



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS**



**YGOR REIS RIBEIRO**

**ANÁLISE DE PERDAS DE PRODUTIVIDADE DE CARREGAMENTO DE UMA  
MINA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO**

**Ouro Preto 2025**

**YGOR REIS RIBEIRO**

**ANÁLISE DE PERDAS DE PRODUTIVIDADE DE CARREGAMENTO DE UMA  
MINA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Minas.

Orientadora: Prof. Dra. Janine Rodrigues Figueiredo

**Ouro Preto 2025**



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Ygor Reis Ribeiro**

### **ANÁLISE DE PERDA DE PRODUTIVIDADE DE CARREGAMENTO DE UMA MINA DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Minas da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas

Aprovada em 28 de agosto de 2025

#### Membros da banca

Dr.<sup>a</sup> Janine Rodrigues Figueiredo - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto  
Dr. Hernani Mota de Lima - Universidade Federal de Ouro Preto  
Eng.<sup>o</sup> de Minas Fabiano Veloso Ferreira - Universidade Federal de Ouro Preto

Janine Rodrigues Figueiredo orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 10/09/2025.

Como a Professora Janine Rodrigues Figueiredo, não faz parte mais do quadro de professores do DEMIN/EM/UFOP, este documento vai assinado pelo professor responsável pela disciplina MIN 492, Prof. José Fernando Miranda.



Documento assinado eletronicamente por **Jose Fernando Miranda, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/09/2025, às 09:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0976160** e o código CRC **DBD5DB1B**.

## **Agradecimentos**

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, José Geraldo e Lúcia Reis, por serem exemplos de trabalho, dedicação e honestidade. Sou imensamente grato por todo o suporte oferecido ao longo desses anos de graduação, o que foi fundamental para que eu pudesse alcançar meu objetivo. Ao meu irmão Yago, por todo o companheirismo, apoio e incentivo nos momentos mais desafiadores.

À minha companheira Maria Teresa, por compartilhar essa jornada comigo, me apoiar em cada etapa e sempre me incentivar a buscar meus objetivos com determinação. Aos amigos do curso, em especial: Mateus Filipe, Leonardo José, Victor Gabriel, Lucas Rocha, pela convivência, apoio mútuo e pelas inúmeras trocas de aprendizado ao longo da graduação. Aos amigos de Ouro Preto: Felipe Ferreira, Samuel Reis e Samuel Victor, por toda a amizade e parceria nesse período tão marcante da minha vida.

À CSN Mineração, por abrir as portas para a realização do meu estágio e à gerência de Operação de Mina, pela oportunidade de aprendizado. À Samarco Mineração e à equipe da Gerência de Engenharia de Processos e Automação, por me proporcionarem experiências valiosas que me permitiram aplicar a teoria na prática e crescer tanto pessoal quanto profissionalmente.

À gloriosa Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), ao Departamento de Engenharia de Minas (DEMIN), seus professores, técnicos, auxiliares e demais funcionários, minha gratidão por todo o conhecimento compartilhado e pelo ambiente de aprendizado proporcionado.

À minha orientadora, Janine Rodrigues, agradeço pela paciência, orientações e por toda a troca de conhecimento ao longo deste trabalho.

E, finalmente, a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para minha formação pessoal e profissional, deixo aqui meu profundo agradecimento.

## Resumo

A produtividade de uma mina está diretamente relacionada à eficiência de suas operações e à qualidade da gestão. Entre as operações unitárias de lavra, a etapa de carregamento exerce papel fundamental no cumprimento das metas de produção e no desempenho geral da lavra. Este trabalho apresenta uma análise detalhada da operação de carregamento em uma mina a céu aberto do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais, com o objetivo de identificar as principais causas de perda de produtividade. Analisou-se uma frota de carregamento composta por nove escavadeiras - quatro Caterpillar PC6060 e cinco Komatsu ES5500, além de 64 caminhões fora de estrada Caterpillar 793D e 793F. O período analisado foi de janeiro a julho de 2024, considerando indicadores-chave de desempenho, como disponibilidade física, horas efetivamente operadas e horas improdutivas, estas últimas foram classificadas em três grupos: clima, mina e pessoa, onde o grupo mina foi o que mais impactou nas perdas com um total de 8,338 horas. Com base nos resultados, foram propostas ações corretivas e sugestões de melhoria voltadas à redução das horas improdutivas e ao aumento da eficiência operacional. Conclui-se que a análise sistemática de perdas de produtividade é essencial para a melhoria contínua das operações de mina, garantindo eficiência e a viabilidade econômica contínua das atividades.

**Palavras-chave:** Produtividade Operacional, Mineração a Céu Aberto, Indicadores-Chave de Desempenho; Gestão de Mina.

## **Abstract**

The productivity of a mine is directly related to the efficiency of its operations and the quality of its management. Among the unit mining operations, the loading stage plays a key role in meeting production targets and in the overall performance of the mining process. This study presents a detailed analysis of the loading operation at an open-pit mine in the Quadrilátero Ferrífero region of Minas Gerais, with the objective of identifying the main causes of productivity loss. The analysis focused on a loading fleet consisting of nine excavators four Caterpillar PC6060 and five Komatsu ES5500 as well as 64 off-highway trucks, Caterpillar 793D and 793F models. The study period covered January to July 2024, considering key performance indicators such as physical availability, effective operating hours, and unproductive hours. The latter were classified into three categories: weather, mine, and personnel, with the mine-related category having the greatest impact on losses, totaling 8,338 hours. Based on the findings, corrective actions and improvement suggestions were proposed to reduce unproductive hours and enhance operational efficiency. The study concludes that a systematic analysis of productivity losses is essential for the continuous improvement of mining operations, ensuring efficiency and the ongoing economic viability of activities.

**Keywords:** Operational Productivity; Open-pit Mining; Key Performance Indicators; Mine Management.

## Lista de Figuras

Figura 1 - Desmonte com explosivos	15
Figura 2 - Carregamento	16
Figura 3 - Carregamento Pá Carregadeira	17
Figura 4 - Escavadeira Shovel Hidráulica Modelo Cat6060	18
Figura 5 - Ciclo de carregamento	19
Figura 6 - Caminhão fora de estrada	20
Figura 7 - Ciclo de transporte caminhão	21
Figura 8 - Sistema de Despacho Informação de status	26
Figura 9 - Caminhão Caterpillar 793	27
Figura 10 - Caterpillar PC6060	28
Figura 11 - Komatsu ES5500	29
Figura 12 - Horas improdutivas por mês	32
Figura 13 - Pluviometria de 2024 na localidade da mina	33
Figura 14 - Horas improdutivas (Janeiro)	34
Figura 15 - Horas improdutivas (Clima)	34
Figura 16 - Horas improdutivas (Fevereiro)	35
Figura 17 - Horas improdutivas (Mina)	36
Figura 18 - Horas improdutivas (Março)	36
Figura 19 - Horas improdutivas (Mina)	37
Figura 20 - Gráfico de Pareto	38

## **Lista de Tabela**

Tabela 1 - Disponibilidade Física mensal 2024

31

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Capex - *Capital expenditure*

DF - Disponibilidade Física

HC - Horas Calendário

HD - Horas Disponíveis

HO - Horas Operando

HI - Horas Improdutivas

KPI - *Key Performance Indicator*

ROM - *Run Of Mine*

Opex - *Operational Expenditure*

HMC - Horas de Manutenção Corretiva

HMP - Horas de Manutenção Preventiva

TCLD - Transportador de Correia de Longa Distância

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	11
2	OBJETIVOS .....	13
2.1	Objetivos Gerais .....	13
2.2	Objetivos específicos .....	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	14
3.1	Operações Mineiras .....	14
3.1.1	Desmonte de Rochas.....	14
3.1.2	Desmonte Mecânico .....	14
3.1.3	Desmonte por Explosivos .....	15
3.2	CARREGAMENTO.....	16
3.2.1	Pás Carregadeiras .....	17
3.2.2	Escavadeiras .....	18
3.3	TRANSPORTE.....	20
3.4	INDICADORES CHAVE DE DESEMPENHO (KPIs) .....	22
3.4.1	Disponibilidade Física .....	22
3.4.2	Horas Calendário.....	22
3.4.3	Horas improdutivas .....	23
3.4.4	Produtividade.....	23
4	Perfil de perdas .....	23
4.1.1	Sistema de Despacho.....	25
5	Metodologia.....	27
5.1	Descrição do caso de estudo .....	27
5.2	Coleta de dados operacionais .....	29
5.3	Quantificação das Perdas .....	30
6	Resultado e discussões .....	31
	Disponibilidade Física (DF) .....	31
6.1		31
6.2	Horas Improdutivas (HI).....	32
7	Recomendações .....	39
8	Conclusões .....	41
9	Referências Biográficas .....	42

## 1 INTRODUÇÃO

A mineração constitui fonte de geração de recursos econômicos através da exploração de matérias-primas essenciais, e desempenha um papel estratégico no desenvolvimento industrial, tecnológico e socioeconômico nas localidades onde estão presentes. Apesar de sua importância para o progresso da humanidade, essa atividade demanda elevados investimentos de capital para que as operações de lavra possam atingir sua plena capacidade operacional.

