



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO - UFOP
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS - DEMIN



LUCAS ROCHA NATIVIDADE

**GESTÃO DE TEMPOS IMPRODUTIVOS DA FROTA DE TRANSPORTE E OS
IMPACTOS NO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE LAVRA**

**Ouro Preto – MG
2025**

LUCAS ROCHA NATIVIDADE

**GESTÃO DE TEMPOS IMPRODUTIVOS DA FROTA DE TRANSPORTE E OS
IMPACTOS NO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE LAVRA**

Monografia submetida à apreciação da banca examinadora de graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientadora: Prof. Dra. Janine Rodrigues Figueiredo

Ouro Preto – MG
2025

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

N278g Natividade, Lucas Rocha.

Gestão de tempos improdutivos da frota de transporte e os Impactos no planejamento estratégico de lavra. [manuscrito] / Lucas Rocha Natividade. - 2025.

50 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Janine Rodrigues Figueiredo.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Minas e recursos minerais. 2. Mina a céu aberto. 3. Carregamento e transporte. 4. Veículos a motor - Frotas. I. Figueiredo, Janine Rodrigues. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.271

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - SIAPE: 1.763.787



FOLHA DE APROVAÇÃO

Lucas Rocha Natividade

Gestão de tempos improdutivos da frota de transporte e os impactos no planejamento estratégico de lavra

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

Aprovada em 02 de abril de 2025

Membros da banca

Prof.^a Dr.^a Janine Rodrigues Figueiredo - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)
Prof. Dr. Hernani Mota de Lima (Universidade Federal de Ouro Preto)
Prof. Dr. Elton Destro (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 10/04/2025



Documento assinado eletronicamente por **Janine Rodrigues Figueiredo, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/04/2025, às 09:35, 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, informando o código verificador **0893731** e o código CRC **69C849BE**.

Aos meus queridos pais, José Milton
Natividade e Roselene Ávila Rocha
Natividade

AGRADECIMENTOS

Aos meus queridos pais, José Milton e Roselene, por serem minha base por toda vida, por serem exemplo de perseverança e de bondade, por toda educação e momentos que me proporcionaram e por sempre terem se esforçado para que pudessem me apoiar na dedicação aos estudos e na busca de um futuro melhor.

Aos meus irmãos, Thiago e Camila, por toda força, companheirismo, incentivo, carinho e amor durante toda a trajetória acadêmica, e durante toda a minha vida, e por sempre terem confiado em mim.

À minha companheira de vida, Taynara Gomes, pelo amor incondicional, por todo apoio em todos os momentos da minha vida desde o ensino fundamental, por ser suporte para mim em momentos de fraqueza e dificuldade e por sempre me inspirar a melhorar como pessoa e como profissional, para que eu possa oferecer o meu melhor.

Aos meus amigos de Ouro Preto e da Engenharia de Minas, que sempre estiveram ao meu lado, em especial, Samuel Reis, Leonardo da Costa, Pablo Vitor, Mateus Filipe, Leonardo José, Ygor Reis, Maria Teresa, Victor Gabriel e Diego Henrique.

À minha professora orientadora Janine Rodrigues, por todo apoio e paciência.

À Anglo American pela oportunidade de estágio, possibilitando no meu desenvolvimento profissional.

À Coordenação de Performance e Processos por todos os ensinamentos, pela parceria, pelo bom convívio no dia a dia, por serem exemplo de profissionais e pela amizade, em especial, Luana Carvalho, Daniele Marasca, Victor Silva, Christian Allan, Gabriel Pinheiro e George Aires.

À UFOP, à Escola de Minas e ao DEMIN e seus professores, pela educação superior gratuita e de qualidade e por todos os ensinamentos passados, em especial, ao professor Carlos Alberto Pereira.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para minha formação acadêmica, profissional e pessoal.

“Nada de desgosto, nem de desânimo;
se acabas de fracassar, recomeça”

(Marco Aurélio)

RESUMO

A eficiência operacional na mineração depende diretamente da gestão adequada dos tempos improdutivos da frota de equipamentos de transporte, pois estes impactam significativamente o planejamento estratégico de lavra. Este estudo analisa as principais causas dos tempos improdutivos em uma frota de caminhões fora de estrada, modelo 830E da fabricante Komatsu nas operações de lavra em uma mina de minério de ferro, focando em causas como trocas de turno, abastecimento de diesel, os impactos da sazonalidade ocasionada pelas chuvas e as ineficiências operacionais. Por meio de análise quantitativa de dados operacionais (2023-2024), avalia-se os impactos desses fatores em indicadores-chave, como a Utilização Efetiva (UFE), os custos operacionais e o volume anual de produção. Os resultados revelam que, sem medidas corretivas, a UFE cairia para 73,4%, gerando um *GAP* (diferença) de 1,9 milhão de toneladas de material não movimentado. Para mitigar esses impactos, propõem-se melhorias como padronização de processos e integração entre planejamento de lavra e sistemas de gestão de frota em tempo real. Essas estratégias visam alcançar uma UFE de 75,3% até 2025, alinhando-se às metas estratégicas de produção. Conclui-se que a gestão proativa de tempos improdutivos e a integração entre planejamento de lavra e operações de mina são fundamentais para garantir eficiência operacional e sustentabilidade econômica em operações de grande escala.

Palavras-chave: Mina a céu aberto; Planejamento de lavra; Gestão de frotas de equipamentos; Utilização Efetiva.

A B S T R A C T

Operational efficiency in mining depends directly on the proper management of unproductive times in the transport equipment fleet, as these have a significant impact on strategic mining planning. This study analyzes the main causes of unproductive time in a fleet of Komatsu 830E off-highway trucks in mining operations at an iron ore mine, focusing on causes such as shift changes, diesel supply, the impacts of seasonal rainfall and operational inefficiencies. Through quantitative analysis of operational data (2023-2024), the impacts of these factors on key indicators such as Effective Utilization (UFE), operating costs and annual production volume are evaluated. The results show that, without corrective measures, UFE would fall to 73.4%, generating a GAP (difference) of 1.9 million tons of material not handled. To mitigate these impacts, improvements are proposed, such as standardizing processes and integrating mining planning and fleet management systems in real time. These strategies aim to achieve a UFE of 75.3% by 2025, in line with strategic production targets. The conclusion is that proactive management of unproductive time and integration between mining planning and mine operations are fundamental to ensuring operational efficiency and economic sustainability in large-scale operations.

Keywords: Open-pit mining; Mine planning; Equipment fleet management; Effective utilization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Perfuratriz Autônoma DR416i	14
Figura 2 – Ciclo de Carregamento das Pás Carregadeiras.	16
Figura 3 – Carregamento Carregadeira WA1200 da Fabricante Komatsu	17
Figura 4 - Ciclo de Carregamento Escavadeira	18
Figura 5 – Carregamento <i>Front Shovel</i> - Modelo PC5500 da Fabricante Komatsu	19
Figura 6 – Carregamento <i>Backhoe</i> – Modelo PC5500 da Fabricante Komatsu	20
Figura 7 – Ciclo de Transporte Caminhões	22
Figura 8 – Classificação dos Tipos de Movimentações de Mina	25
Figura 9 – Vista Aérea da Mina	27
Figura 10 – Caminhão Modelo 830E da Fabricante Komatsu	28
Figura 11 – Escavadeira Modelo PC4000 – Fabricante Komatsu	28
Figura 12 – Análise Temporal da UFE - Comparativo 2023 x 2024	31
Figura 13 – Precipitação Máxima Histórica por mês	32
Figura 14 – Pareto Códigos de Impacto Agosto 2023	33
Figura 15 – Cenário Média de Horas Improdutivas por Caminhão 2024	34
Figura 16 – <i>Boxplot</i> média de horas improdutivas/caminhão/mês	35
Figura 17 – <i>Boxplot</i> Método das Lacunas	37
Figura 18 – Gráfico Pareto Códigos de HI 2024	39
Figura 19 – Matriz Esforço x Impacto – Códigos de HI 2024	40
Figura 20 – Lógica Troca de Turno	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Utilização Efetiva (UFE) mensal em 2024.....	29
Tabela 2 – Exemplo Dimensionamento 2025 - Frota 830E.....	36
Tabela 3 - Dimensionamento Sem Redução das Horas Improdutivas	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Capex	-	<i>Capital expenditure</i>
DDS	-	Diálogo Diário de Segurança
DF	-	Disponibilidade Física
DMT	-	Distância Média de Transporte
HC	-	Horas Calendário
HD	-	Horas Disponíveis
HI	-	Horas Improdutivas
HM	-	Horas de Manutenção
HT	-	Horas Trabalhadas
KPI	-	<i>Key Performance Indicator</i>
L100	-	Perdas Internas
L200	-	Perdas Externas
L300	-	Perdas de Produção
NTE	-	<i>Never To Exceed</i>
Opex	-	<i>Operational Expenditure</i>
OM	-	Outras Movimentações
ROM	-	<i>Run Of Mine</i>
UF	-	Utilização Física
UFE	-	Utilização Física Efetiva

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1	PERFURAÇÃO DE ROCHAS	14
3.2	DESMONTE DE ROCHAS POR EXPLOSIVOS	15
3.3	CARREGAMENTO E TRANSPORTE	15
3.3.1	Pás Carregadeiras	16
3.3.2	Escavadeiras	18
3.3.3	Transporte	20
3.4	INDICADORES CHAVE DE DESEMPENHO (KPIs).....	22
3.4.1	Disponibilidade Física (DF)	22
3.4.2	Utilização Física (UF)	23
3.4.3	Utilização Física Efetiva (UFE)	24
3.4.4	Produtividade	24
3.4.5	Sistema de Controle de Despacho	24
4	METODOLOGIA	27
4.1	DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO.....	27
4.2	COLETA DE DADOS	29
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
5.1	MÉTODO DE ANÁLISE	31
5.2	ESTUDOS REALIZADOS	34
5.3	MEDIDAS OPERACIONAIS PARA MELHORIA DOS TEMPOS IMPRODUTIVOS.....	41
5.3.1	Criação de Metas Para os códigos	41
5.3.2	Padronização do Processo de Troca de Turno	42
5.3.3	Padronização do Processo de Abastecimento de Diesel	43
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
	REFERÊNCIAS BIOGRÁFICAS	46

1 INTRODUÇÃO

A indústria da mineração desempenha um importante papel na economia global, sendo uma das atividades responsáveis pelo fornecimento de matérias-primas indispensáveis a diversos setores industriais. Apesar de sua importância no fornecimento de recursos minerais, a mineração é uma atividade altamente competitiva, que requer um elevado valor de investimentos, e desta forma, torna-se imprescindível a minimização de custos obtidos nas operações. Nesse contexto, a otimização dos métodos de lavra empregados nas atividades mineradoras faz-se fundamental para alcançar uma produtividade ótima do empreendimento, considerando sempre os princípios de sustentabilidade e segurança. Para isso, deve-se avaliar continuamente o desempenho das operações unitárias de lavra, de forma a minimizar as perdas obtidas e melhorar a eficiência operacional.

De acordo com Curi (2017), um empreendimento de mineração compreende-se pela aplicação de métodos de lavra, que consistem num conjunto de operações necessários para que haja o aproveitamento econômico de uma jazida mineral. Os métodos de lavra podem ser realizados a céu aberto ou de forma subterrânea. Além disso, o autor descreve que, para as atividades de lavra a céu aberto, o ciclo de atividades de lavra resume-se em quatro operações unitárias: perfuração, desmonte de rochas, carregamento e transporte do minério. Essas operações possibilitam a exploração econômica do minério, de forma segura e ambientalmente sustentável.

