



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



FLÁVIO HENRIQUE CAL JÚNIOR

**ANÁLISE DE ÍNDICES DE OPERAÇÃO (KPIs) DE MINA SUBTERRÂNEA DE
OURO**

**Ouro Preto – MG
2024**

FLÁVIO HENRIQUE CAL JÚNIOR

ANÁLISE DE ÍNDICES DE OPERAÇÃO (KPIs) DE MINA SUBTERRÂNEA DE OURO

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.

Orientador: Prof. Dr. José Margarida da Silva.

Ouro Preto – MG
2024

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C141a Cal Junior, Flávio Henrique.

Análise de índices (KPIs) de operação de mina subterrânea de ouro.
[manuscrito] / Flávio Henrique Cal Junior. - 2024.

75 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. José Margarida da Silva.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola
de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Lavra subterrânea. 2. Desempenho - Indicadores - Minas e
mineração. 3. Ouro. I. Silva, José Margarida da. II. Universidade Federal
de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.272

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



FOLHA DE APROVAÇÃO

Flávio Henrique Cal Júnior

Análise de Índices de Operação (KPIs) de Mina Subterrânea de Ouro

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

Aprovada em 27 de fevereiro de 2024

Membros da banca

Doutor - José Margarida da Silva - Orientador- Universidade Federal de Ouro Preto

Doutor - Hernani Mota de Lima - Universidade Federal de Ouro Preto

Doutor - José Fernando Miranda - Universidade Federal de Ouro Preto

José Margarida da Silva, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 06/03/2024



Documento assinado eletronicamente por **Jose Margarida da Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/03/2024, às 10:10, 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 **0678465** e o código CRC **5AFB358C**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Marina e Flávio por todo apoio necessário, confiança em mim depositada e por sempre estar junto em todos momentos. À minha irmã Isadora por fazer parte de toda essa trajetória.

À Mariana por toda ajuda, paciência e carinho nos momentos difíceis.

Aos meus tios e tias, em especial, maternos, por todo apoio em todas fases da minha vida, que foi fundamental para conseguir essa conquista.

Ao professor José Margarida pela orientação e ensinamentos durante toda vida acadêmica.

À Escola de Minas de Ouro Preto e ao Departamento de Engenharia de Minas da UFOP, em especial aos professores, Hernani, José Fernando.

A todos doutores e mestres que de alguma forma contribuíram para essa caminhada.

Aos meus amigos que participaram dessa jornada.

À República Território Xavante.

R E S U M O

Este estudo abordou desafios específicos da mineração subterrânea de ouro destacando a importância de uma gestão eficaz e do uso apropriado de ferramentas para melhorar as operações. O estudo foi focado na operação de uma mina subterrânea de ouro, localizada no município de Santa Bárbara, Minas Gerais, Brasil. A pesquisa analisou indicadores-chave de desempenho (KPIs), como a disponibilidade física, a utilização física e o rendimento operacional dos equipamentos de lavra. Foi destacada a integração de informações para decisões eficientes, ressaltando a necessidade de segurança, controle e comunicação em tempo real com os equipamentos. Os resultados obtidos forneceram percepções valiosas para a gestão de mina, identificando oportunidades de melhoria na eficiência operacional e estimulando pesquisas futuras sobre equipamentos de lavra subterrânea. A comparação dos KPIs com outra mina do complexo mineral permitiu uma avaliação completa dos índices de operação, contribuindo para a competitividade e sustentabilidade do setor mineral regional. A utilização de KPIs como ferramenta de gestão foi essencial para transformar dados em informações consistentes, possibilitando decisões estratégicas, visando promover eficiência, produtividade e competitividade na mineração subterrânea de ouro.

Palavras-chave: KPIs, rendimento operacional, lavra subterrânea, ouro, gestão.

A B S T R A C T

This study addressed specific challenges in underground gold mining, emphasizing the importance of effective management and appropriate tool use to enhance operations. The focus of the study was on the operation of an underground gold mine located in the municipality of Santa Bárbara, Minas Gerais, Brazil. The research analyzed key performance indicators (KPIs), such as physical availability, physical utilization, and operational performance of mining equipment. The integration of information for efficient decision-making was highlighted, emphasizing the need for real-time safety, control, and communication with equipment. The obtained results provided valuable insights for mine management, identifying opportunities for improving operational efficiency and encouraging future research on underground mining equipment. The comparative analysis of KPIs with another mine in the mining complex allowed for a comprehensive assessment of operational indices, contributing to the competitiveness and sustainability of the regional mining sector. The use of KPIs as a management tool was crucial in transforming data into consistent information, enabling strategic decision-making to promote efficiency, productivity, and competitiveness in underground gold mining.

Keywords: KPIs, operating income, underground mining, gold, management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Motivos que geram necessidade do estudo.....	14
Figura 2 - KPIs utilizados na mineração	18
Figura 3 - Carreta de perfuração <i>Fandill</i> Sandvik, modelo DL331	21
Figura 4 – Carreta de perfuração (Jumbo) Sandvik modelo DD321.....	22
Figura 5 - Carreta de perfuração (Jumbo) Sandvik modelo DD 320	22
Figura 6 - Carregadeira LHD Caterpillar modelo CAT R1300G.....	23
Figura 7 – Carregadeira LHD Caterpillar modelo CAT R1600H	24
Figura 8 - Carregadeira LHD Caterpillar modelo CAT R1700G.....	24
Figura 9 - Caminhão articulado Volvo A30	25
Figura 10 - Exemplo de equipamento equipado com martelo rompedor hidráulico... <td>26</td>	26
Figura 11 - Exemplo de equipamento auxiliar de lavra subterrânea	27
Figura 12 - Exemplo do sistema de avanço “ <i>Drill and blast</i> ”	28
Figura 13 - Etapas da formulação dos KPIs	29
Figura 14 - Exemplo de formulário para apropriação de horas dos equipamentos ... <td>30</td>	30
Figura 15 - Exemplo de digitalização dos formulários dos equipamentos.....	31
Figura 16 - Dados organizados e cálculo dos KPIs	32
Figura 17 - Exemplo de índices de produtividade para equipamentos de perfuração	33
Figura 18 - Exemplo de índices de produtividade para equipamentos de carregamento	34
Figura 19 - Exemplo de índices de produtividade para equipamentos de transporte	34
Figura 20 – Gráfico de indicadores do mês de março.....	44
Figura 21 – Gráfico de indicadores do mês de abril	45
Figura 22 - Gráfico de indicadores de maio	46
Figura 23 - Gráfico de indicadores de junho	47
Figura 24 - Gráfico de indicadores da frota no período acumulado de quatro meses	48
Figura 25 – Comparação de DF entre média histórica da mina 1 e média acumulada da mina 2.....	49
Figura 26 - Comparação de UF entre média histórica da mina 1 e média acumulada de mina 2.....	50
Figura 27 - Comparação de RE entre média histórica da mina 1 e média acumulada de mina 2.....	51
Figura 28 - exemplo de perfil de perda de tempo dos equipamentos de perfuração.	52
Figura 29 - Exemplo de perfil de perda de tempo da frota de carregamento	53

Figura 30 - Perfil de perda de tempo do caminhão CW065	54
Figura 31 - Perfil de perda de tempo do caminhão CW072	54
Figura 32 - Gráficos de UF, DF e RE Planejado X Realizado da frota de perfuração	57
Figura 33 – gráfico de apropriação de horas dos equipamentos de perfuração	57
Figura 34 - Gráficos de UF, DF e RE Planejado X Realizado da frota de carregamento.	58
Figura 35 - gráfico de apropriação de horas dos equipamentos de carregamento ...	59
Figura 36 Gráficos de UF, DF e RE Planejado X Realizado da frota de transporte ..	59
Figura 37 - gráfico de apropriação de horas dos equipamentos de transporte	60
Figura 38 - Gráficos de UF, DF e RE Planejado X Realizado da frota de rompedores	61
Figura 39 - gráfico de apropriação de horas dos equipamentos rompedores.	61
Figura 40 - Gráficos de UF, DF e RE Planejado X Realizado da frota de equipamentos auxiliares	62
Figura 41 - gráfico de apropriação de horas dos equipamentos auxiliares.	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média mensal dos indicadores de cada equipamento de perfuração.....	36
Tabela 2 - Média dos indicadores da frota de perfuração acumulada em 4 meses ..	37
Tabela 3 - Média mensal dos indicadores de cada equipamento de carregamento..	38
Tabela 4 - Média dos indicadores da frota de carregamento	38
Tabela 5 - Média mensal dos indicadores de cada equipamento de transporte	39
Tabela 6 - Média dos indicadores da frota de transporte	39
Tabela 7 - Média mensal dos indicadores de cada equipamentos rompedores.....	40
Tabela 8 Média dos indicadores da frota de rompedores	40
Tabela 9 - Média mensal dos indicadores de cada equipamentos auxiliares.....	41
Tabela 10 - Média dos indicadores da frota de equipamentos auxiliares.....	41
Tabela 11 - DF mensal da frota por equipamento e acumulado 4 de meses.....	42
Tabela 12 -UF mensal da frota por equipamento e acumulado 4 de meses.....	43
Tabela 13 - RE mensal da frota por equipamento e acumulado 4 de meses.....	43
Tabela 14 – Indicadores planejados para o período.	44
Tabela 15 - Relação de horas em manutenção de cada equipamento e acumulado, bem como as médias de equipamento e frota geral.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APR – Análise prévia de riscos

DF – Disponibilidade física

D.M.T. – Distância média de transporte

h – Hora

KPI – *Key performance indicator*

LHD – *Load, haul, dump*

m – Metro

Oz tr. – Oncas troy

PM – Produtividade média

RE – Coeficiente de rendimento

R.E.M – Relação Estéril Minério

t - Tonelada

UF – Utilização física

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Formulação do Problema	12
1.2	Justificativa.....	13
1.3	Objetivos	14
1.3.1	Objetivo Geral.....	14
1.3.2	Objetivos Específicos	14
1.4	Estrutura do Trabalho.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Indicadores-chave de desempenho (KPIs)	17
2.1.1	Conceito de Disponibilidade Física.....	18
2.1.2	Conceito de Utilização Física	19
2.1.3	Conceito de Rendimento Operacional	20
2.2	Frota.....	20
2.2.1	Equipamentos de perfuração.....	20
2.2.2	Equipamentos de carregamento.....	22
2.2.3	Equipamentos de transporte.....	25
2.2.4	Equipamentos rompedores.....	25
2.2.5	Equipamentos Auxiliares	26
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
3.1	Coleta de dados e elaboração dos KPIs	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1	KPIs mensais e acumulado da frota.....	35
4.1.1	Equipamentos de Perfuração	35
4.1.2	Equipamentos de Carregamento.....	37
4.1.3	Equipamentos de transporte.....	39
4.1.4	Equipamentos Rompedores	40
4.1.5	Equipamentos Auxiliares	41
4.2	Indicadores da frota.....	41
4.2.1	Disponibilidade Física da Frota.....	42
4.2.2	Utilização física da frota.....	42
4.2.3	Rendimento operacional da frota.....	43
4.2.4	Comparação planejado x real	44
4.3	Comparação com dados históricos	48

4.4	Perfil de perdas de tempo das frotas.....	51
4.5	Discussão.....	56
5	CONCLUSÕES	64
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
6	APÊNDICES.....	71

1 INTRODUÇÃO

A mineração possui papel crucial no desenvolvimento da humanidade, onde o aproveitamento de recursos minerais tem acompanhado o progresso das civilizações, uma vez que, desde os tempos mais antigos, estes recursos eram utilizados para confecção de ferramentas, armas, entre outros objetos. Contudo com a crescente população mundial, ela se tornou uma das atividades essenciais para o estilo de vida moderno, presente em praticamente tudo que se observa a volta (BRASIL, 2017).

