



**Universidade Agostinho Neto**

**Faculdade de Engenharia**

**Departamento de Engenharia de Minas**

**Análise dos desafios e propostas de soluções estratégicas  
para a optimização da exploração mineira**

**Caso de Estudo: Mina do Furi**

**Autor:** Gerson Manuel Neves da Silva

**Orientador:** Msc. Nlandu Kinkela

Trabalho de conclusão de fim de Curso apresentado como requisito complementar para obtenção do grau de licenciatura em Engenharia de Minas pela faculdade de Engenharia da Universidade Agostinho Neto.

**Luanda ,2023**

**Universidade Agostinho Neto**  
**Faculdade de Engenharia**  
**Departamento de Engenharia de Minas**

**Análise dos desafios e propostas de soluções estratégicas  
para a optimização da exploração mineira**

**Caso de Estudo: Mina do Furi**

**Autor:** Gerson Manuel Neves da Silva

**Orientador:** Msc. Nlandu Kinkela

Trabalho de conclusão de fim de Curso apresentado como requisito complementar para obtenção do grau de licenciatura em Engenharia de Minas pela faculdade de Engenharia da Universidade Agostunho Neto.

**Luanda ,2023**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esse trabalho a Deus que foi minha força meu guia, todo louvor é ínfimo perante a Ele, foi pela sua graça que cheguei até esse feito e chegarei a outros feitos.

Dedico esse trabalho aos meus pais, que muito fizeram por mim desde sempre.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado a oportunidade de poder cursar essa Licenciatura, por ter uma família unida que eu jamais poderia ter melhor.

Aos meus pais, agradeço por sempre terem me apoiado e terem me dado força dia após dia para completar todas as etapas desse processo, por me aconselharem e me mostrarem os melhores caminhos aos quais seguir, aos os meus irmãos, agradeço por terem me encorajado a não desistir do curso e prosseguir sem fraquejar na esperança de dias melhores.

Aos colegas de turma pela parceria, pelos risos e bons momentos.

Ao Engenheiro Nlandu Kinkela, pela orientação desta monografia, obrigado pela oportunidade de poder aprender muito, pela paciência e poder ter este trabalho com o senhor.

Muito Obrigado!

## EPÍGRAFE

*“É muito melhor arriscar coisas grandiosas, alcançar triunfos e glórias, mesmo expondo-se a derrota, do que formar fila com os pobres de espírito que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem nessa penumbra cinzenta que não conhece vitória nem derrota.”*

(Theodore Roosevelt)

## Índice

DEDICATÓRIA .....	I
AGRADECIMENTOS .....	II
EPÍGRAFE .....	III
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	X
LISTA DE GRÁFICOS.....	X
RESUMO .....	1
ABSTRACT .....	2
CAPÍTULO 1 –CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	3
1.1 Introdução.....	4
1.2 Estrutura do trabalho .....	1
1.3 Problemática .....	1
1.4 Hipóteses.....	1
1.5 Objectivos .....	1
1.5.1 Geral.....	1
1.5.2 Específicos.....	1
1.6 Justificativa .....	2
1.7 Objecto de Estudo.....	2
1.8 Metodologia de Pesquisa.....	2
CAPÍTULO 2 –ENQUADRAMENTO TEÓRICO .....	5
2.1 Definições de termos e conceitos.....	6
2.2 Mineração a Céu Aberto .....	7

2.2.1 Vantagens e desvantagens do método de exploração a céu aberto .....	9
2.3 Operações de Lavra.....	13
2.3.1 Escavação ou desmonte.....	14
2.3.2 Carregamento .....	14
2.3.3 Transporte .....	15
2.3.4 Descarga e o espalhamento .....	16
2.4 Técnicas de otimização nas operações de exploração .....	16
2.4.1 Otimização do planejamento de mina .....	17
2.4.2 Otimização de rotas de transporte.....	17
2.4.3 Otimização de processos de beneficiamento .....	18
2.4.4 Otimização de alocação de equipamentos.....	18
2.4.5 Otimização de recuperação de minério e da gestão de água e energia .	18
CAPÍTULO 3 -ESTUDO DE CASO.....	20
3.1 Caracterização geográfica da Mina do Furi .....	21
3.1.1 Breve histórico da concessão .....	22
3.1.2 Vias de comunicação, Vegetação e Redes hidrográficas .....	22
3. 1.3 Caraterísticas dos diferentes tipos de depósitos na área de concessão..	23
3.2 Metodologia de Exploração Empregue na mina .....	26
3.2.1 Fases que compreendem a exploração do minério .....	26
3.2.2 Operações de lavra.....	29
3.2.3 Dimensionamento dos equipamentos de movimentação de terras .....	32
3.2.4 Características dos equipamentos.....	34
3.2.5 Critério de seleção dos equipamentos .....	35

3.2.6	Rendimento de equipamentos de remoção de terras como factor de produtividade .....	36
3.2.7	Tempo de ciclo de camiões.....	37
3.3	Área de Metalurgia da mina .....	38
3.3.1	Operações básicas de tratamento do Minério.....	38
3.3.2	Arranque da lavaria de pré-tratamento.....	39
3.3.3	Preparação do meio, controle das densidades e pressões e parâmetros do circuito do meio denso .....	44
3.3.4	Funcionamento do ciclone de 400mm .....	45
3.3.5	Ensaio de cristais .....	45
3.4	Departamento de engenharia.....	48
CAPÍTULO 4 –PROPOSTA DE OPTIMIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES DE EXPLORAÇÃO NA MINA DO FURI .....		52
4.1	Principais desafios enfrentados atualmente nas operações de exploração da mina do Furi .....	53
4.1.1	Carga e Transporte.....	53
4.1.1.1	Manuseamento dos equipamentos.....	53
4.1.1.2	Dimensionamento inadequado dos equipamentos de carregamento e transporte .....	53
4.1.1.3	Parâmetros técnicos dos equipamentos de carga existentes na mina... 54	
4.1.1.4	Nova determinação dos parâmetros técnicos dos equipamentos de carga .....	58
4.1.2	Influência da distância do bloco até instalações de tratamento na produtividade da mina .....	62
4.1.3	Influência da Espessura do estéril na produtividade da mina .....	63

4.1.4 Influência dos custos de manutenção e reparação de máquinas na produtividade da mina .....	64
4.1.5 Influência dos custo de combustível e lubrificantes na produtividade da mina.....	65
4.1.6 Influência dos Atolamentos ou acidentes na produtividade da mina.....	65
4.1.7 Influência do uso inadequado dos equipamentos na produtividade da mina.....	66
CONCLUSÕES .....	68
RECOMENDAÇÕES .....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2. 1:</b> Esquema de um empreendimento mineral.....	7
<b>Figura 2. 2:</b> Equipamento de escavação de grande porte (“Escavadeira Shovel”). .....	9
<b>Figura 2. 3:</b> Lavra por bancadas da Companhia Vale do Rio Doce, conhecida como mina de Brucutu .....	11
<b>Figura 2. 4:</b> Lavra em tiras localizada em Casper, Estados Unidos .....	12
<b>Figura 2. 5:</b> Dragagem do canal do rio Paraguai.....	12
<b>Figura 2. 6:</b> Fluxo no processo de carregamento .....	15
<b>Figura 2. 7:</b> Fluxo do processo de carregamento e transporte .....	16
<b>Figura 3. 1:</b> Localização geográfica da mina do Furi.....	21
<b>Figura 3. 2:</b> Bloco 31 Corte 29.....	23
<b>Figura 3. 3:</b> Bloco XX15 corte 98 .....	24
<b>Figura 3. 4:</b> Bloco XX15 corte 87 .....	25
<b>Figura 3. 5:</b> Esquemática dos distintos tipos de depósitos secundários .....	26
<b>Figura 3. 6:</b> Preparação prévia.....	27
<b>Figura 3. 7:</b> Via de acesso.....	27
<b>Figura 3. 8:</b> Remoção Escavadeira + Dumper, Rebaixamento com Bulldozer e Remoção direta – Escavadeira .....	28
<b>Figura 3. 9:</b> Processo de extração do Minério e carregamento do Minério .....	31
<b>Figura 3. 10:</b> Processo de transporte e deposição do Minério na Lavaria.....	31
<b>Figura 3. 11:</b> Buldozer Komatsu D-275, e Motoniveladora Komatsu.....	33
<b>Figura 3. 12:</b> Fluxograma de funcionamento da lavaria de pré-tratamento (MB150) .....	39

<b>Figura 3. 13:</b> Fluxograma da lavaria de meio denso .....	41
<b>Figura 3. 14:</b> Funcionamento da central de recuperação de diamantes (CRP) .....	46
<b>Figura 3. 15:</b> secção de eletricidade .....	48
<b>Figura 3. 16:</b> secção de serralharia e borracharia.....	49
<b>Figura 3. 17:</b> secção de lubrificação e estação de serviço .....	50
<b>Figura 3. 18:</b> Revisão de um equipamento dumper ;Armazém .....	51

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3. 1:</b> Trabalhos específicos dos equipamentos.....	32
<b>Tabela 3. 2:</b> O tipo, modelo e série do equipamento.....	34
<b>Tabela 3. 3:</b> Tratamento de diferentes tipos de cascalho.....	41
<b>Tabela 4. 1:</b> Capacidades das escavadeiras.....	54
<b>Tabela 4. 2:</b> Parametros dos equipamentos de carga.....	57
<b>Tabela 4. 3:</b> Parametros dos equipamentos de carga.....	60
<b>Tabela 4. 4:</b> Comparação dos parametros dos equipamentos de carga.....	61

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráco 4. 1:</b> Parametros dos equipamentos de carga.....	58
<b>Gráco 4. 2:</b> Parametros dos equipamentos de carga.....	60

## **RESUMO**

A otimização das operações de exploração mineira desempenha um papel crucial na indústria mineradora, pois visa maximizar a eficiência e a produtividade dos processos de extração mineral. Essa prática tem uma série de impactos positivos que vão além dos benefícios econômicos, sendo fundamentais para a sustentabilidade do setor e o equilíbrio ambiental. A otimização das operações permite melhorar a utilização dos recursos disponíveis, como equipamentos, mão de obra e insumos, resultando em uma produção mais eficiente. Isso reduz desperdícios, diminui o tempo de ciclo e aumenta a quantidade de minério extraído com menor esforço, ao aprimorar a eficiência, as operações de exploração mineira tornam-se mais econômicas. O presente trabalho teve como objetivo geral analisar criticamente os desafios operacionais enfrentados na Mina do Furi e desenvolver estratégias abrangentes para otimizar as operações de exploração mineira visando a melhoria sustentável do desempenho. Para alcançar esse objetivo, foram definidos e realizado um estudo detalhado da mina do Furi, analisando suas características geológicas e técnicas. Identificar os principais desafios enfrentados atualmente nas operações de exploração da mina do Furi. Propor soluções e estratégias para otimizar as operações de exploração, considerando as peculiaridades da mina do Furi. Através de uma análise criteriosa da mina, foram identificados os desafios que impactavam negativamente a eficiência operacional. Com base nessa análise, foram propostas estratégias específicas e adequadas para superar esses desafios e aprimorar as operações de exploração. Essas soluções foram desenvolvidas levando em consideração as particularidades da mina do Furi, tornando-as viáveis e eficazes para a melhoria dos processos de exploração.

**Palavras chaves:** Exploração mineira, Otimização , e Mina do Furi .

## **ABSTRACT**

Optimizing mining operations plays a crucial role in the mining industry, as it aims to maximize the efficiency and productivity of mineral extraction processes. This practice has a series of positive impacts that go beyond economic benefits, being fundamental to the sector's sustainability and environmental balance. Optimizing operations allows improving the use of available resources, such as equipment, labor and inputs, resulting in more efficient production. This reduces waste, reduces cycle time and increases the amount of ore extracted with less effort. By improving efficiency, mining operations become more economical. The general objective of this work was to critically analyze the operational challenges faced in Mina do Furi and develop comprehensive strategies to optimize mining operations aimed at sustainable performance improvement. To achieve this objective, a detailed study of the Furi mine was defined and carried out, analyzing its geological and technical characteristics. Identify the main challenges currently faced in exploration operations at the Furi mine. Propose solutions and strategies to optimize exploration operations, considering the peculiarities of the Furi mine. Through a careful analysis of the mine, challenges that negatively impacted operational efficiency were identified. Based on this analysis, specific and appropriate strategies were proposed to overcome these challenges and improve exploration operations. These solutions were developed taking into account the particularities of the Furi mine, making them viable and effective for improving exploration processes.

**Keywords:** Mining Exploration, Optimization, and Furi Mine

## **CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS**

## **1.1 Introdução**

A indústria de exploração mineira desempenha um papel fundamental no desenvolvimento econômico de muitos países, fornecendo matérias-primas essenciais para diversos setores produtivos. No entanto, a viabilidade e a sustentabilidade dessa indústria estão diretamente relacionadas à eficiência das operações de exploração, sendo crucial buscar constantemente melhorias nesse sentido.

No contexto da exploração mineira, a otimização das operações é essencial para aumentar a eficiência operacional, reduzir os custos e mitigar os impactos ambientais. Através da melhoria contínua dos processos e da adoção de novas técnicas e tecnologias, é possível maximizar a produtividade, minimizando os riscos associados à operação.

Este trabalho tem como finalidade analisar e propor estratégias para otimizar as operações de exploração mineira. O foco será dado ao estudo de caso da mina do Furi, que representa um cenário desafiador, devido às suas particularidades geológicas e geotécnicas.

A exploração mineira é um processo complexo e multidisciplinar, envolvendo uma série de etapas que vão desde a pesquisa inicial até a extração do minério. Cada uma dessas etapas apresenta desafios específicos que podem afetar a eficiência e o custo operacional. Portanto, a busca por soluções que permitam otimizar essas etapas e minimizar os impactos é de suma importância.

Serão investigadas diversas técnicas e metodologias utilizadas na indústria para otimização das operações de exploração mineira, visando identificar aquelas mais adequadas à realidade da mina do Furi. Também será dada ênfase à integração de dados geológicos e geotécnicos, pois a tomada de decisões embasada em informações precisas e atualizadas é fundamental para o sucesso das operações e para a redução dos riscos.

## 1.2 Estrutura do trabalho

O trabalho está estruturado em quatro capítulos:

No **primeiro capítulo** inicialmente apresentam-se os motivos, as razões que ensejaram a pesquisa bem como a relevância técnica, científica, social e pessoal da pesquisa (do tema em si) e os resultados (objectivos) que se esperam alcançar da mesma.

No **segundo capítulo** fala-se do enquadramento teórico do tema em questão, aborda-se os conceitos gerais sobre a implementação de um projecto de exploração a céu aberto e são abordados também os parâmetros a se ter em conta na optimização da exploração mineira.

No **terceiro capítulo** faz-se um estudo de caso, temos numa forma genérica as características geográficas, geológicas da área de estudo. Nas características geográficas e geológicas trata-se de alguns factores, como a localização, relevo, condições climáticas, hidrologia, recursos minerais e energéticos. São apresentados de forma resumida os principais parâmetros da região a que se pretende expor diamante, bem como a tecnologia de exploração que será empregue na mesma.

No **capítulo quatro** é feita a aplicação da fundamentação teórica e finalmente são apresentados os resultados e as devidas conclusões e recomendações.

### **1.3 Problemática**

As operações de exploração mineira são complexas e envolvem uma série de processos e atividades que podem afetar significativamente a eficiência e a rentabilidade da empresa. Muitas empresas de mineração enfrentam desafios significativos na otimização de suas operações e na gestão dos riscos associados a essas atividades.

Em função das considerações acima levanta-se a seguinte pergunta de partida:

Como é possível otimizar as operações de exploração mineira na mina do Furi, considerando as características geológicas e geotécnicas, a fim de aumentar a eficiência e reduzir os custos operacionais?

### **1.4 Hipóteses**

Se se implementar técnicas avançadas de otimização das operações de exploração mineira na mina do Furi, então será possível aumentar a eficiência e reduzir os custos operacionais e se houver uma integração eficiente dos dados geológicos e geotécnicos, então será possível melhorar a tomada de decisões e minimizar os riscos durante as operações de exploração na mina do Furi.