O carregamento do minério é realizado, predominantemente, por meio de um conjunto de escavadeiras e pás carregadeiras de pneus. O transporte, em sua maioria, é realizado por meio de frota de caminhões fora de estrada, com objetivo de deslocar o minério ROM (*Run Of Mine*) da frente de lavra até a usina de beneficiamento. Os materiais sem valor econômico, conhecidos como estéril são transportados para uma pilha de estéril, ou até outro destino conforme a disposição da mina. Alternativamente, em algumas operações, podem ser utilizados sistemas de correias transportadoras para transporte do material.

As etapas descritas anteriormente possuem grande impacto nos índices de performance de um empreendimento mineiro, sobretudo a etapa de transporte. Uma vez que essa envolve altos custos de capital (*Capital Expenditure*, CAPEX) e altos

custos operacionais (*Operational Expenditure*, OPEX) como afirma Quevedo (2009). Neste cenário, uma operação de transporte eficiente é um dos grandes desafios enfrentado pelas empresas de mineração. A eficiência desta operação depende de diversas variáveis operacionais como: a distância média de transporte (DMT), o tipo e capacidade dos caminhões, as condições da mina (qualidade das vias, topografia etc.), as características do material e, principalmente, consumo de combustível, manutenções e depreciação dos equipamentos.

Essas variáveis operacionais estão diretamente ligadas ao aumento de produtividade de uma mina a céu aberto, principalmente, no que tange a gestão de tempos improdutivo da frota de caminhões. Caminhões fora de estrada, como o modelo 830E da fabricante Komatsu, amplamente utilizados no transporte de minério de ferro, estão sujeitos a paradas não planejadas, manutenções e outras interrupções que podem comprometer, significativamente a produtividade e os resultados operacionais.

Os tempos improdutivo de frota não afetam apenas os indicadores de desempenho das frotas, mas também geram impactos diretos no planejamento estratégico de lavra. Pois, atrasos no transporte influenciam o cumprimento das metas de produção, a alocação de recursos e a sustentabilidade econômica das operações. Nesse contexto, torna-se essencial analisar as causas e os efeitos desses tempos improdutivo, bem como proporcionar soluções que contribuam para a eficiência operacional.

Este estudo teve como objetivo avaliar como a gestão dos tempos improdutivo da frota de transporte modelo 830E pode impactar o processo produtivo de uma mina de minério de ferro, quando esta não está alinhada ao planejamento estratégico de lavra. Desta forma, utilizou-se de uma abordagem quantitativa, com coleta e análise de dados operacionais da frota de transporte modelo 830E. Além da avaliação de relatórios de produção e indicadores estratégicos de desempenho da empresa, com o objetivo de estudar estratégias que minimizem as ineficiências operacionais. Com isso, será possível identificar as principais causas de tempos improdutivo e avaliar os efeitos sobre os indicadores estratégicos de planejamento de lavra e sugerir melhorias no gerenciamento da frota.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar os tempos improdutivos da frota de transporte, e seus impactos no processo produtivo em uma mina a céu aberto de minério de ferro.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para cumprir o objetivo geral foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- analisar o impacto dos tempos improdutivos nos indicadores operacionais de desempenho da frota;
- identificar e classificar as principais causas de tempos improdutivos da frota de transporte modelo 830E da fabricante komatsu;
- estimar o impacto dos tempos improdutivos no planejamento estratégico de lavra.
- propor recomendações técnicas e operacionais para redução dos tempos improdutivos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PERFURAÇÃO DE ROCHAS

No contexto da lavra de mina a céu aberto, a perfuração de rochas representa a primeira etapa das operações unitárias. Essa etapa consiste na abertura de furos verticais, que podem ser inclinados ou não, no maciço rochoso (rocha pouco fraturada, rígida). Segundo Silva (2009), esses furos possuem distribuições e geometrias adequadas, cuja finalidade é alocar as cargas explosivas e acessórios de iniciação, necessários para fornecer energia para promover a fragmentação do material. A perfuração é realizada por meio de equipamentos denominados perfuratrizes (Figura 1), que são utilizadas em outras atividades além do desmonte de rochas, como em sondagens, suporte e drenagens. Ao longo da história, a perfuração de rochas tem passado por constantes evoluções tecnológicas, destacando-se na atualidade métodos baseados em sistemas autônomos de rotação e percussão.

Fonte: Manual Sandvik DR416i



Figura 1 - Perfuratriz Autônoma DR416i

Pode-se afirmar que, há uma relação singular entre a perfuração e o desmonte de rochas por explosivos. Hassani (2021) pontua que a perfuração e o desmonte de rochas constituem mais de 15% do custo total de uma lavra a céu aberto. Portanto, a otimização da etapa de perfuração é de suma importância no sequenciamento das operações unitárias de lavra. Pois, a partir dela, pode-se obter um plano de fogo bem executado, de forma a se ter um resultado satisfatório na etapa de fragmentação e, conseqüentemente, auxiliar as operações unitárias posteriores (ALONSO, 2013).

3.2 DESMONTE DE ROCHAS POR EXPLOSIVOS

Posterior à etapa de perfuração, ocorre a etapa de desmonte de rochas, que pode ser realizada tanto de forma mecânica, com o auxílio de tratores, quanto por meio de explosivos. O desmonte por explosivos consiste em uma reação exotérmica extremamente veloz e eficaz, onde por meio da transformação de materiais explosivos em uma massa de gases, é possível gerar a ruptura do maciço rochoso. (CAVADAS, 2012).

O planejamento e o resultado do desmonte de rochas por explosivos é influenciado por uma série de variáveis operacionais, que necessitam de acompanhamento e controle. A fim de, obter um resultado satisfatório da operação de fragmentação. Dentre as variáveis operacionais do desmonte pode-se destacar: escolha do método; equipamentos de perfuração; litologia do maciço rochoso; profundidade e diâmetro dos furos; tipo de explosivo; geometria da malha de perfuração; e qualificação da equipe de desmonte (KOPPE & COSTA, 2012).

3.3 CARREGAMENTO E TRANSPORTE

Após a fragmentação do minério pelo desmonte por explosivos o material deve ser carregado e transportado pelos caminhões. Dentre as operações unitárias de lavra, o carregamento e transporte destacam-se como maiores responsáveis pelos custos de um empreendimento mineral, podendo representar cerca de 60% a 70% dos custos totais de lavra (COUTINHO, 2017).

As atividades de lavra de minério de ferro, tem como objetivo a movimentação de grandes volumes de massa a um baixo custo unitário, e para tal, faz-se o uso de

equipamentos de grande porte, de forma a otimizar esta condição. Desta forma, faz-se necessário que a escolha dos equipamentos de carga e de transporte ocorram de forma conjunta, para que haja compatibilidade das frotas utilizadas, maximizando a eficiência do processo. As operações de carregamento e transporte ocorrem em circuito fechado, constituído por etapas que vão desde o enchimento da caçamba do equipamento de carga, ao basculamento do material e retorno à praça de carregamento (SOUZA, 2001). A Figura 2 demonstra como ocorre esta operação para as pás carregadeiras, onde de acordo com Teixeira (2016) o ciclo de carregamento pode ser dividido em: carregamento da caçamba, deslocamento em ré com a carga, avanço com a carga, descarga do material na caçamba do caminhão, deslocamento em ré vazia e avanço vazia, conforme indicam as setas.

Fonte: (RICARDO e CATALANI, 2007)

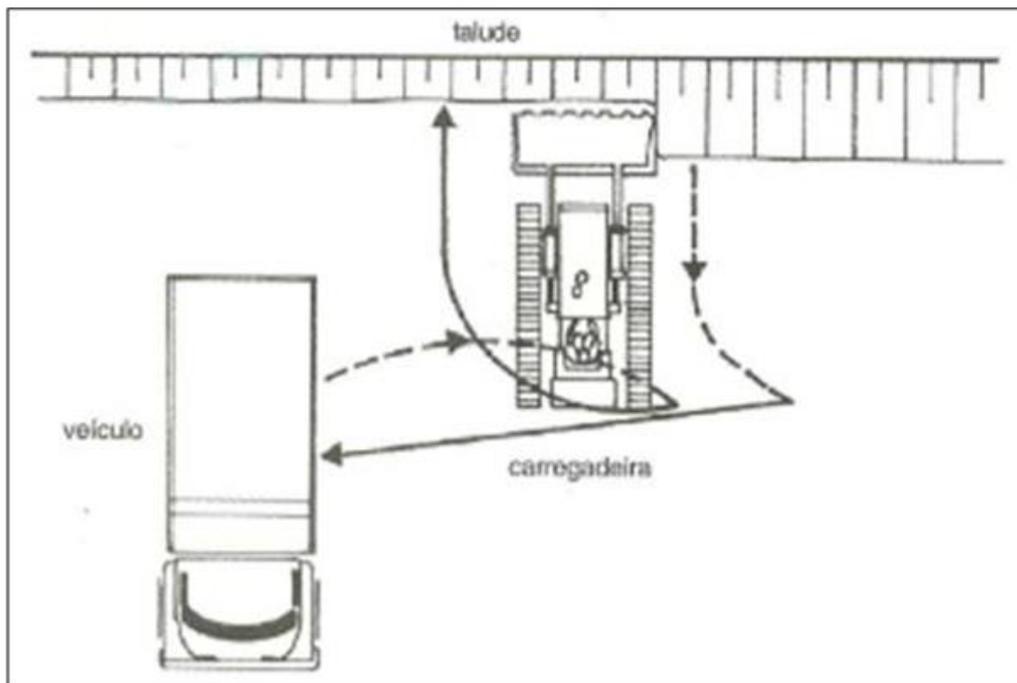


Figura 2 – Ciclo de Carregamento das Pás Carregadeiras.

3.3.1 Pás Carregadeiras

As carregadeiras, também chamadas de pás carregadeiras, são equipamentos utilizados para o carregamento de caminhões, pois apresentam grande versatilidade para o deslocamento de diferentes frentes de lavra. Pois, tratam-se de equipamentos que se locomovem sobre pneus e podem alcançar velocidades de até 45 km/h. Já as escavadeiras, equipamentos que se deslocam por meio de esteiras, podem atingir

aproximadamente 1,5 km/h (COUTINHO, 2017). Apesar de, uma menor capacidade de carga útil da caçamba, as carregadeiras possuem elevado fator de enchimento, o que possibilita uma boa produtividade do equipamento de carga. As carregadeiras são comumente utilizadas em frentes de lavra onde o material a ser carregado apresenta-se bem desmontado (fragmentado).

Estes equipamentos possuem uma caçamba frontal, que se movimentam através de um mecanismo de braços articulados controlados por pistões hidráulicos, que se elevam para carregar o material até a caçamba dos caminhões (RACIA, 2016). A Figura 3 exemplifica o equipamento em questão.



Figura 3 – Carregamento Carregadeira WA1200 da Fabricante Komatsu

Para as operações de carregamento, um fator de produtividade determinante é o ciclo de carregamento. Ou seja, para carregar um caminhão, é necessário a realização manobras entre o equipamento de transporte e a face do talude, conforme indicado na Figura 2. As carregadeiras são equipamentos de ampla utilização nas operações de mina a céu aberto. Porém, costumam ser utilizadas conforme a necessidade de substituir outro equipamento que esteja em manutenção, normalmente, uma escavadeira. Além disso, são utilizadas para assegurar o ajuste dos níveis de qualidade do ROM, atuando em pilhas de estoque de minério,

principalmente, em períodos chuvosos, de forma a garantir a alimentação do britador (TEIXEIRA, 2016).

3.3.2 Escavadeiras

De acordo com Jaworski (1997), as escavadeiras correspondem ao principal equipamento de carga utilizado em lavra de minas a céu aberto. Esse equipamento realiza escavações em conjunto com o próprio carregamento do material a ser lavrado, a depender das especificações da litologia do minério. Como citado anteriormente, as escavadeiras são usualmente montadas sobre esteiras, o que dificulta a sua locomoção. Desse modo, devem se locomover o mínimo possível para que não haja desgaste dos componentes do equipamento (ABREU, 2017).