Neste cenário, torna-se necessário a otimização contínua dos recursos e processos operacionais, considerando as diretrizes de saúde, sustentabilidade e, sobretudo, segurança. Para garantir um desempenho operacional satisfatório e assegurar a confiabilidade das atividades, é imprescindível a implementação de um controle rigoroso e sistematizado das operações unitárias de lavra. Esse controle é essencial para assegurar a eficiência das atividades e a aderência ao planejamento de mina.

As operações unitárias de lavra consistem nas operações unitárias de perfuração, desmonte, carregamento e transporte do minério. O carregamento é realizado, em geral, por escavadeiras e/ou pás carregadeiras, enquanto o transporte pode ser feito por caminhões ou por sistemas de correias transportadoras de longa distância (TCLD), cujo objetivo é transportar o minério extraído da frente de lavra (*Run of Mine – ROM*) até as usinas de tratamento, onde será beneficiado e transformado em produto final.

Durante as operações unitárias, podem ocorrer perda de produtividade, que podem impactar significativamente o desempenho das operações subsequentes do processo. Um desmonte mal executado com a geração de grandes blocos, por exemplo, pode dificultar o carregamento, o transporte e a alimentação das usinas. Além disso, perdas podem ocorrer decorrentes de ineficiências operacionais, limitações no acesso, obras na mina, condições climáticas adversas, entre outros fatores. A identificação e correção desses aspectos são fundamentais para evitar interrupções no fluxo contínuo das operações, além de contribuir para redução de custos operacionais para a viabilidade econômica do empreendimento.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo identificar as principais perdas de produtividade associadas às operações de carregamento em uma mina de minério de ferro. Através da coleta, tratamento e análise de dados operacionais, foram identificadas as principais causas de perda, relacionadas a fatores climáticos, condições da mina e aspectos ligados ao desempenho pessoal. A partir desses dados, determinou-se o tempo efetivo de operação dos equipamentos de carregamento em relação às horas disponíveis, possibilitando a elaboração de planos de melhoria e estratégias voltadas à otimização dessa operação unitária.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos Gerais**

Analisar as perdas de produtividade de carregamento em uma mina de minério de ferro no Quadrilátero Ferrífero.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Identificar, coletar e classificar as principais causas de perda: clima, mina, pessoal e operação;
- Analisar o tipo de perda e avaliar o impacto em indicadores-chave desempenho durante o período analisado;
- Elaborar recomendações e propostas de melhorias voltadas ao aumento da eficiência operacional e à redução de perdas de produtividade.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Operações Mineiras**

O ciclo produtivo de uma mina é constituído por um conjunto de operações unitárias, que podem ser agrupadas conforme duas finalidades principais: a fragmentação do maciço rochoso e a movimentação de materiais. A fragmentação da rocha é realizada pela operação de desmonte. Essa sequência visa à fragmentação eficiente do maciço, permitindo a obtenção de uma granulometria adequada para as fases subsequentes do processo. Por sua vez, a movimentação de materiais compreende as etapas de carregamento e transporte de minério e de estéril, sendo essas atividades fundamentais para a movimentação contínua de massa produzidas, desde a frente de lavra até as usinas de processamento ou disposição final. A integração eficiente entre essas etapas é essencial para o desempenho global da operação mineira (HARTMAN, 1987).

##### **3.1.1 Desmonte de Rochas**

O desmonte de rochas pode ser executado por métodos mecânicos, utilizando equipamentos como escarificadores e tratores de esteira, ou com métodos explosivos, empregando substâncias energéticas para promover a fragmentação controlada do maciço rochoso.

##### **3.1.2 Desmonte Mecânico**

A necessidade de utilização de explosivos no desmonte está diretamente relacionada às características do maciço rochoso. Em materiais menos competentes, friáveis ou intensamente fraturados, o desmonte por explosivos pode ser dispensado. Conforme aponta Kennedy (1990), em solos, materiais inconsolidados ou rochas com alto grau de intemperismo, a fragmentação pode ser realizada por métodos mecânicos, empregando-se equipamentos de escavação como escavadeiras hidráulicas, tratores de esteiras, pás carregadeiras, entre outros equipamentos adequados para escavações. Segundo Curi (2017), para superar a resistência e a compacidade de materiais como o solo, são utilizadas ferramentas de corte acopladas aos equipamentos de escavação. Exemplos comuns incluem a lâmina frontal de tratores de esteiras e os dentes das caçambas de escavadeiras, que atuam diretamente na ruptura e remoção do material.

### 3.1.3 Desmonte por Explosivos

Desde a década de 1940, os explosivos vêm passando por significativos avanços tecnológicos, com foco na segurança, na eficiência da fragmentação, na resistência à água e na redução de custos operacionais. A escolha do tipo de explosivo a ser utilizado é um aspecto fundamental do projeto de desmonte, devendo ser cuidadosamente avaliada no plano de fogo, considerando as condições de campo e os fatores econômicos envolvidos (SILVA, 2009). Segundo Geraldi (2011), durante a detonação de explosivos no desmonte de rochas, ocorre a liberação de uma onda de choque que se propaga pelo maciço com velocidades entre 3.000 e 5.000 m/s. Essa onda gera tensões radiais a partir do ponto de detonação, promovendo a formação de novas fissuras e contribuindo para a fragmentação do material. A rápida expansão dos gases resultantes rompe o estado elástico da rocha, completando o processo de ruptura. Para garantir a eficiência do desmonte e mitigar impactos ao maciço e ao meio ambiente, é essencial que essa energia seja adequadamente controlada e direcionada. A Figura 1 demonstra um desmonte por explosivos.

Figura 1 - Desmonte com explosivos



Fonte: Autoria própria

### 3.2 CARREGAMENTO

A operação de carregamento, ilustrada na Figura 2, consiste no processo de remoção e transporte do material proveniente do desmonte ou, em alguns casos, de material *in situ* quando se trata de formações rochosas brandas. O carregamento de minério envolve a escavação do material utilizando equipamentos como pás carregadeiras, escavadeiras hidráulicas ou escavadeiras de grande porte, seguida da elevação e deposição do material fragmentado na caçamba de caminhões fora de estrada ou na estrutura de sistemas de correias transportadoras. O carregamento representa uma fase crítica no ciclo produtivo, pois influencia diretamente o tempo de ciclo do transporte e a produtividade geral da lavra. A escolha adequada do equipamento de carregamento e a eficiência da operação são fundamentais para garantir a continuidade do fluxo de produção de minério e a redução de tempos improdutivos (Curi 2017).

Figura 2 - Carregamento



### 3.2.1 Pás Carregadeiras

As pás carregadeiras (Figura 3) são equipamentos dinâmicos utilizados no carregamento de caminhões, com fácil mobilidade entre diferentes frentes de lavra devido à sua locomoção sobre pneus conforme e mostrado na Figura 3, podendo atingir até 45 km/h as escavadeiras, por sua vez, deslocam-se sobre esteiras, com velocidade média de 1,5 km/h, sendo mais indicadas para operações estacionárias (COUTINHO, 2017).

Figura 3 - Carregamento Pá Carregadeira



As carregadeiras são amplamente empregadas em operações de mina a céu aberto, principalmente como equipamentos auxiliares. São frequentemente utilizadas para substituir escavadeiras em manutenção e para realizar ajustes na qualidade do ROM, especialmente em pilhas de estocagem durante períodos chuvosos, assegurando a continuidade da alimentação do britador (TEIXEIRA, 2016).

### 3.2.2 Escavadeiras

As escavadeiras, em sua maioria, operam a partir de uma posição fixa, enquanto os veículos de transporte se deslocam até o local de carregamento. A escavação e o carregamento são realizados por meio de uma concha acoplada a um braço articulado. Essa estrutura gira sobre uma base montada em esteiras, o que permite o movimento lateral do material até seu despejo nos veículos de transporte. As escavadeiras tipo shovel (Figura 4), hidráulicas ou a cabo, possuem caçamba frontal que escava para cima e para frente, com fundo articulado para descarga do material (JAWORSKI, 1997).