Nos dias atuais, a indústria da mineração assume papel vital em termos socioeconômicos, sendo um setor capaz de impulsionar a economia de vários países, inclusive do Brasil, gerando empregos diretos e indiretos, arrecadação fiscal, melhorando estruturas e induzindo o desenvolvimento social e econômico de comunidades locais onde estão inseridas (CONFEA, 2021).

Logo, com a competitividade do mercado e os crescentes custos de lavra, toda operação de mineração deve ser pensada de modo a extrair o recurso mineral com o melhor aproveitamento de homens e máquinas envolvidos em tal empreendimento, sobretudo, na mineração subterrânea de ouro, onde se destacam altos custos de desenvolvimento de mina e baixos teores, porém, com alto valor agregado. Algumas empresas do setor da mineração, seguem a diretriz de que é necessário observar os fatores básicos, prezando por pilares como segurança, pessoas e tecnologia adequada para se ter resultados positivos (In The Mine, 2023).

Visto isso, se torna necessário o uso de ferramentas para auxiliar a tomada de decisões, onde, é imprescindível uma correta coleta e análise dos vários dados gerados por uma operação de lavra subterrânea. Entra aí o importante papel dos KPIs (*Key Performance Indicator*), ou indicadores-chave de performance, como uma importante ferramenta auxiliadora na gestão da operação (NUNES; MOREIRA, 2023), utilizando os dados gerados em praticamente todas as etapas da lavra de forma organizada e produtiva.

Estudos têm sido empreendidos em gestão, controle e validação, segurança, treinamento, operação remota, logística e conversão de dados em informação, em que se utiliza indicadores (KPIs) como, tempo médio entre falhas, tempo médio entre

reparos, metros perfurados, distância média de transporte, disponibilidade física entre outros indicadores-chave de performance dos equipamentos (In The Mine, 2023).

Rosmaninho, (2021) mostra trabalho em mina de zinco, em que foram observados indicadores de controle e metas, bem como, disponibilidade física (DF), utilização física (UF), rendimento operacional (RE), e, indicadores de desempenho, como produtividade das frotas, a fim de identificar gargalos operacionais.

Assim, a procura por uma administração eficaz, que aproveite vantagens competitivas e busque aumentar a produtividade através de um modelo operacional estável facilitado pela tecnologia, é fundamental ao avaliar um projeto de mineração (OLIVEIRA, 2018).

A operação em minas subterrâneas é mais desafiadora do que nas minas a céu aberto. Isso ocorre porque as atividades como o monitoramento e posicionamento de equipamentos, a visualização de locais de carga e descarga, a perfuração e a identificação de gargalos se tornam mais complicadas em ambientes subterrâneos. Além disso, a comunicação e a geração de indicadores são mais difíceis nesse tipo de ambiente, evidenciando a necessidade de melhorar as ferramentas computacionais dos sistemas gerenciais para apoiar o planejamento e a operação em minas subterrâneas (GALINDO, 2019).

A evolução desse setor e os crescentes estudos em minas subterrâneas, cujos números crescem a cada ano, podem embasar novos projetos e os já existentes, para a competitividade e sustentabilidade técnico-econômica destes empreendimentos. Logo, a análise de índices operacionais se enquadra nesse contexto, sendo uma importante ferramenta no auxílio de tomada de decisões.

1.1 Formulação do Problema

Com a competitividade do mercado da mineração e os crescentes custos de lavra, torna-se necessária uma boa eficiência dos equipamentos de mineração, visando à viabilidade econômica do empreendimento, assim, os *key performance indicators* (KPIs) têm função importante no auxílio de tomada de decisões, transformando números avulsos em informações consistentes sobre o negócio, tendo papel fundamental de auxílio da gestão (BRASIL; CANDIA, 2020)

Um dos maiores desafios na mineração subterrânea é unir as informações das diferentes áreas da operação da mina. Isso é essencial para a tomada de decisões de maneira eficiente. Um sistema que ofereça segurança, controle e permita comunicação em tempo real com os equipamentos nas minas é crucial nesse processo (GALINDO, 2019).

1.2 Justificativa

No contexto da mineração subterrânea de ouro, é crucial salientar a importância da eficiência operacional no que diz respeito à segurança dos trabalhadores e à maximização da extração do precioso metal. A escolha adequada de métodos de escavação, como o uso de equipamentos especializados e tecnologias avançadas, desempenha um papel fundamental na otimização do processo de extração subterrânea. A manutenção regular dos equipamentos, o treinamento apropriado da equipe e a implementação de práticas sustentáveis são aspectos essenciais para assegurar o desempenho ideal e a sustentabilidade ambiental das operações de mineração. Dessa forma, a busca constante por inovações e a aplicação de estratégias eficazes são imprescindíveis para enfrentar os desafios específicos relacionados à mineração subterrânea de ouro, promovendo uma abordagem equilibrada entre eficiência, segurança e responsabilidade ambiental.

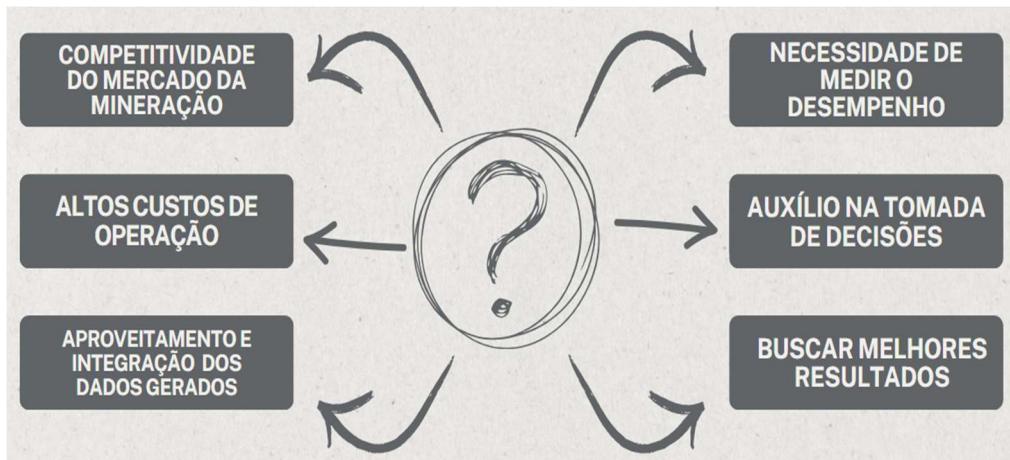
Assim, cada vez que uma empresa realiza suas atividades de produção, é importante ter uma maneira de medir o desempenho. Isso ajuda a identificar quais áreas precisam ser melhoradas na organização. Depois de medir o desempenho, os gestores devem analisar os resultados e tomarem decisões (SLACK et al., 2006, APUD, NUNES; MOREIRA, 2023).

Contudo, a coleta de dados para geração dos KPIs precisa ser sólida para gerar resultados precisos. Ter problemas nessa fase podem causar mais incertezas em vez de ajudar na tomada de decisões. Por isso, a medição de dados deve ser feita de maneira sistemática, em intervalos de tempo predefinidos, e conduzida por um profissional treinado usando uma metodologia específica. Esses dados devem ser analisados até que as metas propostas para melhoria de eficiência operacional sejam atingidas, ou, ao longo de toda a vida útil do empreendimento (NUNES, 2021).

Assim, considera-se necessário que parâmetros, como a disponibilidade física e utilização física dos equipamentos, índices de rendimento, sejam os maiores possíveis, com objetivo de se obter o máximo aproveitamento de pessoas e dos equipamentos de lavra, aumentando a produtividade e reduzindo os custos.

A Figura a seguir apresenta os principais motivos de se estudar tal assunto.

Figura 1 - Motivos que geram necessidade do estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral foi analisar a disponibilidade física, a utilização física e o rendimento operacional da frota dos principais equipamentos de lavra de mina subterrânea de ouro, localizada na cidade de Santa Bárbara, Minas Gerais.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos foram os seguintes.

- Comparar a disponibilidade física real, a utilização física real e a eficiência operacional real da frota com dados da literatura e históricos da mina em questão e de outra mina do complexo mineral, obtendo uma análise entre valor real e valor recomendado.

- Comparar índices de performance da entre o planejado pela equipe de planejamento e o realizado pela equipe de operação da mina.
- Com a apresentação de caso real, fomentar novos estudos na área de equipamentos de lavra subterrânea.

1.4 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho é composto de 5 capítulos, onde no primeiro capítulo é realizada uma introdução, e, a apresentação de uma breve contextualização da importância da mineração e o uso dos KPIs como ferramentas que auxiliam a tomada de decisões estratégicas, reconhecendo a complexidade da indústria e a necessidade de uma gestão eficiente. O segundo capítulo é composto por uma revisão bibliográfica pertinente aos assuntos que foram abordados para a elaboração do trabalho. No terceiro capítulo são apresentados o desenvolvimento e metodologia utilizados para a realização do trabalho, bem como os dados de disponibilidade física, utilização física e rendimento que foram coletados na empresa. No quarto capítulo é apresentada uma comparação entre os dados coletados entre as duas minas subterrâneas do complexo mineral, além de serem apresentados os resultados e discussões do trabalho. E, por fim, são apresentadas as considerações finais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica está dividida em tópicos e apresenta conceitos para o entendimento dos KPIs, e, também dos indicadores utilizados nesse estudo, que foram: DF, UF e RE. Tais KPIs são de alta importância para gestão de uma mina, tanto a céu aberto, quanto subterrânea. Adicionalmente, são detalhados os principais aspectos da frota de equipamentos, nos quais os indicadores de disponibilidade física, utilização e rendimento operacional foram profundamente analisados. Essa análise não apenas serve para avaliar as metas preestabelecidas, mas também destaca áreas específicas que demandam aprimoramentos, contribuindo para uma gestão mais eficaz.