Em relação ao ciclo de carregamento, Ricardo e Catalani (2007), defendem que, diferentemente das pás carregadeiras, o deslocamento não faz parte do ciclo de carregamento das escavadeiras, conforme mostrado na Figura 3. Já que estes equipamentos operam de forma estacionada, realizando a escavação e o carregamento do material sem se deslocar, em função da baixa velocidade de locomoção e dos fatores citados anteriormente. No caso das escavadeiras, o deslocamento é indicado somente em casos de extrema necessidade. Como para realização de manutenções e deslocamento do cerco de desmonte, além de mudança de frentes de lavra conforme estratégias de planejamento.

Fonte: Anglo American (2015)

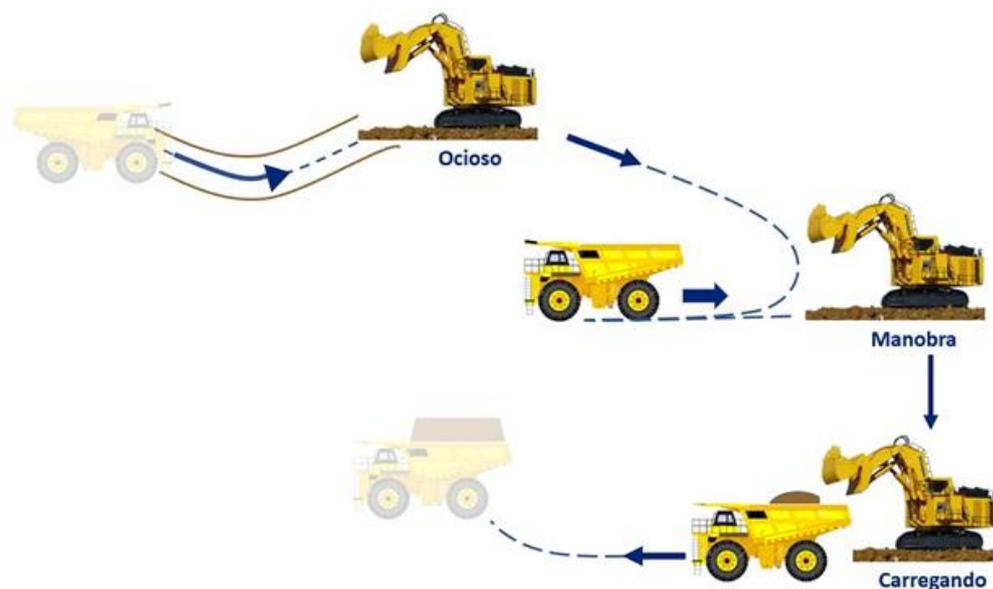


Figura 4 - Ciclo de Carregamento Escavadeira

Dentre os tipos de escavadeiras existentes, pode-se citar como escavadeiras mais comumente utilizadas, as do tipo *front shovel* e tipo *backhoe*. As escavadeiras *front shovel* (Figura 5) realizam o movimento em sentido frontal, de forma a realizar o preenchimento da caçamba de baixo para cima, sendo o material basculado nos caminhões por meio de um fundo móvel. Já a *backhoe* (Figura 6), ou retroescavadeira, realizam o movimento de cima para baixo, devido à sua caçamba ser voltada para baixo, desta forma, é necessário que estes equipamentos operem em uma plataforma acima do nível de praça do caminhão, isto possibilita que a máquina arraste o material para próximo de si (TEIXEIRA, 2016).

Os tipos de escavadeiras apresentam diferentes características de escavação e carregamento, sendo assim, são indicadas para diferentes condições operacionais. Lopes (2010) destaca que entre as vantagens da *backhoe* estão: menores ciclos de carregamento e maior precisão no corte. Já a *shovel* é indicada para trabalhos em bancadas mais altas, por possuir maior alcance de corte, sendo uma grande vantagem para minimização de formação de ângulos negativos.



Figura 5 – Carregamento *Front Shovel* - Modelo PC5500 da Fabricante Komatsu



Figura 6 – Carregamento *Backhoe* – Modelo PC5500 da Fabricante Komatsu

3.3.3 Transporte

Classificada como a última etapa das operações unitárias de lavra, a etapa de transporte do minério é de suma importância no processo produtivo de mineração. De acordo com Darling (2011), apesar de existirem diversas formas de transporte do material, para a lavra a céu aberto, em sua maioria são utilizados caminhões de grande porte, também denominados de caminhões fora de estrada. Devido à sua flexibilidade e à capacidade de operação em terrenos variados, com diferentes condições operacionais.

O transporte por caminhões é responsável por representar cerca de 50% dos custos operacionais, devido ao alto consumo de insumos, sendo eles: diesel, pneus, componentes mecânicos e custos com mão de obra para manutenções. O que representa um dos elementos mais importantes em termos de custos logísticos para diversas empresas (HUSTRULID, 2013). A etapa de transporte é responsável por deslocar o material desmontado das frentes de lavra até os pontos de destino, sejam eles a britagem, uma pilha de estoque intermediário ou até mesmo pilhas de estéril.

Souza (2001) defende que, os dimensionamentos das frotas de carga e transporte, sejam realizados de forma conjunta, uma vez que, estas duas etapas são diretamente dependentes. Segundo Hustruuld (2013), para que a produtividade seja maximizada, uma escavadeira tipo *front shovel* necessita de 3 a 5 passes para preencher a báscula de um caminhão fora de estrada. Porém, essa condição irá depender do dimensionamento realizado, reforçando o pensamento de Souza (2011), que considera a necessidade de existir compatibilidade entre as frotas, visando a redução de custos.

Para um bom desempenho da frota de transporte, é necessário levar em consideração diversos parâmetros, como: as condições das vias de transporte, a largura da via, a inclinação das rampas e um assertivo controle de despacho da frota. Além disso, uma série de indicadores chave de desempenho (*key Performance Indicator* – KPI) são utilizados com a finalidade de controlar e maximizar a produtividade da mina. Os indicadores de desempenho operacional do transporte mais importantes são: a disponibilidade física (DF); a utilização física (UF); as horas produtivas trabalhadas; a produtividade (medida em toneladas/hora); a DMT; a velocidade média dos caminhões; a carga útil transportada (*Payload*); e o tempo de ciclo (COUTINHO, 2017).

Conforme Pinto (2007), o ciclo de transporte dos caminhões ocorre em um circuito fechado: começando pelo deslocamento do equipamento até a frente de lavra; em seguida o carregamento da caçamba; o deslocamento desse equipamento até uma origem; o basculamento do material; e a realocação do caminhão a uma nova frente de lavra, realizada pelo sistema de despacho. A Figura 7 ilustra o ciclo de transporte.

Fonte: Anglo American (2015)

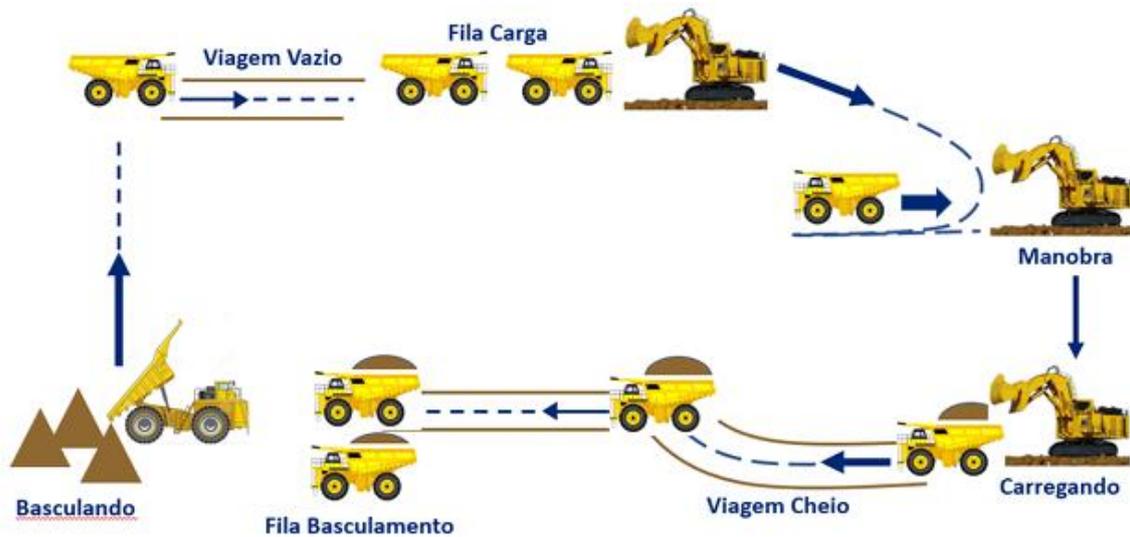


Figura 7 – Ciclo de Transporte Caminhões

3.4 INDICADORES CHAVE DE DESEMPENHO (KPIs)

Segundo Lima (2005), os indicadores chave de desempenho (KPIs) são ferramentas essenciais para monitorar, avaliar e melhorar o desempenho das operações em diferentes etapas do processo de mineração. Os KPIs fornecem dados relevantes e objetivos que auxiliam na tomada de decisões estratégicas, o que permite a melhoria contínua dos processos produtivos e a redução de custos.

O uso adequado de KPIs possibilita não apenas o acompanhamento do desempenho, mas também a identificação de desvios e oportunidades de melhoria (NADER, 2013). No cenário da mineração, estes indicadores podem ser aplicados em diversas áreas, mas são aplicados, principalmente, para as frotas de carga e transporte, sendo os principais mencionados a seguir.

3.4.1 Disponibilidade Física (DF)

O primeiro indicador de desempenho a ser avaliado para mensurar a produção é a disponibilidade física (DF). A DF é um indicador que tem como base o tempo e irá definir qual a porcentagem de tempo das horas calendário (HC) que estão disponíveis para operar. Esse indicador depende do tempo de manutenção de cada equipamento, horas de manutenção (HM), considerando dois tipos de manutenção: a manutenção preventiva e a manutenção corretiva.

A manutenção preventiva é aquela na qual ocorre de forma planejada pela equipe de manutenção da mina, de forma a preservar os componentes do equipamento. Já a manutenção corretiva é aquela que ocorre sem o devido planejamento, a partir de uma falha dos sistemas do equipamento. O que gera uma série de custos operacionais e prejudica a programação diária de lavra da mina. A DF pode ser calculada a partir da seguinte equação:

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

Sendo: HC as horas calendário, HM as horas de manutenção e HD as horas disponíveis.

3.4.2 Utilização Física (UF)

A utilização física (UF) é o indicador de desempenho que representa e indica o quanto do tempo disponível (HC x DF) foi utilizado para produzir. Segundo o modelo de tempo adotado pela empresa em estudo, as horas improdutivas que influenciam no indicador de UF, ou seja, o equipamento está disponível, porém não está sendo utilizado, podem ser classificadas em duas categorias:

- Perdas internas (denominadas de L100) – São as perdas controláveis pela operação, como é o caso de trocas de turno, revezamento para refeições e abastecimento de *diesel*;
- Perdas externas (denominadas de L200) – São aquelas que não estão no controle da equipe, como chuva, descargas atmosféricas, neblina e pista escorregadia;

Para o cálculo do indicador de UF, pode-se utilizar a seguinte equação:

$$UF (\%) = \frac{HC - HM - L100 - L200}{HC - HM} = \frac{HD - HI}{HD} = \frac{HT}{HD} \quad \text{Eq. 2}$$

Sendo: HI são as horas improdutivas, geradas a partir da apropriação de códigos; e HO as horas operacionais.