Figura 4 - Escavadeira Shovel Hidráulica Modelo Cat6060

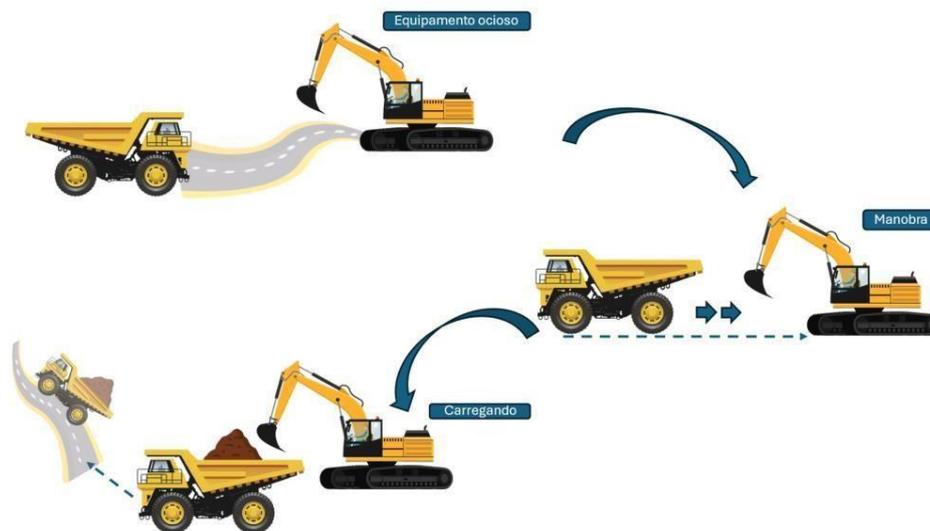


Segundo Ricardo e Catalani (2007), ao contrário das pás carregadeiras, o ciclo de carregamento das escavadeiras não inclui o deslocamento do equipamento. Isso ocorre porque as escavadeiras operam de forma estacionária, realizando a escavação e o carregamento sem a necessidade de movimentação, devido à sua baixa velocidade de deslocamento e às características operacionais previamente

mencionadas. O deslocamento dessas máquinas é recomendado apenas em situações específicas, como para manutenção, reposicionamento no entorno do desmonte ou mudança de frente de lavra, conforme definido no planejamento.

O ciclo de carregamento (Figura 5) de uma escavadeira hidráulica envolve uma sequência de etapas. Primeiro, a escavadeira é posicionada na área de escavação, seguida pela escavação do material com a caçamba. Em seguida, a caçamba cheia é levantada e ocorre um giro até a posição de descarregamento no caminhão. Após o descarregamento do material, a escavadeira retorna à posição inicial, pronta para iniciar um novo ciclo de escavação. Esse processo é repetido em todos os seus ciclos.

Figura 5 - Ciclo de carregamento



### 3.3 TRANSPORTE

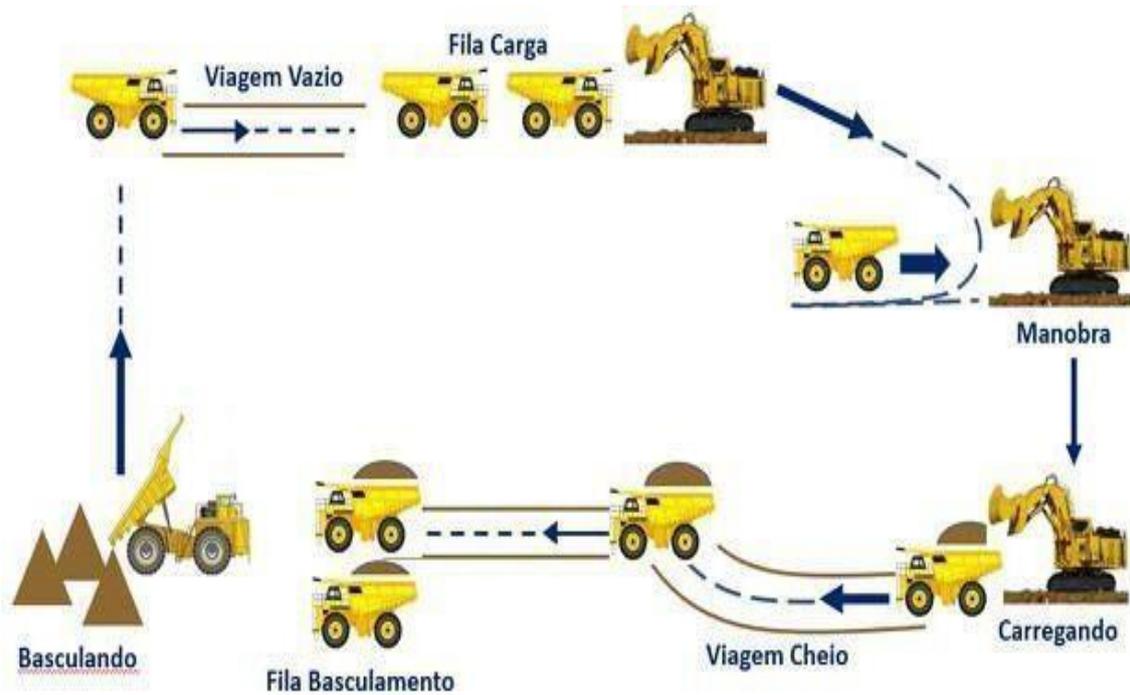
Conforme Lopes (2010), os caminhões (Figura 6) representam os principais meios de transporte, superando as correias transportadoras e demais equipamentos utilizados no transporte de material em operações de mineração a céu aberto. O transporte realizado por caminhões pode corresponder a aproximadamente 50% dos custos operacionais, principalmente em função do elevado consumo de insumos como diesel, pneus, peças mecânicas e despesas com mão de obra para manutenção. Por isso, esse modo de transporte destaca-se como um dos principais fatores de custo logístico para muitas empresas de mineração (HUSTRULID, 2013).

Figura 6 - Caminhão fora de estrada



Segundo Quevedo (2009), o ciclo operacional do transporte com caminhões (Figura 7) inicia-se com o carregamento da caçamba por um equipamento de carga. Após esse processo, os caminhões seguem até o local de descarga que pode ser uma pilha de estéril, de homogeneização ou o britador onde depositam o material transportado. Em seguida, retornam ao ponto de lavra para novo carregamento, repetindo esse fluxo de maneira contínua.

Figura 7 - Ciclo de transporte caminhão



Fonte: Anglo American (2015)

### 3.4 INDICADORES CHAVE DE DESEMPENHO (KPIs)

A utilização de indicadores de desempenho permite monitorar e avaliar o desempenho ao longo do tempo, possibilitando ainda comparações entre os resultados passados e os atuais. Gerando informações relevantes para o processo decisório, o que auxilia nas tomadas de decisões ajudando a escolher os melhores caminhos e aprimorar as estratégias (FRANCISCHINI, 2017).

Na mineração, esses indicadores são utilizados basicamente em todas as operações, com o objetivo de otimizar e melhorar os processos, como nas operações unitárias de carregamento.

#### 3.4.1 Disponibilidade Física

A Disponibilidade Física (DF), equação 1, pode ser definida como o período em que um equipamento estava em condições de ser operado e desempenhar uma de suas funções específicas dentro de um intervalo de tempo determinado. Em outras palavras, refere-se ao tempo em que o equipamento não está passando por nenhuma manutenção, seja ela preventiva ou corretiva, ou seja, estava pronto para operar.

$$DF = \frac{HC-HM}{HC} \quad \text{Eq. 1}$$

Sendo:

HC: Horas calendário;

HM: Horas de manutenção (preventiva e corretiva).

#### 3.4.2 Horas Calendário

As horas calendário são obtidas através do número de equipamentos que você vai analisar, multiplicado pelos dias da análise e pelas horas de operação da empresa (Equação 20, que geralmente, com as trocas de turno, operam 24 horas por dia, 7 dias por semana. Dessa forma se obtém as horas calendário:

$$HC = \text{Número de equipamentos} \times \text{Quantidade de dias} \times 24 \text{ horas} \quad \text{Eq.2}$$

### 3.4.3 Horas improdutivas

As horas improdutivas (HI) são todas aquelas que não correspondem a manutenções corretivas ou preventivas, nem ao tempo de operação, que envolve o ciclo de carregamento da escavadeira, ociosidade, aguardando manobra ou carregando. Ou seja, qualquer hora que não se enquadre nesses grupos é considerada hora improdutiva.