### **1.5 Objectivos**

#### **1.5.1 Geral**

Analisar criticamente os desafios operacionais enfrentados na Mina do Furi e desenvolver estratégias abrangentes para otimizar as operações de exploração mineira visando a melhoria sustentável do desempenho

#### **1.5.2 Específicos**

- Identificar os principais problemas operacionais na mina do Furi.
- Propor soluções e estratégias para otimizar as operações de exploração, considerando as peculiaridades da mina do Furi
- Avaliar a viabilidade e o impacto potencial das estratégias propostas demonstrando como podem melhorar a exploração mineira na mina do Furi

## **1.6 Justificativa**

A otimização das operações de exploração mineira é essencial para assegurar a sustentabilidade e competitividade da mina do Furi. Com a implementação de técnicas avançadas de otimização e uma integração eficiente de dados geológicos e geotécnicos, é possível melhorar a eficiência operacional, reduzir custos e minimizar riscos, resultando em um aumento significativo da produtividade.

## **1.7 Objecto de Estudo**

Mina do Furi

## **1.8 Metodologia de Pesquisa**

A Metodologia é a explicação detalhada de toda ação a desenvolver durante o trabalho de pesquisa. Oliveira [2002] contribui, afirmando que método é um conjunto de regras ou critérios que servem de referência no processo de busca da explicação ou da elaboração de previsões, em relação a questões ou problemas específicos.

Desta forma o método é o conjunto de procedimentos e /ou caminho com o qual se atingem os objectivos ou explicações de um determinado problema

De acordo com, William Costa Rodrigues (2007), os tipos de pesquisa, classificado segundo:

- ❖ A área da ciência
- ❖ A natureza
- ❖ Aos objetivos
- ❖ Aos procedimentos
- ❖ Ao objeto
- ❖ A forma de abordagem

Classificação quanto:

À área da ciência

- ❖ • Pesquisa teórica
- ❖ • Pesquisa metodológica
- ❖ • Pesquisa empírica
- ❖ • Pesquisa prática

À natureza

- ❖ Trabalho científico original
- ❖ Resumo de assunto

Aos objetivos

- ❖ Pesquisa exploratória
- ❖ Pesquisa descritiva
- ❖ Pesquisa explicativa

Aos procedimentos

- ❖ Pesquisa de campo
- ❖ Pesquisa de fonte de papel

Ao objeto

- ❖ Pesquisa bibliográfica
- ❖ Pesquisa de laboratório
- ❖ Pesquisa de campo

À forma de abordagem

- ❖ Pesquisa quantitativa
- ❖ Pesquisa qualitativa

Do ponto de vista dos objectivos e do problema optou-se pelos seguintes tipos de pesquisas:

1. Revisão bibliográfica: Realizar uma análise extensiva da literatura científica e técnica relacionada à otimização das operações de exploração mineira e às técnicas utilizadas na indústria.
2. Coleta de dados: Realizar coletas de dados referentes às características geológicas e geotécnicas da mina do Furi, bem como informações sobre as operações atuais e possíveis desafios enfrentados na exploração.
3. Análise e proposta de soluções: Analisar os dados coletados, identificar os principais desafios e propor estratégias de otimização adequadas às peculiaridades da mina do Furi.
4. Avaliação de resultados: Realizar simulações e análises para avaliar a eficácia das soluções propostas, levando em consideração indicadores de desempenho relevantes, como eficiência operacional, redução de custos e mitigação de riscos.

## **CAPÍTULO 2 –ENQUADRAMENTO TEÓRICO**

## 2.1 Definições de termos e conceitos

**Jazida:** É a ocorrência geológica de minerais em formas relativamente concentradas.

**Jazigo:** Concentração mineral passível de ser aproveitada economicamente. Este conceito dada a sua conotação económica pode variar no tempo, ou seja, algo que é económico hoje pode não sê-lo no futuro.

**Mineral:** É um elemento ou composto químico, sólido, homogêneo e cristalino, que se formou através de processos inorgânicos naturais.

**Mina:** Área onde se explora um bem mineral. Quando a jazida passa a ser aproveitada, ela se transforma em mina podendo ser a céu aberto ou subterrânea.

**Mineração:** É uma actividade industrial cujo principal objectivo é a extracção das substâncias mineiras localizadas em depósitos naturais e o transporte até a central de tratamento.

**Minério:** Toda substância ou agregado mineral, rocha ou solo que pode ser aproveitado tecnicamente pois ela contém o mineral-minério (substancia mineral útil de interesse económico)

**Estéril:** Rocha ou solo que ocorre dentro do corpo do minério ou externamente ao mesmo, sem valor económico, que é extraído na operação de lavra para aproveitamento do minério.

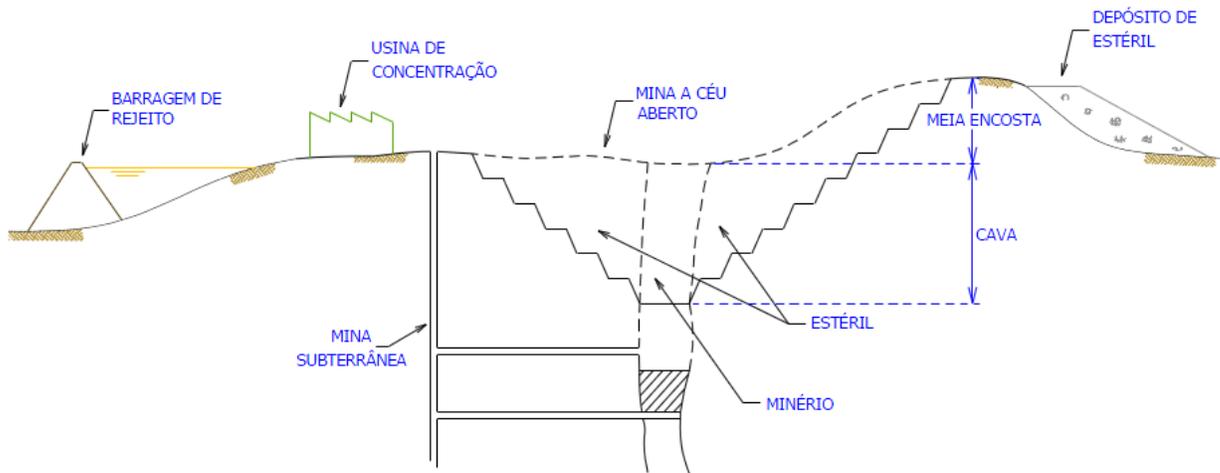
**Lavra:** Diz-se operação de extrair da mina o minério e o estéril transportando-os para a central de tratamento e para outros locais de deposição.

**Método De Exploração:** É a técnica de extracção do minério, esteja ele em superfície ou em profundidade.

**Exploração à Céu aberto:** Escavações realizadas para exploração do minério em contacto com o ar.

**Equipamento:** Conjunto de meios materiais necessário a realização de determinada actividade.

A figura 2.1 aborda parcialmente as definições expressas anteriormente.



**Figura 2. 1:**Esquema de um empreendimento mineral

**Fonte:**(ABRÃO e OLIVEIRA, 1998)

## 2.2 Mineração a Céu Aberto

De realçar que as fases de um empreendimento mineral são: Prospecção e pesquisa mineral; desenvolvimento; operações de Lavra; e recuperação da Mina. Um empreendimento de mineração a céu aberto, no geral, funciona de maneira diferente da maioria das outras obras de engenharia geotécnica. Neste caso, não há inserção de um elemento permanente no maciço, como ocorre na construção de uma barragem, e sim, o desmonte contínuo do mesmo. Porém, em ambas as obras, o monitoramento do desempenho dos elementos envolvidos, através de instrumentação, é constante (DAMASCENO, 2008).

O tempo de maturação neste tipo de empreendimento é mais lento, podendo existir grande distância temporal entre a descoberta de uma área com ocorrência considerável de minério e o início das operações efetivas de lavra. Porém, depois de iniciadas as atividades, estas se desenvolvem de maneira relativamente simples, podendo levar dezenas de anos até o esgotamento “técnico” da região,

pois nem sempre uma mina é desativada pelo esgotamento mineral, e sim, devido a limitações técnicas de lavra do mineral restante, tornando a exploração economicamente inviável (DAMASCENO, 2008). Segundo Girodo (2005) no caso das mineralizações se apresentarem em domínios profundos, o processo de extração do minério a céu aberto torna-se antieconômico, pois para poder ter acesso ao corpo mineralizado seria necessário a remoção de uma grande camada de estéril e cobertura vegetal. Neste caso, tendo se tornado inviável o processo de exploração por um método a céu aberto, só resta à alternativa de se explorar o depósito mineral subterraneamente. De acordo com Damasceno (2008) a “vida” de uma exploração mineira a céu aberto é composta por um conjunto de atividades que se podem resumir em: pesquisa para localização do minério; prospecção para a determinação da extensão e do valor do minério localizado; estimativa dos recursos em termos de extensão e teor do depósito; planejamento para avaliação da parte do depósito economicamente extraível; estudo de viabilidade para avaliação global do projeto e tomada de decisão entre iniciar ou abandonar a exploração do depósito; desenvolvimento de acessos ao depósito que vai se explorar; exploração, com vista à extração de minério em grande escala; e recuperação da zona afetada de forma a possibilitar uso futuro. As atividades citadas acima, que compõem as fases de um empreendimento mineral a céu aberto, serão representadas nesta monografia com uma maior riqueza de detalhes em um tópico que trata especialmente deste assunto.

Segundo Girodo (2005) a lavra a céu aberto nada mais é do que uma escavação ampla da superfície do terreno com o propósito de extrair minerais metálicos e não metálicos, em qualquer tipo de rocha. As lavras a céu aberto podem ser desde pequenas raspagens manuais na superfície do terreno até gigantescas escavações que alcançam centenas de metros em profundidade, podendo ocupar dezenas ou eventualmente até centenas de quilômetros quadrados em superfície. De acordo com Redaelli e Cerello (1998) escavações a céu aberto podem envolver pequenos serviços executados por homens munidos de pás e picaretas até grandes serviços executados por equipamentos de grande porte.

Adicionalmente, a capacidade e o poder de escavação dos equipamentos vêm crescendo com os anos, reduzindo assim a necessidade de desmonte do minério a partir do uso de explosivos, todavia, a prática de desmonte por fogo ainda é amplamente utilizada. A figura 2.2 mostra com clareza a grandiosidade dos equipamentos de escavação que estão sendo fabricados na atualidade.



**Figura 2. 2:**Equipamento de escavação de grande porte (“Escavadeira Shovel”).

**Fonte:** (CATERPILLAR, 2013 ).

### **2.2.1 Vantagens e desvantagens do método de exploração a céu aberto**

Conforme já mencionado anteriormente, não existe um método de lavra que caracterize um empreendimento mineral, ou seja, cada método se aplica melhor a uma dada situação. Desta forma, conclui-se que a lavra a céu aberto se aplica melhor a certos tipos de situações e em outros casos não é viável a sua utilização. Seguindo esta linha de raciocínio, serão apresentadas a seguir as vantagens e desvantagens da aplicação do método de lavra a céu aberto (GIRODO, 2005).

#### i) Vantagens

- Os métodos de lavra a céu aberto são flexíveis, possibilitando rápidas mudanças no esquema produtivo em tempo muito curto;
- Os métodos de lavra são mais seguros. Locais com rochas instabilizadas são notados com maior facilidade e o problema pode ser prontamente sanado com relativa facilidade. Os operadores são também mais facilmente vistos pelos seus superiores. Trabalhando-se com grandes equipamentos tem-se um número menor de operários melhor preparados, sendo mais fácil de serem administrados;
- A lavra a céu aberto é mais compatível com operações seletivas. O controle dos teores torna-se mais fácil, deixando para trás alguns blocos de minérios mais pobres ou removendo-os como material estéril;
- O custo unitário de uma lavra a céu aberto costuma ser apenas uma fração do custo de uma lavra subterrânea, sendo a mesma explorada em profundidades menores;
- Em uma lavra a céu aberto existe a ausência de problemas envolvendo a ventilação do local de trabalho.

#### ii) Desvantagens

- Turbação da superfície do terreno, ou seja, em um empreendimento mineral a céu aberto a degradação do meio ambiente é considerável;
- Em uma lavra a céu aberto existe uma grande emissão de poeira, ruídos e diversas vibrações decorrentes das detonações;
- A lavra a céu aberto tem a necessidade de movimentação de uma grande massa de material estéril.

### **2.2.2 Classificação dos métodos de exploração a céu aberto**

Os métodos de lavra a céu aberto são representados basicamente por: Lavra por bancadas (“*Open Pit Mining*”), Lavra por Tiras (“*Strip Mining*”) e Lavra Aluvionar (“*Placer Mining*”) (SILVA, 2008). De acordo com Hartman (2002 *apud* SILVA, 2008) a mineração em superfície (a céu aberto) inclui os métodos de escavação

mecânica (a lavra por bancadas e a lavra em tiras) e os métodos de escavação hidráulicos (lavras aluvionares).

a) Lavra por Bancadas (“*Open Pit Mining*”)

De acordo com Silva (2008) na mineração a céu aberto, o método mais utilizado é a lavra por bancadas (Figura 2.3). Este tipo de lavra pode ser definido como um processo de mineração onde depósitos de sub-superfície a superfície são escavados em forma de bancos. Geralmente este método é utilizado em depósitos minerais regulares, possuindo larga escala em termos de taxa de produção, sendo responsável por mais de 60% de toda a produção lavrada por métodos de superfície. Por ser este método tão importante, se fez necessário o detalhamento deste em um tópico específico que será mostrado adiante.



**Figura 2. 3:**Lavra por bancadas da Companhia Vale do Rio Doce, conhecida como mina de Brucutu

**Fonte:** (TIME MAGAZINE, 2013).

b) Lavra em Tiras (“*Strip Mining*”)

Segundo Souza (1994 *apud* DNPM, 2004) a lavra a céu aberto por tiras é utilizada principalmente em jazidas com predominância de camadas horizontais (*stratabound*), com espessuras de minério menores em relação às grandes dimensões laterais (Figura 2.4). É semelhante à lavra por bancadas, deferindo em um aspecto: o capeamento não é transportado para um bota-fora ou pilhas de estéril, mas depositado diretamente nas áreas adjacentes já lavradas. Às

vezes a mesma máquina faz a escavação e o transporte do estéril, em uma operação unitária.



**Figura 2. 4:**Lavra em tiras localizada em Casper, Estados Unidos

**Fonte:** (CITIZENS COAL COUNCIL, 2013).

c) Lavra Aluvionar (“*Placer Mining*”)

Segundo Souza (1994 *apud* DNPM, 2004) a operação de dragagem de um *placer* (Figura 2.5) é feita por uma draga que pode ser equipada com instalações de tratamento que incluem dispositivos de descarte de rejeito. O local para a operação de uma draga pode ser natural ou artificial, de forma que, o volume de água necessário depende do tamanho da draga e do porte do depósito analisado.



**Figura 2. 5:**Dragagem do canal do rio Paraguai

**Fonte:** (AHIPAR – Administração da Hidrovia do Paraguai, 2013).

É importante ressaltar que os métodos de lavra a céu aberto foram aqui descritos de uma forma simplória, ou seja, as informações sobre estes tipos de lavra não se esgotam nesta monografia. Cada empreendimento de mineração deve aplicar as melhores técnicas para seu planejamento e operação, estudando todas as variáveis envolvidas para cada situação específica, através de pessoal técnico especializado, tendo em conta as observações de campo e as orientações da literatura especializada.

### **2.3 Operações de Lavra**

As operações em minas a céu aberto abrangem principalmente as operações básicas de desmonte, carregamento, transporte e descarga. O processo de lavra tem início com a preparação da área a ser lavrada, chamada frente de lavra. Após o material ser desmontado por meio de explosivos ou mecanicamente, os equipamentos de carga são deslocados até as frentes de lavra para que possam ser carregados e em seguida transportarem o material podendo ser minério ou estéril, carregando-os até um determinado ponto de descarga o qual pode ser a central de beneficiamento ou aterro de estéril QUEVEDO, [2009].

Examinando-se execução de quaisquer serviços de terraplanagem, pode-se distinguir quatro operações básicas de lavra que ocorrem em sequência ou as vezes com simultaneidade:

Escavação

Carga do material escavado

Transporte

Descarga e espalhamento

Essas operações podem ser feitas pela mesma máquina ou por equipamentos diversos.

### **2.3.1 Escavação ou desmonte**

A escavação ou desmonte é o processo utilizado para romper a compacidade do solo ou rocha, por meio de ferramentas e processos convenientes, tornando possível a sua remoção.