3.4.3 Utilização Física Efetiva (UFE)

A utilização física efetiva (UFE), é um indicador utilizado que possui relação direta com a UF, porém neste indicador, além das perdas internas (L100) e perdas externas (L200), também são levadas em consideração as perdas de produção (denominadas de L300). Perdas de produção, são perdas enquanto o equipamento está sendo utilizado, como filas, deslocamentos, acessos bloqueados e ociosidade do equipamento. Desta forma, a UFE trata-se de uma extensão da UF, podendo ser calculada pela seguinte relação matemática:

$$UFE (\%) = \frac{HC - HM - L100 - L200 - L300}{HC - HM} = \frac{HD - UF}{HD} \quad \text{Eq.3}$$

Sendo: HC as horas calendário, HM as horas de manutenção, HD as horas disponíveis e UF a utilização física.

3.4.4 Produtividade

A produtividade é o KPI que correlaciona a medida de produção com medida de tempo. De outro modo, a produtividade representa o quanto um equipamento é capaz de produzir em um determinado número de horas operadas. Para os equipamentos de carga e transporte, a produtividade é medida em toneladas por hora operacional.

Em relação à frota de transporte, os fatores que podem influenciar na maximização da produtividade são: *payload*, DMT, tempos fixos (aqueles que não possuem grandes variações, como manobras e carregamento) e a velocidade média do equipamento (relação entre a velocidade executada pelo equipamento vazio e a velocidade executada pelo equipamento cheio).

3.4.5 Sistema de Controle de Despacho

Com o avanço dos processos e da necessidade de cada vez mais ferramentas de melhoria de produtividade. Torna-se determinante o uso de tecnologias integradas ao sistema produtivo da mina, que possibilitem o acompanhamento do desempenho da mina em tempo real, como os sistemas de despacho. Os caminhões fora de

estrada podem ser alocados de duas maneiras: estática ou dinâmica. A alocação dinâmica necessita de sistemas embarcados de despacho, o que possibilita o monitoramento em tempo real dos parâmetros de desempenho dos equipamentos. O sistema de despacho é controlado por uma sala de controle, desta maneira, o sistema auxilia na gestão de frotas, na criação de fluxo de movimentações e na alocação das frentes de lavra (PINTO, 2007).

Através do sistema de despacho é possível verificar o desempenho dos equipamentos e enviar para os operadores de caminhões os comandos de trajeto que estes devem executar. Por exemplo, a origem na qual devem carregar o equipamento com material até o destino de basculamento. Desse modo, controla-se os tipos de movimentações a serem realizadas conforme o planejamento de mina. No caso da mina de estudo, as movimentações são divididas em três classificações principais ROM (*Run Of Mine*), OM (outras movimentações) e estéril, além de subclassificações. O ROM pode ser classificado em minério mina - todo material que possui origem em uma frente de lavra e tem destino o britador - ou minério estoque, que é todo material destinado a pilhas de estoque, podendo ser elas pilhas de minério interno (PMI) ou pilhas de minério externo (PME). O OM pode ser dividido em minério retomado, sendo todo material retirado das pilhas de estoque com origem para o britador, ou remanejo, material destinado a forros de estradas, por exemplo. Já o estéril é depositado em pilhas de deposição de estéril, chamadas de PDE. A Figura 8 ilustra a dinâmica dessas movimentações:

Fonte: Anglo American (2015)

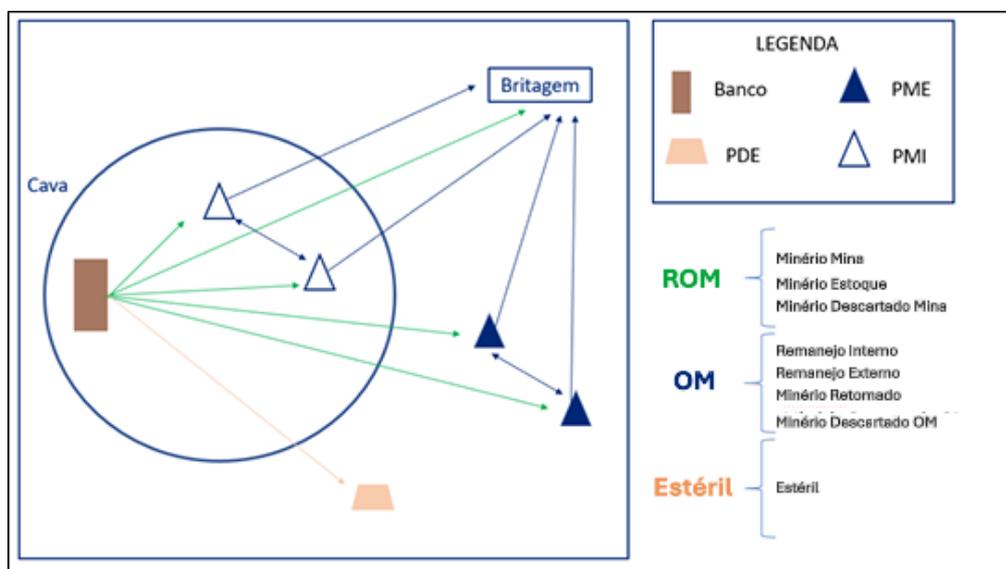


Figura 8 – Classificação dos Tipos de Movimentações de Mina

Por meio do sistema de despacho, também é possível acompanhar a situação de cada equipamento com a apropriação correta do código de horas improdutivo. Esses códigos são apropriados ao sistema pelo próprio operador do equipamento em concordância com a sala de controle da mina.

4 METODOLOGIA

4.1 DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

O estudo de caso foi desenvolvido na Mina do Sapo, pertencente as operações de minério de ferro ao projeto Minas-Rio da empresa Anglo American. A mina está situada nos municípios de Conceição do Mato Dentro e Alvorada de Minas, em Minas Gerais, a cerca de 160 km de Belo Horizonte. A Figura 10 mostra um mapa da vista aérea da mina.

Fonte: Google Earth Pro 12/03/2024

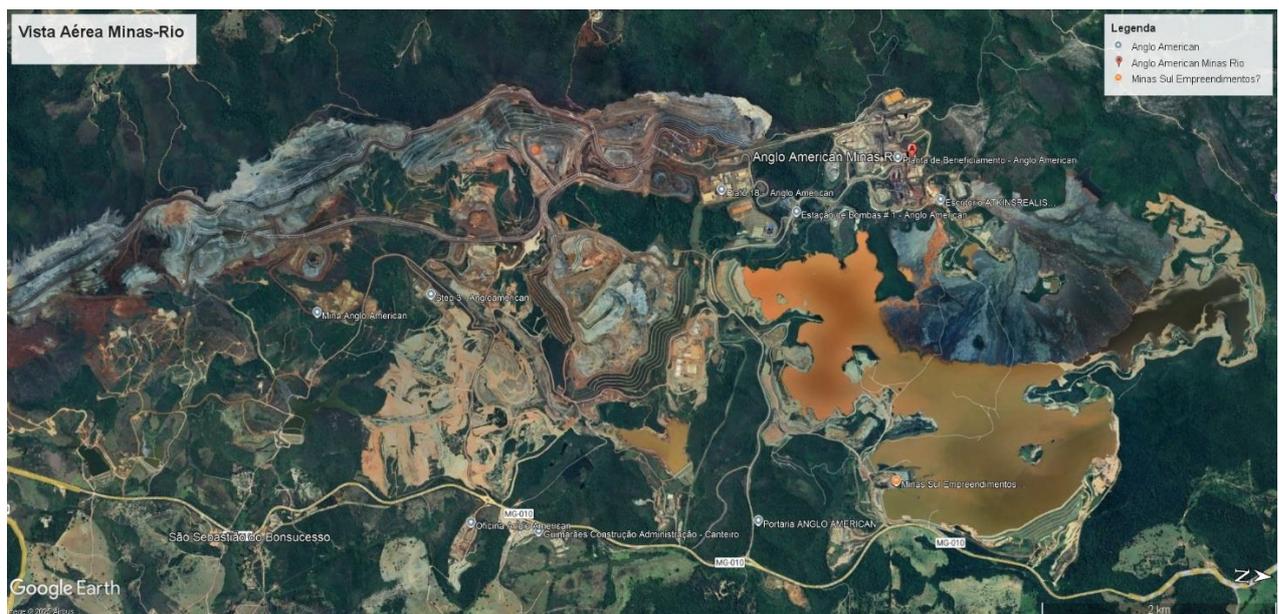


Figura 9 – Vista Aérea da Mina

A mina objeto de estudo faz uso de caminhões fora de estrada modelo 830E, da fabricante Komatsu (Figura 10). Atualmente, a frota de transporte conta com 31 equipamentos. Esses caminhões são classificados como caminhões eletrodiesel, devido a utilizarem um sistema de propulsão híbrido, que combina um motor a diesel com transmissão elétrica. Neste tipo de transmissão, o motor a *diesel* não está diretamente conectado às rodas, e tem como função acionar um gerador que produz energia elétrica para alimentar os motores elétricos localizados nos eixos traseiros, que, por sua vez, movem o caminhão (KOMATSU, 2011). De acordo com a fabricante, esses caminhões possuem peso operacional de aproximadamente 164.200kg, e possuem uma capacidade de carga útil (*payload*) de aproximadamente 227 toneladas, porém a frota objeto de estudo, passou por modificações de balança e de

pneus, o que possibilita uma carga média de 242 toneladas, alinhada à política NTE (*Never To Exceed*) que determina que os caminhões não devem exceder a carga de 273 toneladas.



Figura 10 – Caminhão Modelo 830E da Fabricante Komatsu

No que se refere às frotas de equipamentos de carga, a mina conta com três escavadeiras modelos PC4000 (Figura 11), duas escavadeiras modelos PC5500 (Figura 6) e três pás carregadeiras modelo WA1200 (Figura 3), utilizadas nos processos de escavação e carregamento respectivamente, todos equipamentos da fabricante Komatsu.



Figura 11 – Escavadeira Modelo PC4000 – Fabricante Komatsu

A mina possui capacidade de produção de aproximadamente 25 milhões de t/ano de pelota granular (*pellet feed*) com alto teor de ferro, e utiliza um sistema de gerenciamento de frotas denominado *DISPATCH*, da fabricante *Modular Mining*. Esse sistema possibilita um melhor cálculo das rotas a serem seguidas pelos caminhões, além de uma melhor alocação dos equipamentos de transporte, auxiliando no cumprimento do planejamento de lavra (SILVA, 2018).

4.2 COLETA DE DADOS

A metodologia utilizada neste estudo, deu-se a partir da coleta de dados de tempos improdutivo da frota de equipamentos de transporte e da utilização efetiva realizada nos anos de 2023 e 2024. Para coleta de dados foram considerados os códigos de impacto no indicador de UFE, sendo avaliada a duração total em horas, de forma a avaliar os resultados obtidos para gestão das horas improdutivo, utilizando os *softwares* Power Bi e Minitab estatístico. Os parâmetros operacionais gerados pelas análises, foram posteriormente comparados com o planejamento estratégico de lavra de 2025, a fim de analisar a viabilidade do cenário projetado para o ano e quais as mudanças necessárias para gestão das horas improdutivo.

Por se tratar de uma operação com altas taxas de produção e um grande volume diário de movimentações de minério, torna-se fundamental a obtenção de uma frota de transporte numerosa. O que pode inviabilizar um empreendimento em decorrência dos altos custos com investimentos, manutenções de componentes e, principalmente, combustível.

Para a Mina do Sapo, o planejamento estratégico de 2025 contemplava um dimensionamento com cenário otimista em relação à utilização efetiva da frota de transporte. O cenário projetado conta com uma utilização efetiva anual de 75,3%, sendo esta maior que a realizada até o mês de novembro do ano de 2024, onde a média do KPI realizado foi da ordem de 74,7% como mostra a Tabela 1. Em contrapartida, é necessário realizar ações de melhorias para que o cenário projetado seja alcançado com eficiência, sem que haja um aumento do número de horas improdutivo da frota.

Tabela 1 - Utilização Efetiva (UFE) mensal em 2024.