### 3.4.4 Produtividade

A produtividade é uma medida da eficiência do ciclo produtivo de uma máquina, que inclui a ociosidade, aguardando manobra e carregando (Equação 3). Esses três códigos são considerados as horas operando (HO) que são de fato as horas que a máquina produz efetivamente durante todo o ciclo.

$$HO = \text{Ociosidade} + \text{Aguardando Manobra} + \text{carregando} \quad \text{Eq.3}$$

## 4 PERFIL DE PERDAS

Como mencionado anteriormente, o desempenho das operações de lavra em minas a céu aberto está diretamente ligado à identificação e ao controle das perdas operacionais, as quais podem comprometer a produtividade e a eficiência econômica do empreendimento. Essas perdas podem ser de natureza diversa e estão associadas a fatores como condições climáticas adversas, restrições operacionais da própria mina, falhas humanas e ineficiências nos processos produtivos.

De maneira geral, as perdas podem ser classificadas em quatro grandes categorias: perdas por clima, perdas por condições da mina, perdas por fatores humanos (pessoal) e perdas operacionais. Essa classificação permite uma análise mais estruturada das causas que afetam negativamente o tempo efetivo de operação dos equipamentos de carregamento, auxiliando na proposição de ações corretivas.

As perdas climáticas estão relacionadas a eventos naturais, como chuvas intensas, nevoeiros (cerração), temperaturas extremas, poeiras e ventos fortes, que podem interromper a operação da mina ou dificultar a operação de escavadeiras, caminhões e equipamentos auxiliares. Embora sejam externas ao controle da equipe operacional, sua frequência e impacto podem ser mitigados por meio de planejamento

adequado, manutenção de vias e uso de previsões meteorológicas no planejamento da lavra.

As perdas ligadas à mina envolvem restrições físicas ou logísticas, como más condições das vias de acesso, acúmulo de material nas frentes de lavra, problemas de desmonte mal executado, movimentações geotécnicas ou interferências com outras frentes de operação. Tais fatores impactam diretamente o ciclo operacional dos equipamentos e podem ser reduzidos com uma coordenação mais eficaz entre as frentes de lavra e os setores de planejamento e infraestrutura (Silva, 2011).

As perdas por pessoal estão associadas a atrasos na troca de turnos, paradas não programadas por falhas humanas, má comunicação entre operadores e supervisores, entre outros aspectos ligados ao fator humano. A capacitação contínua da equipe e o monitoramento de indicadores de desempenho individual são estratégias importantes para reduzir esse tipo de perda.

Por fim, as perdas operacionais englobam eventos como falhas mecânicas, manutenção corretiva não planejada, ausência de caminhões disponíveis para carregamento ou sobreposição de equipamentos na mesma frente. Essas perdas podem ser diagnosticadas por meio do monitoramento em tempo real das atividades e do uso de sistemas de despacho e controle de frota (Fleet Management Systems – FMS), que permitem uma resposta mais rápida às interrupções (Camus, 2002).

A caracterização do perfil de perdas é, portanto, um passo essencial para o aumento da eficiência operacional nas minas. A correta identificação, quantificação e análise dessas perdas subsidia a tomada de decisões estratégicas, contribuindo para a melhoria contínua das operações unitárias de lavra e para a redução dos custos operacionais totais.

O Perfil de Perdas refere-se à sistematização e estratificação dos dados de perdas ao longo do processo produtivo, fundamentando-se no princípio de Pareto para evidenciar os pontos de maior impacto. A construção desse perfil demanda, inicialmente, a definição do tipo de perdas a serem analisadas, como as mencionadas nos parágrafos anteriores.

A coleta de dados operacionais pode ser feita a partir de:

- Sistemas de despacho e controle de frota (FMS);
- Relatórios de produção e manutenção;
- Sistemas de monitoramento de tempo real;
- *Checklists* de operadores e supervisores;
- Observações em campo ou entrevistas com equipes operacionais.

Geralmente, os dados são registrados com códigos de parada, que indicam o motivo da inatividade do equipamento.

A partir dessa estruturação, a análise estratégica viabiliza a identificação das principais oportunidades de melhoria, ao segmentar e quantificar as perdas geralmente expressas em horas decorrentes de falhas ou horas improdutivas em equipamentos. Que podem ocasionar a paralisação de uma planta industrial, de uma linha de produção ou de ativos específicos, comprometendo a eficiência operacional e a continuidade dos processos.

Segundo Vilaça (2014), nos casos em que as falhas exigem a implementação de projetos de melhoria, ou seja, quando não podem ser sanadas por meio da manutenção preventiva ou preditiva, a utilização do Perfil de Perdas torna-se essencial. Essa ferramenta fornece dados quantitativos que possibilitam mensurar o impacto das perdas, além de subsidiar a priorização de intervenções nos ativos e a definição de soluções para os modos de falha identificados.

#### **4.1.1 Sistema de Despacho**

O sistema de despacho é uma ferramenta de gestão voltada ao monitoramento e controle da frota de equipamentos de mina, com o objetivo de maximizar a produtividade e reduzir os custos operacionais. Essa otimização ocorre por meio da tomada de decisões baseada em dados em tempo real e em variáveis previamente definidas de acordo com as características e demandas específicas de cada operação (COSTA, 2011).

Através desse sistema, é possível registrar e acompanhar informações essenciais, como a origem e destino do material, as rotas percorridas pelos equipamentos, o desempenho dos operadores e o controle das principais movimentações da mina - incluindo o ROM (*Run of Mine*), OM (outras

movimentações) e o estéril. O ROM, por sua vez, pode ser direcionado ao britador quanto a pilhas de estoque, conforme o planejamento de lavra e os critérios de qualidade exigidos pela usina no momento.

Além disso, o sistema permite o registro de códigos operacionais vinculados ao operador, os quais são fundamentais para análises posteriores, como o levantamento de horas improdutivas, produtividade, e demais indicadores-chave de desempenho. A figura 8 exemplifica algumas dessas informações geradas pelo sistema de despacho.

Figura 8 - Sistema de Despacho Informação de status

Operando	Atraso Operacional	Impedimento Operacional	Manutenção Corretiva	Manutenção Preventiva	Fora de Frota
1	1	11	1	1	1
Equipamento	Horimetro	Local	Categoria	Estado	
ES5501	78.522,0	13R_1270	Impedimento Operacional	Mau Tempo - Cerração	
ES5502	81.909,0		Impedimento Operacional	Mau Tempo - Cerração	
ES5503	84.623,0	21H_1480	Impedimento Operacional	Mau Tempo - Cerração	
ES5504	81.974,0	17J_1380	Impedimento Operacional	Mau Tempo - Cerração	
ES5505	72.469,0	15L_1240	Manutenção Corretiva	HMC-Execução de Manutenção	
ES6001	41.317,0	6K_1110	Impedimento Operacional	Mau Tempo - Cerração	
ES6002	43.353,0	16G_1400	Impedimento Operacional	Mau Tempo - Cerração	
ES6003	43.108,0	14D_1410	Impedimento Operacional	Mau Tempo - Cerração	
ES6004	41.347,6	14E_1440	Impedimento Operacional	Mau Tempo - Cerração	
PM1201	20.188,6	EST-RICO A	Atraso Operacional	Abastecimento	
PM9905	43.749,3		Horas Não Programadas	Fora de Frota	
PM9906	39.785,4		Impedimento Operacional	Mau Tempo - Cerração	
PM9907	42.437,2	EST-ITABIRITO A	Operando	Operando Est - Mau Tempo	
PM9908	36.925,2		Manutenção Preventiva	HMP-Execução de Manutenção	
PM9909	40.255,8		Impedimento Operacional	Mau Tempo - Cerração	
PM9910	38.480,5	EST- BLEND 01	Impedimento Operacional	Restrição da Britagem	

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 Descrição do caso de estudo

O caso de estudo foi conduzido em uma mina de ferro localizada no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais, que apresenta uma elevada produtividade, com uma produção anual em torno de 42 milhões de toneladas. A operação conta com uma frota de 64 caminhões fora de estrada Caterpillar 793D e 793F (Figura 9). Cada caminhão possui um peso bruto aproximado de 404.000 kg e capacidade de carga de até 240 toneladas de material por ciclo, sendo essenciais para o transporte do minério desde a frente de lavra até os pontos de descarga definidos pelo planejamento operacional.

Figura 9 - Caminhão Caterpillar 793



Fonte: Caterpillar

Em relação aos equipamentos de carga, a mina opera com uma frota composta por nove escavadeiras de grande porte. Dentre elas, quatro equipamentos do modelo Caterpillar PC6060, escavadeiras elétricas com potência de 2.248 kW, peso

operacional de 599 t e capacidade da caçamba de 61 t (Figura 10). Complementando a frota, há cinco escavadeiras Komatsu ES5500, com potência de 1.880 kW, peso operacional variando entre 533 e 552 toneladas, e caçamba com volume de 29 m<sup>3</sup> (Figura 11). Esses equipamentos são responsáveis pelas operações unitárias de carregamento, atendendo aos requisitos de produtividade e compatibilidade com a frota de transporte.