Analizar os dados e garantir que as operações sejam eficazes, pode gerar benefícios para as empresas e seus equipamentos, tais como, economia, ganhos financeiros, aumento da produtividade, menor impacto ambiental entre outros. Na prática, quando uma empresa busca ser mais eficiente, ela ajusta suas práticas para alcançar metas específicas, que são avaliadas por indicadores e representam uma vantagem competitiva (SILVA, 2020).

Para melhorar a conexão entre as diferentes etapas da produção mineral e aproveitar os benefícios dessa integração, é importante conseguir avaliar seu impacto usando KPIs. Essas métricas são essenciais para medir e entender os ganhos obtidos. No setor mineral, em geral, tem sido um desafio encontrar medidas claras que ajudem a calcular os benefícios de unir as diferentes partes da produção em comparação com os investimentos necessários (NADER; TOMI; PASSOS, 2012).

Logo, é comum observar que diversas mineradoras recorrem a índices de desempenho para a avaliação de seus equipamentos. Indicadores como disponibilidade física e utilização tornaram-se KPIs amplamente adotados, permitindo a comparação entre os valores planejados pela equipe de manutenção e os utilizados no planejamento de lavra. Essa prática é fundamental para otimizar as frotas de acordo com o plano de lavra, como destacado por Silva (2020).

Assim, se os diferentes KPIs que envolvem uma atividade de mineração forem mapeados de modo sistemático, eles podem ser o elemento chave em relação à medição dos resultados, aplicação de tecnologias e integração dos processos (PAIVA, 2016).

Deste modo, é crucial perceber que as incertezas nos negócios demandam mais do que apenas profissionais experientes e bom senso para garantir o sucesso. Além de tomar decisões corretas, há uma crescente necessidade de mostrar que os processos usados para chegar a essas decisões estão alinhadas com as melhores práticas atuais (CRUZ, 2021, APUD, DE BARROS, 2023).

2.1 Indicadores-chave de desempenho (KPIs)

Segundo Silva, (2020), o conceito de KPIs surgiu no Reino Unido em 1998, onde foram desenvolvidos indicadores que, a princípio, foram utilizados por empresas da indústria da construção civil e pelo governo, com objetivo de avaliar o nível de desempenho dessa indústria e definir metas a se atingir.

Os indicadores podem ser aplicados para diversos setores no negócio e são de diferentes tipos, como, indicadores quantitativos, indicadores qualitativos, indicadores de atraso, indicadores de entrada, indicadores de processo, indicadores direcionais, indicadores acionáveis e indicadores financeiros (PIMENTA; SERRA; BRANCÃO, 2021).

Portanto, os KPIs são índices que permitem transformar números avulsos em conhecimento sobre o negócio, possibilitando prever e identificar problemas nas atividades, e assim, auxiliar na tomada de decisões em uma organização (BRASIL; CANDIA, 2020).

Segundo NUNES, (2021), é possível citar alguns dos KPIs utilizados na mineração, que são alguns dos principais utilizados no setor, os quais são divididos por áreas, conforme a Figura 2.

Figura 2 - KPIs utilizados na mineração



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na indústria da mineração, os KPIs são ferramentas importantes para auxiliar a tomada de decisões, tendo, em cada empresa diferentes KPIs analisados. Sendo assim, não é esperado que exista um conjunto “padrão” desses indicadores, mas sim um conjunto de indicadores-chave de performance que se aplicam à sua realidade (SILVA, 2020).

2.1.1 Conceito de Disponibilidade Física

A DF é um dos principais indicadores dos equipamentos, relacionando o tempo em que esses equipamentos estão disponíveis para a execução das atividades com o tempo em que estão em manutenção, e, consequentemente, indisponíveis. Assim, é obtida a porcentagem de tempo em que o equipamento está disponível para o trabalho (PEREIRA, 2022).

A DF evidencia, então, o tempo em que o equipamento ficou à disposição para uso. Alguns fatores contribuem para redução da disponibilidade do equipamento,

como, má organização de mina, condições de trabalhos adversas, operações em vários turnos e manutenção preventiva e corretiva inadequadas (RACIA, 2016).

De acordo com Pereira, (2020) a equação 1 pode ser utilizada para a determinação da Disponibilidade Física (DF) dos equipamentos.

Eq. (1)

$$DF = \frac{HPr - (TM)}{HPr} * 100\%$$

- HPr = Horas programadas de trabalho para o equipamento, em determinado período de tempo, por exemplo, 1 dia, 24 horas;
- TM = Tempo em que o equipamento ficou em manutenção no determinado período de tempo.

2.1.2 Conceito de Utilização Física

A UF é outro importante indicador dos equipamentos, que relaciona o tempo em que esse equipamento esteve disponível com o tempo produtivo, evidenciando o tempo em que o equipamento está realizando de fato sua função.(PEREIRA, 2022)

Alguns fatores podem contribuir para a diminuição da UF dos equipamentos, como inexperiência do operador, falta de operador, porte das operações, número de equipamentos, entre outras condições adversas. (RACIA, 2016)

De acordo com Pereira, (2022) a Equação 2 pode ser utilizada para a determinação da Utilização Física (UF) dos equipamentos.

Eq.2

$$UF = \frac{HP}{HD} * 100\%$$

- HP = Horas produtivas - tempo em que o equipamento cumpriu sua função;
- HD = Horas disponíveis do equipamento para trabalho.

2.1.3 Conceito de Rendimento Operacional

O RE é um indicador que relaciona as horas trabalhadas com as horas programadas e pode ser calculado pelo produto da DF pela UF e tem o papel de mostrar a eficiência da operação (RACIA, 2016).

Segundo Racia, 2016 a equação 3 pode ser utilizada para determinar o rendimento do equipamento.

$$RE = DF * UF$$

RE = Coeficiente de Rendimento [-];

DF = Disponibilidade Física [-];

UF = Utilização Física [-].

2.2 Frota

A mina em questão, localizada na cidade de Santa Bárbara, uma cidade do Estado de Minas Gerais, com aproximadamente 30500 habitantes, localizada na região da Serra do Caraça. E a frota da mina, era composta por equipamentos tradicionais de lavra subterrânea que são responsáveis pelas etapas de perfuração, carregamento e transporte, divididos em 5 categorias:

- equipamentos de perfuração;
- equipamentos de carregamento;
- equipamentos de transporte;
- equipamentos rompedores;
- equipamentos auxiliares.

2.2.1 Equipamentos de perfuração

Os equipamentos de perfuração têm a principal função de perfurar a rocha para carregamento com explosivos, podendo se utilizar perfuratrizes manuais, perfuratrizes rotativas e percussivas, carretas de perfuração (*Fandril*) e jumbos/simbas, além de também, terem a função de perfurar o maciço para inserção

de suportes e reforços como parafusos de ancoragem, cabos, telas, entre outros (CURI, 2017).

Ainda segundo Curi, (2017), as carretas de perfuração (*Fandrill*) são usadas para perfuração em bancada, quando se necessitar de menor exatidão no paralelismo dos furos. Os Jumbos são equipamentos robustos, geralmente equipados com motor à diesel para a locomoção e motores elétricos para alimentação das perfuratrizes rotativas.

Havia 4 equipamentos de perfuração, sendo 1 carreta de perfuração (*Fandrill*) da marca Sandvik, modelo DL 331 (Figura 3), com cobertura de lança de 7 m, comprimento do furo de até 23 m, diâmetro de perfuração de 51 mm a 76mm, capaz de executar furos longos, operado por uma única pessoa e capaz de executar furos verticais e inclinados, e, furos longos simples ou paralelos (Sandvik, 2023). Este equipamento era utilizado para operações na lavra de minério.

Figura 3 - Carreta de perfuração *Fandrill* Sandvik, modelo DL331



Fonte: Sandvik, 2023.

Havia também 3 carretas de perfuração (Jumbos) da marca Sandvik, sendo dois do modelo DD 321 (figura 4) e um do modelo DD320 (figura 5), ambos equipados com dois braços e capacidade de perfuração de 3,44 m a 4,66 m e diâmetro do furo de 43 mm a 64 mm, capaz de operar em condições adversas, podendo atender necessidades como perfuração de face, perfuração de corte transversal e inserção de parafusos de ancoragem (Sandvik, 2022). Tais equipamentos foram utilizados nas operações de desenvolvimento e contenção de maciço rochoso na mina.

Figura 4 – Carreta de perfuração (Jumbo) Sandvik modelo DD321



Fonte: Sandvik, 2022

Figura 5 - Carreta de perfuração (Jumbo) Sandvik modelo DD 320



Fonte: Sandvik, 2019

2.2.2 Equipamentos de carregamento

Os equipamentos de carregamento cada vez mais utilizados em lavras subterrâneas são carregadeiras rebaixadas, utilizadas para a limpeza das frentes e carregamento dos caminhões com estéril ou minério. As LHD's da sigla em inglês de *load, haul and dump*, que traduzindo livremente tem o significado de carregar, transportar e despejar, não são adequadas para transportar material a uma distância maior que quinhentos metros (CURI, 2017).

Havia disponíveis 3 LHD's, todas da marca Caterpillar, sendo 1 modelo CAT R1300G, com capacidade da caçamba de 3,7 toneladas (figura 6), 1 modelo CAT 1600H, com capacidade da caçamba de 4,5 toneladas (figura 7) e 1 Modelo CAT 1700G, com capacidade da caçamba de 7 toneladas (Figura 8).

Figura 6 - Carregadeira LHD Caterpillar modelo CAT R1300G



Fonte: Caterpillar (2008).

Figura 7 – Carregadeira LHD Caterpillar modelo CAT R1600H



Fonte: Caterpillar (2013).

Figura 8 - Carregadeira LHD Caterpillar modelo CAT R1700G.