Uma escavação ou desmonte pode ser realizado com mais de uma finalidade, podendo ser para obtenção de bens minerais e a abertura de espaços para fins diversos. Escavações para fins de mineração normalmente envolvem grandes volumes de material, tanto estéril quanto minério, e se processam por períodos de tempo muito longos FERREIRA, [2013]. No momento da seleção do método de escavação requerem-se estudos prévios sobre a natureza, qualidade e quantidade do material a ser removido, seu arranjo espacial, seu comportamento quando removido, o que por sua vez é função de fatores geológico-geotécnicos.

Dependendo ainda das finalidades da escavação, dos prazos previstos, da existência de água, da distância aos locais de acomodação de estéreis, bem como dos equipamentos de lavra, transporte e apoio disponíveis FERREIRA, [2013]. Pode-se ainda dizer que desmonte é a operação que visa arrancar os blocos de rocha de sua posição natural, fragmentando-os convenientemente, recorrendo-se em geral o emprego de explosivos.

O desmonte de rochas pode ser feito de três formas:

- 1-Desmonte hidráulico;
- 2-Desmonte mecânico;
- 3-Desmonte com explosivos

### **2.3.2 Carregamento**

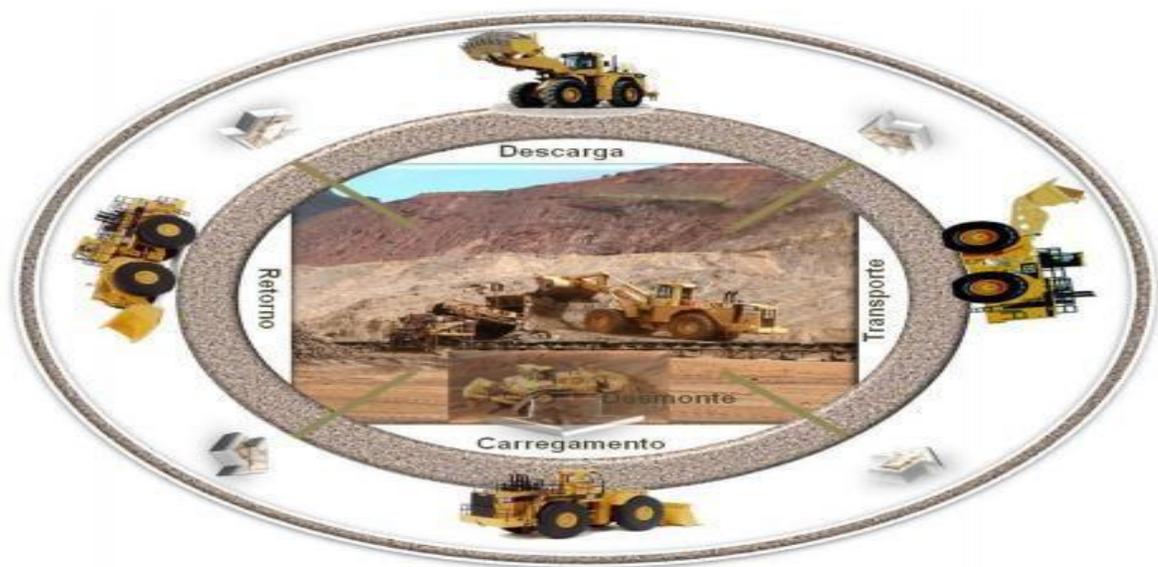
O processo de carregamento consiste no enchimento da caçamba do material desagregado, ou seja, que já sofreu o processo de desmonte, Segundo RICARDO e CATALANI, [2007]. Esse processo de carregamento deve ser efetuado pela lateral ou traseira do equipamento de transporte, sendo carregado um equipamento por vez,

Os equipamentos mais utilizados para as operações de carregamento são: escavadeiras a cabo, escavadeiras hidráulicas, retroescavadeiras hidráulicas, carregadeiras sobre pneus ou esteira, moto scrapers, dragas BORGES, [2013].

De acordo com Silva [2011]: o processo de carregamento de alguns equipamentos funciona da seguinte maneira. Conforme demonstra na figura 2.6

1-Carregadeiras: é constituído de quatro movimentos: deslocamento para frente e carregamento da caçamba, deslocamento para trás, deslocamento para frente até o veículo e descarga, e por último o retorno vazio.

2-escavadeiras: enchimento da caçamba, giro carregado, descarga no equipamento de transporte



**Figura 2. 6:**Fluxo no processo de carregamento

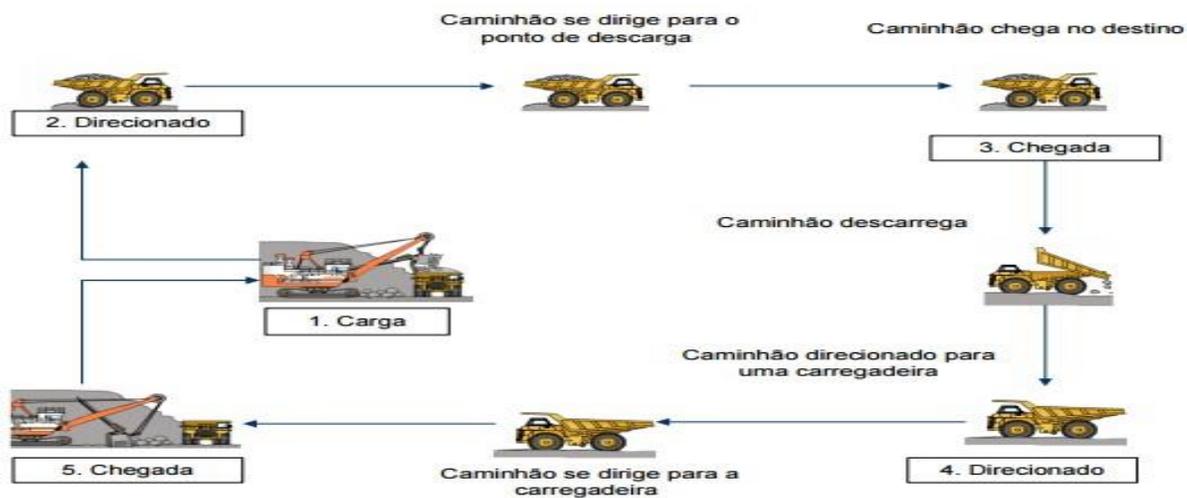
**Fonte:** Lopes (2010)

### 2.3.3 Transporte

Na mineração existem vários métodos e sistemas de transporte de material, para Borges [2013], os mais comuns são o transporte por caminhões e transporte por correias. Já para Lopes [2010], o método de transporte por caminhões é o mais utilizado em todo o mundo.

Assim, a operação de transporte consiste em transportar o material extraído da jazida, que normalmente é executado por meio de perfuração e desmonte por explosivos ou mecanicamente (tratores, escavadeiras ou carregadeiras, dependendo da resistência do material), o qual se direciona até diferentes pontos de descarga (britador, pilha pulmão, pilha de estéril).

A figura 2.7 caracteriza o movimento de caminhões nas operações de carregamento e transporte.



**Figura 2. 7:**Fluxo do processo de carregamento e transporte

Fonte: Quevedo [2009]

### 2.3.4 Descarga e o espalhamento

Constituem a execução do aterro propriamente dito. Quando as especificações determinam a obtenção de certo grau de compactação no aterro haverá, ainda a operação final de adensamento do solo até os índices mínimos estabelecidos

### 2.4 Técnicas de otimização nas operações de exploração

As técnicas de otimização desempenham um papel crucial nas explorações mineiras, permitindo maximizar a eficiência operacional, reduzir os custos e minimizar os impactos ambientais. Neste contexto, uma variedade de métodos e abordagens têm sido desenvolvidos para melhorar o planejamento e a operação de minas. Este artigo examinará algumas dessas técnicas de otimização, com base em pesquisas recentes e literatura relevante.

### **2.4.1 Otimização do planejamento de mina**

O planejamento de mina é uma etapa crítica para garantir a exploração eficiente dos recursos minerais. A otimização nessa fase envolve a seleção de sequências de extração, dimensionamento de equipamentos, alocação de recursos e definição de estratégias de lavra. Técnicas como a programação linear inteira (PLI) têm sido amplamente aplicadas para resolver problemas de otimização do planejamento de mina. Segundo J. Scott et al. (2018), a abordagem de PLI permite a consideração de múltiplos objetivos, como maximizar a recuperação de minério, minimizar os custos operacionais e atender às restrições técnicas e ambientais. Além da programação linear inteira (PLI), outras abordagens de otimização têm sido aplicadas no planejamento de mina. Uma delas é a programação não linear, que permite levar em consideração restrições mais complexas e não lineares, como a geologia do depósito mineral e a influência de estruturas geológicas. A modelagem e otimização estocástica também têm sido adotadas para lidar com a incerteza associada a variáveis como teor de minério, custos e preços de mercado. Essas técnicas permitem a geração de cenários múltiplos e a análise de risco, contribuindo para a tomada de decisões mais robustas no planejamento de mina (S. Dimitrakopoulos et al., 2019).

### **2.4.2 Otimização de rotas de transporte**

O transporte eficiente de minério, estéril e materiais associados é essencial para garantir a produtividade e a rentabilidade das operações mineiras. A otimização de rotas de transporte busca minimizar as distâncias percorridas, reduzir os tempos de viagem e maximizar a capacidade de carga dos veículos. Diversas técnicas de otimização têm sido aplicadas nesse contexto, incluindo algoritmos genéticos, algoritmos de enxame de partículas e algoritmos baseados em otimização por colônia de formigas. Em um estudo realizado por S. Li et al. (2020), os pesquisadores aplicaram um algoritmo de otimização por enxame de partículas para resolver o problema de roteamento de caminhões de mina em uma operação de grande escala, obtendo resultados significativos em termos de redução de custos operacionais e melhoria na eficiência do transporte.

### **2.4.3 Otimização de processos de beneficiamento**

Os processos de beneficiamento são utilizados para aumentar a qualidade e o teor do minério extraído. A otimização desses processos visa maximizar a recuperação de minerais valiosos, minimizar as perdas e reduzir o consumo de energia e reagentes químicos. Técnicas como a programação matemática não linear têm sido aplicadas para otimizar variáveis operacionais, como a granulometria de alimentação, concentração de reagentes e tempos de residência. Um estudo realizado por A. Singh et al. (2019) explorou a otimização da flotação de minério de cobre por meio de modelagem e simulação computacional, resultando em melhorias significativas na recuperação de cobre e na eficiência energética do processo.

### **2.4.4 Otimização de alocação de equipamentos**

A alocação eficiente de equipamentos é fundamental para maximizar a produtividade e minimizar os custos nas explorações mineiras. A otimização nesse contexto envolve a determinação da quantidade e do tipo de equipamentos necessários, bem como a programação das atividades de manutenção. Técnicas como a programação inteira mista, a programação baseada em restrições e a programação de horários têm sido aplicadas para resolver problemas de otimização da alocação de equipamentos em mineração. Essas abordagens consideram restrições operacionais, disponibilidade de equipamentos e objetivos específicos, como minimizar os tempos de espera e maximizar a utilização dos ativos (J. He et al., 2020).

### **2.4.5 Otimização de recuperação de minério e da gestão de água e energia**

A maximização da recuperação de minério é um objetivo-chave nas explorações mineiras, visando extrair a maior quantidade possível de minerais valiosos. A otimização nesse contexto envolve a seleção de métodos de extração adequados, o planejamento de sequências de lavra e a definição de parâmetros operacionais. Algoritmos genéticos, algoritmos de busca tabu e algoritmos de otimização por colônia de abelhas têm sido aplicados para otimizar a

recuperação de minério em minas subterrâneas e a céu aberto. Essas técnicas permitem a exploração de soluções ótimas ou próximas do ótimo em espaços de busca complexos e de alta dimensionalidade (E. Topal et al., 2018). A gestão eficiente de recursos como água e energia é essencial para reduzir os custos operacionais e minimizar os impactos ambientais nas explorações mineiras. A otimização nesse contexto envolve a alocação adequada de recursos, o dimensionamento de sistemas de captação e reutilização de água, a otimização de redes de distribuição e a implementação de medidas de eficiência energética. Técnicas como a programação linear, a otimização multiobjetivo e a análise de ciclo de vida têm sido aplicadas para otimizar a gestão de água e energia em mineração, considerando aspectos econômicos, ambientais e sociais (C. Newman et al., 2017).

## **CAPÍTULO 3 -ESTUDO DE CASO**

### 3.1 Caracterização geográfica da Mina do Furi

A área diamantífera do Nordeste de Angola – Lundas localiza-se entre o paralelo 7° 10' e 9° 00' Sul e os meridianos 20°00' e 21°50' Este de Greenwich, aproximadamente. A província da Lunda Norte encontra-se localizada no nordeste do país. A capital é a cidade de Chitato. É constituída pelos municípios de Cambulo, Capenda, Camulemba, Caungula, Chitato, Cuango, Cuílo, Lubalo, Lucapa, Lóvua e Xá-Muteba, sendo Cambulo a zona de estudo.

A sociedade mineira do Furi está localizada na zona das bacias hidrográficas dos rios Chiumbe e Luembe, nos Municípios de Chitato e Cambulo, encontra-se no sector Fucaúma província da Lunda Norte, tendo uma extensão 956 Km<sup>2</sup>, atravessando a estrada principal que liga a cidade do Dundo á vila mineira do N'zagi.

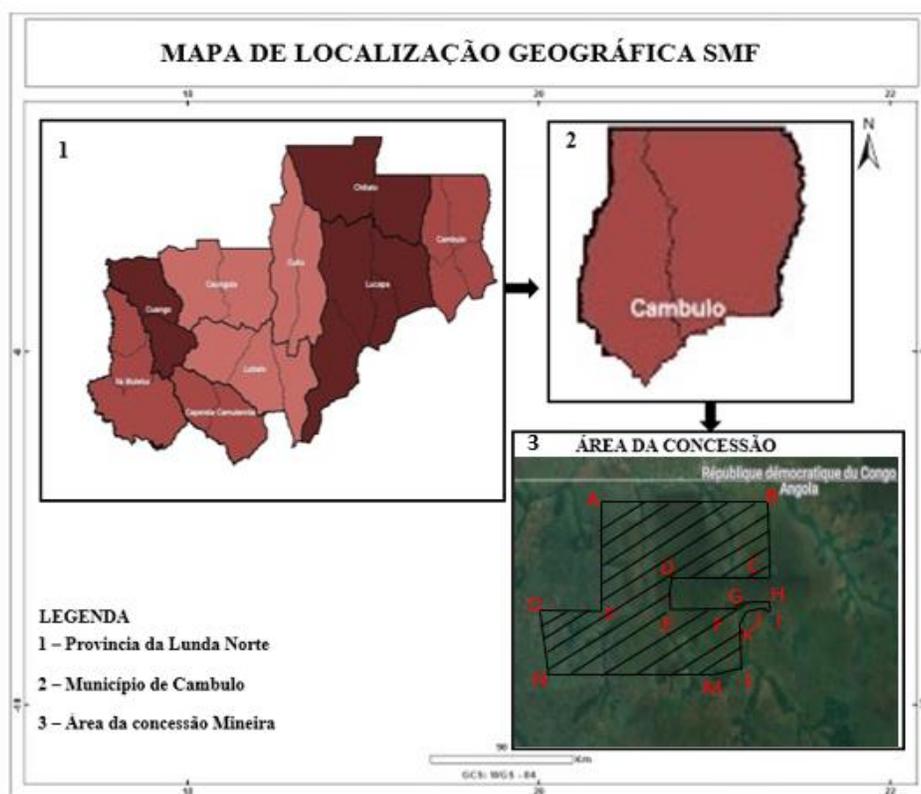


Figura 3. 1:Localização geográfica da mina do Furi

Fonte:O autor(2023)

### **3.1.1 Breve histórico da concessão**

No século passado a zona do nordeste de Angola foi alvo de um profundo estudo geológico por parte da extinta Diamang, dos resultados dos trabalhos de Prospecção dentro da concessão foram avaliadas reservas mineiras na ordem de 1.150.000 quilates (fonte Endiama EP).

Em 2002 devido a uma associação entre a Endiama-EP, TRANS HEX e várias empresas nacionais (TOCA MAI; LMJS; CDS; LUNAE; DIAGEMA; AFROMINEIROS) foi realizado um programa de reavaliação das reservas remanescentes determinadas pela Ex-Diamang, foram realizadas várias amostragens em várias áreas da concessão (frente norte e sul da concessão). A seguir iniciou a fase de produção (2003-2008).