Figura 10 - Caterpillar PC6060



Fonte: Caterpillar

Figura 11 - Komatsu ES5500



Fonte: Komatsu

## 5.2 Coleta de dados operacionais

A coleta de dados dos equipamentos de carregamento (escavadeiras) da mina em estudo foi realizada através das informações geradas pelo sistema MineStar, disponíveis no banco de dados SQL, no formato de relatório.

As perdas foram organizadas em categorias padronizadas, facilitando a análise, conforme a seguir:

- **Clima:** chuvas, neblina, raios, visibilidade reduzida, etc;

- **Mina:** problemas nas vias de acesso, nas frentes de lavra, congestionamento, instabilidade geotécnica, etc;
- **Pessoal:** atrasos na troca de turno, ausência de operador, falhas de comunicação, reuniões, etc;
- **Operacional:** falta de caminhão, falha no equipamento, tempo de espera, manutenções não programadas.

Essa categorização permitiu uma visão global e comparável no período analisado

### 5.3 Quantificação das Perdas

Posteriormente, foi elaborado um perfil de perdas para análise dos códigos e identificação dos grupos que mais impactavam negativamente na produção da mina. Cada tipo de perda é quantificado em termos de:

- Disponibilidade Física (DF);
- Horas improdutivas (HI).

## 6 RESULTADO E DISCUSSÕES

### 6.1 Disponibilidade Física (DF)

O levantamento foi feito mês a mês durante o período de janeiro a julho de 2024. Utilizou-se as ferramentas do Excel para tratamento e análise dos dados, com construção de gráficos de Pareto. Considerando que se trata de uma mina de grande porte, com alta movimentação diária e um grande número de equipamentos na tabela 1 foi analisado a disponibilidade física, essa análise é imprescindível para garantir que a operação seja economicamente viável ao longo de toda a sua vida útil.

Tabela 1 - Disponibilidade Física mensal 2024

Mês	DF %
Janeiro	73,67 %
Fevereiro	76,34 %
Março	77,95 %
Abril	77,40 %
Maiο	74,16 %
Junho	77,53 %
Julho	73,29 %
Média	76,34 %

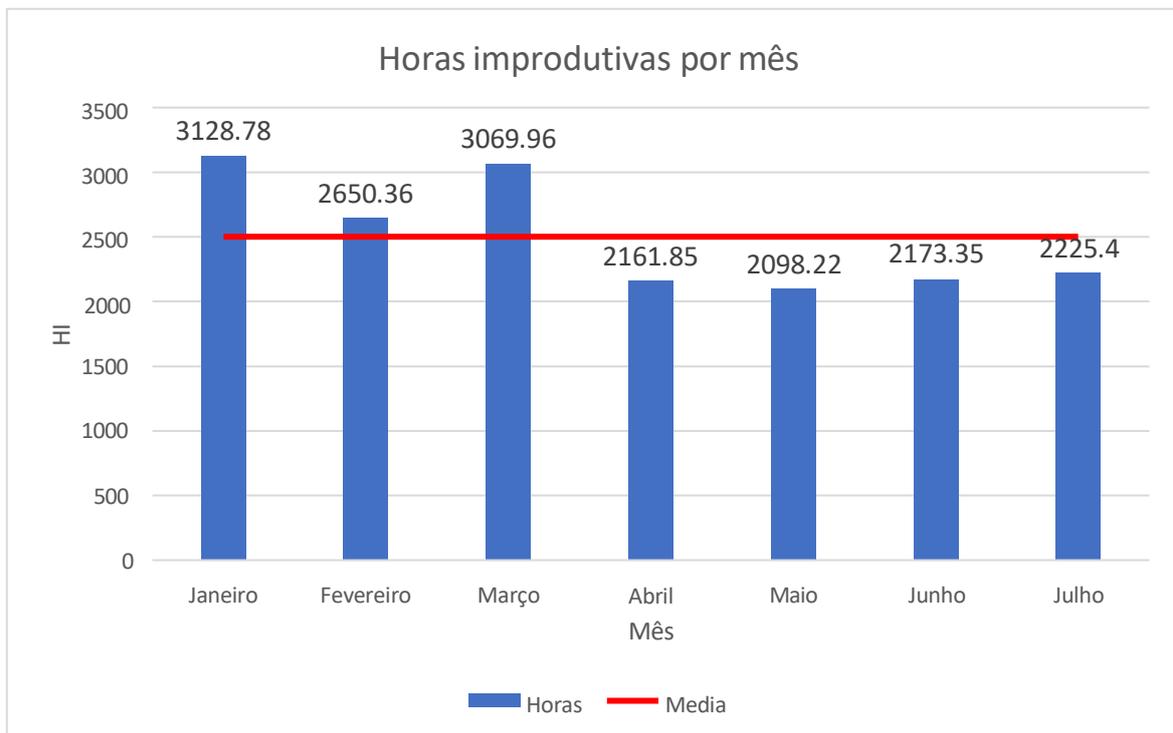
Fonte: Autoria Própria

A partir das informações sobre a disponibilidade física dos equipamentos ao longo dos meses analisados, foi possível trabalhar com os demais códigos. Dessa forma, obtiveram-se as horas improdutivas e as horas efetivamente operacionais dos equipamentos de carga.

## 6.2 Horas Improdutivas (HI)

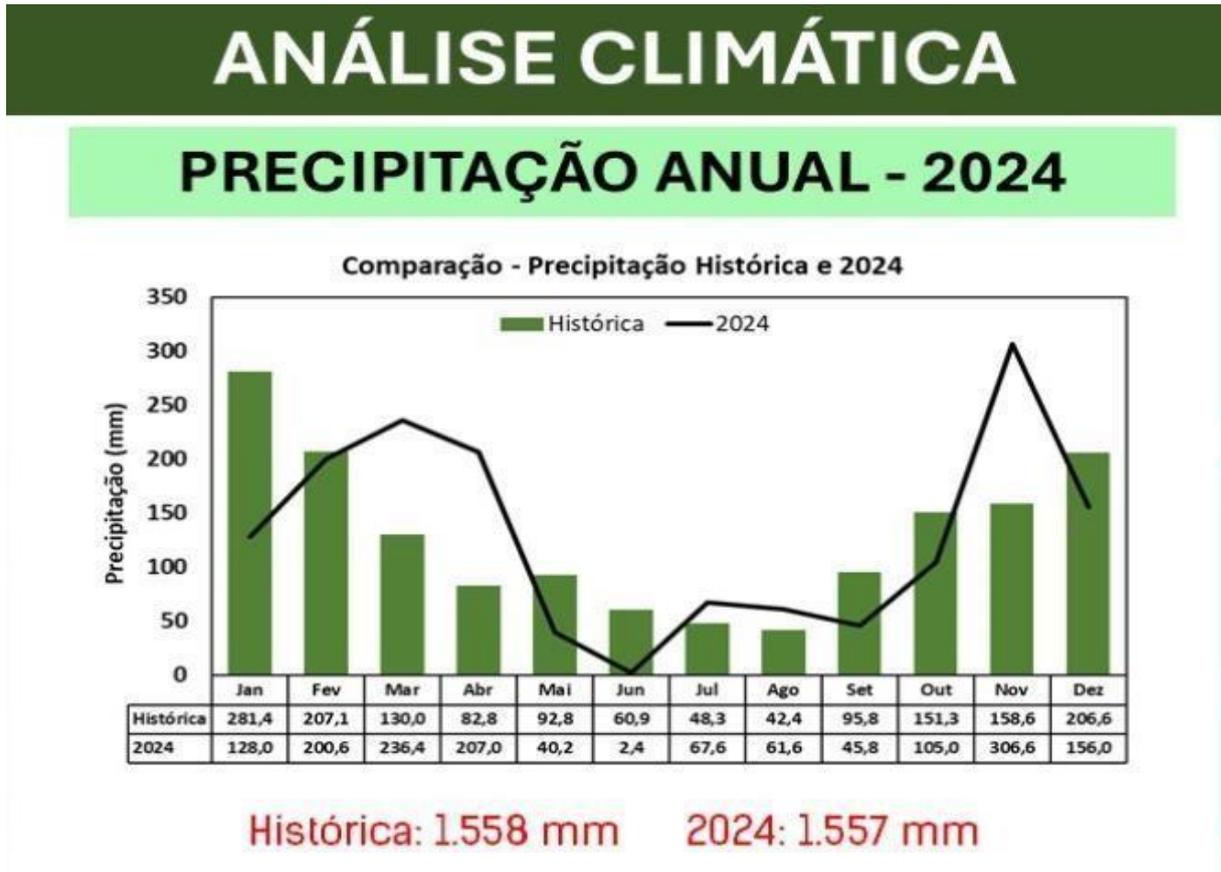
A Figura 12 apresenta uma avaliação de todas as horas improdutivas registradas nos meses estudados, com o objetivo de identificar os períodos com maior incidência de perdas operacionais. A partir dessa identificação, os meses com maior número de horas improdutivas foram selecionados para uma análise mais aprofundada, visando identificar as causas raiz responsáveis pelo aumento das horas improdutivas e, conseqüentemente, para redução da eficiência operacional

Figura 12 - Horas improdutivas por mês



Verifica-se que os meses de janeiro, fevereiro e março apresentaram valores acima da média. Uma das prováveis causas está relacionada à maior incidência de chuvas no período como apresentado na Figura 13, a qual impacta diretamente a região onde a mina está situada, contribuindo para o aumento das horas improdutivas.