Fonte: Caterpillar (2011).

2.2.3 Equipamentos de transporte

Os equipamentos de transporte são responsáveis pelo deslocamento do material entre dois pontos na mina, e, apesar do uso de caminhões estar presente na grande maioria das minas, pela sua versatilidade, flexibilidade e eficiência, existem também o transporte por correias transportadoras, e, algumas ainda operam com transporte por vagões sobre trilhos (CURI, 2017).

A etapa de transporte era feita com 2 caminhões Volvo modelo A30, com capacidade nominal de 29 t (figura 9), mas, por motivos operacionais, sua capacidade na mina foi reduzida para 22,5 t. Em algumas situações, as LHDs também eram utilizadas para o transporte de material para distâncias geralmente menores que 500 m.

Figura 9 - Caminhão articulado Volvo A30



Fonte: Volvo (2018)

2.2.4 Equipamentos rompedores

Os equipamentos rompedores têm o papel de fragmentar blocos de rocha, diminuindo seu tamanho, para que seja possível a etapa subsequente. Segundo Paiva, (2016), os equipamentos com rompedores hidráulicos são utilizados para realizar o saneamento por percussão com alta frequência e baixa energia de impacto.

Havia 3 equipamentos rompedores que eram retroescavadeiras da marca Caterpillar modelo 416, equipadas com rompedores hidráulicos em sua lança e seu papel era basicamente fragmentar blocos grandes de rocha em pedaços menores, com finalidade de diminuir seu tamanho para que tenha condições de passar pela grelha do *ore pass*, bem como, utilizadas em atividades de saneamento de “repés” no piso da mina devido a insucessos do desmonte.

A figura 10 mostra um exemplo deste tipo de equipamento.

Figura 10 - Exemplo de equipamento equipado com martelo rompedor hidráulico



Fonte: Escava Center, 2024.

2.2.5 Equipamentos Auxiliares

Os equipamentos auxiliares têm a função de ajudar em várias etapas da lavra subterrânea, como o carregamento com explosivos, injeção de calda de cimento, limpeza de furo para carregamento e uma das principais funções que ela está ligada é ao saneamento de “chocos” com maior segurança e conforto aos trabalhadores, reduzindo o risco de acidentes por queda de rochas soltas denominadas “chocos” (FARIA, 2008).

Havia 2 equipamentos auxiliares similares, que eram retroescavadeiras convencionais de rodas, equipadas com plataformas elevatórias que possibilitavam o acesso dos trabalhadores às paredes e tetos da mina. Havia 1 retroescavadeira da

marca Caterpillar modelo CAT 416, equipada com plataforma e 1 retroescavadeira da marca JCB modelo 3CX também equipada com plataforma.

A figura 11 mostra um exemplo de equipamento auxiliar equipado com plataforma elevatória.

Figura 11 - Exemplo de equipamento auxiliar de lavra subterrânea



Fonte: Jazida (2024)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

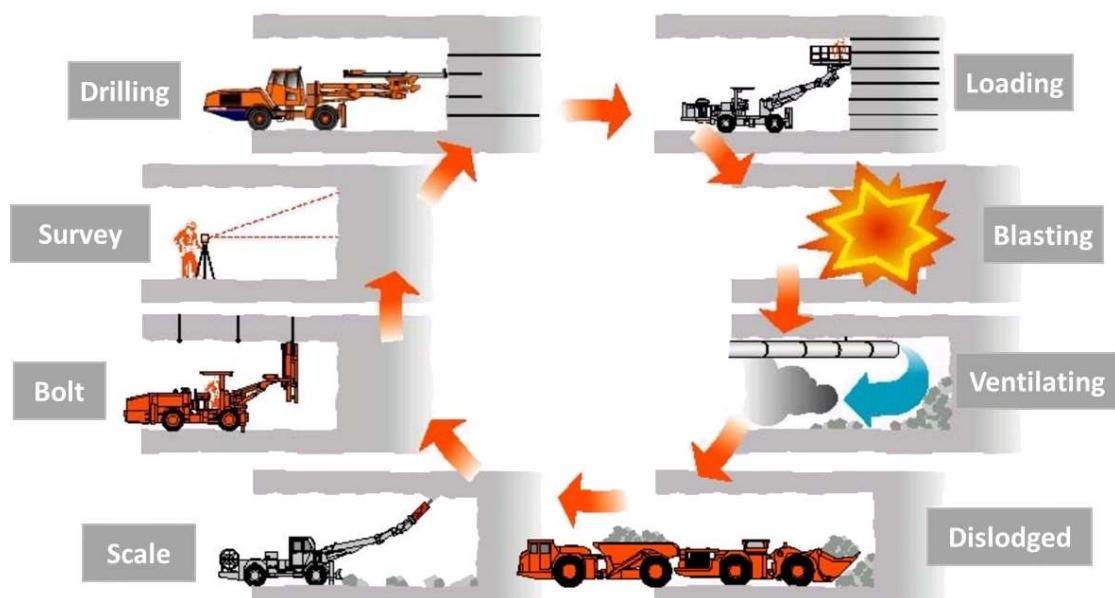
Neste capítulo será abordado a respeito dos materiais e métodos utilizados no atual estudo, bem como, uma breve descrição das etapas que foram seguidas.

Este estudo foi realizado a partir de dados reais da frota de uma mina subterrânea de ouro, localizada no município de Santa Bárbara, Minas Gerais, no período de março de 2023 a junho de 2023. Tal mina foi denominada de “Mina 2”.

A mina local do estudo emprega o método de lavra denominado “*Sublevel Stoping*”, com sua operação dividida em 3 turnos e faz parte de um complexo onde existe outra mina subterrânea e uma mina a céu aberto. Segundo (COSTA, 2017) a produção de ouro total de todo o complexo foi de aproximadamente 120 mil Oz tr., naquele ano, equivalente a aproximadamente 3,7 t de ouro.

As operações de avanço, de modo geral, seguem o ciclo “*drill and blast*”, que consiste, basicamente em perfuração da rocha nas demarcações, carregamento com explosivos, detonação da frente, ventilação da frente, limpeza de minério ou estéril, saneamento de chocos (blocos de rochas soltas que podem se desprender das paredes e tetos das galerias), contenção das frentes, marcação dos furos, e, novamente, o ciclo se repete. A figura 12, exemplifica o método.

Figura 12 - Exemplo do sistema de avanço “*Drill and blast*”.

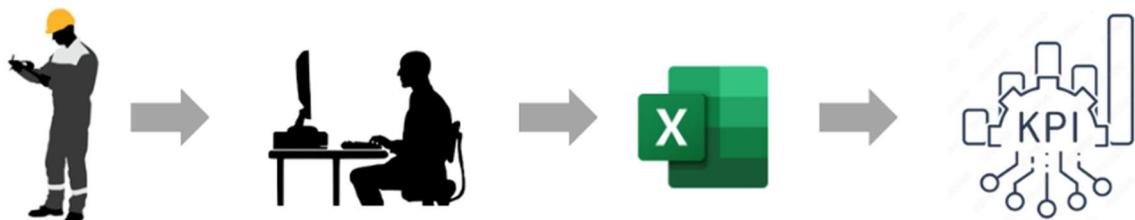


Fonte: Railsystem, 2024.

3.1 Coleta de dados e elaboração dos KPIs

Os dados da operação foram coletados via formulários físicos de apropriação de horas dos equipamentos, que eram disponibilizados e preenchidos pelos operadores das atividades realizadas, com suas respectivas horas de início e término ao longo do turno de trabalho e recolhidos pelo supervisor ao final do turno. As atividades descritas no formulário continham cada uma seu respectivo código e os dados coletados eram divididos em 3 grupos: tempos produtivos, tempos improdutivos e tempos em manutenção. A figura 13 apresenta as etapas necessárias para a formulação dos KPIs.

Figura 13 - Etapas da formulação dos KPIs



Fonte: Adaptado de Galindo, (2019)

Pode se observar nessa etapa a necessidade de grande atenção dos operadores dos equipamentos, visto a importância do correto preenchimento do horário inicial e final, e, das atividades diárias que cada equipamento realiza, pois a confiabilidade e exatidão dos dados das próximas etapas dependem diretamente desse correto preenchimento destes documentos, gerando confiabilidade nos dados obtidos.

A figura 14 mostra um exemplo do formulário de apropriação de horas dos equipamentos.

Figura 14 - Exemplo de formulário para apropriação de horas dos equipamentos

Código das Atividades Realizadas no Turno									
		TEMPO IMPRODUTIVO				TEMPO EM MANUTENÇÃO			
Operador:	Registro:	Supervisor:				Cód.			
Data:	IE:	Letra:		Turno:		50		AGUARDANDO MANUTENÇÃO	
		1. TROCA DE TURNO / DOS		51		DELOC. PARA MANUTENÇÃO CORRETIVA OU PREVENTIVA			
		2. DESLOC. OPERADOR PARA O EQUIPAMENTO		52		MANUTENÇÃO CORRETIVA MECÂNICA			
		3. CHECK LIST / APR		53		MANUTENÇÃO CORRETIVA ELÉTRICA			
		4. EQUIPAMENTO MOVIMENTANDO		54		MANUTENÇÃO PREVENTIVA ELETROMECÂNICA			
		5. EQUIPAMENTO A DISPOSIÇÃO		55		MANUTENÇÃO PREDITIVA / INSPEÇÃO			
		6. FALTA DE FRETE PARA OPERAR		56		CORRETIVA ELETROMECÂNICA POR ACIDENTE			
		7. AGUARD. EQUIP. ÁGUA/AR/BOMBEAMENTO		57		ABASTECIMENTO / LUBRIFICAÇÃO / LAVAGEM			
		8. FALTA DE ENERGIA		58		TROCA DO PUNHO			
		9. FALTA DE MANGUEIRA		10		AGUARDANDO MATERIAL (HASTE, PUNHO, BIT, ETC.)			
		11. AGUARDANDO ORIENTAÇÃO/DO DA SUPERVISÃO/CCO		12		AGUARDANDO VENTILAÇÃO			
		13. QUEBRA DE HASTE		14		AGUARDANDO TOPOGRAFIA/GEOLÓGIA			
		15. AGUARDANDO PREPARAÇÃO/ MARCHAÇO DE FRENTE		16		ACESSO INTERROMPIDO			
		17. LIMPEZA DO EQUIPAMENTO PELA OPERAÇÃO		18		FALTA DE OPERADOR			
		19. INSTALAÇÃO / DESINSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTO		20		TROCA DA HASTE DURANTE A OPERAÇÃO			
		21. ACIDENTE		22		OUTROS (ESPECIFICAR)			
		23		24		SERVIÇOS AUXILIARES (ESPECIFICAR)			
		25. PERFURANDO PARA DESMONTE		26		PERFURANDO PARA ATRAMENTO			
		27. PERFURANDO PARA EQUIPAGEM		28		PERFURANDO PARA CABEAMENTO			
		29. ABATIMENTO DE CHOCO COM O JURUBO		30		OPERANDO COM 50% DA CAPACIDADE (1 BRAÇO)			
		31. INSTALANDO TRINTAS		32		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		33. METRAGEM LINÉARIA SANEADA		34		CONTENÇÃO COMPLETA			
		35		36		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		37		38		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		39		40		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		41		42		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		43		44		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		45		46		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		47		48		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		49		50		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		51		52		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		53		54		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		55		56		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		57		58		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		59		60		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		61		62		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		63		64		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		65		66		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		67		68		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		69		70		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		71		72		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		73		74		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		75		76		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		77		78		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		79		80		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		81		82		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		83		84		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		85		86		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		87		88		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		89		90		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		91		92		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		93		94		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		95		96		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		97		98		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		99		100		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		101		102		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		103		104		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		105		106		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		107		108		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		109		110		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		111		112		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		113		114		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		115		116		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		117		118		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		119		120		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		121		122		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		123		124		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		125		126		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		127		128		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		129		130		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		131		132		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		133		134		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		135		136		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		137		138		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		139		140		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		141		142		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		143		144		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		145		146		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		147		148		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		149		150		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		151		152		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		153		154		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		155		156		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		157		158		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		159		160		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		161		162		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		163		164		PERFURANDO PARA TRINTAS			
		165		166					