Um acordo entre a Endiama-EP (20%) e a Dicorp (80%) serviu como veículo idóneo para reavaliação das reservas dentro da concessão (2017 -2019).

A Sociedade Mineira do Furi foi inaugurada aos 21 de abril de 2021, tendo começado com a produção piloto entre agosto-dezembro de 2019. Atualmente a produção média anual é de 9qlts/mês.

### **3.1.2 Vias de comunicação, Vegetação e Redes hidrográficas**

O clima é tropical húmido, com uma temperatura média de 27°C por ano. O regime climático consta de duas estações bem definidas, a estação seca (maio – agosto) com uma humidade relativa de 30%. As chuvas têm um período de sete meses (setembro - abril) nesta época a humidade relativa alcança os 80%. A região apresenta uma vegetação composta por arbustos e capins típicos de savana.

Os principais rios da província da Lunda-Norte são Luembe, Chiumbe, Luxilo, Camesseque, Muquesse, Kissanguide, Chitotolo.

Dentro da concessão destacam-se dois rios principais situados paralelamente a 200 Km. A Este o rio Tchiumbue e a Oeste o rio Luembe, ambos têm aproximadamente 40 a 60m de largura e os seus afluentes provêm do Oeste-

Este. As águas destes rios correm de Sul-Norte e estão a 700m acima do nível do mar, os dois principais rios são afluentes do rio Cassai (RDC).

### **3. 1.3 Caraterísticas dos diferentes tipos de depósitos na área de concessão**

Os vários tipos de depósitos explorados neste projeto estão, como referido anteriormente fortemente relacionados com os elementos geomorfológicos em que se enquadram. Passo assim a uma breve descrição dos vários tipos existentes na área de concessão.

**O depósito de formação Calonda:** é o mais antigo depósito sedimentar diamantífero, resultam dos primeiros ciclos erosivos após as erupções quimberlíticas, e tem potencial económico significativo. Um depósito de calonda é coberto por uma camada de areias avermelhadas (kalahari superior), seguido de uma pequena camada de cascalho (kalahari inferior) que é também possível de conter diamantes embora com teores baixos. Na base destas unidades encontramos a formação Calonda propriamente dita, formada por uma camada Grosso-argilosa esta camada é o objetivo principal de exploração. No projeto Furi encontra-se distribuído a norte, sul e frente oeste.



**Figura 3. 2:**Bloco 31 Corte 29

**Fonte:**O autor(2023)

**Depósitos de colina:** Formaram-se através dos sedimentos libertados na formação Calonda ou pela erosão dos kimberlitos. Praticamente estes depósitos situam-se nos pontos mais altos em relação ao normal.

É composto apenas pelas unidades do kalahari superior, kalahari inferior e rocha base e muitas vezes a camada é laterizada. Os clastos destes depósitos são sub-rolados e angulosos envolvidos numa matriz arenoargilosa de tonalidade vermelho-amarelada. O potencial diamantífero dos depósitos de colina é maior quando se assenta directamente em cascalho de formação calonda.

**Depósitos de terraço:** são depósitos constituídos por detritos acumulados em antigos leitos de rios. São originados por alterações no nível de base dos rios, o que resultou num processo de erosão ativo que levou ao rebaixamento dos leitos dos rios.



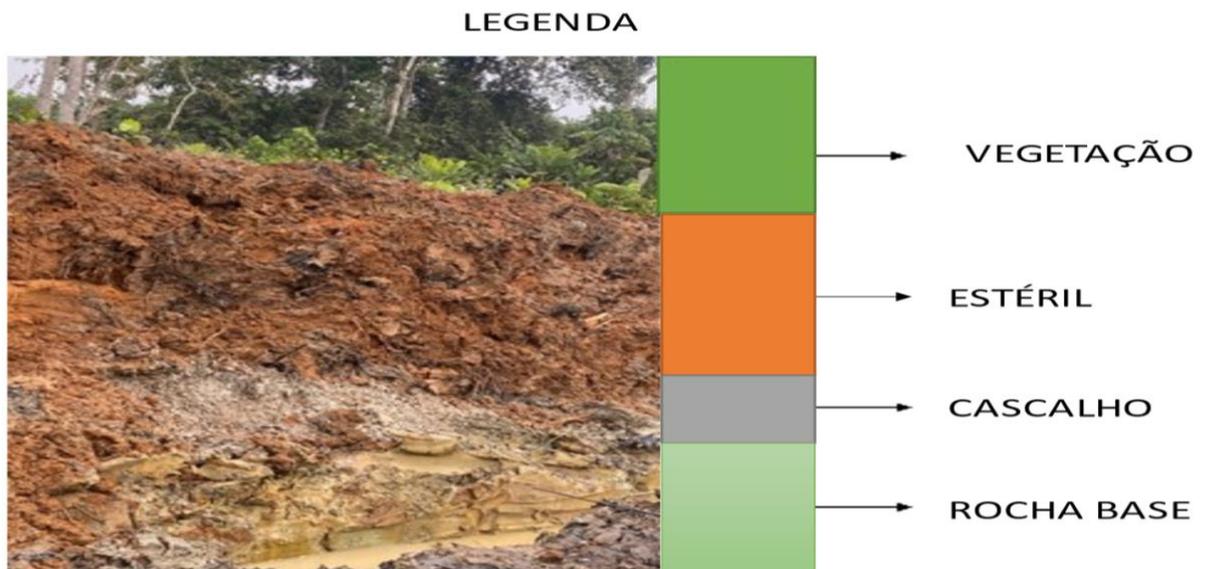
**Figura 3. 3:**Bloco XX15 corte 98

**Fonte:**O autor(2023)

A distribuição normalmente é limitada em areia. São frequentemente conglomerados até 2m de espessura, com laterização ocasional na parte superior do depósito.

**Depósitos de Lezíria:** são depósitos de cascalho em terrenos alagados localizados junto aos rios, ou seja, leito do rio abandonado, cuja a altitude é superior à do nível do rio actual. A característica do cascalho é arenosa, húmido durante o tempo chuvoso e sempre igual aos dos leitos dos rios.

Neste deposito só é possível extrair com ajuda de drenagem por bombas ou diques. Para abrir cortes neste tipo de blocos, exige-se a construção de esteiras com estéril vermelho de colina, dependentemente da largura e da espessura do corte.

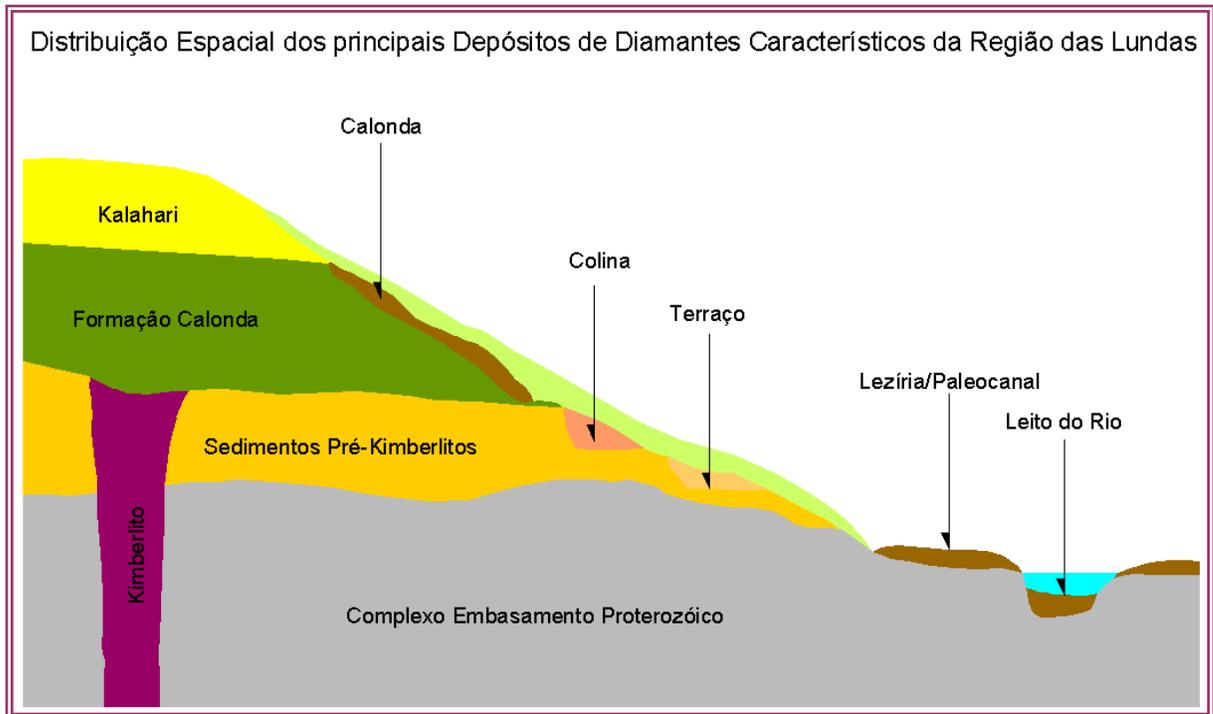


**Figura 3. 4:**Bloco XX15 corte 87

**Fonte:**O autor(2023)

O Cascalho é composto por Clastos, cimento e matriz. A sua diferença está em dependência do tipo de depósito. Na formação Calonda, nos depósitos de vertentes ou de colina, o cascalho apresenta-se seco e consistente porque são zonas que têm poucas ou nulas acumulações de águas, por serem zonas de depressões.

Nos Depósitos de terraços, lezíria e leito de rio, o terreno é sempre mole, húmido e pouco consistente por serem zonas baixas, têm maiores probabilidades de conterem águas, além de mais, a sua aproximação com os leitos de rios é um factor influente.



**Figura 3. 5:**Esquemática dos distintos tipos de depósitos secundários

**Fonte:**O autor(2023)

## 3.2 Metodologia de Exploração Empregue na mina

### 3.2.1 Fases que compreendem a exploração do minério

Na mina do Furi as fases que compreendem a exploração do minério são:

- **Preparação Prévia:** geralmente os trabalhos de preparação prévia consistem no apoio as operações nos blocos em exploração, respetivamente: Preparação das áreas para vazadouros, limpezas das vias de acesso com bulldozers e motoniveladoras, espalhamento de rejeitado nas estradas de mina.



**Figura 3. 6:**Preparação prévia

**Fonte:**O autor(2023)

- **Via de Acesso:** é uma das fases da preparação prévia, é necessário que se crie uma via de acesso, para que os equipamentos possam circular e começar o processo de remoção de estéril.



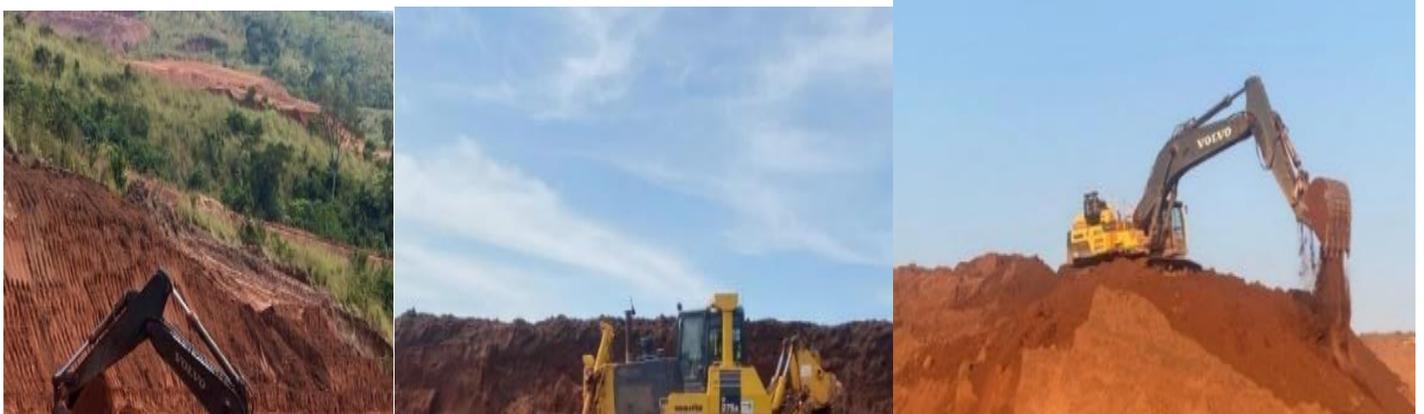
**Figura 3. 7:**Via de acesso

**Fonte:**O autor(2023)

Remoção de estéril: é a camada de cobertura, constituídas por areias finas, argilas e às vezes por grês, e a sua espessura varia em dependência do tipo de depósito.

Existem 2 métodos de remoção de estéril: remoção direta – Escavadeira; remoção com Escavadeira + Dumper e rebaixamento com Bulldozer.

- **Remoção com escavadeira:** A remoção direta acontece normalmente nos taludes com espessuras que podem ir até 7 metros que é o alcance máximo das lanças das escavadoras de maior porte, escavadora EC750 Volvo. Neste caso trata-se de remoção direta, sistema clássico em que a escavadora tem como vazadouro a área do corte anterior já explorado.
- **Remoção com recurso a dumpers:** é um tipo de remoção aonde a escavadora tem o auxílio de camiões nos taludes com mais de 15 metros de espessura de estéril, temos em uso nos blocos de formação Calonda onde é natural espessuras de estéril igual ou superiores a 15 m.
- **Rebaixamento com bulldozer:** Este método de remoção, também designado rebaixamento, ocorre frequentemente nos taludes com espessuras acima de 15 metros, nos depósitos de formação Calonda.



**Figura 3. 8:** Remoção Escavadeira + Dumper, Rebaixamento com Bulldozer e Remoção direta – Escavadeira

**Fonte:** O autor(2023)

### 3.2.2 Operações de lavra

A exploração é um conjunto de atividades que tem como objetivo a remoção do estéril, extração do mineiro, carga e transporte.

A exploração na Mina de Furi é feita a céu aberto, em trincheiras, com apoio de máquinas como escavadoras, buldózers e dumpers para preparação prévia, rebaixamento, remoção do estéril e do minério, carga, transporte e deposição do minério.

**Corte:** é uma porção do bloco, a área devidamente definida para a extração do minério. A zona delimitada dentro de um bloco, ou seja, é uma porção do bloco ou área devidamente definida para extração do minério.

**Bloco:** é uma determinada área delimitada segundo a informação obtida durante a prospeção, cujos resultados são económicos. A delimitação de qualquer bloco passa pela sua homogeneidade e heterogeneidade geológica possível tomando em consideração vários parâmetros a saber:

- Morfologia da rocha base
- Espessura do Estéril e do cascalho
- Área total do bloco
- Relação estéril cascalho (S/R)
- Teor do bloco

**Cascalho ou minério:** No âmbito da exploração mineira, cascalho é a toda camada sedimentar detrítica, onde se encontra o material útil, Diamante.

As operações mineiras estão divididas em 4 fases: a fase de desmonte de maciços ou arranque, fase de carregamento, a fase de transporte e deposição do minério

Inicialmente faz-se o rebaixamento do talude, no caso o estéril, com uma buldózer para iniciar o corte a ser explorado. Caso o material seja muito compacto usamos uma escavadeira para desagregar o material do solo, ou seja, dar início a remoção. O sistema de carregamento é exclusivamente composto por escavadeiras hidráulicas, que atuam no carregamento. Após o minério estar exposto, iniciamos o processo de extração, carga e transporte do minério.