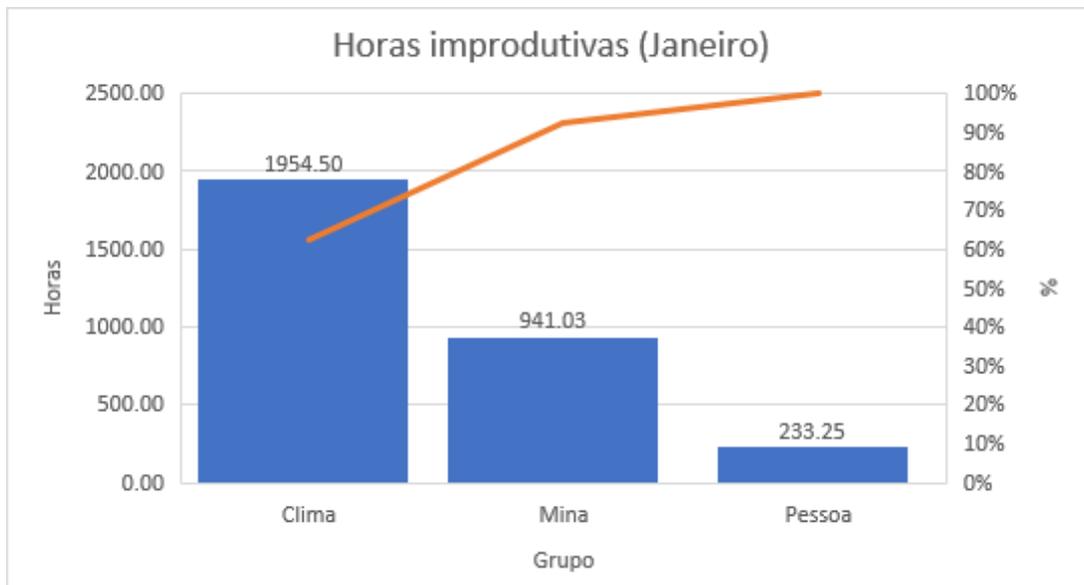
Figura 13 - Pluviometria de 2024 na localidade da mina



Fonte: Unoeste

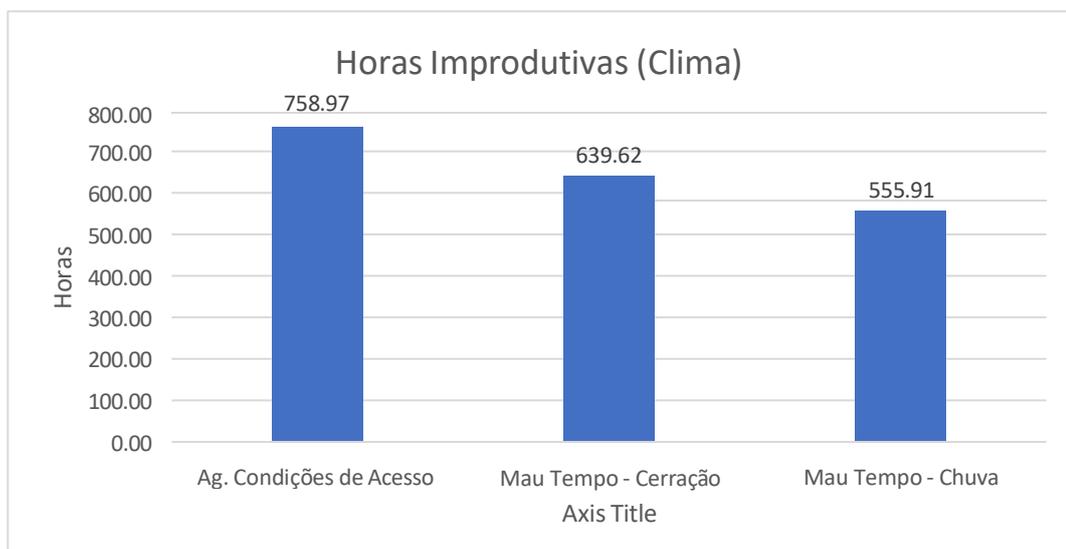
Foi elaborado um gráfico de Pareto na Figura 14, para os meses que ficaram acima da média, com o objetivo de avaliar os possíveis motivos para o aumento das horas improdutivas. Foram considerados os seguintes códigos/perfil de perdas: clima, mina e pessoa. Observou-se que, no mês de janeiro, o grupo com maior número de horas improdutivas pertenceu à categoria de clima.

Figura 14 - Horas improdutivas (Janeiro)



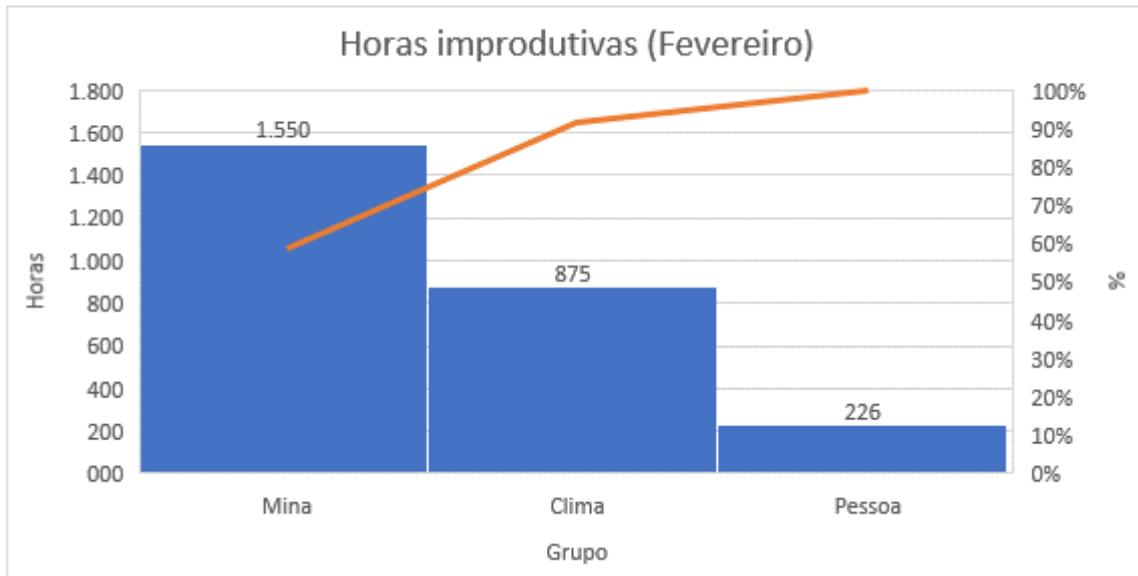
Após a identificar que, no mês de janeiro, o grupo de perdas relacionadas ao clima foi o principal responsável pelo aumento das horas improdutivas, procedeu-se à análise específica desse grupo, conforme a Figura 15. O objetivo foi analisar qual o código apresentou o maior número de horas improdutivas e investigar sua causa. Constatou-se que o código com maior impacto foi o “Aguardando Condição de Acesso e Mau tempo - Cerração”, indicando que as condições adversas de visibilidade comprometeram significativamente a continuidade das operações.