Fonte: Informações restritas obtidas de arquivo da mineradora de ouro.

Em sequência, os dados desses formulários eram digitalizados em planilhas eletrônicas previamente configuradas, no *software* Excel, o que possibilitava uma melhor análise e entendimento dos dados. Essa etapa demandava grande atenção por parte do responsável pela digitação dos dados, objetivando ter a melhor representação possível do cenário dos relatos do operador. A figura 15 mostra um exemplo desse trabalho.

Figura 15 - Exemplo de digitalização dos formulários dos equipamentos.

Fonte: Informações restritas obtidas de arquivo da mineradora de ouro.

Com o auxílio do software *Excel* utilizando as equações 1, 2 e 3, é possível organizar melhor esses dados, distribuindo entre tempos produtivos, tempos improdutivos, tempos em manutenção, horas disponíveis, horas totais, e, assim, calcular os KPIs de DF, UF e rendimento operacional.

Figura 16 - Dados organizados e cálculo dos KPIs

DATA	Tempos Produtivos	Tempos Improdutivos	Tempos em Manutenção	Horas Disponíveis	Total	DF	UF	RE
30/04/2023	-	3:30:00	20:30:00	3:30:00	24:00:00	14,58%	-	-
01/05/2023	4:15:00	9:55:00	9:50:00	14:10:00	24:00:00	59,03%	30,00%	17,71%
02/05/2023	12:00:00	12:00:00	0:00:00	24:00:00	24:00:00	100,00%	50,00%	50,00%
03/05/2023	13:30:00	10:30:00	0:00:00	24:00:00	24:00:00	100,00%	56,25%	56,25%
04/05/2023	2:50:00	16:15:00	4:55:00	19:05:00	24:00:00	79,51%	14,85%	11,81%
05/05/2023	8:25:00	6:55:00	0:40:00	23:20:00	24:00:00	97,22%	36,07%	35,07%
06/05/2023	8:00:00	16:00:00	0:00:00	24:00:00	24:00:00	100,00%	33,33%	33,33%
07/05/2023	13:35:00	9:40:00	0:45:00	23:15:00	24:00:00	96,88%	58,42%	56,60%
08/05/2023	9:30:00	9:55:00	4:35:00	19:25:00	24:00:00	80,90%	48,93%	39,58%
09/05/2023	3:20:00	10:50:00	9:50:00	14:10:00	24:00:00	59,03%	23,53%	13,89%
10/05/2023	8:30:00	9:50:00	5:40:00	18:20:00	24:00:00	76,39%	46,36%	35,42%
11/05/2023	7:55:00	11:35:00	4:30:00	19:30:00	24:00:00	81,25%	40,60%	32,99%
12/05/2023	5:00:00	8:00:00	11:00:00	13:00:00	24:00:00	54,17%	38,46%	20,83%
13/05/2023	5:30:00	17:30:00	1:00:00	23:00:00	24:00:00	95,83%	23,91%	22,92%
14/05/2023	10:25:00	12:20:00	1:15:00	22:45:00	24:00:00	94,79%	45,79%	43,40%
15/05/2023	-	8:00:00	16:00:00	8:00:00	24:00:00	33,33%	-	-

As figuras apresentam os dados reais de apenas um dos equipamentos da mina, no caso a carreta de perfuração *fandrill*, que foi escolhido de modo a dar maior representatividade a esse trabalho, e, vale ressaltar que essa etapa é feita para todos os 14 equipamentos de lavra da mina.

A partir dos indicadores de cada equipamento para todo o período de tempo contido no estudo, que foi de 01 de março de 2023 até 30 de junho de 2023, é possível agrupar os dados dos equipamentos de mesma categoria, obtendo a média mensal de DF, UF e RE, e, novamente a partir de planilhas eletrônicas semelhantes à da figura 15, é possível obter as médias dos indicadores de cada categoria de equipamentos.

Para os equipamentos de perfuração, carregamento e transporte, foram calculados também indicadores referentes à produtividade, que, para equipamentos de perfuração se dava em metros perfurados por hora, em atividades que envolvem operações de perfuração e contenção, como perfuração de “slot”, leque, cabo, tirante e perfuração para suporte. Para frota de carregamento e transporte, esse índice foi apresentado em toneladas por hora, e envolveu atividades de limpeza e transporte de minério, e, limpeza e transporte de estéril. As figuras 17, 18 e 19 mostram

exemplos de produtividade dos equipamentos de perfuração, de carregamento e de transporte, respectivamente. Para as frotas de rompedores e equipamentos auxiliares eram utilizados somente indicadores de UF, DF e RE.

Figura 17 - Exemplo de índices de produtividade para equipamentos de perfuração

Produtividade				
Perfuração SLOT	Perfuração LEQUE	Perfuração CABO	Perfuração TIRANTE	Produtividade média metros / hora
-	-	-	-	-
-	19,8	-	-	19,8
23,7	18,2	-	-	20,9
19,2	14,5	22,2	-	18,6
-	-	18,0	-	18,0
16,9	22,2	-	-	19,6
17,5	22,0	-	-	19,8
14,9	-	24,4	-	19,7
2,9	-	29,8	-	16,4
20,0	-	22,5	-	21,3
15,7	-	-	-	15,7
19,7	-	47,4	-	33,6
19,7	-	-	-	19,7
-	15,1	20,6	-	17,8
49,6	16,7	-	-	33,2
-	-	-	-	-

Figura 18 - Exemplo de índices de produtividade para equipamentos de carregamento

Quant. Concha Min.	Quant. Choca Est.	Limpeza Minério	Limpeza Estéril	Produtividade média toneladas / hora
50	72	42	41	41
-	42	-	46	46
-	112	-	46	46
37	108	53	91	72
197	-	77	-	77
64	180	64	79	72
-	110	-	55	55
-	103	-	33	33
-	78	-	81	81
-	73	-	37	37
-	97	-	39	39
82	61	134	24	79
-	25	-	38	38
-	29	-	24	24
-	42	-	-	-
-	-	-	-	-
104	55	53	57	55
112	-	46	-	46
22	40	26	46	36
34	27	41	46	43
-	67	-	57	57
-	101	-	80	80

Figura 19 - Exemplo de índices de produtividade para equipamentos de transporte

Quant. Minério	Quant. Estéril	Transporte Minério	Transporte Estéril	Produtividade média toneladas / hora
18	10	99	23	61
-	20	-	46	46
-	24	-	52	52
2	17	14	86	50
18	-	38	-	38
-	15	-	93	93
-	20	-	70	70
12	18	-	58	58
-	9	-	30	30
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	1	-	39	39
17	-	44	-	44
6	-	29	-	29
9	-	55	-	55
9	-	68	-	68
10	9	47	76	61
-	35	-	118	118
15	-	54	-	54

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse capítulo são apresentados os resultados das médias obtidas a partir dos indicadores de cada equipamento para todo o período de tempo contido no estudo.

É possível agrupar os dados dos equipamentos de mesma categoria, obtendo a média mensal de DF, UF e RE, e, novamente a partir de planilhas eletrônicas, é possível obter as médias dos indicadores de cada categoria de equipamentos.

Para as frotas de perfuração, carregamento e transporte, ainda foram obtidas a produtividade média (PM) e gráficos de perfis de perdas de tempo (horas improdutivas) de cada equipamento, a fim de entender os gargalos operacionais.

4.1 KPIs mensais e acumulado da frota

Os equipamentos de cada categoria são representados por uma sigla de duas letras seguidas de dois números, necessários para identificação deles, mostrada a seguir.

- Equipamentos de perfuração: SB035, JE058, JE064 e JE071;
- Equipamentos de carregamento: CG010, CG011 e CG017;
- Equipamentos de transporte: CW065 e CW072;
- Equipamentos rompedores: RC021, RC023, RC047;
- Equipamentos auxiliares: TP005 e MT035.

Durante o período abrangente dos dados, estavam disponíveis 2928 horas de calendário, distribuídas em 744 horas em março, 720 horas em abril, 744 horas em maio e 720 horas em junho. Para toda a frota, somando as horas calendário de cada equipamento em cada mês, o valor total de horas calendário foi de 40248 horas.

4.1.1 Equipamentos de Perfuração

A partir da média mensal dos indicadores de cada equipamento é possível calcular a média da frota de cada categoria dos equipamentos. A tabela 1 apresenta os indicadores da frota de perfuração de cada mês e a tabela 2 apresenta a média do período acumulado de 4 meses da frota.