Na fase de extração, também é necessário ter em conta a correta limpeza da rocha base, isto porque a variação desta é preponderante ou servem como

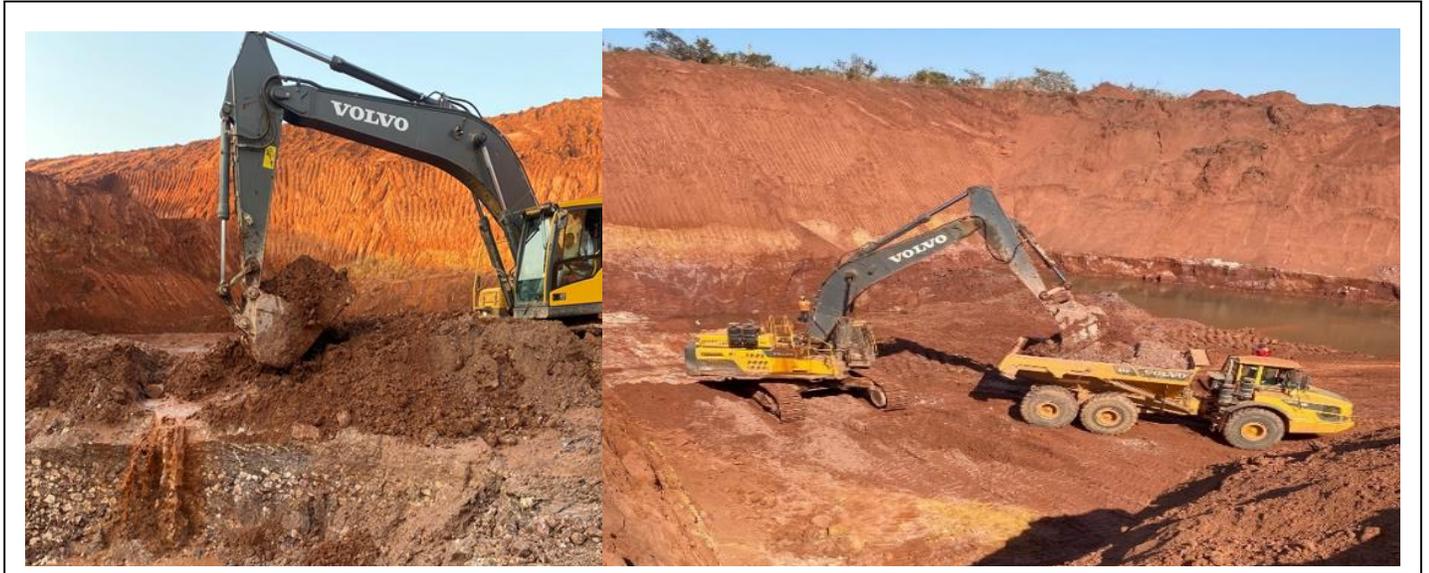
trampas para a acumulação do material mineralizado. As rochas que geralmente servem de base ao cascalho basal encontram-se muitas vezes infiltrados (por alteração dos feldspatos) o que lhe confere propriedades gordurosas provocando infiltração e prisão dos diamantes (que possuem afinidade com materiais gordurosos).

Nos casos em que isto acontece deve-se extrair de 0,20 a 0,30cm de rocha base transportá-la em conjunto com o cascalho, é importante realizar este trabalho com máquinas com as condições favoráveis para a correta extração do material mineralizado. Por isso, é fundamental ter em conta o fator de diluição, quando este fator não é bem acompanhado provoca o incremento do volume do minério a ser transportado e tratado, como consequência desta ação observa-se a caída do teor.

A carga é feita com a escavadeira, que deposita o material extraído nas dumpers ou camiões basculantes, geralmente com o balde de lâmina para evitar diluição do material.

Na Sociedade mineira do Furi as atividades de carga e transporte são feitas por equipamentos de transporte, (caminhões basculantes e Dumpers).

Por fim, após carregar os camiões, faz-se o transporte até a lavaria, onde o material mineralizado é acumulado em pilhas.



**Figura 3. 9:**Processo de extração do Minério e carregamento do Minério

**Fonte:**O autor(2023)



**Figura 3. 10:**Processo de transporte e deposição do Minério na Lavaria

**Fonte:**O autor(2023)

**Tabela 3. 1:**Trabalhos específicos dos equipamentos

**Fonte:**O autor

<b>Equipamento</b>	<b>Trabalhos específicos</b>
Bulldózer	Preparação prévia, desmatamento, aberturas de vias, rebaixamento
Dumper	Transporte de terras
Escavadeira	Escavação de volumes de terras, desmonte e carga
Moto Niveladora	Nivelamento de vias

### 3.2.3 Dimensionamento dos equipamentos de movimentação de terras

#### Tipo de equipamentos:

- Bulldozer
- Dumper
- Escavadeira
- Moto Niveladora

**Escavadeira:** A máquina é responsável por remover a terra de cobertura e extração do minério em exploração

**Dumper:** é um veículo projetado para transportar material em locais de construção ou minas. São diferenciados dos caminhões basculantes pela configuração: um dumper geralmente é um veículo aberto de 4 rodas com a caçamba de carga na frente do motorista, enquanto um caminhão basculante tem sua cabine na frente da carga. São utilizados na mineração, para transporte interno de material mineralizado e estéril.

**Bulldózer:** é uma grande máquina motorizada que é equipada com uma lâmina de metal na frente para empurrar o material: solo, areia, entulho ou rocha durante o processo de remoção. Quando necessário, é um dispositivo semelhante a um gancho (denominado ríper) pode ser montado na parte traseira para soltar materiais densos.

**Motoniveladora:** Sua principal função é o nivelamento de vias de acesso. As lâminas são importantes itens para que a máquina desenvolva seu trabalho perfeitamente. O nivelamento é necessário na pavimentação de estradas, no aprimoramento de terrenos irregulares, ou seja, a sua função é de nivelar

terrenos, realizar pavimentação, fazer terraplanagem e ajustar terrenos irregulares.

As lâminas são importantes itens para que a máquina desenvolva seu trabalho perfeitamente. Esses equipamentos são alterados dependendo da atividade produtiva que será realizada.



**Figura 3. 11:**Buldozer Komatsu D-275, e Motoniveladora Komatsu

**Fonte:**O autor(2023)

### 3.2.4 Características dos equipamentos

Tabela 3. 2:O tipo, modelo e série do equipamento

Fonte:Mina do Furi(2023)

ENGENHO	MARCA	MODELO	SÉRIE	CAPACIDADE DE COMBUSTÍVEL
ESCAVADEIRA	VOLVO 300	VCE-350L	D	470
ESCAVADEIRA	VOLVO 350	EC-350DL	D	470
ESCAVADEIRA	VOLVO- EC480	EC-480	D	685
ESCAVADEIRA	VOLVO- EC750	EC-750	D	840
ESCAVADEIRA	KOMATSU	PC-500	10R	640
ESCAVADEIRA	HITACHI	ZX350LCH- 5L	5L	630
ESCAVADEIRA	DOOSAN	LCA-420	V	550
DUMPER	VOLVO- A45G	A45-G	G	480
DUMPER	KOMATSU- HM400	HM400	3R	518
BULDOZER	KOMATSU- 155	D-155-6	6	625
BULDOZER	KOMATSU- 275	D-275-A	5R	840
ESCAVADEIRA	SUMITOMO	SH-350	L	580
MOTONIVELADORA	KOMATSU- GD655	GD655	5	416

### **3.2.5 Critério de seleção dos equipamentos**

Ao selecionar os equipamentos para realizar essas operações de arranque, carga e transporte, torna-se necessário conhecer os terrenos a trabalhar, 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.

Apesar das considerações acima, o conhecimento pessoal e experiência do engenheiro de minas possui papel determinante sobre a escolha dos equipamentos.

Para a seleção de equipamentos de transporte, como caminhões, algumas empresas contam com o auxílio. Na sociedade mineira do Furi este papel é exercido pela empresa Hipermáquinas (HMA). Esta empresa seleciona o tipo e a capacidade do caminhão com base nos seguintes critérios:

- 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.

Estudos feitos em campo comprovam que as principais considerações na seleção dos equipamentos são:

- Geologia do depósito;
- Metas de produção;
- Vida útil do projeto;
- Custo de operação;
- Retorno de investimentos;

Como já foi dito, a mina do Furi usa para os transportes dumper e caminhões basculantes. Para a frente Xandunda usa-se caminhões basculantes devido a

distância do bloco à lavaria, a lavaria mais próxima fica a 12km e os dumpers não foram feitos para andar a longas distâncias, no máximo 4km. Além disso a via Bloco Xanduda – Lavarias é ligada através de uma ponte que suporta somente ligeiros e caminhões pesados, já as dumpers são equipamentos ultra pesados, diminuindo assim a vida útil da ponte.

Sobre a seleção das escavadeiras, as mesmas são mais rentáveis quando na remoção a escavadeira é com luvas, devido a desagregação do material gressoso, compacto.

### **3.2.6 Rendimento de equipamentos de remoção de terras como factor de produtividade**

A produtividade dos equipamentos de carregamento na mina, depende do projeto da mina, assim como os equipamentos selecionados, para que estejam ajustados às demais operações de lavra e beneficiamento. Assim sendo, o número de equipamentos a serem utilizados e a produtividade dependem dos seguintes fatores:

- Projeto de cava: altura das bancadas, largura das frentes de trabalho, diferença de nível entre as frentes de lavra e o destino dos caminhões (lavarias);
- Tipos de rocha: características do minério e do estéril, como massa específica “in-situ”, empolamento, humidade, resistência à escavação, grau de fragmentação;
- 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.

Sobre o fator de produtividade é necessário ter em conta o posicionamento dos equipamentos, para fazer o melhor uso do equipamento.

Por exemplo uma escavadeira efetuando um giro de 90º irá permitir uma produtividade maior, ao contrário se trabalhar num ângulo de 180º.

A buldózer é mais eficiente fazendo um arrasto de até 70 metros.

Quando falamos de rendimento de equipamentos falamos do tempo gasto pelo equipamento para executar um conjunto de determinadas operações como, por exemplo: manobra, carga, descarga, basculamento, deslocamento, etc. O tempo de ciclo total de uma operação é o somatório de tempo de todas as atividades que compõem essa operação.

### **3.2.7 Tempo de ciclo de camiões**

O tempo de ciclo de trabalho normalmente consiste em tempo de manobra e posicionamento (TMP) que depende da configuração da operação e do espaço operacional; tempo de carregamento (TC); tempo de transporte carregado (TTC); tempo de manobra e basculamento (TMB); e tempo de transporte vazio (TTV).

A duração do tempo de ciclo é igual à soma dos cinco tempos, segundo a equação 1:

$$TCC = TMP + TC + TTC + TMB + TTV \quad (1)$$

Segue abaixo a apresentação de 1 ciclo do camião dumper Volvo A45G M1022, no trajeto Furi 31.27 – Lavaria MB150.

Dados:

$$TMP = 1,4 \text{ Min}$$

$$TC = 2 \text{ Min}$$

$$TTC = 2 \text{ Min}$$

$$TMB = 0,6 \text{ Min}$$

$$TTV = 2 \text{ Min}$$

$$TCC=?$$

#### **Fórmula e resolução**

$$TCC = TMP + TC + TTC + TMB + TTV$$

$$TCC = 1,4 \text{ Min} + 2 \text{ Min} + 2 \text{ Min} + 0,6 \text{ Min} + 2 \text{ Min} , TCC=8 \text{ Min}$$

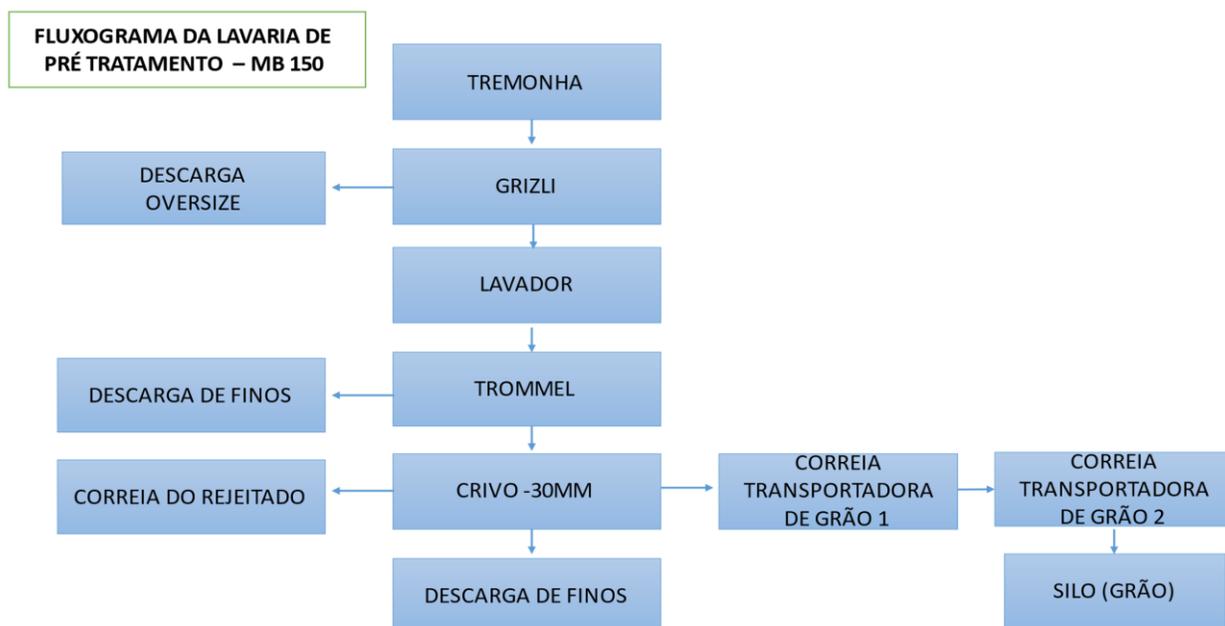
### **3.3 Área de Metalurgia da mina**

O departamento de metalurgia está constituído por um chefe de departamento, quatro encarregados gerais dos quatro, três estão ligados directamente com as lavarias e um encarregado para a estação de escolha. Existe actualmente quatro turnos, cada equipa de trabalho tem um encarregado, o que corresponde um total de 12 encarregados de turno. O encarregado geral tem um regime de trabalho de 12 horas, na qual tem a função de supervisionar as frentes e reportar ao chefe de departamento.

#### **3.3.1 Operações básicas de tratamento do Minério**

O minério vindo da exploração é designado por cascalho. Após a extracção o minério é transportado para as instalações de tratamento, e depositado no stock pille (reserva).

Através da Pá carregadora o cascalho é transportado e alimentado na tremonha, onde é iniciado a lavagem e desagregação do minério onde através do grizly é feita a primeira separação. As rochas com +150mm são rejeitadas (oversize) e com -15cm vão para o lavador onde continua a desagregação e lavagem, posteriormente vai para o trommel para fase de separação das areias e finos, seguindo para o crivo onde é feita a separação, onde o grão com +30mm segue para a correia de rejeitados e com -30mm a +1.6mm considera-se grão que através da correia transportadora é depositado no silo e posteriormente depositada num camião que transporta para a lavaria do meio denso. Para todo este processo é indispensável a presença de água



**Figura 3. 12:** Fluxograma de funcionamento da lavaria de pré-tratamento (MB150)

**Fonte:** O autor(2023)

### 3.3.2 Arranque da lavaria de pré-tratamento

1. Arrancar com a bomba de funcionamento de água a lavaria.
2. Abrir a água nas várias torneiras.
3. Por em funcionamento as correias transportadoras de rejeitado e posteriormente de grão.
4. Por em funcionamento o crivo que alimenta a correia transportadora do grão.
5. Por em funcionamento o lavador.
6. Por em funcionamento a tremonha.
7. Iniciar a alimentação.

**OBS:** o processo do encerramento da lavaria é contrário ao arranque.

**Descrição :**

Tremonha: o tratamento de cascalho tem início com o descarregamento de cascalho na tremonha pela pá carregadora e com auxílio do monitor manuseado por um auxiliar, devido a alta pressão da água inicia a desagregação do cascalho que é transportado para o grizli.

Grizli: o Cascalho é desagregado, as partículas e rochas com granulometria superior a 150mm que ficam na parte superior do grizli, através da vibração caem para a descarga de overzise. No caso de overzise conter presença de cascalho deve-se remover e colocar de novo na tremonha.

Lavador: As partículas com menos 150mm vão para o lavador onde continua a desagregação do cascalho e lavagem. Na parte frontal do lavador há o trommel, que separa o produto com +35mm, que vai para a correia de rejeitados, e com -35mm à +1,6mm é descarregado no crivo. O mesmo procedimento, caso haja bolas de argila ou grão no rejeitado também se aplica o retratado tal como o overzise.

Crivo: as partículas com -35mm, ainda associadas as águas e áreas de todo circuito inicial são transportadas para o crivo que por sua vez lava, separa a água e as áreas (-1.6mm) escoam para a bomba de finos, o produto (+1.6mm -35mm) constitui o grão que é descarregado na Correia.

Correia: transportadora de grão, através dela, o grão é transportado para o silo que através de camiões é evacuado para a reserva da lavaria do meio denso.

