamba de 4,5 m <sup>3</sup>		
Tempo de Ciclo (s)	Varição dos Tempos de Ciclo (s)	Produtividade das Escavadeiras (t)
-	-1	108.370,03
-	1	-98.975,55
22	-	609.003,42
27	-	187.246,80
30	-	1.511,63

Ao se observar a tabela 27 percebe-se que a redução de 1 segundo na média dos tempos de ciclo da escavadeira já com a capacidade aumentada para 4,5 m<sup>3</sup> e utilizando-se das mesmas equações de produtividade e parâmetros operacionais do capítulo 3.4.5, significa um aumento de produtividade anual de 108.370,03 t se comparado a escavadeira atual de 3,3 m<sup>3</sup> de capacidade da caçamba.

Por outro lado, pela tabela 27, observa-se que para 1 segundo de aumento na média dos tempos de ciclo em cada passe representará uma perda de 98.975,55 t anualmente na produtividade da escavadeira 954C.

Se o tempo de ciclo da nova escavadeira de 4,5 m<sup>3</sup> se mantiver em 22 segundos, que é o tempo de ciclo atual da escavadeira 954C, de acordo com a tabela 25, o ganho de produtividade anual poderá ser de até 609.003,42 t em relação a escavadeira 954C de 3,3 m<sup>3</sup> de capacidade, se mantiver os mesmos índices operacionais utilizados no capítulo 3.4.5.

Para o caso de aumento dos tempos de ciclo de 22 para 27 segundos, ocasionado pelo aumento do porte da escavadeira para 4,5 m<sup>3</sup> e um possível redução no desempenho, os ganhos seriam reduzidos para 187.246,80 t anualmente em relação a escavadeira 954C atual.

Por fim, pela tabela 27, nota-se que o limite máximo nos tempos de ciclo para se manter a viabilidade técnica que justifique o aumento do porte das escavadeiras para 4,5 m<sup>3</sup> é de 30 segundos em média. Este tempo representa ganhos de produtividade de apenas 1.511,63 t em relação a 954C e um tempo maior pode torná-la menos produtiva que a escavadeira atual.

Estas análises nem sempre podem ser levadas de uma maneira direta, pois estas são estimativas baseadas nos parâmetros operacionais atuais. Caso melhorias sejam feitas nestes índices, como visto nos elevados índices de tempos perdidos durante este estudo, as produtividades podem ser aumentadas significativamente e proporcionalmente ao tempo de redução. Por isso, é de suma importância a identificação e redução destes desperdícios por meio de estudos que visem mitigar e atenuar suas causas.

Portanto, uma substituição do porte das escavadeiras pode ser uma boa solução para prover um aumento de produtividade e redução dos tempos de ciclo. Esta medida pode ter benefícios também na redução dos tempos de fila, ociosidade de equipamentos, no aumento da eficiência e na harmonia da operação como um todo.

Entretanto, não foram feitas estimativas de investimentos para a aquisição e nem de custos operacionais com combustível e manutenção que esta escavadeira de maior porte pode proporcionar. Logo, mais estudos devem ser feitos confrontando estes custos com os ganhos de produtividade para analisar a viabilidade econômica desta substituição.

## 5. CONCLUSÃO

Este trabalho foi elaborado e desenvolvido com o propósito de analisar os tempos e movimentos e dimensionar uma frota de equipamentos de carregamento e transporte, tomando como base indicadores atuais de produção considerando um aumento da frota e da produção, bem como situações que podem impactar no aumento da produção.

A análise do aumento da produção em função dos turnos pode mostrar uma comparação de cenários que envolvem situações reais de operação, assim como uma possível análise do aumento do porte das escavadeiras pode proporcionar ganhos de produtividade e auxiliar o tomador de decisão na hora de saber o que é mais viável para o funcionamento da mina.

Na visão da empresa os estudos e análises de desempenho atual são de grande importância para se obter um dimensionamento adequado. Com vistas nos tempos atuais de ciclo pode-se compreender a influência destes nos indicadores de produção que impactam diretamente nas quantidades de equipamentos a serem adicionados.

Baseando-se em conceitos essenciais implementados no trabalho, obteve-se um estudo mais detalhado das produções de cada equipamento. Como consequência, chegou-se ao número adequado de equipamentos para a produção de 2019 que é de 7 caminhões de 30 t e mais 1 caminhão de 37 t, além de 2 escavadeiras hidráulicas de 3,3 m<sup>3</sup> de capacidade da caçamba. Com isso, pode-se comprovar como o dimensionamento baseado em indicadores de produção podem ser eficientes, uma vez que a frota calculada é bem aderente à quantidade de equipamentos atuais em operação.