Tabela 1 - Média mensal dos indicadores de cada equipamento de perfuração

INDICADORES				
	Equipamento	DF	UF	RE
M	SB036	71,31%	37,87%	30,61%
a	JE 058	79,76%	27,20%	23,20%
r	JE 064	-	-	-
ç	JE 071	92,36%	28,51%	26,21%
o	Média	81,14%	31,19%	26,67%
				34,50
A	Equipamento	DF	UF	RE
b	SB036	62,18%	32,89%	26,17%
r	JE 058	56,46%	17,62%	14,17%
i	JE 064	81,98%	25,39%	23,18%
l	JE 071	90,36%	24,07%	23,36%
	Média	72,75%	24,99%	21,72%
				38,83
	Equipamento	DF	UF	RE
M	SB036	81,14%	40,86%	32,49%
a	JE 058	78,96%	30,78%	28,48%
i	JE 064	74,12%	27,12%	22,95%
o	JE 071	82,88%	30,54%	26,31%
	Média	79,28%	32,33%	27,56%
				38,54
J	Equipamento	DF	UF	RE
u	SB036	76,83%	45,87%	38,37%
n	JE 058	62,55%	26,74%	22,89%
h	JE 064	81,62%	30,16%	27,79%
o	JE 071	81,63%	26,61%	21,96%
	Média	75,66%	32,35%	27,75%
				26,10

Fonte: Elaborado pelo autor.

A frota dos equipamentos de perfuração apresentou a melhor DF no mês de março (81,14%), a melhor UF (32,35%) e o melhor RE (27,75%) no mês de junho e a maior PM em abril (38,83 m/h), e, se observa, que nos meses que apresentaram os melhores indicadores de DF, UF e RE a PM não foi a maior.

Um fato relevante aqui é que, no mês de março de 2023, o jumbo denominado JE064 ainda não fazia parte da frota, pois era um equipamento recém-chegado e ainda estava em fase final de montagem e testes no subsolo; sendo assim, não entrou na média dos indicadores daquele mês. Com a sua entrada na frota a produtividade média, que no mês anterior foi de 34,50 m/h perfurados, subiu para 38,54 m/h, mesmo com todos indicadores do mês anterior sendo maior que a do mês de entrada do equipamento, contudo, no mês de junho, mesmo com sua presença, a média foi a menor dos 4 meses, com 26,10 m/h perfurados.

Tabela 2 - Média dos indicadores da frota de perfuração acumulada em 4 meses

MÉDIA DA FROTA DE PERFURAÇÃO				
Equipamento	Acumulado 4 meses			
	DF	UF	RE	PM (m/h)
SB036	72,86%	39,37%	31,91%	22,23
JE 058	69,43%	25,59%	22,19%	30,66
JE 064	79,24%	27,56%	24,64%	42,03
JE 071	86,81%	27,43%	24,46%	44,94
Média da frota	77,09%	29,99%	25,80%	34,96

Fonte: Elaborado pelo autor.

Sendo assim, no acumulado de 4 meses, a média de DF da frota de perfuração foi de 77,66%, a UF, 30,30%, o RE, de 25,52% e PM, de 34,96 metros perfurados por hora.

4.1.2 Equipamentos de Carregamento

A tabela 3 apresenta os indicadores da frota de carregamento de cada mês e a tabela 4 apresenta a média do período acumulado de 4 meses da frota.

Tabela 3 - Média mensal dos indicadores de cada equipamento de carregamento

INDICADORES					
M	Equipamento	DF	UF	RE	PM (t/h)
a	CG010	65,60%	38,91%	27,03%	57,18
r	CG011	82,81%	20,39%	17,21%	21,91
§	CG017	76,40%	56,87%	49,96%	48,6
o	Média	74,94%	38,72%	31,40%	42,56
A	Equipamento	DF	UF	RE	PM (t/h)
b	CG010	68,35%	47,34%	37,15%	62,48
r	CG011	68,28%	27,37%	20,94%	17,29
i	CG017	89,18%	55,98%	53,49%	76,65
I	Média	75,27%	43,56%	37,19%	52,14
Equipamento	DF	UF	RE	PM (t/h)	
M	CG010	86,99%	45,20%	39,20%	50,40
a	CG011	81,45%	31,90%	27,71%	28,12
i	CG017	74,23%	56,31%	47,48%	41,36
o	Média	80,89%	44,47%	38,13%	39,96
J	Equipamento	DF	UF	RE	PM (t/h)
u	CG010	80,80%	44,31%	40,98%	45,35
n	CG011	89,38%	30,37%	28,17%	34,40
h	CG017	77,28%	55,36%	46,12%	36,97
o	Média	82,49%	43,35%	38,42%	38,91

Fonte: Elaborado pelo autor

A frota de carregamento apresentou a melhor DF (82,49%) no mês junho, a melhor UF (44,47%) no mês de maio, o melhor RE (38,42%) no mês de junho, tal fato não segue a mesma tendencia, e a melhor PM se dá no mês de abril (52,14 t/h). o que mostra que para tal frota, quando se têm melhor UF e RE não se obtêm a maior PM.

Tabela 4 - Média dos indicadores da frota de carregamento

MÉDIA DA FROTA DE CARREGAMENTO				
Acumulado 4 meses				
Equipamento	DF	UF	RE	PM (t/h)
CG010	75,44%	43,94%	36,09%	50,98
CG011	80,48%	27,51%	23,51%	25,43
CG017	79,27%	56,13%	49,26%	50,90
Média da frota	78,40%	42,53%	36,29%	42,43

Fonte: Elaborado pelo autor

A frota de carregamento apresentou no acumulado de 4 meses a média de 78,40% de DF, 42,53% de UF, 36,29% de RE e 42,43 t/h de movimentação de massa.

4.1.3 Equipamentos de transporte

A tabela 5 apresenta os indicadores da frota de transporte de cada mês e a tabela 6 apresenta a média do período acumulado de 4 meses da frota.

Tabela 5 - Média mensal dos indicadores de cada equipamento de transporte

INDICADORES					
M	Equipamento	DF	UF	RE	PM (t/h)
a	CW065	87,51%	32,30%	29,37%	69,78
r	CW072	81,42%	32,69%	26,64%	43,25
o	Média	84,47%	32,50%	28,01%	56,52
<hr/>					
A	Equipamento	DF	UF	RE	PM (t/h)
b	CW065	83,91%	26,59%	24,53%	62,40
r	CW072	87,15%	27,19%	23,25%	65,10
i	Média	85,53%	26,89%	23,89%	63,75
<hr/>					
M	Equipamento	DF	UF	RE	PM (t/h)
c	CW065	77,48%	32,48%	29,90%	70,67
i	CW072	75,78%	33,08%	28,57%	67,31
o	Média	76,63%	32,78%	29,24%	68,99
<hr/>					
j	Equipamento	DF	UF	RE	PM (t/h)
u	CW065	83,00%	26,19%	24,25%	66,04
n	CW072	83,21%	26,56%	22,78%	70,92
h	Média	83,11%	26,38%	23,52%	68,48

Fonte: Elaborado pelo autor

A frota de equipamentos de transporte apresentou melhor DF (85,53%) no mês de abril, a melhor UF (32,78%) no mês de maio, o melhor RE (29,24%) também no mês de maio e a melhor PM em maio com 68,99 t/h movimentados, e, também se nota que a melhor PM não se deu nos meses que tiveram melhores indicadores de DF, UF e RE.

Tabela 6 - Média dos indicadores da frota de transporte

MÉDIA DA FROTA DE TRANSPORTE				
Acumulado 4 meses				
Equipamento	DF	UF	RE	PM (t/h)
CW065	82,98%	29,39%	27,01%	66,07
CW072	81,89%	29,88%	25,31%	61,65
Média da frota	82,43%	29,64%	26,16%	63,86

Fonte: Elaborado pelo autor

A frota de transporte apresentou no acumulado de 4 meses a média de 82,43% de DF, 26,49% de UF, 26,16% de RE e PM de 63,86 t/h movimentados.

4.1.4 Equipamentos Rompedores

Tabela 7 - Média mensal dos indicadores de cada equipamentos rompedores

INDICADORES				
M	Equipamento	DF	UF	RE
a	RC021	51,57%	17,13%	14,51%
r	RC023	73,88%	34,77%	23,42%
ç	RC047	90,31%	36,36%	32,89%
o	Média	71,92%	29,42%	23,61%
<hr/>				
A	Equipamento	DF	UF	RE
b	RC021	74,36%	11,93%	11,91%
r	RC023	76,76%	34,31%	28,68%
i	RC047	87,46%	47,71%	41,01%
I	Média	79,53%	31,32%	27,20%
<hr/>				
Equipamento				
M	RC021	80,66%	15,71%	14,38%
a	RC023	79,03%	30,48%	25,75%
i	RC047	91,70%	43,99%	41,69%
o	Média	83,80%	30,06%	27,27%
<hr/>				
J	Equipamento	DF	UF	RE
u	RC021	77,51%	14,76%	10,86%
n	RC023	82,90%	29,19%	24,47%
h	RC047	90,69%	46,61%	43,82%
o	Média	83,70%	30,19%	26,38%

Fonte: Elaborado pelo autor

A frota de equipamentos rompedores apresentou maior DF (83,80%) no mês de maio, maior UF (31,32%) no mês de abril e maior RE (27,27%) também no mês de maio. Para os equipamentos rompedores, não foi calculada uma média de produtividade, devido ser uma tarefa complexa para o operador relatar nas “partes diárias” em algumas atividades.

Tabela 8 Média dos indicadores da frota de rompedores

MÉDIA DA FROTA DE ROMPEDORES			
Acumulado 4 meses			
Equipamento	DF	UF	RE
RC021	71,03%	14,88%	12,92%
RC023	78,14%	32,19%	25,58%
RC047	90,04%	43,67%	39,85%
Média da frota	79,74%	30,25%	26,12%

Fonte: Elaborado pelo autor

A frota de equipamentos rompedores apresentou no acumulado de 4 meses a média de 79,74% de DF, 30,25% de UF e 26,12% de RE.