Mês	UFE
-----	-----

Janeiro	71,1%
Fevereiro	71,8%
Março	72,2%
Abril	78,6%
Maiο	79,3%
Junho	78,8%
Julho	75,2%
Agosto	75,4%
Setembro	75,3%
Outubro	72,1%
Novembro	72,3%
Média	74,7%

Fonte: Autoria Própria

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como citado anteriormente, o processo produtivo de uma mina, possui parâmetros que devem ser minunciosamente avaliados, de tal forma a otimizar o processo produtivo do empreendimento. Esses parâmetros devem estar alinhados de

forma harmônica para que o conjunto de “engrenagens” funcione, e dessa forma, faz-se necessário o planejamento estratégico de metas a curto, médio e longo prazo.

5.1 MÉTODO DE ANÁLISE

Para validar o planejamento estratégico de 2025, a princípio, foram levantados os dados do cenário de horas improdutivas da frota de transporte durante o período de janeiro de 2023 até novembro de 2024. Vale ressaltar que, o levantamento realizado, levou em consideração as perdas internas (L100), externas (L200) e de produção (L300), sem a contabilização das perdas por filas. Uma vez que, foi adotado como critério que as filas fazem parte do processo produtivo. A Figura 12 apresenta os dados obtidos.

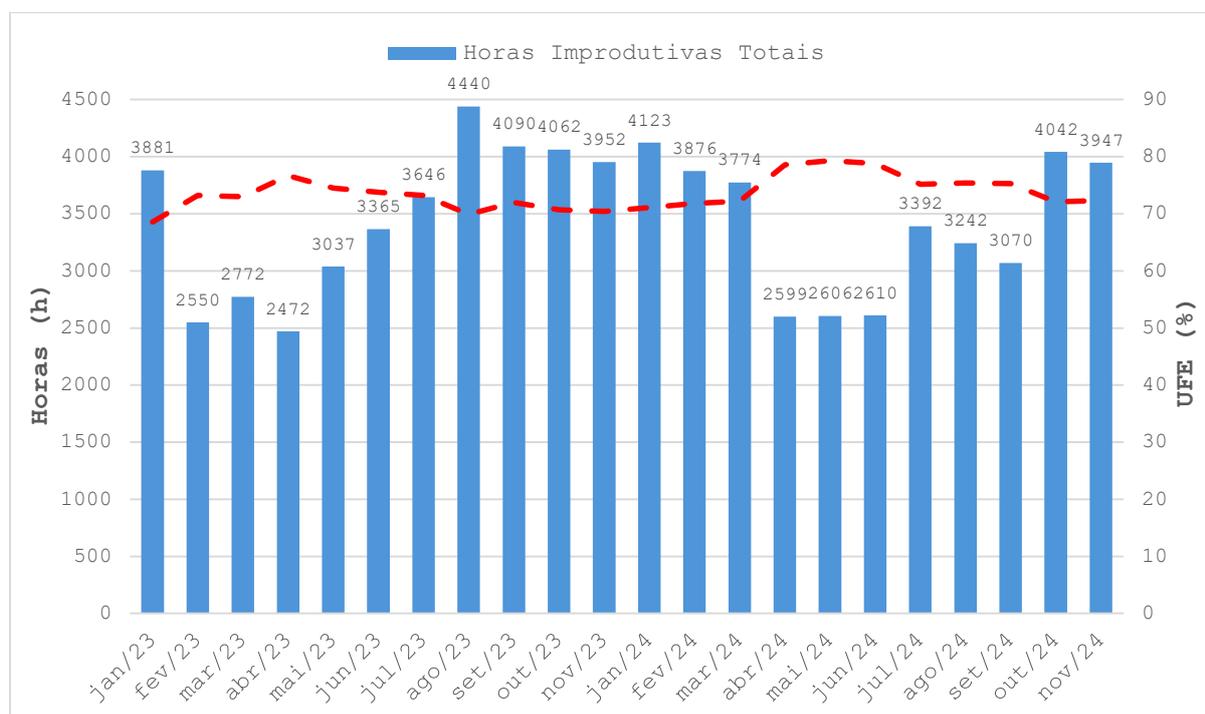


Figura 12 – Análise Temporal da UFE - Comparativo 2023 x 2024

Pode-se observar que, há uma sazonalidade do processo, ou seja, ocorrências mais elevadas de horas improdutivas em determinados meses do ano. Devido às condições climáticas que ocorrem em períodos específicos do ano, como instabilidades climáticas, fator esse que influencia de diversas formas os processos produtivos de lavra. No cenário comparativo dos anos de 2023 e 2024, nota-se que meses como janeiro, outubro e novembro de 2023, além de janeiro, fevereiro, março,

outubro e novembro de 2024, apresentam uma quantidade mais elevada de horas improdutivoas e, conseqüentemente, uma redução da utilização efetiva. Isto ocorre pelo cenário de fortes chuvas que atingem a área da mina durante esses meses. A Figura 13 apresenta um comparativo de máximas histórica de chuvas nos meses do ano, o que possibilita identificar este padrão de comportamento.

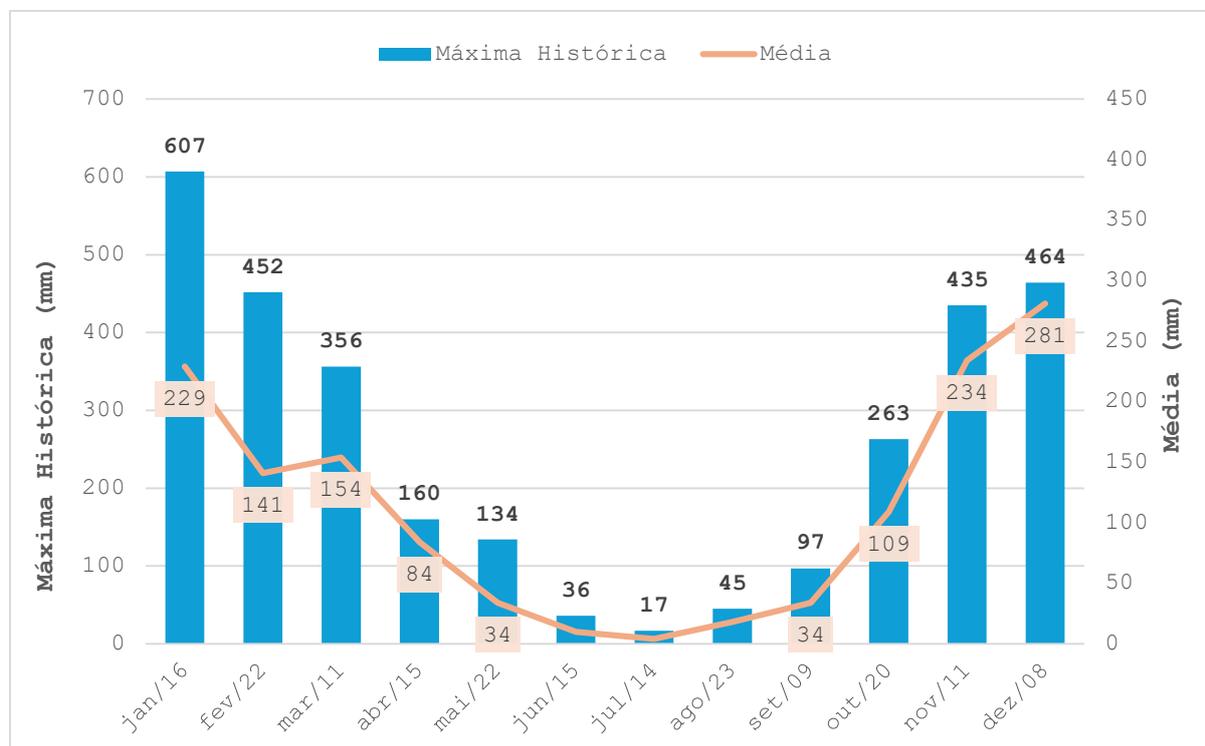


Figura 13 – Precipitação Máxima Histórica por mês

As fortes chuvas impactam diretamente nas condições de acessos da mina, conseqüentemente, ocorre redução da velocidade média dos caminhões, baixa visibilidade de operadores por questões de neblina, maiores ocorrências de paradas por falta de equipamentos de carga, acessos bloqueados devido a obras de infraestrutura para melhorias de vias, dentre outros fatores.

A partir da análise da Figura 12, também pode-se verificar que o mês de agosto de 2023 apresenta uma maior quantidade de horas improdutivoas, totalizando 4.440 horas. A análise detalhada deste mês mostra que este mês foge do comportamento típico de sazonalidade observado. A razão pelo maior número de horas improdutivoas do mês, pode ser dada pela falta de operador, conforme mostra a Figura 14. Esse código possui grande influência no cenário operacional da mina do sapo. A falta de

operador é gerada a partir do absenteísmo dos operadores de caminhões, o que gera grande impacto para os processos, como a troca de turno, sendo o segundo código (fatores ou causas que contribuem para o aumento das horas improdutivas) de maior perda no mês, e processos de revezamentos de operadores para refeição.

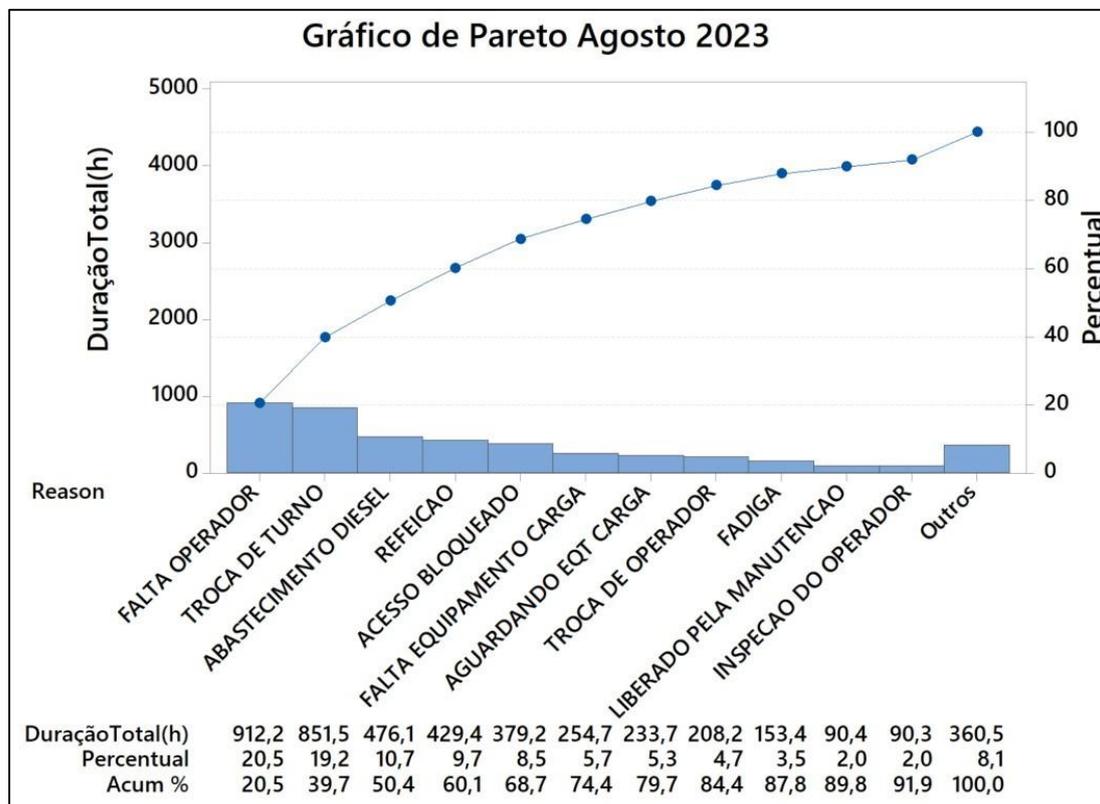


Figura 14 – Pareto Códigos de Impacto Agosto 2023

De maneira semelhante, para que fosse analisado um cenário mais atual, foram levantadas as horas médias improdutivas por caminhão no ano de 2024, conforme mostra a Figura 15. Neste cenário, a mina do sapo contou com 33 caminhões na frota para o mês de janeiro, reduzindo para 32 caminhões nos meses de fevereiro e março, e chegando a 31 caminhões nos meses subsequentes.