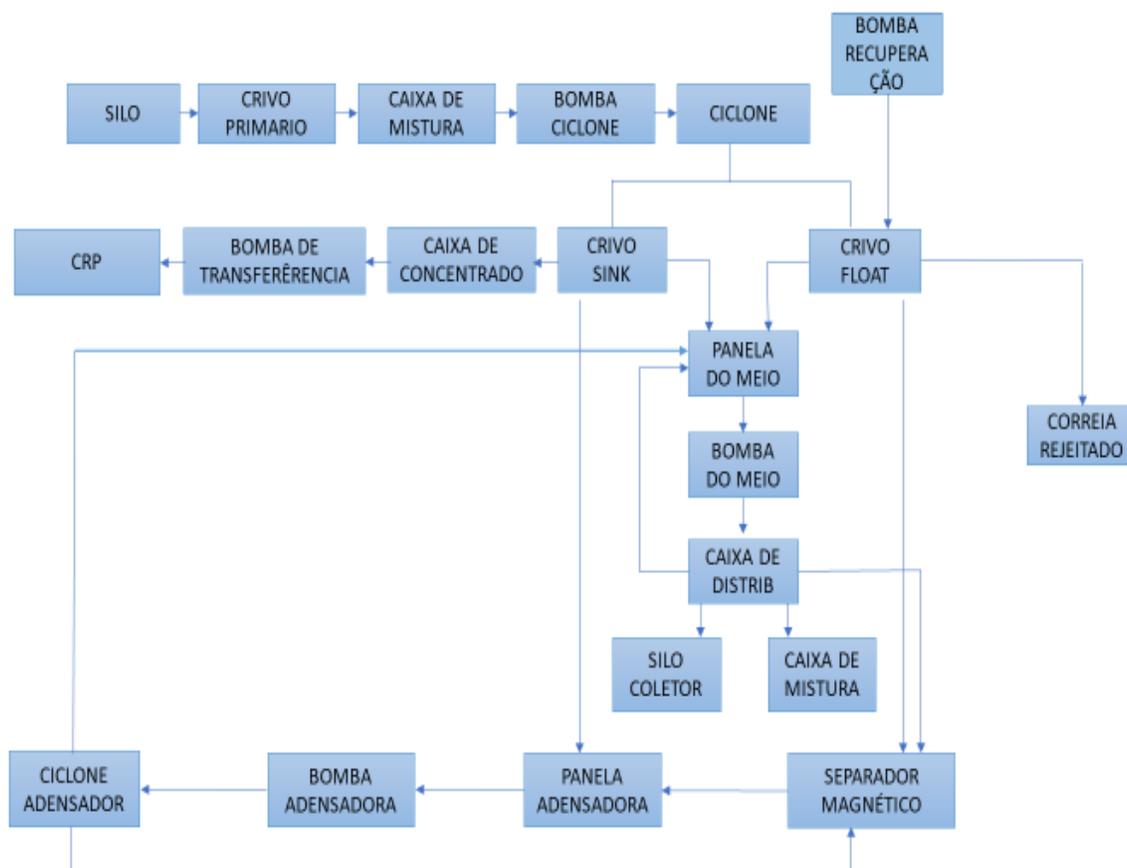
Bomba do Monitor (auxiliar): Esta bomba aumenta a pressão de água no monitor, para que a lavaria seja alimentada dentro dos parâmetros e de uma forma uniforme.

Através de uma caixa aparadora debaixo do crivo, todas as águas e finos produzidos desde o circuito inicial é evacuada através de uma tubagem por gravidade.

**Tabela 3. 3:** Tratamento de diferentes tipos de cascalho

**Fonte:** O autor(2023)

Tipos de cascalho	Características	
Calonda	Poucos grãos e muita argila	Uso de rejeitado para auxílio do tratamento do cascalho
Terraço	Muito grão e laterite	Muitas obstruções causadas pelas rochas
Lezíria	Muito grão e pouco concentrado	Muitas obstruções causadas pelo lixo



**Figura 3. 13:** Fluxograma da lavaria de meio denso

**Fonte:** O autor(2023)

O grão (-30mm, +1,6mm) é depositado no crivo de preparação através da correia de alimentação, é levado e drenado com água afim de se removerem as lamas e materiais finos. A água e os finos descarregam por gravidade para a bomba dos finos através da descarga do crivo de preparação, o produto do crivo de

preparação, devidamente preparado para alimentação, passa para a caixa de mistura onde é misturado com meio em circulação.

A mistura do grão e do meio é bombeada para o ciclone separador através da bomba do ciclone. No ciclone, a densidade de separação é feita a entrada do cone sobre altas forças centrífugas. Os materiais de densidade alta são separados para o crivo sink e os de densidade baixa para o crivo float.

O concentrado a partir do crivo sink vai para a secção de recuperação, que começa na caixa do concentrado em direcção à CRP.

O rejeitado a partir do crivo float vai a correia do rejeitado. A água proveniente das flautas, incluindo qualquer partícula com menos de 0,8mm, passam através das descargas dos crivos para o circuito do meio diluído do DMS, isto para recuperar do ferro silício.

### **Descrição**

Coreia Transportadora: através da pá carregadora o grão que vem da lavaria de pré-tratamento é alimentado no silo (tremonha) e transportado através da correia transportadora para o crivo de preparação onde é lavado. A água e areia são evacuadas pela bomba de finos e o grão por sua vez entra para a caixa de mistura.

Caixa de Mistura: aqui o grão mistura-se com o meio que já tem as densidades e nível desejáveis para que a bomba de ciclone funcione correctamente.

Bomba de Ciclone: bomba de ciclone eleva a mistura de ferro silício com grão para o ciclone. Para uma boa partição, antes do início da alimentação deve-se estabilizar o meio, atingir as densidades e pressão recomendadas.

Ciclone: o ciclone com influência da pressão da bomba de ciclone faz a separação do produto mais denso (concentrado) do menos denso (rejeitado).

Crivo Sink: o produto mais denso (concentrado) vai para o crivo sink onde é lavado, recupera-se o ferro silício e volta para o circuito do meio.

Caixa De Concentrado: a medida que a lavaria processa o grão, o concentrado vai depositando-se na caixa de concentrado até ter uma quantidade considerável para transferir para a estação de escolha. Sendo uma área de alto risco, esta caixa está dentro de um contentor, por isso para ter acesso a mesma é preciso abrir os cadeados da segurança (CSD, DGR, Segurança Industrial) e Metalurgia.

Bomba de Transferência: serve para o envio de concentrado para estação de escolha, na caixa de concentrado está conectada uma bomba que através das tubagens envia o concentrado para a estação de escolha.

Crivo Float: conforme frisamos, resultado da separação feita pelo ciclone o produto denso vai para o sink, o produto menos denso (Rejeitado) vai para o crivo float onde também é lavado e descartado através da correia transportadora de rejeitado para a escombreira.

Panela do Meio: é o dispositivo onde se prepara e circula o meio composto por água e ferro silício, o volume deste meio deve ser adequado para atingir as densidades e pressão recomendadas mantendo a panela do meio com um bom nível, sem oscilações constantes.

Bomba de circulação do Meio: a bomba que eleva o meio para a caixa de distribuição do meio.

Caixa de Distribuição do Meio: a partir desta caixa distribui-se e regula-se a quantidade ou volume do meio a direccionar para cada componente do circuito do meio denso.

Panela adensadora: todo meio diluído (contém água e ferro silício) que é gerado durante o processo de tratamento e separação vai para a panela adensadora.

Bomba Adensadora: a bomba adensadora bombeia o meio da panela adensadora para o ciclone adensador.

Ciclone Adensador: o ciclone adensador separa o meio mais denso, mando-o para a panela do meio e o meio menos denso para o separador magnético e panela adensadora.

Separador Magnético: tem a missão de recuperar todo ferro silício e mandar as águas contaminadas com finos para fora do circuito, mantendo desta forma o meio mais ou menos puro.

Bomba de drenagem: tem o objetivo fundamental de recuperação de ferro silício, grão e limpeza do pavimento da lavaria.

Arranque de uma lavaria de meio denso

- a) Bomba de água;
- b) Separador magnético;
- c) Bomba adensadora;
- d) Bomba de recuperação
- e) Correias de rejeitado
- f) Crivo float;
- g) Crivo sink;
- h) Bomba do meio (recomenda-se agitar o meio durante 10-15min).
- i) Depois colocar baypass; Bomba ciclone;
- j) Crivo primário;
- k) Correias de alimentação.

O procedimento de encerramento da lavaria é inverso ao procedimento de arranque.

### **3.3.3 Preparação do meio, controle das densidades e pressões e parâmetros do circuito do meio denso**

O meio de circulação é armazenado na panela do meio, de onde é bombeado para a caixa de mistura através da bomba de circulação do meio. A maioria do meio é misturado com o mineral e alimentado para o ciclone através da bomba do ciclone, voltando assim para a panela do meio o restante do meio, isto para manter a pressão do ciclone.

O sistema de controlo da densidade é feito mediante a caixa de distribuição, passado entre  $\frac{1}{4}$  e  $\frac{3}{4}$  de ferro silício, para a caixa do meio diluído a fim de adensar o meio em caso de a densidade estar abaixo do limite. Para o caso em que se

encontra acima dos limites, procede-se o inverso, levando assim o meio para a panela do meio de circulação.

É necessário que a pressão e a densidade estejam a níveis adequados para que não haja perda do material. Por exemplo quando há baixa de pressão ou densidade, tanto o concentrado como o rejeitado seguem ou para o crivo sink ou para o crivo float, ou seja, não é feita a separação. Nestes casos é necessário que se faça uma reconcentração do material. A reconcentração do material é feita após ajustar-se os níveis de pressão e densidade, assim como do volume do meio, o material é colocado de volta ao cilo, passando pela correia transportadora, seguindo todo o processo inicial até ao ciclone onde é feita a separação por densidade.

Os parâmetros a se ter em conta no meio denso são os níveis adequados para a densidade e pressão, para a densidade  $2550\text{kg/m}^3$  para cima e para a pressão 150 à 160Pa. A densidade do meio é corregida por adição de ferro silício ou por adição/redução de laminas.

#### **3.3.4 Funcionamento do ciclone de 400mm**

É no ciclone onde acontece a separação do grão com base na sua densidade. Ela funciona com forças centrífugas, ou seja, ela funciona em forma de remoinho, onde o material mais denso desce para o crivo sink e o menos denso para o crivo float. O ciclone está dividido em 4 partes, a curva, o vortex (onde acontece o processo de separação por densidade), a cabeça e o bico.

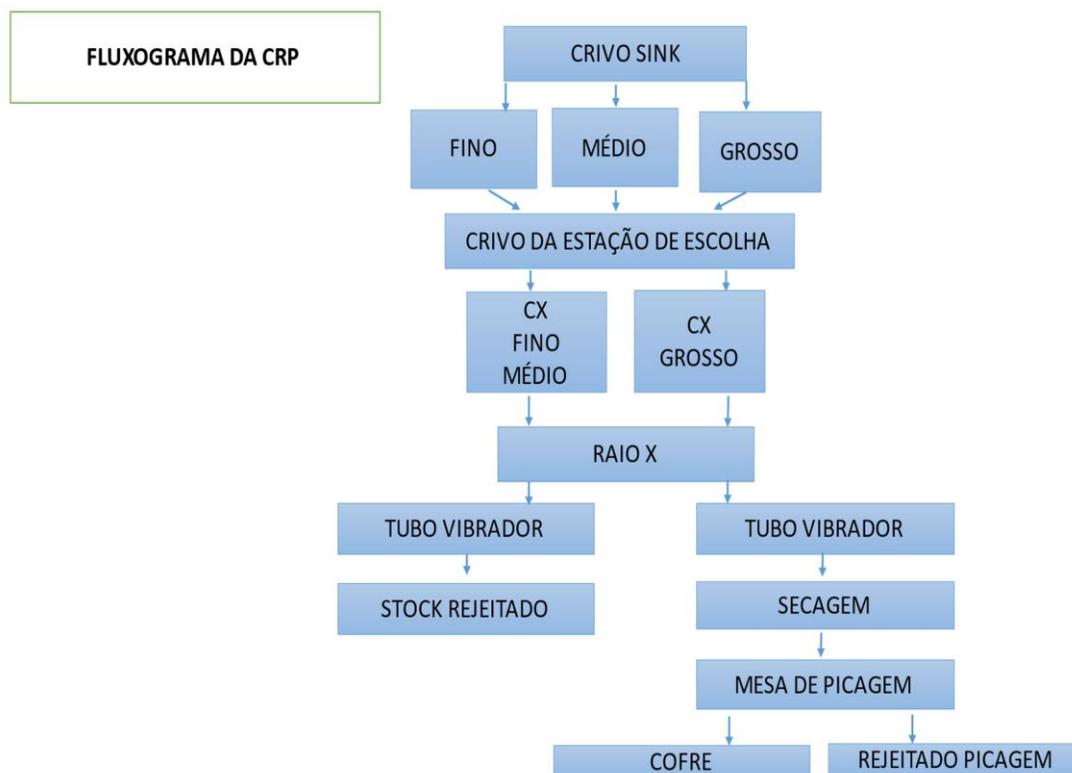
#### **3.3.5 Ensaio de cristais**

O grande objectivo dos ensaios de cristais, é medir a eficiência de separação da lavaria. Para uma boa separação temos de ter em conta o volume do meio, densidade, e pressão. Antes da realização dos ensaios de cristal, o circuito de alimentação tem de ser esterilizado, depois de alcançados os parâmetros necessários introduzem-se os cristais no circuito de alimentação do grão, isto é na caixa de mistura. Os cristais a utilizar para a realização dos testes são de 8mm 6mm 4mm e 2mm com diversas densidades. O resultado do teste com traçadores

fornece dados para a construção da curva de tromp, o ponto de corte efectivo ou densidade da separação é indicado pela densidade de 50% chamada de D50 e varia entre 3.0 a 3.15.

### 3.3.6 Dados diários das lavarias

O departamento de metalurgia, para medir o desempenho das lavarias de cada instalação elabora um relatório diário onde constam os tempos perdidos e volumes do mineiro tratado, com finalidade de obter dados estatísticos que são endereçados para a direcção de operações mineiras para auxiliar na tomada de decisões, para a correcção de possíveis desvios das metas de produção traçadas.



**Figura 3. 14:**Funcionamento da central de recuperação de diamantes (CRP)

**Fonte:**O autor(2023)

Depois do processo feito na DMS o concentrado do crivo sink é depositado em três caixas de concentrado com base na sua granulometria (GROSSO, MÉDIO E FINO). O concentrado é transferido das caixas de concentrado para o crivo da estação de escolha, o concentrado transferido pela bomba de transferência é descarregado no crivo classificador, na primeira descarga descartam-se os finos, o concentrado é classificado em 3 frações (fino, médio e grosso), onde o material fino e médio vão para uma caixa e o material grosso para outra caixa correspondente. Há também um separador magnético que separa todos os metais do concentrado.

Antes de arrancar o RX deve-se assegurar que a bomba de água que abastece o RX está em funcionamento com pressões normais, regular a sensibilidade das óticas, assegurar-se também que o crivo de secagem está pronto para receber o concentrado do raio X, ou seja, que o tubo Vibrador do concentrado, a luz (que transmite calor) e o ventilador estão ligados.

Com a força do tubo vibrador o produto diamantífero recuperado pelo RX é transportado através deste vibrador até a secagem. A secagem é um pequeno dispositivo semelhante a um crivo com uma grande capacidade calorífico, também provido de um vibrador e um ventilador que seca o concentrado e transfere na mesa de picagem.

A picagem é feita cumprindo todos os procedimentos, desde a inspeção das Luvas, registo da hora do início e fim da picagem e assinatura dos participantes no processo, isto feito pela segurança industrial, cesme e o encarregado geral da metalurgia. Todo processo é feito dentro da mesa de picagem denominada urna. Existem 2 urnas na sala da picagem, uma para concentrado fino e médio e uma para concentrado grosso. Este concentrado é levado através de um tapete manualmente conduzido pelo picador, enquanto faz a picagem. Estas urnas estão ligadas a uma bilha (vasilha), onde vai o rejeitado.

O rejeitado da picagem que cai nesta bilha (vasilha), durante a picagem há possibilidade de passagem de alguns diamantes, por isso, periodicamente este

rejeitado deve voltar a ser processado a partir do crivo. Isto também ajuda a medir a eficiência do trabalho dos picadores.