4.1.5 Equipamentos Auxiliares

Tabela 9 - Média mensal dos indicadores de cada equipamentos auxiliares

INDICADORES				
M	Equipamento	DF	UF	RE
a	TP005	93,68%	17,78%	16,71%
r	MT035	94,64%	34,32%	33,57%
o	Média	94,16%	26,05%	25,14%
<hr/>				
A	Equipamento	DF	UF	RE
b	TP005	96,69%	17,07%	16,39%
r	MT035	91,97%	28,25%	27,06%
I	Média	94,33%	22,66%	21,73%
<hr/>				
M	Equipamento	DF	UF	RE
a	TP005	71,08%	23,68%	19,25%
i	MT035	96,19%	21,85%	21,10%
o	Média	83,64%	22,77%	20,18%
<hr/>				
J	Equipamento	DF	UF	RE
u	TP005	90,83%	16,05%	15,98%
n	MT035	99,00%	24,40%	24,23%
o	Média	94,92%	20,23%	20,11%

Fonte: Elaborado pelo autor

A frota de equipamentos auxiliares apresentou melhor DF (94,92%) no mês de junho, melhor UF (26,05%) e RE (25,14%) no mês de março. Pelo mesmo motivo dos equipamentos rompedores, para os equipamentos auxiliares, não foi calculada uma média de produtividade, devido ser uma tarefa complexa para o operador relatar nas “partes diárias” em algumas atividades.

Tabela 10 - Média dos indicadores da frota de equipamentos auxiliares

MÉDIA DA FROTA DE EQ. AUXILIARES				
Acumulado 4 meses				
Equipamento	DF	UF	RE	
TP005	88,07%	18,65%	17,08%	
MT035	95,45%	27,21%	26,49%	
Média da frota	91,76%	22,93%	21,79%	

Fonte: Elaborado pelo autor

A frota de equipamentos auxiliares apresentou no acumulado de 4 meses a média de 91,76% de DF, 22,93% de UF e 21,79% de RE.

4.2 Indicadores da frota

Por fim, a média mensal da frota e a média acumulada em 4 meses de operação foram calculadas considerando todos os equipamentos disponíveis e suas respectivas DF, UF e RE. As tabelas 11, 12 e 13 apresentam os KPIs mensais de

cada equipamento da frota, bem como suas médias, e, também, o acumulado de 4 meses de operação dos KPIs estudados.

4.2.1 Disponibilidade Física da Frota

Finalmente, é possível calcular os KPIs da frota.

A tabela 11 mostra o método utilizado para o cálculo da DF.

Tabela 11 - DF mensal da frota por equipamento e acumulado 4 de meses.

Equipamento	DF DA FROTA				
	Março	Abril	Maio	Junho	Média acumulada
SB036	71,31%	62,18%	81,14%	76,83%	72,87%
JE058	79,76%	56,46%	78,96%	62,55%	69,43%
JE064	-	81,98%	74,12%	81,62%	79,24%
JE071	92,36%	90,36%	82,88%	81,63%	86,81%
CG010	65,60%	68,35%	86,99%	80,80%	75,44%
CG011	82,81%	68,28%	81,45%	89,38%	80,48%
CG017	76,40%	89,18%	74,23%	77,28%	79,27%
CW065	87,51%	83,91%	77,48%	83,00%	82,98%
CW072	81,42%	87,15%	75,78%	83,21%	81,89%
RC021	51,57%	74,36%	80,66%	77,51%	71,03%
RC023	73,88%	76,76%	79,03%	82,90%	78,14%
RC047	90,31%	87,46%	91,70%	90,69%	90,04%
TP005	93,68%	96,69%	71,08%	90,83%	88,07%
MT035	94,64%	91,97%	96,19%	99,00%	95,45%
Média Frota	80,10%	79,65%	80,84%	82,66%	80,81%

Fonte: Elaborado pelo autor

Obtêm-se então os valores de DF da frota completa dos equipamentos de lavra da mina, que apresentou a DF de 80,10% em março, 79,65% em abril, 80,84% em maio e 82,66% em junho. A DF acumulada em 4 meses ficou em 80,81%.

4.2.2 Utilização física da frota

A tabela 12 mostra o método utilizado para o cálculo da UF.

Tabela 12 -UF mensal da frota por equipamento e acumulado 4 de meses.

UF DA FROTA					
Equipamento	Março	Abril	Maio	Junho	Média acumulada
SB036	37,87%	32,89%	40,86%	45,87%	39,37%
JE058	27,20%	17,62%	30,78%	26,74%	25,59%
JE064	-	25,39%	27,12%	30,16%	27,56%
JE071	28,51%	24,07%	30,54%	26,61%	27,43%
CG010	38,91%	47,34%	45,20%	44,31%	43,94%
CG011	20,39%	27,37%	31,90%	30,37%	27,51%
CG017	56,87%	55,98%	56,31%	55,36%	56,13%
CW065	32,30%	26,59%	32,48%	26,19%	29,39%
CW072	32,69%	27,19%	33,08%	26,56%	29,88%
RC021	17,13%	11,93%	15,71%	14,76%	14,88%
RC023	34,77%	34,31%	30,48%	29,19%	32,19%
RC047	36,36%	47,71%	43,99%	46,61%	43,67%
TP005	17,78%	17,07%	23,68%	16,05%	18,65%
MT035	34,32%	28,25%	21,85%	24,40%	27,21%
Média Frota	31,93%	30,27%	33,14%	31,66%	31,75%

Fonte: Elaborado pelo autor

Obtêm-se então os valores de UF da frota completa dos equipamentos de lavra da mina, que apresentou a UF de 31,93% em março, 30,27% em abril, 33,14% em maio e 31,66% em junho. A UF acumulada em 4 meses ficou em 31,75%.

4.2.3 Rendimento operacional da frota

A tabela 13 mostra o método utilizado para o cálculo do RE.

Tabela 13 - RE mensal da frota por equipamento e acumulado 4 de meses

RE DA FROTA					
Equipamento	Março	Abril	Maio	Junho	Média acumulada
SB036	30,61%	26,17%	32,49%	38,37%	31,91%
JE058	23,20%	14,17%	28,48%	22,89%	22,19%
JE064	-	23,18%	22,95%	27,79%	24,64%
JE071	26,21%	23,36%	26,31%	21,96%	24,46%
CG010	27,03%	37,15%	39,20%	40,98%	36,09%
CG011	17,21%	20,94%	27,71%	28,17%	23,51%
CG017	49,96%	53,49%	47,48%	46,12%	49,26%
CW065	29,37%	24,53%	29,90%	24,25%	27,01%
CW072	26,64%	23,25%	28,57%	22,78%	25,31%
RC021	14,51%	11,91%	14,38%	10,86%	12,92%
RC023	23,42%	28,68%	25,75%	24,47%	25,58%
RC047	32,89%	41,01%	41,69%	43,82%	39,85%
TP005	16,71%	16,39%	19,25%	15,98%	17,08%
MT035	33,57%	27,06%	21,10%	24,23%	26,49%
Média Frota	27,03%	26,52%	28,95%	28,05%	27,64%

Fonte: Elaborado pelo autor

Obtém-se então os valores de RE da frota completa dos equipamentos de lavra da mina, que apresentou a RE de 27,03% em março, 26,52% em abril, 28,95% em maio e 28,05% em junho. O RE acumulado em 4 meses ficou em 27,64%.

4.2.4 Comparação planejado x real

Com os dados devidamente alocados, é possível realizar uma análise entre o que foi planejado e o que foi executado em cada mês, analisando as frotas individuais e a frota geral, das quais cada equipamento e frota tinham números planejados de DF, UF e RE. A tabela 14 mostra os valores planejados de DF, UF e RE para o período.

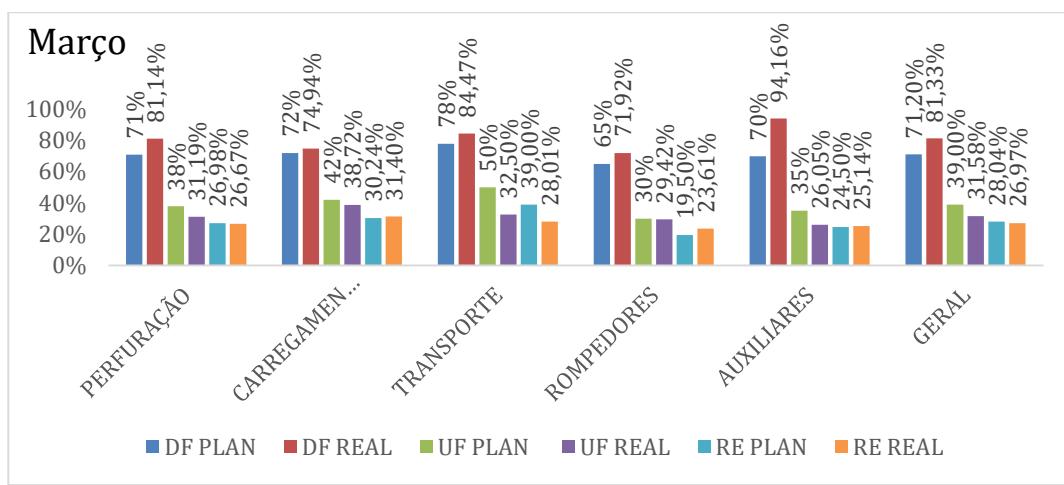
Tabela 14 – Indicadores planejados para o período.

PLANEJADO PARA O PÉRIODO						
	Perfuração	Carregamento	Transporte	Rompedores	Auxiliares	Geral
DF PLAN	71%	72%	78%	65%	70%	71%
UF PLAN	38%	42%	50%	30%	35%	39%
RE PLAN	27%	30%	39%	20%	25%	28%

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisa-se então os gráficos de comparação entre real e planejado de cada frota durante o período de estudo. As figuras 20 a 23 mostram os gráficos de comparação entre planejado e realizado para DF e UF.

Figura 20 – Gráfico de indicadores do mês de março



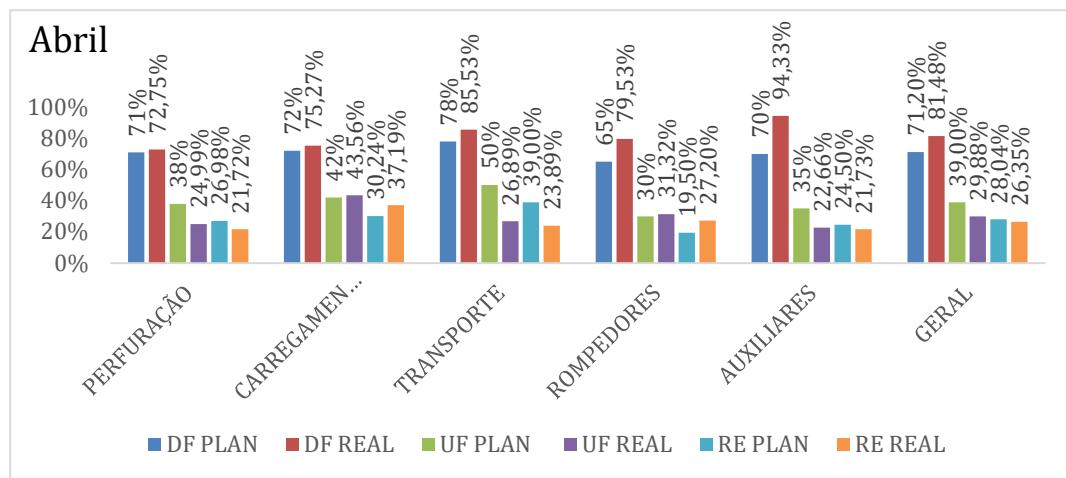
Fonte: Elaborado pelo autor

Na análise da figura 20, observa-se que em março a DF real de todas as frotas são maiores que as planejadas, o que indica que os equipamentos têm ficado a disposição para trabalho mais que o planejado. A frota geral apresentou DF acima do planejado (81,33% de 71,20%).