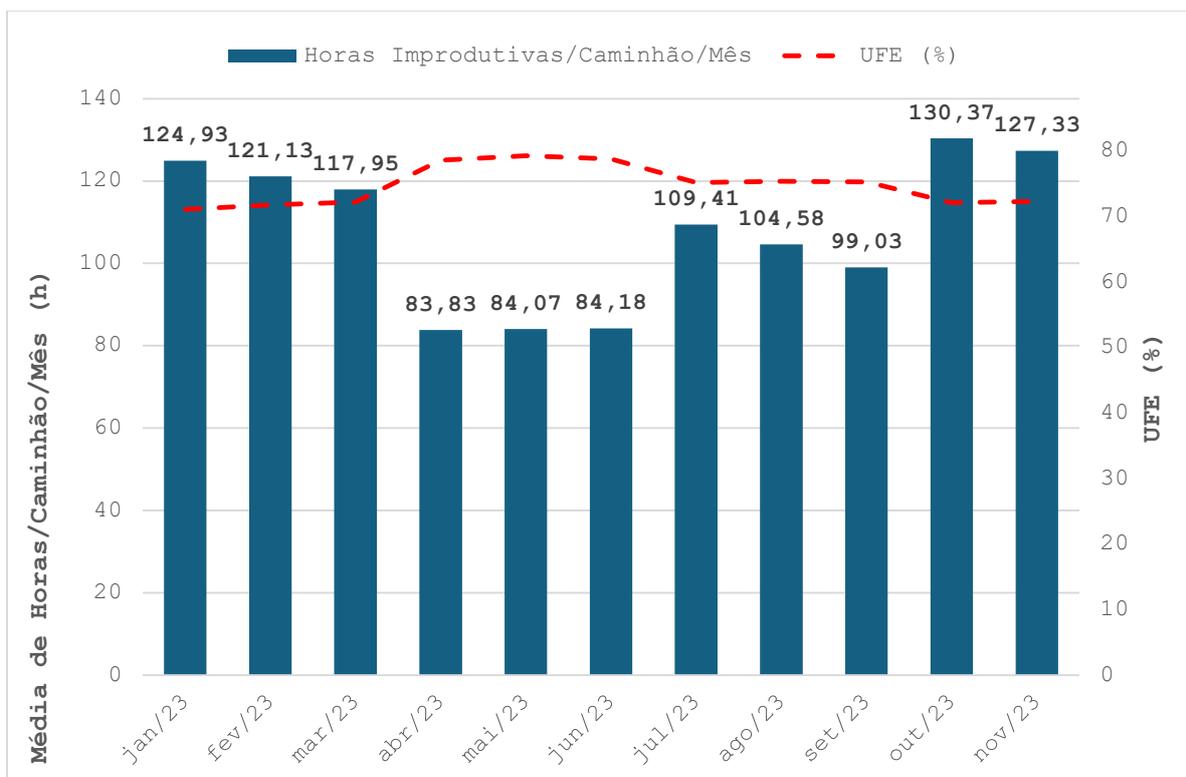


Figura 15 – Cenário Média de Horas Improdutivas por Caminhão 2024

5.2 ESTUDOS REALIZADOS

Após o levantamento das horas improdutivas médias por caminhão realizadas para o ano de 2024 (Figura 15), observou-se o efeito da sazonalidade. Considerando que os meses com maiores horas improdutivas são os meses chuvosos (janeiro, fevereiro, março, outubro e novembro). E os meses de referência (*benchmarking*) são os meses com melhor desempenho, ou seja, de período de seca (abril, maio e junho). A partir dos resultados obtidos no levantamento, foi possível obter uma média global de horas improdutivas por caminhão por mês, conforme indicado na Figura 16.

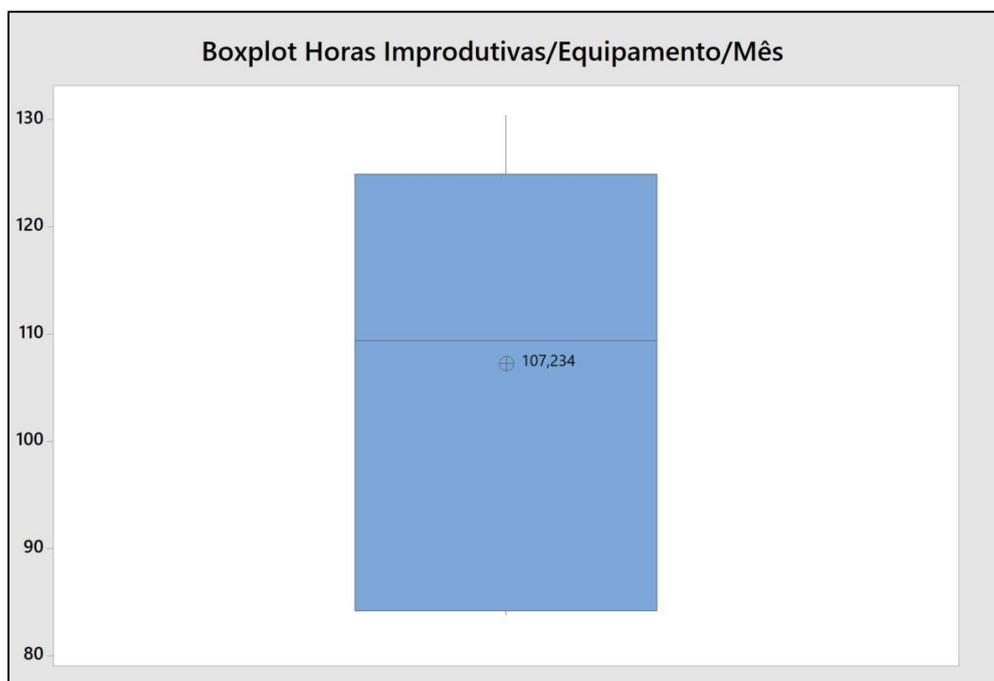


Figura 16 – *Boxplot* média de horas improdutivas/caminhão/mês

Ao analisar o *boxplot* (diagrama de caixa), é possível visualizar a distribuição das horas improdutivas totais, de forma a desenvolver uma perspectiva sobre o caráter dos dados analisados. Nota-se que, há uma grande variabilidade dos dados, visto que a distribuição das horas improdutivas varia pela sazonalidade. Conforme mencionado anteriormente, sendo composta por dados assimétricos negativos, uma vez que a mediana está mais próxima do terceiro quartil. Observa-se também que a média de horas improdutivas por equipamento, foi de 107,2 horas/caminhão/mês, para uma utilização efetiva de 74,7%.

Quando confrontado com o planejamento estratégico de 2025, verifica-se que o plano de produção contempla um cenário mais otimista, conforme mencionado anteriormente no item 4.2. Desta forma, foi necessária a realização de um cálculo de projeção das horas improdutivas contempladas no planejamento estratégico do ano. A Tabela 2 demonstra o exemplo do dimensionamento dos meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro, e o cenário projetado para o ano.

Tabela 2 – Exemplo Dimensionamento 2025 - Frota 830E

Dimensionamento - Frota 830E 2025					
Indicadores	JAN	FEV	NOV	DEZ	ANO
Hora Calendário (HC)	23.064	20.832	27.360	28.272	304.212
DF	81,99%	81,52%	82,90%	82,90%	82,75%
UFE	72,00%	72,60%	72,60%	71,76%	75,30%
Nº Equipamentos	31	31	38	38	35
Horas Disponíveis (HD)	18.910	16.982	22.681	23.437	251.739
Horas Operadas (HO)	13.615	12.329	16.467	16.819	189.552
Horas improdutivas (Hi)	5.295	4.653	6.215	6.619	62.187
Hi / equipamento	170,80	150,10	163,55	174,18	149.2
HI - Fila	3.768	3.287	4.313	4.784	39.809

Fonte: Autoria Própria

Ao calcular os parâmetros de dimensionamento para o ano de 2025, considerando as horas calendário (HC), o número de equipamentos da frota, os KPI's dimensionados, como a DF, a UFE e a produtividade dos caminhões, observou-se que o plano contempla uma redução de 11% no número médio de horas improdutivas por equipamento ao mês em relação a 2024. Esse valor corresponde a uma média de 95,57 horas/caminhão/mês, de modo a garantir o cumprimento da UFE de 75,30% (destaque em verde na tabela 2) e da movimentação total prevista para a frota de transporte.

Diante destas circunstâncias, faz-se necessário elaborar planos que promovam melhorias no processo produtivo e, conseqüentemente, reduzam a média de horas improdutivas por equipamento ao mês. Para isso, com o objetivo de comparar o desempenho realizado em 2024 com a meta estabelecida no planejamento estratégico, utilizou-se do método das lacunas, também denominado de análise de *GAP*. A Figura 17 apresenta a análise realizada.

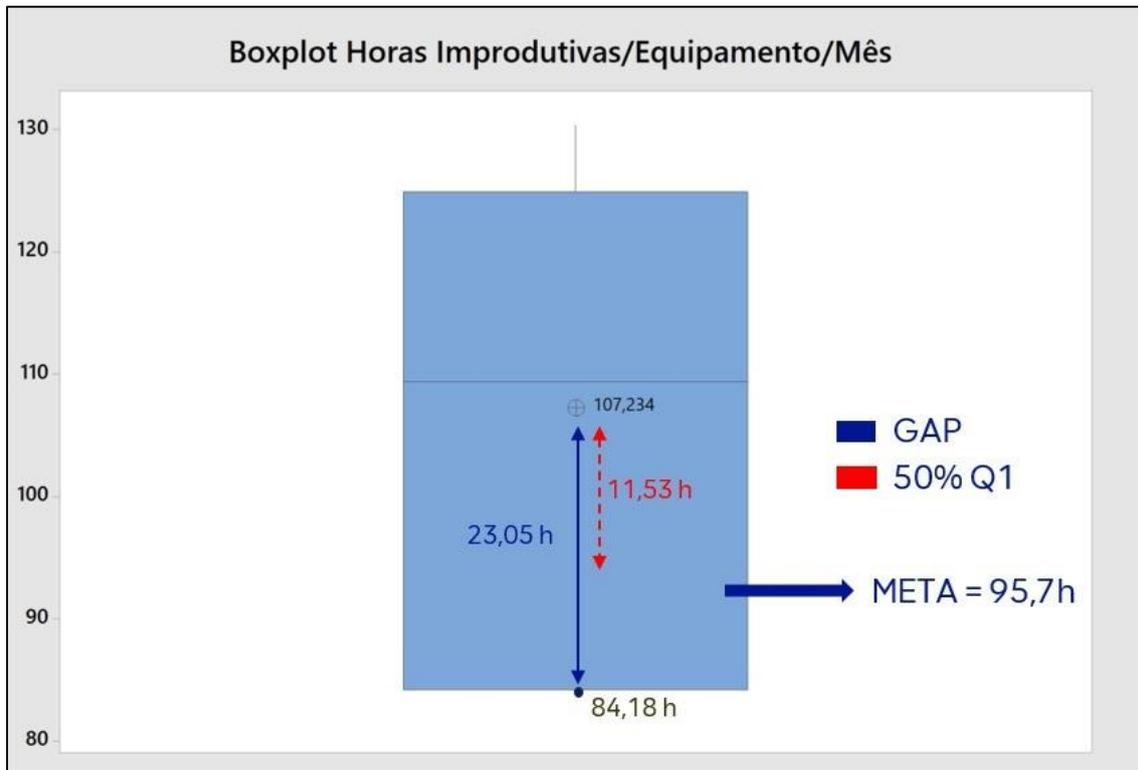


Figura 17 – *Boxplot* Método das Lacunas

A partir da Figura 17, foi possível determinar o *GAP* (diferença) entre a média de horas improdutivas/caminhão/mês, e o primeiro quartil (84,18 horas), resultando em uma diferença de 23,05 horas. Através do método das lacunas, estimou-se que, para uma redução viável, é necessário capturar 50% desse *GAP*, reduzindo as horas improdutivas para 95,7 horas improdutivas/equipamento/mês. Esse valor está alinhado com as projeções do planejamento estratégico de 2025.