O rejeitado resultante da separação no RX através do tubo vibrador vai para uma correia transportadora. Com ajuda duma pá carregadora sempre que a descarga da correia estiver saturada remove-se o rejeitado para um espaço dentro recinto da estação de escolha protegido. Neste rejeitado acumulado durante vários tratamentos deverá merecer algum tratamento a partir da DMS para se avaliar a percentagem de recuperação do equipamento.

### **3.4 Departamento de engenharia**

O departamento de engenharia está dividido pela mecânica de lavaria e mecânica geral.

A mecânica de lavaria esta associada ao funcionamento das lavarias de pré-tratamento, meio denso e CRP.

A mecânica geral esta associada as secções de eletricidade, borracharia, serralharia, lubrificação, armazém e oficina.

A secção de eletricidade, trata de toda a parte elétrica da mina, tanto dos equipamentos, das instalações de tratamento do minério, como das instalações da base de vida.



**Figura 3. 15:**secção de eletricidade

**Fonte:** O autor(2023)

A secção de borracharia, trata da troca ou reparação dos pneus das máquinas, camiões e carros ligeiros.

A secção de serralharia é parte da oficina onde se produzem peças de metal, como grades ou outras estruturas metálicas



**Figura 3. 16:** secção de serralharia e borracharia

**Fonte:** O autor(2023)

A secção de lubrificação, trata da lubrificação dos equipamentos. A lubrificação dos camiões é feita na oficina, na área de lubrificação, já nas máquinas a lubrificação é feita em campo, através de uma máquina móvel. Esta secção está diretamente ligada à estação de serviço, pois muitas vezes antes de lubrificar deve-se fazer a lavagem da zona a ser lubrificada.



**Figura 3. 17:**secção de lubrificação e estação de serviço

**Fonte:** O autor(2023)

A secção de oficina de reparação de automóveis (SORA): é a parte competente pelas revisões, manutenções e concerto dos equipamentos da mina. A área de resolução de avarias dos equipamentos da marca volvo é feita por mecânicos da empresa fornecedora.O Armazém, é onde estão armazenados todas as peças necessárias para revisões ou substituições em casos de avarias



**Figura 3. 18:** Revisão de um equipamento dumper ;Armazém

**Fonte:**O autor(2023)

**CAPÍTULO 4 –PROPOSTA DE OPTIMIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES DE  
EXPLORAÇÃO NA MINA DO FURI**

## **4.1 Principais desafios enfrentados atualmente nas operações de exploração da mina do Furi**

Neste ponto serão abordados os principais problemas operacionais na mina do Furi e a proposta de soluções para a mitigação dos mesmos, são eles:

1. Carga e transporte
2. Distância do bloco a instalações de tratamento
3. Espessura do estéril
4. Custos de manutenção e reparação de máquinas
5. Custo de combustível e lubrificantes
6. Atolamentos ou acidentes

### **4.1.1 Carga e Transporte**

#### **4.1.1.1 Manuseamento dos equipamentos**

Para um corte numa linha de 100m usando a Buldozer os operadores fazem um arrasto de 100m, o certo seria fazer um arrasto ou dividir o corte ao meio (50m-50m) para garantir a rotatividade do equipamento.

#### **4.1.1.2 Dimensionamento inadequado dos equipamentos de carregamento e transporte**

O dimensionamento dos equipamentos de carregamento e transporte é um processo de selecção e compatibilização dos equipamentos segundo uma estratégia previamente estabelecida.

Na tabela abaixo temos a descrição dos dois principais equipamentos de carregamento usados na mina do Furi, a Escavadeira Volvo 300, e Escavadeira Volvo 350 com as suas respectivas capacidades volumétricas:

**Tabela 4. 1:** Capacidades das escavadeiras

Fonte: Mina do Furi, 2023

<b>Escavadeira</b>	<b>Capacidade volumétrica</b>
Escavadeira Volvo 300	4,5 m <sup>3</sup>
Escavadeira Volvo 350	4m <sup>3</sup>

A capacidade volumétrica do camiões Dumper usados nas frentes de lavra varia na ordem de 17-23 m<sup>3</sup>.

O dimensionamento dos equipamentos de forma inadequada ocasiona problemas na produtividade da mina ,o que tem influência nos parâmetros técnicos e económicos dos equipamentos.

Para o dimensionamento de forma adequada faz-se a análise dos parâmetros técnicos dos equipamentos de carga segundo a metodologia proposta por Pereda Polanco 1999.

Nesta etapa teve-se em conta o seguinte:

- Factor de enchimento.
- Tempo de ciclo do equipamento de carga
- Produtividade teórica.
- Produtividade técnica
- Produtividade de exploração.
- Produtividade de exploração por turno.
- Quantidade de baldes da escavadeira necessária para carregar o camião

#### **4.1.1.3 Parâmetros técnicos dos equipamentos de carga existentes na mina**

Estes cálculos foram feitos com base a situação real da mina

a) Cálculo da produtividade teórica

$$Q_{teo} = \frac{3600 \times V_b}{t_c}, m^3/h.$$

Onde:

t<sub>c</sub>: Tempo de ciclo da retroescavadeira, s.

V<sub>b</sub>: capacidade do balde da resavadeira, m<sup>3</sup>.

A capacidade do balde da resavadeira usado na mina é em média de 4,5 m<sup>3</sup>.

Para uma escavadeira, o tempo de ciclo de trabalho normalmente consiste em tempo de carregamento (TC), tempo de rotação com caçamba carregada (TRC), tempo de espera (TE) e tempo de rotação com caçamba descarregada (TRD). O ciclo só estará concluído quando a máquina estiver posicionada de forma a iniciar um novo ciclo, ou seja, pronta para iniciar o carregamento.

A duração do tempo de ciclo de uma escavadeira é igual à soma dos quatro tempos como mostra a equação :

$$T_{ciclo} = TC + TRC + TE + TRD \quad (2)$$

Dados:

$$TC = 1,5 \text{ Min}$$

$$TRC = 0,5 \text{ Min}$$

$$TE = 1,5 \text{ Min}$$

$$TRD = 0,2 \text{ Min}$$

### **Fórmula e resolução**

$$T_{ciclo} = TC + TRC + TE + TRD$$

$$T_{ciclo} = 1,5 \text{ Min} + 0,5 \text{ Min} + 1,5 \text{ Min} + 0,2 \text{ Min}$$

$$T_{ciclo} = 3,7 \text{ min}$$

$$Q_{teo} = \frac{3600 \times 4,5}{3,7} = 4378,38 \text{ m}^3/h.$$

b) Cálculo da produtividade técnica

$$Q_{tec} = \frac{Q_{teo} \times K_e}{F_e}$$

Onde:

$K_e$ : Factor de enchimento da escavadora, segundo caterpillar 2012 para rochas duras e resistentes é de 80 a 90% para este caso adoptou-se  $K_e = 0.85$ . e o factor de empolamento 1,5 ( $F_e = 1,5$ )

Dados

$$K_e = 0,85$$

$$F_e = 1,5$$

$$Q_{teo} = 4378,38 \text{ m}^3/h$$

Resolução

$$Q_{tec} = \frac{4378,38 \times 0,85}{1,5}$$

$$Q_{tec} = 2481,08 \text{ m}^3/h$$

c) Cálculo da produtividade de exploração

$$Q_{exp} = Q_{tec} \times CU$$

Onde:

CU : Coeficiente de utilização; (CU= 0.90)

Dados

$$Q_{tec} = 2481,08 \text{ m}^3/h$$

$$CU = 0,90$$

Resolução

$$Q_{exp} = 2481,08 \times 0,90$$

$$Q_{exp} = 2232,97 \text{ m}^3/h$$

d) Cálculo da produtividade de exploração por turno

$$Q_{expT} = Q_{exp} \times T_t$$

Onde:

T<sub>t</sub> : tempo de trabalho por turno (8 h)

Dados

$T_t = 8 \text{ h}$

$Q_{exp} = 2232,97 \text{ m}^3/\text{h}$

$Q_{exp.T} = ?$

Resolução

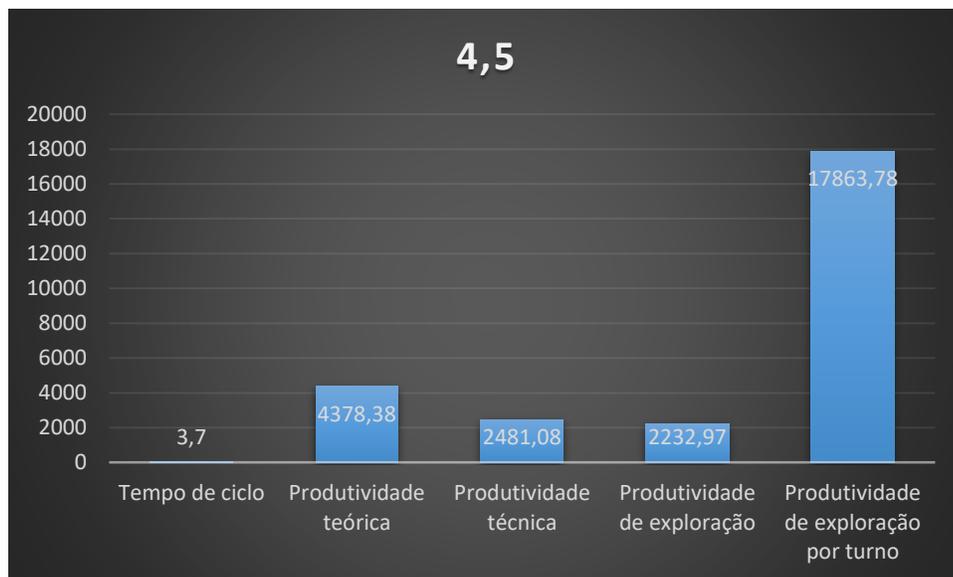
$Q_{expT} = 2232,97 \times 8$

$Q_{expT} = 17863,78 \text{ m}^3/\text{turno}$

**Tabela 4. 2:** Parametros dos equipamentos de carga

**Fonte:** Mina do Furi, 2023

Parâmetro	Unidades	Valor
Capacidade volumétrica do balde	$\text{m}^3$	4,5
Tempo de ciclo	min	3,7
Produtividade teórica	$\text{m}^3/\text{h}$	4378,38
Produtividade técnica	$\text{m}^3/\text{h}$	2481,08
Produtividade de exploração	$\text{m}^3/\text{h}$	2232,97
Produtividade de exploração por turno	$\text{m}^3/\text{turno}$	17863,78



**Gráfico 4. 1:** Parametros dos equipamentos de carga

**Fonte:**Mina do Furi,2023

#### 4.1.1.4 Nova determinação dos parâmetros técnicos dos equipamentos de carga

Segundo Silva 2009, o número de baldes recomendável para encher a caçamba do camião varia de 3 a 5.

Neste sentido considerando  $23 \text{ m}^3$  a capacidade geométrica dos camiões Dumpers, implica dizer que a capacidade geométrica das escavadeiras é 3 a 5 vezes menor que a capacidade geométricas dos camiões dumpers, neste caso vamos considerar  $v_b = 23 / 5 = 5,75 \text{ m}^3$ .

a) Cálculo da produtividade teórica

$$Q_{teo} = \frac{3600 \times V_b}{t_c}, \text{ m}^3/\text{h}.$$

$$Q_{teo} = \frac{3600 \times 5,75}{3,7} = 5594,59 \text{ m}^3/\text{h}.$$

b) Cálculo da produtividade técnica

$$Q_{tec} = \frac{Q_{teo} \times K_e}{F_e}$$

Dados

$$K_e = 0,85$$

$$F_e = 1,5$$

$$Q_{teo} = 5594,59 \text{ m}^3/h$$

Resolução

$$Q_{tec} = \frac{5594,59 \times 0,85}{1,5}$$

$$Q_{tec} = 31170,27 \text{ m}^3/h$$

c) Cálculo da produtividade de exploração

$$Q_{exp} = Q_{tec} \times CU$$

Dados

$$Q_{tec} = 31170,27 \text{ m}^3/h$$

$$CU = 0,90$$

Resolução

$$Q_{exp} = 31170,27 \times 0,90$$

$$Q_{exp} = 2853,24 \text{ m}^3/h$$

d) Cálculo da produtividade de exploração por turno

$$Q_{expT} = Q_{exp} \times T_t$$

Onde:

$T_t$  : tempo de trabalho por turno (8 h)

Dados

$$T_t = 8 \text{ h}$$

$$Q_{exp} = 2853,24 \text{ m}^3/h$$

$Q_{exp.T}=?$

Resolução

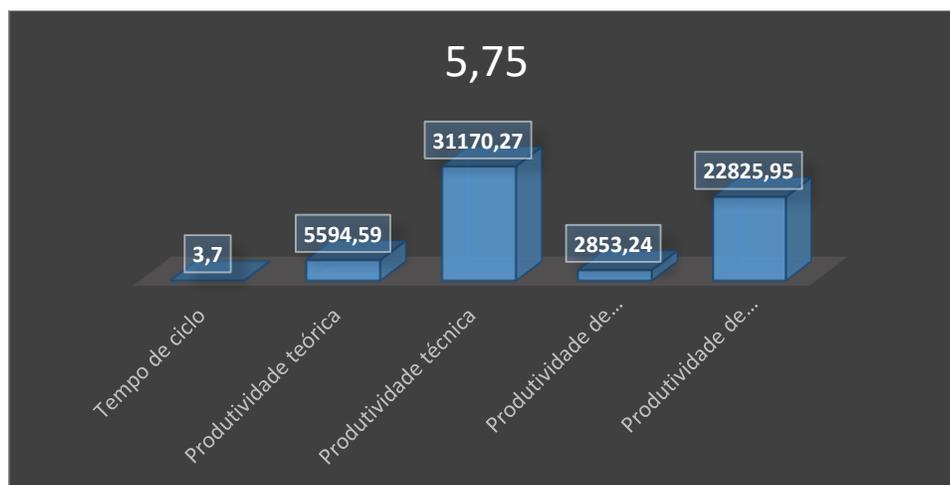
$Q_{expT}=2853,24 \times 8$

$Q_{expT} = 22825,95 \text{ m}^3/\text{turno}$

**Tabela 4. 3:** Parametros dos equipamentos de carga

Fonte: Mina do Furi, 2023

Parâmetro	Unidades	Valor
Capacidade volumétrica do balde	$\text{m}^3$	5,75
Tempo de ciclo	min	3,7
Produtividade teórica	$\text{m}^3/\text{h}$	5594,59
Produtividade técnica	$\text{m}^3/\text{h}$	31170,27
Produtividade de exploração	$\text{m}^3/\text{h}$	2853,24
Produtividade de exploração por turno	$\text{m}^3/\text{turno}$	22825,95



**Gráfico 4. 2:** Parametros dos equipamentos de carga

**OBS:** É notável ver que com uma retroescavadeira com caçamba de 5,75m<sup>3</sup> obtém-se maior produtividade conforme se pode verificar na tabela abaixo

**Tabela 4. 4:** Comparação dos parametros dos equipamentos de carga

**Fonte:**Mina do Furi,2023

ID	Parâmetros	TIPO DE ESCAVADEIRA	
		Escavadeira com vb=4,5m <sup>3</sup>	Escavadeira com vb=5,75m <sup>3</sup>
1	Tempo de ciclo,min	3,7	3,7
2	Produtividade teórica da escavadeira , m <sup>3</sup> /h	4378,38	5594,59
3	Produtividade técnica da retroescavadeira, m <sup>3</sup> /h	2481,08	31170,27
4	Produtividade de exploração da escavadeira, m <sup>3</sup> /h	2232,97	2853,24
5	Produtividade de exploração da escavadeira por turno, m <sup>3</sup> /turno	17863,78	22825,95

#### **4.1.2 Influência da distância do bloco até instalações de tratamento na produtividade da mina**

A distância entre a frente de trabalho MB 150 e a lavaria é de aproximadamente 12km e afeta o ritmo de produção e a produtividade da mina de forma significativa. Algumas das influências incluem:

- Tempo de transporte: Quanto maior a distância entre a frente de trabalho e a lavaria, maior será o tempo necessário para transportar o minério até o local de processamento. Isso tem resultado em atrasos na produção.
- Logística de transporte: Uma maior distância pode requerer sistemas de transporte mais complexos e eficientes para garantir que o minério chegue à lavaria de forma rápida e segura.
- Custos operacionais: O transporte de minério por distâncias maiores tem aumentado os custos operacionais da mina devido ao consumo adicional de combustível e desgaste de equipamentos.
- Nível de produtividade: A eficiência na lavaria tem sido influenciada pela quantidade de minério processado em um determinado período de tempo, e a distância tem limitado essa produtividade

Para minimizar o impacto da distância entre a frente de trabalho e a lavaria e solucionar esse problema, apresentamos as seguintes estratégias:

- Planejamento eficiente: Realizar um planejamento cuidadoso das operações para otimizar o fluxo de produção, reduzindo ao máximo a distância percorrida pelo minério até a lavaria.
- Avaliação da logística: Analisar a infraestrutura de transporte existente e identificar possíveis pontos de melhoria para garantir um fluxo eficiente do minério até a lavaria.
- Localização estratégica da lavaria: Se possível, considerar a possibilidade de posicionar a lavaria de forma estratégica, reduzindo a distância percorrida pelo minério e melhorando a logística geral da mina.