Figura 15 - Horas improdutivas (Clima)



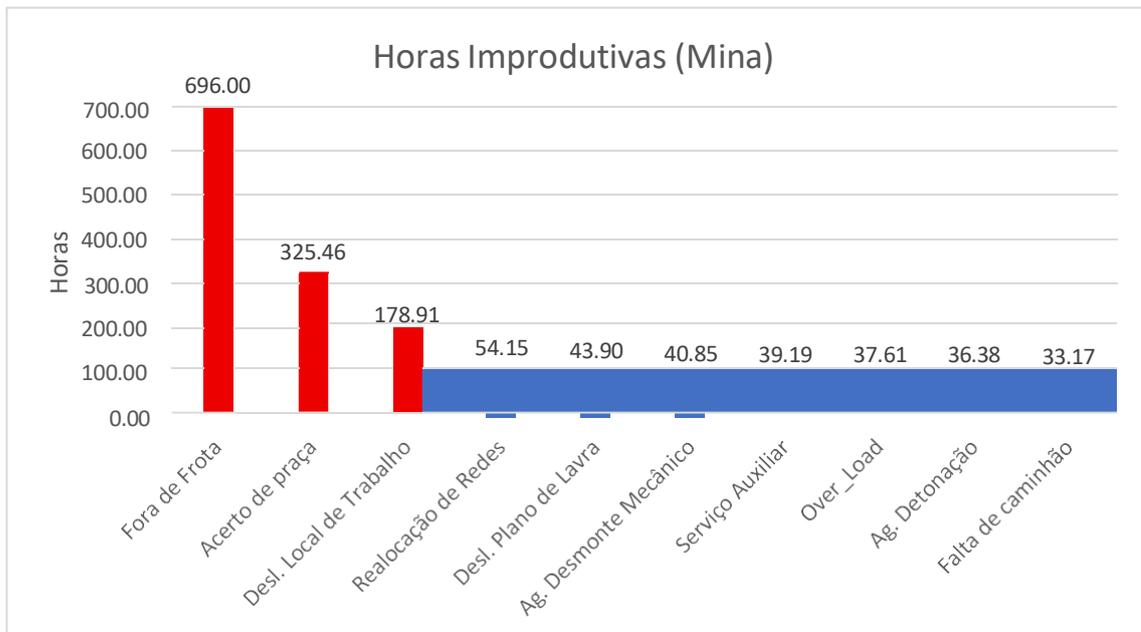
No mês seguinte acima da média, fevereiro, também foi elaborado um gráfico de Pareto para análise detalhada. A Figura 16 apresenta que nesse período, a perda que apresentou maior impacto nas horas improdutivas foi mina.

Figura 16 - Horas improdutivas (Fevereiro)



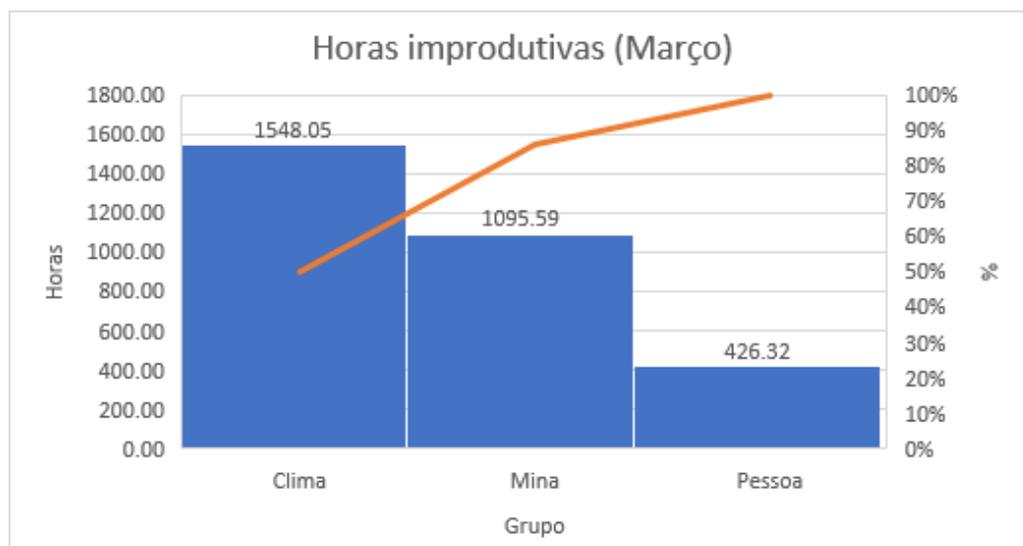
Com o objetivo de aprofundar a análise no perfil de perda "Mina", no mês de fevereiro, foi realizada uma análise específica desse grupo, conforme Figura 17. Para isso, foram selecionados os 10 códigos com maior quantidade de horas improdutivas. Dentre eles, os códigos destacaram-se os códigos "Fora de Frota", "Acerto de Praça", e "Desligado Local de Trabalho".

Figura 17 - Horas improdutivas (Mina)



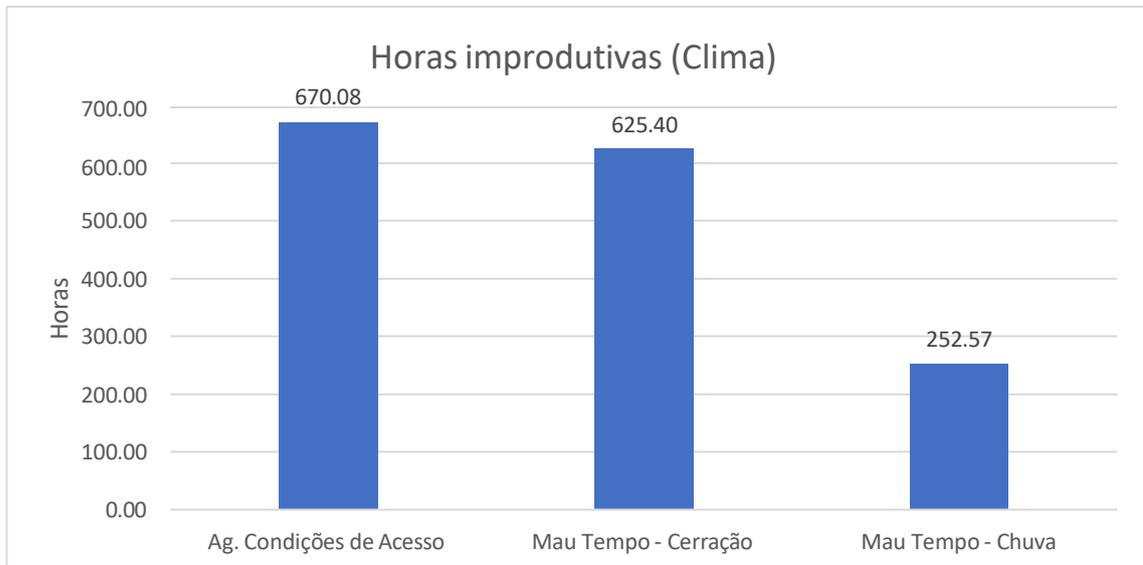
O terceiro e último mês com número de horas improdutivas acima da média foi março. Para esse período, também foi elaborado o gráfico de Pareto (Figura 18), com o objetivo de identificar a perda com maior impacto. Verificou-se que a perda de maior influência foi o relacionado ao clima.

Figura 18 - Horas improdutivas (Março)



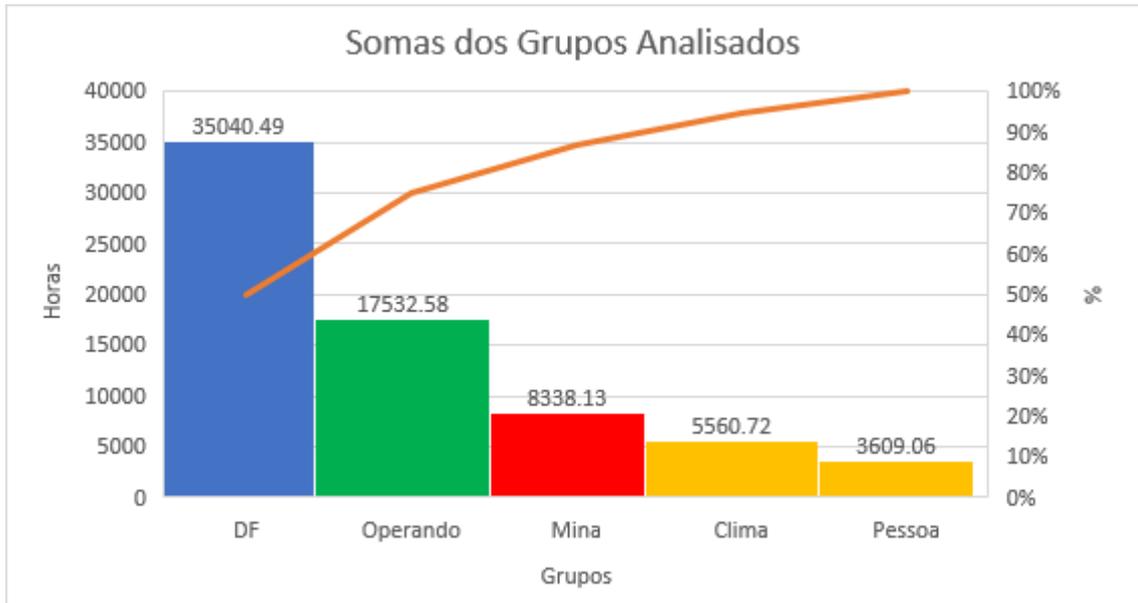
Assim como realizado nos meses anteriores, o perfil de perda Clima foi analisado separadamente. Conforme apresentado na Figura 19, constatou-se que os códigos com maior influência nas horas improdutivas foram “Aguardando Condição de Acesso” e “Mau Tempo - Cerração”, os mesmos identificados no mês de janeiro.