De forma semelhante, faz-se necessário o dimensionamento da UFE em um cenário que não considera a redução da média de horas improdutivas por equipamento. Dessa forma, é possível estimar o impacto dos tempos improdutivos no planejamento de lavra, a partir do *GAP* gerado na movimentação total. A Tabela 3 apresenta um exemplo desse dimensionamento.

Tabela 3 - Dimensionamento Sem Redução das Horas Improdutivas

DIMENSIONAMENTO SEM REDUÇÃO DE HI					
Indicador	JAN	FEV	NOV	DEZ	ANO
Hora Calendário	23.064	20.832	27.360	28.272	304.212
Proporção Perda	1,3	1,1	1,2	1,3	
HI por equip. Abs.	136,4	119,0	127,3	141,3	107,23
HI Total	5.754,7	5.054,3	6.741,1	7.202,6	67.045,1
HO	13.155,5	11.928,0	15.940,4	16.234,9	184.693,6
UFE (%)	69,6%	70,2%	70,3%	69,3%	73,4%
GAP Massa	176.840,9	152.424,2	208.435,1	218.367,3	1.944.637,0

Fonte: Autoria Própria

Observa-se que, no cenário que não há redução dos tempos improdutivo por mês e que considera a mesma proporção de horas improdutivo no planejamento de lavra de 2025, há uma redução da UFE, que passa para 73,4% (destacado em verde na Tabela 3), em comparação com a UFE de 75,3% no cenário com a melhoria sugerida, representando um decréscimo de aproximadamente 2%.

Além disso, verifica-se que, em termos da movimentação total de massa realizada no ano, há um *GAP* de aproximadamente 1,9 milhão de toneladas que deixariam de ser movimentadas. Consequentemente, este “volume” representa uma renda que deixaria de ser adquirida pela empresa.

Para viabilizar a redução dos tempos improdutivo, é preciso atuar de forma contínua nos códigos de perdas do processo. Portanto, foi necessário identificar as principais causas potenciais dessas perdas nos KPI's. Com o auxílio da ferramenta Minitab, foi elaborado o gráfico Pareto do ano de 2024, que demonstra que 80% das perdas estão concentradas em 20% das causas, conforme a Figura 18.

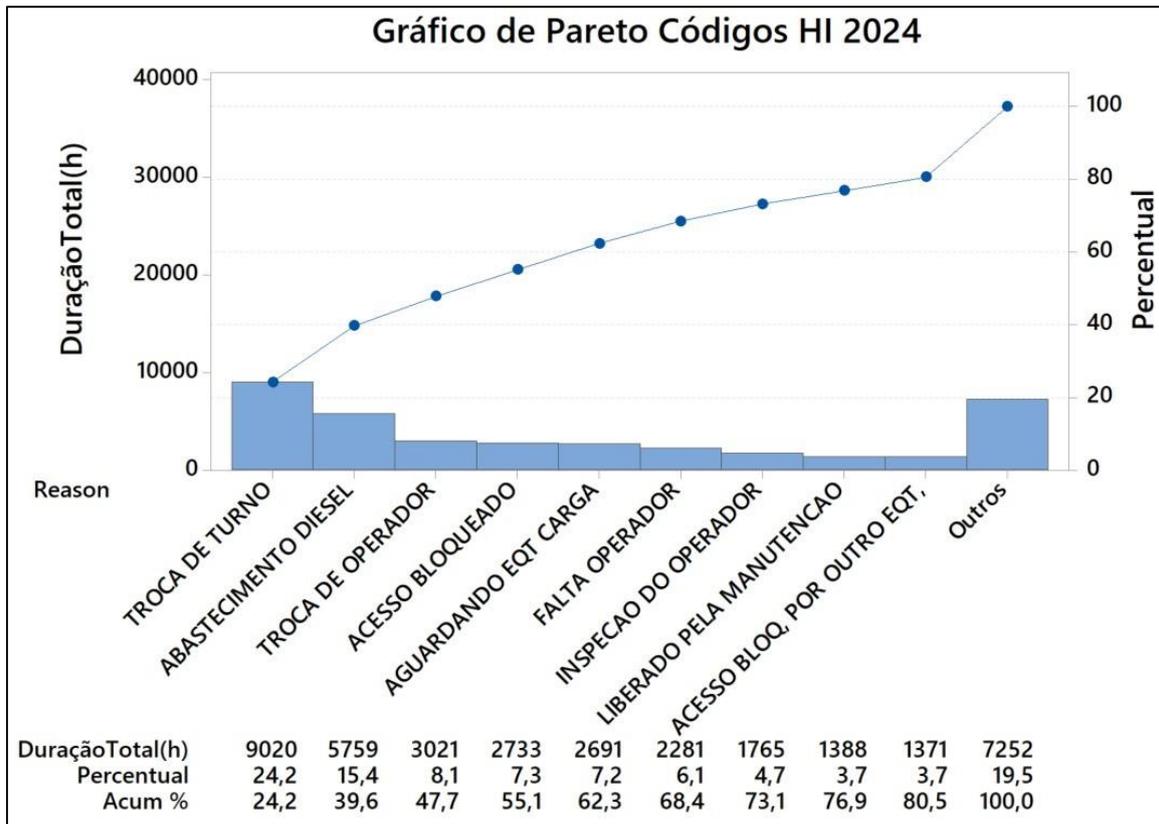
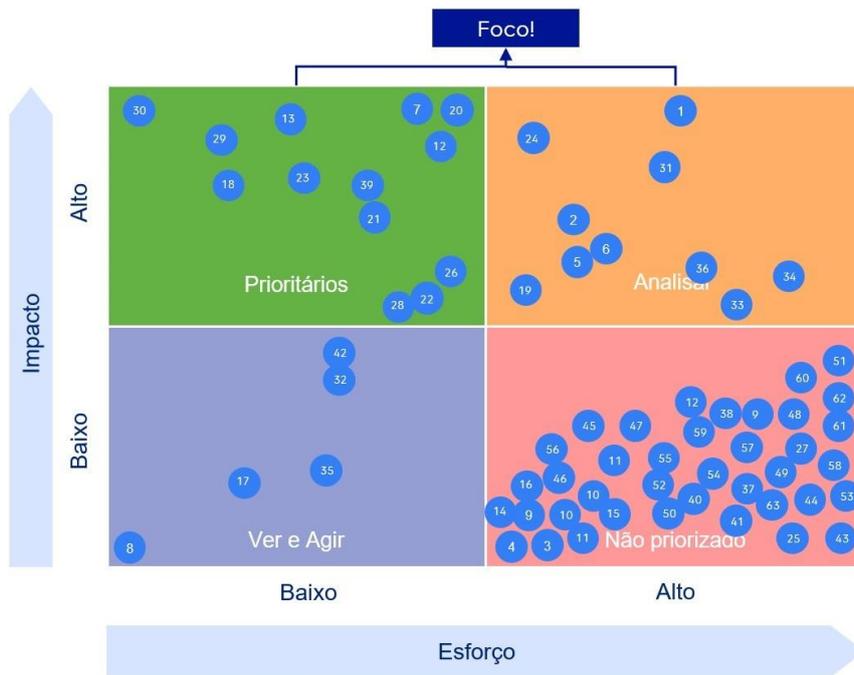


Figura 18 – Gráfico Pareto Códigos de HI 2024

O gráfico mostra que, em 2024, as maiores perdas foram causadas, sucessivamente, pelos códigos de troca de turno, abastecimento de *diesel*, troca de operador e acesso bloqueado. Além desses fatores, identificou-se também a falta de operador como elemento crítico para o desempenho das operações de lavra.

Como torna-se complexo atuar em todas as causas de perdas do processo, é necessário priorizar aquelas com maior com maior potencial de melhoria. Desta forma, os códigos apresentados na Figura 18 foram analisados por meio de uma matriz de esforço x impacto. Essa matriz permite identificar quais causas possuem um maior impacto no processo, com menor esforço de melhoria, e vice-versa. A Figura 19, detalha a matriz elaborada.



Prioritários – Baixo Esforço e Alto Impacto

Nº Causa	Causa Potencial
20	ABASTECIMENTO DIESEL
21	TROCA DE OPERADOR
22	AGUARDANDO EQT CARGA
7	FALTA OPERADOR
23	INSPECAO DO OPERADOR
30	LIBERADO PELA MANUTENCAO
28	FALTA EQUIPAMENTO CARGA
12	TROCA DE TURNO

Analisar – Alto Esforço e Alto Impacto

Nº Causa	Causa Potencial
1	ACESSO BLOQUEADO
24	ACESSO BLOQ, POR OUTRO EQT,
2	CHUVA
19	FADIGA
5	PARADA INDEFINIDA
6	MANUTENCAO IMPROCEDENTE
34	INSPECAO PRE-OPERACAO
31	ACESSOS INOPERANTES

Não Priorizado – Alto Esforço e Baixo Impacto

Nº Causa	Causa Potencial
3	NEBLINA
4	EMS OU HASTE PRESO (ATOLAMENTO)
10	FALTA DE MATERIAL FRENTE
11	PARADA POR SOBRECARGA
15	REUNIÃO/COMUNICAÇÃO
25	POSTO INOPERANTE
27	POEIRA
37	DEPÓSITO INOPERANTE

Figura 19 – Matriz Esforço x Impacto – Códigos de HI 2024

5.3 MEDIDAS OPERACIONAIS PARA MELHORIA DOS TEMPOS IMPRODUTIVOS

5.3.1 Criação de Metas Para os códigos

Após o levantamento de dados, a identificação dos códigos com maior potencial de impacto e a construção da matriz de esforço x impacto, faz-se necessária a definição de metas por horas disponíveis para cada código. No entanto, essas metas devem ser ajustáveis de acordo com a sazonalidade e a DF especificada no planejamento estratégico.

Dessa forma, propõe-se uma metodologia que correlacione os códigos improdutivos de forma relativa, ou seja, em pontos percentuais, diferentemente do que atualmente é avaliado em horas totais. A utilização de pontos percentuais, permite maior eficácia, e melhor interpretação da variação real dos indicadores e redução de ambiguidades. Além disso, esse conceito permite que, independentemente da disponibilidade física diária, a meta de perdas para cada código seja variável e ajustada conforme o cenário do dia, e que varie para o período chuvoso e o período seco.

Atualmente, cada código possui uma meta baseada na média de horas totais realizadas nos últimos 42 dias. Esse método de controle que disfarça ineficiências do processo, pois a meta tende a refletir o histórico realizado em cada código. Para mitigar esse problema, a metodologia proposta por Moraes e Silva (2015) correlaciona um histórico de três anos dos códigos improdutivos em pontos percentuais, com a finalidade de se obter um valor referencial estatístico mensal para cada código. Esse valor baseia-se no Teorema do Limite Central e na Gestão da Lacuna do Resultado, que seguem distribuição normal.

Essa metodologia permite identificar os padrões sazonais citados anteriormente, identificando os períodos do ano com maiores perdas. Assim, tem-se um planejamento estratégico de lavra mais preciso, prevendo os momentos críticos em que a mina está mais suscetível a intempéries e definindo metas adequadas para os códigos improdutivos. Dessa maneira, a metodologia proposta se mostra ideal para o processo em estudo permitindo um controle mais eficiente das perdas operacionais.