No tocante ao ano de 2020, onde um aumento de produção é estudado, a frota ideal será de 11 caminhões e 2 escavadeiras, uma vez que pelo comparativo de produção entre manter os 2 turnos de operação atuais ou aumentar para 3 turnos ficou comprovado que é melhor aumentar mais 1 turno. Neste novo cenário deve-se adicionar mais 3 caminhões aos 8 atuais e manter o número atual de escavadeiras que a mina possui. Esta solução indicada é muito viável para a empresa por poder dobrar a produção e proporcionar uma folga de capacidade de produção da frota de mais de 3% sobre a produção requerida.

Quanto ao porte e compatibilidade dos equipamentos ficou claro que a escavadeira atual 954C está subdimensionada para o porte dos caminhões, com base no número alto de 7,63 passes médios por caminhão. A análise comprovou que é possível fazer um aumento do porte de 3,3 m<sup>3</sup> para 4,5 m<sup>3</sup> com ganhos de produtividade de até 80.588,70 t para o caso da frota atual

de caminhões, e para cada escavadeira estes ganhos podem ser até 609.003,42 t anualmente com a redução dos tempos de carregamento no conjunto dos equipamentos, caso se mantenham os mesmos tempos de ciclo médio atuais da escavadeira 954C.

Como ficou evidente durante este trabalho, o dimensionamento é um problema constante para os empreendimentos minerários que está presente desde as fases de planejamento inicial, na variação da geometria e disposição da mina, até as atividades de condicionamento, recuperação e encerramento, visto que em caso de variações negativas ou positivas na produção deve-se realizar novos estudos de dimensionamento da frota.

É recomendado, para estudos posteriores, uma análise visando a redução dos tempos perdidos que impactam e muito nos indicadores de produção, que aumentam os tempos de ciclo dos equipamentos e reduzem a produtividade, da mesma maneira que um estudo mais detalhado de equipamentos de carregamento de maior porte, compatíveis com os caminhões em operação atualmente, podem influenciar nos custos de operação e na produtividade.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, I. C. **Projeto de Melhoria de Indicadores de Caminhões Fora de Estrada**. Monografia (Monografia em Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 25. 2017.
- AMARAL, M. **Modelos Matemáticos e Heurísticas Para Auxílio ao Planejamento de Operações de Lavra em Minas a Céu Aberto**. Dissertação (Dissertação em Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Minas Gerais: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas. Belo Horizonte, p. 108. 2008.
- BOHNET, E. **Comparison of Surface Mining Methods**. *SME Mining Engineering Handbook, Volume 3*, Estados Unidos da América, 2011, p. 405-413
- BORGES, T. C. **Análise dos Custos Operacionais de Produção no Dimensionamento de Frotas de Carregamento e Transporte em Mineração**. Dissertação (Dissertação em Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 103. 2013.
- ÇETIN, N. **Open-pit truck/shovel haulage system simulation. A thesis of the graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical Universtity**. Turkey, 2004. 116p.
- KOPPE, J. Capítulo 1 - **A lavra e a indústria mineral no Brasil-estado da arte e tendências tecnológicas**, In: **Fernandes, F.; Castilhos, Z.; Luz, A. B.; Matos, G.(eds.), Tendências - Brasil 2015 - Geociências e Tecnologia Mineral, Parte II - Tecnologia Mineral, CETEM-Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro 2007**.
- LIEBHERR - Catálogo: **Crawler Excavator - 964C**, disponível em Coast Line CD: Disponível em:  
<<https://www.coastlinecd.com/pdf/LiebherrMaterialHandlerRSeries/R964CCrawlerExcavator.pdf>>. Acesso em 02 de Agosto de 2019.
- LOPES, J. R. **Viabilização Técnica e Econômica da Lavra Contínua de Minério de Ferro com o Uso de Sistema de Britagem Móvel "In Pit" Auto Propelido**. Dissertação (Dissertação em Engenharia de Minas) - Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 105. 2010.
- MOREIRA, F. N. **Dimensionamento de Frota de Transporte e Carregamento Para as Operações Unitárias de uma Mina em Expansão**. Monografia (Monografia em Engenharia de Minas). Ouro Preto, p. 51. 2018.
- QUEVEDO, J. M. G. **Modelo de Simulação Para o Sistema de Carregamento e Transporte em Mina a Céu Aberto**. Dissertação (Dissertação em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2009.
- RICARDO, H. S. e CATALANI, G. **Manual prático de escavação - terraplenagem e escavação de rocha**. 3ª Edição. São Paulo: PINI, 2007

SILVA, V. C. **Carregamento e Transporte de Rochas**. Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2009.

SOUSA JÚNIOR, W. T. **Seleção de Caminhões Rodoviários para Mineração Utilizando a Metodologia de Auxílio Multicritério à Decisão: Estudo de Caso - Mineração de Bauxita**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) - Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 160. 2012.

TEIXEIRA, L. A. C. **Caracterização de Payloads Via Telemetria**. Dissertação (Dissertação em Engenharia de Minas, Metaúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul). Porto Alegre, p. 83. 2016.