- Utilização de tecnologia avançada: Incorporar tecnologias avançadas de monitoramento e controle para otimizar a gestão do transporte, garantindo um fluxo mais eficiente de material.
- Capacitação da equipe: Treinar a equipe para lidar com os desafios decorrentes da distância e incentivar a adoção de boas práticas de trabalho para minimizar os impactos na produtividade.
- Manutenção adequada: Garantir que os equipamentos de transporte estejam bem mantidos para evitar paralisações e atrasos no processo.
- Monitoramento e análise de dados: Coletar dados sobre o transporte do minério e a produtividade da lavaria para realizar análises regulares e identificar oportunidades de melhoria contínua.

#### **4.1.3 Influência da Espessura do estéril na produtividade da mina**

A espessura do estéril na exploração mineral pode afetar os custos de diversas maneiras. Quanto mais espesso for o estéril (material sem valor econômico que precisa ser removido para acessar o minério), maior será a quantidade de material que a empresa de mineração precisará mover e descartar. Isso implica em custos adicionais de escavação, transporte e disposição do estéril em áreas adequadas.

Além disso, quanto mais espesso for o estéril, maior será o tempo necessário para remover essa camada e atingir o minério, o que pode aumentar os custos operacionais e prolongar o período de extração. Por outro lado, estéreis mais finos permitem acesso mais rápido ao minério, o que pode resultar em uma produção mais eficiente e menor tempo de extração.

Portanto, a espessura do estéril é um fator importante a ser considerado pelas empresas de mineração, pois pode influenciar significativamente os custos operacionais e a viabilidade econômica do empreendimento.

#### **4.1.4 Influência dos custos de manutenção e reparação de máquinas na produtividade da mina**

Os custos de manutenção e reparação de máquinas têm um impacto significativo na produção da mina da seguinte forma:

- **Paradas não programadas:** Os equipamentos apresentarem falhas frequentes e exigirem reparos não planejados, a produção tem sido interrompida, resultando em tempo de inatividade. Isso pode levar a atrasos na extração do minério e na movimentação de materiais, afetando negativamente a produtividade da mina.
- **Redução da eficiência:** Máquinas mal conservadas ou desgastadas tendem a operar com menor eficiência. Isso pode resultar em menor rendimento por hora de trabalho, pois os equipamentos podem levar mais tempo para realizar as tarefas, o que diminui a produção geral da mina
- **Aumento dos custos operacionais:** À medida que os equipamentos envelhecem ou sofrem desgaste, os custos de manutenção e reparação aumentam. A necessidade de substituir peças frequentemente ou realizar reparos complexos pode elevar os gastos operacionais da mina.
- **Segurança:** Equipamentos mal conservados também podem representar riscos de segurança para os trabalhadores da mina. Paradas inesperadas devido a falhas mecânicas podem colocar as pessoas em situações perigosas, impactando a segurança geral da operação.

Para mitigar esses impactos, temos como proposta a implementação uma gestão de manutenção adequada, realizar inspeções regulares nos equipamentos, seguir os cronogramas de manutenção preventiva e investir em treinamento adequado para os operadores de máquinas. Além disso, a adoção de tecnologias de monitoramento em tempo real pode ajudar a identificar problemas potenciais antes que eles se tornem falhas graves, reduzindo o tempo de inatividade e melhorando a eficiência operacional da mina.

#### **4.1.5 Influência dos custo de combustível e lubrificantes na produtividade da mina**

Os custos de combustível e lubrificantes têm um impacto significativo nos custos de exploração da mina. A mineração é uma atividade altamente intensiva em energia, e o uso de equipamentos pesados, como caminhões, escavadoras e máquinas de perfuração, requer grandes quantidades de combustível para operar.

À medida que os preços do combustível aumentam, os custos operacionais da mineração também aumentam, uma vez que a empresa precisa gastar mais para abastecer sua frota de equipamentos..

Quanto aos lubrificantes, eles são essenciais para garantir o bom funcionamento e a vida útil dos equipamentos de mineração. O uso contínuo dos equipamentos causa desgaste, e a lubrificação adequada é necessária para evitar falhas mecânicas e reparos frequentes. A falta de lubrificação adequada pode levar a paradas não programadas, o que aumenta os custos de manutenção e reduz a eficiência da operação.

Para minimizar os custos relacionados a combustível e lubrificantes, a mina terá de implementar práticas eficientes de gestão de energia, adotar tecnologias mais sustentáveis e investir em equipamentos modernos e com maior eficiência energética. Além disso, a busca por fontes de energia alternativas e a otimização das rotas de transporte também são estratégias adotadas para reduzir os custos operacionais na exploração mineira.

#### **4.1.6 Influência dos Atolamentos ou acidentes na produtividade da mina**

Os atolamentos ou acidentes na mina têm um impacto significativo na produção da mesma. Aqui estão algumas maneiras pelas quais esses eventos têm influenciado a produção:

- Interrupção da produção: Quando ocorre um atolamento ou acidente, a produção pode ser interrompida temporariamente ou até mesmo por um

longo período, dependendo da gravidade do incidente. Isso pode levar a atrasos na extração do minério e na movimentação de materiais, diminuindo a produtividade geral da mina.

- Aumento dos custos operacionais: Os atolamentos ou acidentes podem resultar em danos aos equipamentos e instalações da mina, exigindo reparos e substituições que aumentam os custos operacionais. Além disso, pode ser necessário contratar pessoal adicional ou recorrer a serviços especializados para lidar com a situação, o que também gera custos adicionais.
- Impacto na segurança: Acidentes em uma mina podem colocar em risco a saúde e a segurança dos trabalhadores. Isso pode resultar em lesões ou até mesmo fatalidades, causando sofrimento humano e potencialmente gerando paralisações nas operações enquanto as investigações são realizadas e as medidas de segurança são reforçadas.

Para minimizar a influência negativa dos atolamentos ou acidentes na produção da mina, as empresas devem investir em treinamento adequado para os funcionários, implementar medidas de segurança robustas, realizar inspeções regulares de equipamentos e instalações, e promover uma cultura de segurança e prevenção de acidentes. Além disso, é importante ter planos de contingência e resposta a emergências bem definidos para lidar efetivamente com situações imprevistas. A prevenção e a gestão eficiente dos riscos são essenciais para garantir a segurança dos trabalhadores e a continuidade das operações de mineração.

#### **4.1.7 Influência do uso inadequado dos equipamentos na produtividade da mina**

O uso inadequado dos equipamentos na exploração pode originar custos de diversas formas, algumas delas incluem:

- Danos aos equipamentos: Quando os equipamentos são utilizados de forma inadequada, seja por operação incorreta ou negligência, eles podem sofrer danos

ou desgaste prematuro. Isso resulta em custos adicionais para reparos, substituição de peças e manutenção corretiva, afetando os gastos operacionais da mina.

- Aumento do consumo de combustível e lubrificantes: O uso inadequado dos equipamentos pode levar ao aumento do consumo de combustível e lubrificantes.
- Maior necessidade de manutenção: Equipamentos mal utilizados tendem a requerer manutenção mais frequente. O uso inadequado pode acelerar o desgaste de peças e componentes, levando à necessidade de reparos ou substituições mais frequentes, o que aumenta os custos de manutenção.
- Tempo de inatividade não planejado: O uso inadequado dos equipamentos pode resultar em avarias e falhas, levando a paradas não planejadas para reparos. Essas paradas interrompem a produção, resultando em perda de tempo produtivo e, conseqüentemente, em custos indiretos.
- Riscos de segurança: O uso inadequado dos equipamentos pode representar riscos de segurança para os operadores e outros trabalhadores da mina. Acidentes causados por práticas inadequadas podem resultar em ferimentos ou até mesmo fatalidades, gerando custos relacionados a indenizações, processos legais e custos médicos.

Para evitar esses custos adicionais decorrentes do uso inadequado dos equipamentos, é fundamental fornecer treinamento adequado aos operadores, implementar práticas de manutenção preventiva, supervisionar o uso correto dos equipamentos e promover uma cultura de segurança e responsabilidade na operação da mina. Investir na capacitação dos funcionários e na conscientização sobre a importância do uso correto dos equipamentos pode ajudar a reduzir os custos operacionais e melhorar a eficiência da exploração mineral.

## **CONCLUSÕES**

Com a realização deste estudo, foi possível compreender melhor as características geológicas e técnicas da mina do Furi, assim como identificar os principais desafios enfrentados nas operações de exploração. Através de uma abordagem estratégica e focada nas peculiaridades da mina, foram propostas soluções que têm o potencial de aumentar significativamente a eficiência operacional e reduzir os custos.

A pesquisa identificou e analisou minuciosamente os desafios operacionais enfrentados na Mina do Furi, incluindo ineficiências no transporte, altos custos de combustível, problemas de manutenção de máquinas e questões de segurança no local de trabalho.

Com base nas peculiaridades da mina do Furi, foram propostas estratégias específicas, como a melhor compatibilização entre os equipamentos de carregamento e transporte, o planejamento eficiente do transporte, a gestão de energia sustentável, a manutenção adequada de máquinas, medidas de segurança no local de trabalho e treinamento de operadores.

Cada uma das estratégias propostas foi avaliada quanto à sua viabilidade e ao impacto potencial nas operações de exploração mineira na mina do Furi. Essa avaliação destacou como essas estratégias podem melhorar o desempenho operacional e reduzir os custos.

A implementação cuidadosa das estratégias apresentadas neste trabalho será fundamental para se alcançar uma melhoria sustentável no desempenho operacional da mina, beneficiando tanto a empresa quanto o ambiente de trabalho.

## **RECOMENDAÇÕES**

Após diversas análises e estudos feitos na Mina do Furi, bem como no desenvolvimento do trabalho tem-se as seguintes recomendações:

1. Considerar o planejamento adequado do transporte, a adoção de tecnologias eficientes e a implementação de estratégias logísticas que minimizem o impacto da distância entre a frente de trabalho e a lavaria.
2. Dimensionar ou compatibilizar corretamente os equipamentos de carregamento e transporte de modo a maximizar o ritmo de produção da mina.
3. Para minimizar os custos relacionados a combustível e lubrificantes, as empresas de mineração buscam implementar práticas eficientes de gestão de energia, adotar tecnologias mais sustentáveis e investir em equipamentos modernos e com maior eficiência energética. Além disso, a busca por fontes de energia alternativas e a otimização das rotas de transporte também são estratégias adotadas para reduzir os custos operacionais na exploração mineira.
4. Para mitigar o impacto custos de manutenção e reparação de máquinas na produtividade da mina as empresas de mineração devem implementar uma gestão de manutenção adequada, realizar inspeções regulares nos equipamentos, seguir os cronogramas de manutenção preventiva e investir em treinamento adequado para os operadores de máquinas. Além disso, a adoção de tecnologias de monitoramento em tempo real pode ajudar a identificar problemas potenciais antes que eles se tornem falhas graves, reduzindo o tempo de inatividade e melhorando a eficiência operacional da mina.
5. Para minimizar a influência negativa dos atolamentos ou acidentes na produção da mina, as empresas devem investir em treinamento adequado para os funcionários, implementar medidas de segurança robustas, realizar inspeções regulares de equipamentos e instalações, e promover uma cultura de segurança e prevenção de acidentes. Além disso, é importante ter planos de contingência e resposta a emergências bem definidos para lidar efetivamente com situações

imprevistas. A prevenção e a gestão eficiente dos riscos são essenciais para garantir a segurança dos trabalhadores e a continuidade das operações de mineração.

6. Para evitar os custos adicionais decorrentes do uso inadequado dos equipamentos, é fundamental fornecer treinamento adequado aos operadores, implementar práticas de manutenção preventiva, supervisionar o uso correto dos equipamentos e promover uma cultura de segurança e responsabilidade na operação da mina. Investir na capacitação dos funcionários e na conscientização sobre a importância do uso correto dos equipamentos pode ajudar a reduzir os custos operacionais e melhorar a eficiência da exploração mineral.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRÃO, P. C; OLIVEIRA, S. L. Geologia de Engenharia: Mineração. 1. ed. São Paulo: ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p 431-438.
2. A. Singh, S. Jayaraman, and G. Bhaskar. (2019). "An Integrated Approach for Energy Efficiency Optimization of Copper Flotation Process." *Journal of Cleaner Production*, vol. 211.
3. AHIPAR – Administração da Hidrovia do Paraguai, 2013
4. C. Newman, R. Valery, and M. Kermani. (2017). "Evaluating and Optimizing Water and Energy Footprints of Mining." *Minerals Engineering*, vol. 112.
5. CALAES, G. D. Planejamento Estratégico, Competitividade e Sustentabilidade na Indústria Mineral: Dois casos de não Metálicos no Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: CETEM/MCT/CNPq, 2006. 242 p.
6. CATERPILLAR - Catálogo: "*Electric Rope Shovel*" - 7495HF, disponível em Caterpillar Brasil: <http://brasil.cat.com/>. Acesso em 19 de Julho de 2013 a.
7. CITIZENS COAL COUNCIL - "*Strip Mining*" (Lavra em Tiras), disponível em Citizens Coal Council: <http://www.citizenscoalcouncil.org/>. Acesso em 20 de Julho de 2013.
8. DAMASCENO, C. S. R. Modelagem Geológica e Geomecânica 3D e Análises de Estabilidade 2D dos Taludes da Mina de Morro da Mina, Conselheiro Lafaiete, MG, Brasil. Rio de Janeiro, 2008. 156 p.
9. E. Topal, A. Benzer, and H. Aykul. (2018). "Optimization of Underground Mining Complexes with Multiple Resources and Products: A Genetic Algorithm Approach." *Journal of Cleaner Production*, vol. 187.
10. GIRODO, A. C. Mineração: Projeto Apa Sul RMBH – Estudos do Meio Físico. v. 2. Belo Horizonte, 2005. 168 p.

11. HERRMANN, H. et al. Código de Mineração de “A” a “Z”. 2. ed. Campinas, São Paulo: Millennium, 2010. 327 p.
12. IBRAM (INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO). Elementos Básicos de um Projeto de Mineração. Belo Horizonte, nov/1981. 28 p.
13. J. Scott, M. Newman, S. Hustrulid, P. Knights, and M. Barbosa. (2018). "A New Mixed Integer Linear Programming Formulation for Optimising Open Pit Short-Term Production Scheduling." Proceedings of the 28th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection.
14. MACÊDO, A. B. *et al.* Seleção do Método de Lavra: Arte e Ciência. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v.54, n.3, jul./set 2001. Não Paginada.
15. QUEVEDO, J. M. G. Modelo de Simulação para o Sistema de Carregamento e Transporte em Mina a Céu Aberto. Rio de Janeiro, 2009. 133 p.
16. REDAELLI, L. L.; CERELLO, L. Geologia de Engenharia: Escavações. 1. ed. São Paulo: ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p 311-330.
17. RICARDO, H. S; CATALANI, G. Manual Prático de Escavação: Terraplenagem e Escavação de Rocha. 3. ed. São Paulo: PINI, 2007. 656 p.
18. S. Li, L. Meng, and Y. Zhang. (2020). "Particle Swarm Optimization for Open-Pit Mine Truck Dispatching with Time Windows." Resources Policy, vol. 68.
19. S. Dimitrakopoulos, R. Farahmandpour, and D. A. Edmonds. (2019). "Strategic Mine Planning Optimization: A Review of the Current State of the Art, Emerging Trends and Future Directions." Resources Policy, vol. 60.