5.3.2 Padronização do Processo de Troca de Turno

Como observado no Gráfico Pareto dos códigos improdutivos da frota de transporte em 2024 (Figura 18), a troca de turno representa a principal fonte de perda no processo produtivo de lavra para a frota de transporte. Embora seja uma etapa essencial do ciclo de produção, sua execução inadequada pode gerar impactos significativos na eficiência operacional.

Nas operações de lavra da Mina do Sapo, os turnos seguem um regime escalas de 12 horas, organizados em um ciclo de 4 dias trabalhado seguidos por 4 dias de folga. Durante os 4 dias trabalhados, os colaboradores alternam entre dois períodos: das 07:00 às 19:00 horas em dois dias e das 19:00 às 07:00 horas nos outros dois dias. Para viabilizar essa rotatividade, a equipe é dividida em 4 turmas- A, B, C e D- compostas por operadores de carga, transporte e perfuração.

Apesar da divisão dos colaboradores em turmas, cada uma delas é subdividida em Turma 1 e Turma 2, permitindo a realização dos revezamentos e trocas de operadores com menor impacto operacional. No entanto, para que a troca de turno ocorra de forma eficiente, é necessário considerar alguns fatores essenciais, como a realização dos Diálogos Diários de Segurança (DDS) antes do início da jornada e a definição de pontos estratégicos para a troca, de modo a otimizar a logística do processo.

Atualmente, a troca de turno pode ser realizada de duas formas:

- Trocas de turno em estacionamento - São realizadas com o equipamento estacionado em baias, O caminhão é desligado e ocorre a troca de operador;
- Troca de turno em nível – São realizadas com auxílio de uma cabine com cota superior à via de acesso, onde o operador realiza a troca de forma rápida, sem que o equipamento seja estacionado.

Cada turma do turno possui um coordenador de transporte responsável pela realização da troca. Atualmente, cada coordenador realiza essa atividade de maneira distinta, baseando-se experiências profissionais anteriores e em iniciativas individuais de melhorias. Porém, a ausência de um padrão operacional entre as turmas

representa um ponto crítico do processo, impactando significativamente o tempo de parada da frota de transporte.

Desta forma, faz-se necessária a criação de um modelo padronizado para a troca de turno, considerando fatores como o número de caminhões disponíveis na frota, o número de estacionamentos disponíveis na mina, e estratégias para reduzir o tempo de deslocamento dos operadores. Para isso, um modelo operacional padronizado vem sendo elaborado e testado conforme a seguinte logística:

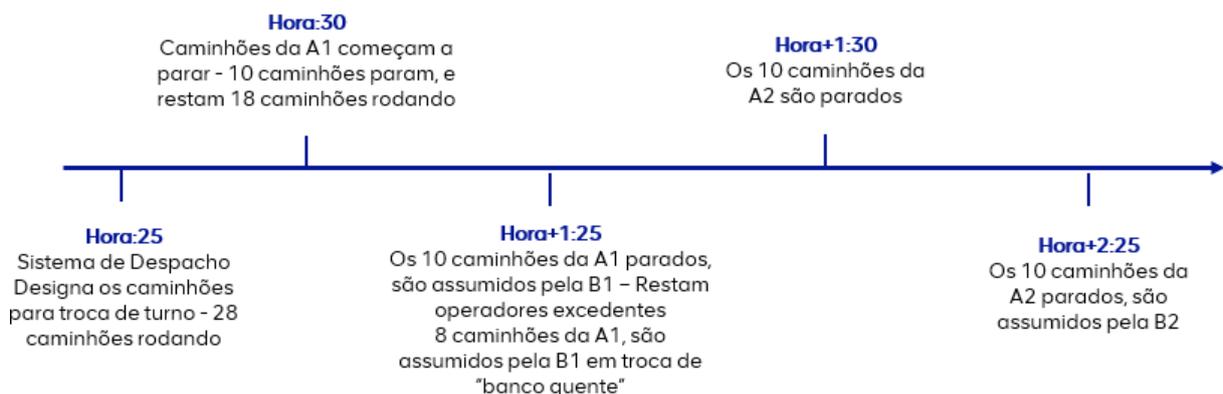


Figura 20 – Lógica Troca de Turno

Essa padronização, permite identificar, de forma geral, as principais ineficiências e oportunidades do processo de troca de turno, facilitando na tomada de decisão para atuação de melhorias contínuas. Além disso, contribui para que o sistema produtivo opere de forma mais eficiente e harmoniosa, reduzindo impactos negativos na disponibilidade da frota e otimizando a utilização dos recursos operacionais.

5.3.3 Padronização do Processo de Abastecimento de Diesel

Assim como na troca de turno, pode-se observar na Figura 18 que o abastecimento de *diesel* representa o segundo maior código de perdas da frota de transporte. Da mesma forma, torna-se essencial a padronização dessa atividade para garantir um maior controle do processo e minimizar os impactos operacionais.

O processo de abastecimento é influenciado por diversas variáveis, incluindo a gestão do posto de abastecimento, o sistema de despacho e até mesmo fatores humanos.

Atualmente, a necessidade de abastecimento é registrada quando a sala de despacho identifica que o nível de combustível do caminhão está baixo. No entanto, esse abastecimento deve ocorrer preferencialmente sem que haja sobreposição com outros equipamentos no posto, a fim de minimizar o tempo improdutivo dos equipamentos. Entretanto, assim como em todo processo, há oportunidades de melhorias em diversos quesitos, como por exemplo, a falta de padrão para o processo de abastecimento. Essa falta de um padrão definido colabora para o aumento do tempo improdutivo tornando evidente a necessidade de um modelo padronizado para a realização dessa atividade.

Uma má gestão do processo, pode ocasionar filas no posto de combustível, uma vez que, o posto possui apenas duas vias de abastecimento. Quando um caminhão é designado para abastecer, e chegando ao posto não encontra uma baia vazia, este permanece em espera na fila, então o caminhão passa tempo em fila, mas com código “abastecimento de *diesel*”. Isso dificulta o controle efetivo da atividade de abastecimento, impossibilitando a identificação da causa raiz.

Além disso, diversos outros fatores são impactados pela falta de padrão do procedimento, como a movimentação dos operadores dentro do posto, por questões de segurança o operador deve sair do caminhão no momento de abastecer. Deve-se atribuir responsabilidades ao processo, para que cada fase seja executada de forma otimizada.

Uma vez que, os tempos efetivos da bomba de combustível não possuem grande variação, torna-se necessária o controle minucioso dos processos que vão além do equipamento, como os citados. Desta forma, pode-se reduzir as perdas ocasionado pelo processo de abastecimento de *diesel*.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gestão dos tempos improdutivos da frota de transporte em operações a céu aberto é um fator determinante para a eficiência operacional e para o sucesso do planejamento estratégico de lavra.

O estudo considerou os dados do período de janeiro a novembro de 2024, além de comparações com anos anteriores e observações em campo. Ao longo da pesquisa, foi possível identificar as principais causas dos tempos improdutivos, como trocas de turno, abastecimentos de *diesel*, acessos bloqueados e revezamentos de operadores. Além disso, fica evidente que a adoção de tecnologias de monitoramento em tempo real e o aprimoramento da gestão logística podem minimizar significativamente essas perdas.

Dessa forma, observou-se que a melhoria da utilização efetiva da frota representa uma necessidade operacional e uma estratégia essencial para redução de custos. Uma vez que, quando comparados os planos estratégicos de 2025 e de 2024, verificou-se um potencial de redução da UFE, de 75,3% para 73,4%, caso as melhorias não sejam realizadas. Além disso, a possibilidade de um GAP na movimentação total de massa realizada da ordem de 1,9 milhão de toneladas que deixariam de ser movimentadas pela empresa.

Assim, o estudo mostra a importância da integração entre planejamento de mina e operações de lavra, onde por meio do dimensionamento do plano e a projeção de horas improdutivoas, pode-se ter uma gestão eficiente, possibilitando que o planejamento estratégico de lavra seja executado de maneira adequada.

Por fim, reforça a importância de investir em inovação, capacitação e melhoria contínua dos processos para garantir que estes sejam otimizados. Uma gestão eficaz do tempo improdutivo deve ser encarada como uma prioridade estratégica, permitindo que as empresas alcancem maior rentabilidade e competitividade no mercado.

REFERÊNCIAS BIOGRÁFICAS

ABREU, I. C. Projeto de Melhoria de Indicadores de Caminhões Fora de Estrada. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Minas), Universidade Federal de Ouro Preto, 2017. 25p

ALONSO, J. B.; GÓMEZ, J. C.; HERBERT, J. H. Perforación y Voladura de Rocas en Minería. Politécnica, Madrid, 2013. 264p.

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

BORGES, T. C. Análise dos Custos Operacionais de Produção no Dimensionamento de Frotas de Carregamento e Transporte em Mineração. 2013. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

CAVADAS, P. M. M. Optimização do desmonte numa mina a céu aberto com aplicação de air decks. 2012. p. 172. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-ambiente) – 75 Departamento de Engenharia de Minas, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.

COSTA, Flávio Vieira. ANÁLISE DOS PRINCIPAIS INDICADORES DE DESEMPENHO USADOS NO PLANEJAMENTO DE LAVRA. 2015. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Mineral, Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.

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.

CURI, Adilson. Minas a céu aberto. Planejamento de lavra. Oficina de Textos. 2014. 223 p.

CURI, Adilson. Lavra de Minas. Oficina de Textos. 2017. 461p

DARLING, P. SME MINING ENGINEERING HANDBOOK. 3rd Edition. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. Colorado, 2011.

HARTMAN, H. L.; MUTMANSKY, J. M. INTRODUCTORY MINING ENGINEERING. 2nd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2002.

HASSANI, F. HAMED, R. Drilling signals analysis for tricone bit condition monitoring. Science Direct, 2021.

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

KOMATSU, Komatsu WA1200-6 Wheel Loader, US, 2011. Disponível em: <https://www.komatsu.com.br/uploads/produtos/catalogo/d0609910cb.pdf>

KOPPE, J. C.; COSTA, J. F. C. L. Operações de lavra em pedreiras. In: CETEM/MCTI Manual de agregados para a construção civil. 2ª Edição. Rio de Janeiro, 2012. Cap.7. p.127-145.

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

LOPES, J. R. Viabilização Técnica e Econômica da Lavra Contínua de Minério de Ferro com Uso de Sistema de Britagem Móvel “In Pit” Auto Propelido. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Ouro Preto, 2010. 90p.

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

PINTO, E. B. Despacho de Caminhões em Mineração Usando Lógica Nebulosa, Visando ao Atendimento Simultâneo de Políticas Excludentes. Dissertação para Obtenção de Título de Mestre em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 108p

QUEVEDO, J. M. G. Modelo de Simulação Para o Sistema de Carregamento e Transporte em Mina a Céu Aberto. 2009. 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

RACIA, I. N. Desenvolvimento de um Modelo de Dimensionamento de Equipamento de Escavação e de Transporte em Mineração. Dissertação para Obtenção de Título

de Mestre em Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016. 107p.

RICARDO, H. S; CATALANI, G. Manual Prático de Escavação: Terraplenagem e Escavação de Rocha. 3. ed. São Paulo: PINI, 2007. 656 p

SANDIVIK, Sandivik DR416i Rotary Blast Hole Drill, 2018. Disponível em: <https://www.smsequipment.com/getmedia/bb8f7c55-cbcf-45ff-af93-2e07aa7fdb1/DR416i.pdf>

SILVA, Hilda Santana de Oliveira da. Análise da viabilidade técnica da estratégia de carregamento pelos dois lados da máquina de carga na mineração. 2018. 89 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

SILVA, V. C. Operações mineiras. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2009.190p.

SOUZA, J. C. Apostila de métodos de lavra a céu aberto. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2001.

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.