Figura 19 - Horas improdutivas (Clima)



Como mencionado anteriormente, os códigos de perda foram agrupados de acordo com suas características e afinidades, com o objetivo de tornar a análise mais assertiva. Após essa categorização, foi calculada a média de horas improdutivas de cada perda ao longo dos sete meses analisados, juntamente com o total de horas disponíveis no período. Em seguida, foi elaborado um gráfico de Pareto (Figura 20) para analisar a distribuição do tempo entre cada perda e identificar aqueles com maior impacto nas horas improdutivas.

Figura 20 - Gráfico de Pareto



A análise do gráfico revela que o código “Operando” apresenta o maior número de horas registradas. Por se tratar do único código classificado como produtivo, portanto, esse resultado esperado. No entanto, ao direcionar a análise para a identificação das horas improdutivas - principal foco deste estudo - observa-se que a perda Mina é o que apresenta o maior volume de horas improdutivas, totalizando 8.338 horas acumuladas ao longo dos sete meses. Esse resultado indica que esse grupo representa o maior impacto negativo na produtividade operacional.

## 7 RECOMENDAÇÕES

A partir da análise de dados e vivência operacional as recomendações e propostas de melhorarias voltadas ao aumento da eficiência operacional e à redução de perdas de produtividade da mina em estudo são apresentadas a seguir.

Devido à grande extensão e elevada movimentação da mina, é importante que o desmonte seja bem dimensionado e executado. Um desmonte eficiente evita que as frentes de lavra apresentem elevada resistência ao carregamento, o que exigiria desmonte mecânico- prática que aumenta o tempo de ciclo dos equipamentos, eleva a probabilidade de manutenções corretivas e pode resultar em uma distribuição granulométrica fora das especificações. Caso haja frentes com material resistente, deve-se alocar um trator para gerar massa adequada ao carregamento pelas escavadeiras.

Durante os períodos chuvosos, especialmente nos meses com maior índice pluviométrico, é necessário realizar um planejamento prévio de ações de mitigação. O que inclui a melhoria da qualidade do forro e a drenagem dos acessos em toda a mina, contribuindo para a preservação dos acessos e garante a continuidade da movimentação operacional.

A dimensão adequada das praças de carregamento também deve ser assegurada, respeitando os parâmetros mínimos definidos para permitir uma operação eficiente, facilitando a manobra dos caminhões e otimizando o tempo de carregamento.

Outro ponto crítico é o planejamento antecipado da realocação das redes elétricas, de forma a evitar interrupções no fornecimento de energia que possam comprometer a operação dos equipamentos.

Além disso, a efetividade das manutenções preventivas deve ser garantida, para evitar a ocorrência de falhas e a necessidade de manutenções corretivas prolongadas no futuro. Também é importante assegurar a altura adequada do banco de lavra, para que as escavadeiras não operem com volume reduzido, o que impacta significativamente sua produtividade.

Por fim, recomenda-se o uso de forro competente nas praças de carregamento para evitar a formação de "borrachudos", que não apenas dificultar o carregamento, mas também aumentam as horas necessárias para acerto da praça.

## 8 CONCLUSÕES

A análise das perdas de produtividade nos equipamentos de carregamento em uma mina a céu aberto demonstrou-se essencial para compreender a eficiência operacional e o cumprimento das metas de produção. Com base nos dados referentes ao período de janeiro a julho de 2024, foi possível identificar e quantificar as horas improdutivas, classificando-as em três grupos principais perfis de perdas: Clima, Mina e Pessoa. Os resultados evidenciaram que os meses de janeiro, fevereiro e março apresentaram as maiores médias de horas improdutivas. Nos meses de janeiro e março, as perdas estiveram majoritariamente associadas às condições climáticas adversas, sobretudo aos códigos "Aguardando Condição de Acesso" e "Mau tempo - Cerração". Já em fevereiro, a perda Mina foi o mais significativo, com o código "Fora de frota" em destaque, indicando um aumento na ocorrência de manutenções corretivas.

De forma geral, ao longo dos sete meses analisados, a perda Mina foi o que apresentou maior impacto, acumulando 8.338 horas improdutivas, o que reforça a necessidade de intervenções direcionadas a esse segmento.

Com base nos resultados obtidos, foi possível identificar as principais causas de perda e propor recomendações de melhorias e ações preventivas voltadas à mitigação dos impactos identificados. Os dados evidenciam a importância do uso sistemático da análise de dados na mineração como ferramenta essencial para otimização dos processos e aumento da eficiência operacional.

Conclui-se que uma gestão eficiente, aliada em análises estruturada de dados operacionais, fornece a visualização de padrões e falhas que muitas vezes não são perceptíveis no campo. Assim, a implementação de melhorias baseadas em evidências concretas contribui diretamente para o aumento da produtividade e para a promoção de um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente.

## 9 REFERÊNCIAS BIOGRÁFICAS

HARTMAN, Haward L. Introductory Mining Engineering. John Wiley & Sons, 1987.

KENNEDY, Bruce A. Surface Mining. 2nd ed. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 1990.

CURI, Adilson. Lavra de minas. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2017. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 10 jun. 2025.

SILVA, V. C. Curso - Operações Mineiras. Ouro Preto: Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas da UFOP. 2009.

GERALDI, José Lúcio Pinheiro. O ABC das escavações de rocha. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 10 jun. 2025.

COUTINHO, H. L. Melhoria Contínua Aplicada para Carregamento e Transporte na Operação de Mina a Céu Aberto. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Ouro Preto, 2017. 86p.

TEIXEIRA, L. A. C. Caracterização de Payloads via Telemetria. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016. 83.

JAWORSKI, Tadeo. Manual de Equipamentos para Escavação – Compactação e Transporte. Revisão e digitalização por Prof. Camilo Borges Neto, Ms.C.Eng. Civil. 1997.

LOPES, J. R. Viabilização técnica e econômica da lavra contínua de minério de ferro com o uso de sistema de britagem móvel “in pit” auto propelido. 2010. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

HUSTRULID, W. Open Pit Mine Planning & Design. Edição 3, Vol 1. Rotterdam: Balkema, 2013. 295p.

QUEVEDO, J. M. G. Modelo de simulação para o sistema de carregamento e transporte em mina a céu aberto. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

VILAÇA, Ana Flávia. Perfil de Perdas no Processo da Moagem de uma Usina de Pelotização de Minério de Ferro: Estudo de Caso da Vale Tubarão. Artigo do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica - Fundação de Assistência e Educação - FAESA. 2014

FRANCISCHINI, A. S. N.; FRANCISCHINI, P. G. Indicadores de desempenho: dos objetivos à ação - Métodos para elaborar KPIs e obter resultados. Rio de Janeiro: Alta Books, 2017.

VIANA, H. R. G. PCM - Planejamento e controle de manutenção. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2002. 167 p.

CATERPILLAR INC. 797F Mining Truck. Caterpillar. Disponível em: [https://www.cat.com/pt\\_BR/products/new/equipment/off-highway-trucks/mining-trucks/116620.html](https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/off-highway-trucks/mining-trucks/116620.html). Acesso em: 03 jul. 2025.

KOMATSU AFRICA. *PC5500- 11 – Escavadora de Mineração*. Disponível em: <https://www.komatsu-africa.com/pt/escavadoras-de-mineracao/pc5500-11>. Acesso em: 3 jul. 2025.

SILVA, V. C., Apostila de carregamento e transporte de rochas. Ouro Preto: Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 2011.

Camus, J. P. (2002). Management of mineral resources: creating value in the mining business. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.

UNIOESTE - Centro de Monitoramento e Estudos Climáticos e de Previsão do Tempo. Análise climática de 2024. Unoeste | Clima, 6 jan. 2025. Disponível em: <https://sites.unoeste.br/clima/index.php/2025/01/06/analise-climatica-de-2024/>. Acesso em: 8 jul.2025.

Anglo American. (2015). Guia Prático Indicadores de Desempenho Mina.