Por outro lado, percebe-se que a UF em nenhuma categoria da frota foi maior que a planejada, mostrando que o equipamento não cumpriu sua meta inicial em horas trabalhadas. Isso é facilmente observado também para a frota completa, que não teve a UF real (31,58%) maior que a planejada (39%).

Já o RE real foi bem próximo ao planejado na maioria dos casos, em exceção, a frota de transporte, que apresentou o RE real de 10,99% abaixo do planejado para o mês, já a frota de rompedores mostrou um RE real 4,11% acima do planejado. A frota geral apresentou RE abaixo do planejado (26,97% de 28,04%).

Figura 21 – Gráfico de indicadores do mês de abril



Fonte: Elaborado pelo autor

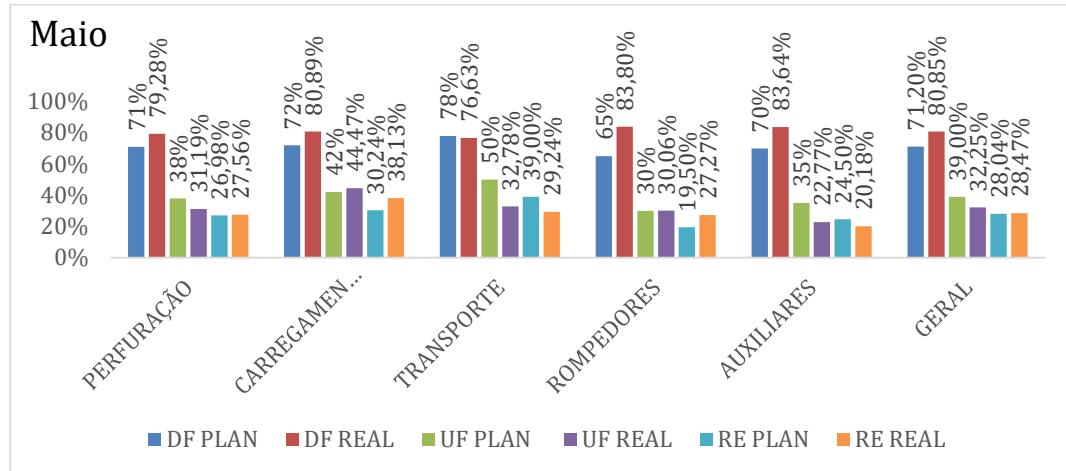
Em análise da figura 21, observa-se que, também em abril, as DF reais de todas as frotas são maiores que as planejadas. A frota completa segue a mesma tendência, apresentando DF real (31,48%) maior que a planejada (71,20%).

Contudo, percebe-se, também, que a UF de nenhuma categoria da frota foi maior que a planejada. Isso é observado também para a frota completa, que apresenta UF real (29,88%) menor que a planejada (39%).

Já o RE apresentou valores reais abaixo dos planejados nas frotas de perfuração, transporte, e equipamentos auxiliares, por outro lado, nas frotas de

carregamento e rompedores, o RE real é maior que o planejado. A frota geral apresentou RE abaixo do planejado (26,35% de 28,04%).

Figura 22 - Gráfico de indicadores de maio



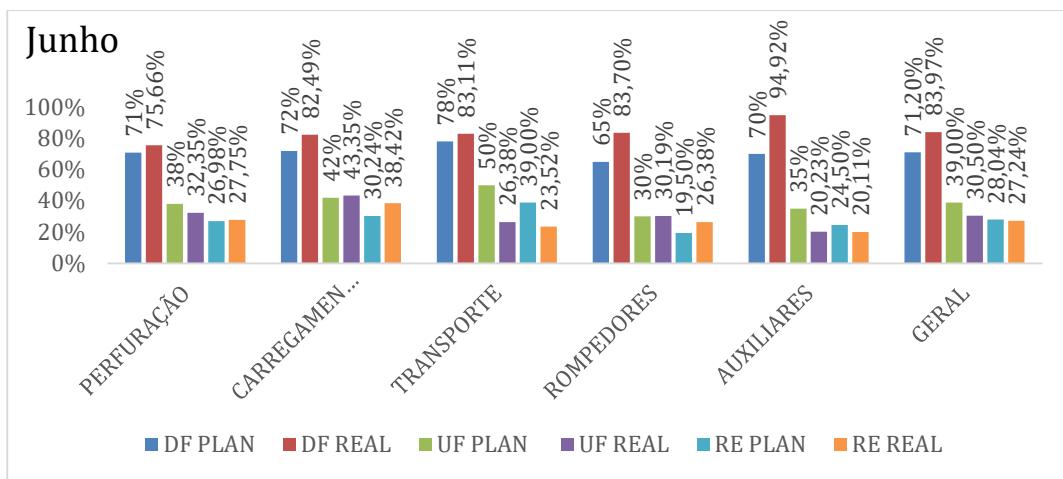
Fonte: Elaborado pelo autor

Já em análise da figura 22, observa-se que pela primeira vez a DF real dos equipamentos de transporte (76,63%) foi menor que a planejada (78%), fator que pode estar ligado às várias paradas em manutenção corretiva no período. Para as demais categorias a DF real foi superior ao planejado. Para a frota geral a DF real (80,85%) foi maior que a planejada (71,20%).

Por outro lado, para os rompedores, também pela primeira vez no período, a UF real (30,06%) foi maior que a planejada (30%), e isso pode estar ligado a alta demanda desses equipamentos para operações de fragmentação de rochas para passar pela grelha do *ore pass*, que por sua vez, pode estar ligado às características do desmonte e do maciço.

Já o RE das frotas de perfuração, carregamento e rompedores, foram maiores que os planejados, com a frota de carregamento ultrapassando o planejado em 7,89%. A frota de transporte e equipamentos auxiliares apresentaram RE real menor que o planejado. A frota geral apresentou RE real (28,47%) maior que o planejado (28,04%).

Figura 23 - Gráfico de indicadores de junho



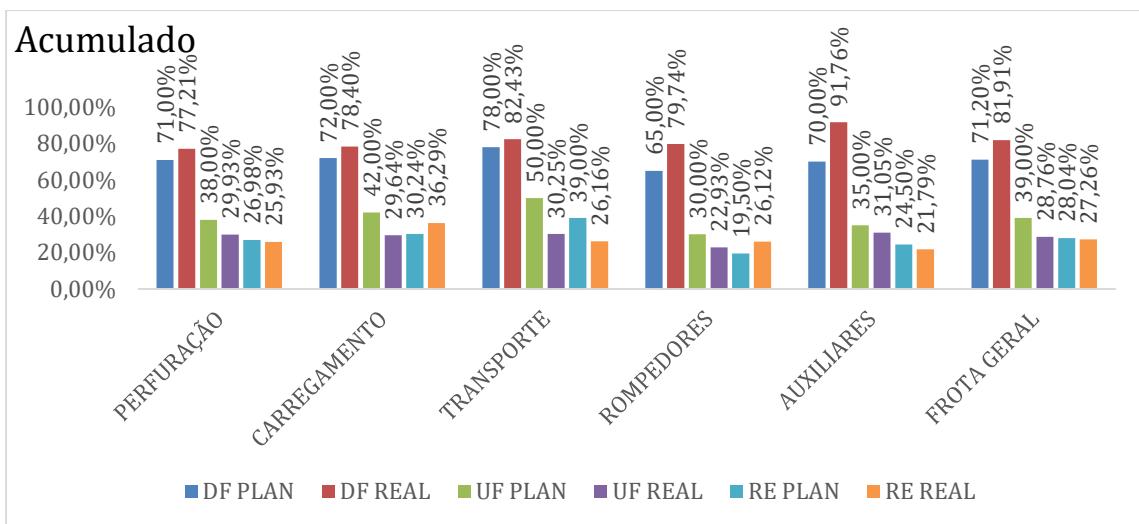
Fonte: Elaborado pelo autor

Em análise da figura 23, observa-se que mais uma vez a DF real foi superior que a planejada em todas as categorias, com a frota apresentando DF de 83,97%, valor 12,77% maior que o planejado (71,20%). Novamente, indicando que todas as frotas ficaram disponíveis mais do que o planejado.

Para a UF, as frotas de carregamento e rompedores apresentaram valores reais maiores que os planejados, demais frotas apresentaram UF reais abaixo do planejado. A UF real (30,50%) da frota geral também ficou abaixo do planejado (39%).

Já os RE das frotas de perfuração, carregamento e rompedores, ficaram acima do planejado. Transporte e equipamentos auxiliares tiveram RE real abaixo do planejado. Para a frota geral o RE real (27,14%) foi menor que o planejado (28,04%).

Figura 24 - Gráfico de indicadores da frota no período acumulado de quatro meses



Fonte: Elaborado pelo autor

Por fim, em análise da figura 24 é possível observar que no período acumulado de quatro meses a média de DF real de cada frota foi mais que seu indicador planejado, acompanhando assim, também, a DF da frota completa, que teve DF real (81,91%) maior que a planejada (71,20%).

Já o indicador de UF apresentou no acumulado do período para todos os equipamentos, valores reais menores que os planejados, seguindo a mesma tendência, a UF real (28,76%) no período, também foi menor que a planejada (39%).

Contudo, o RE apresentou valores reais maiores que os planejados para as frotas de carregamento e rompedores, já as demais frotas tiveram valores reais menores que os planejados. Por fim, o indicador de RE apresentou valores próximos para o acumulado dos 4 meses, com 27,26% de RE real e 28,04 de RE planejada, ainda assim, com uma diferença de 0,78% a menos que o planejado.

4.3 Comparação com dados históricos

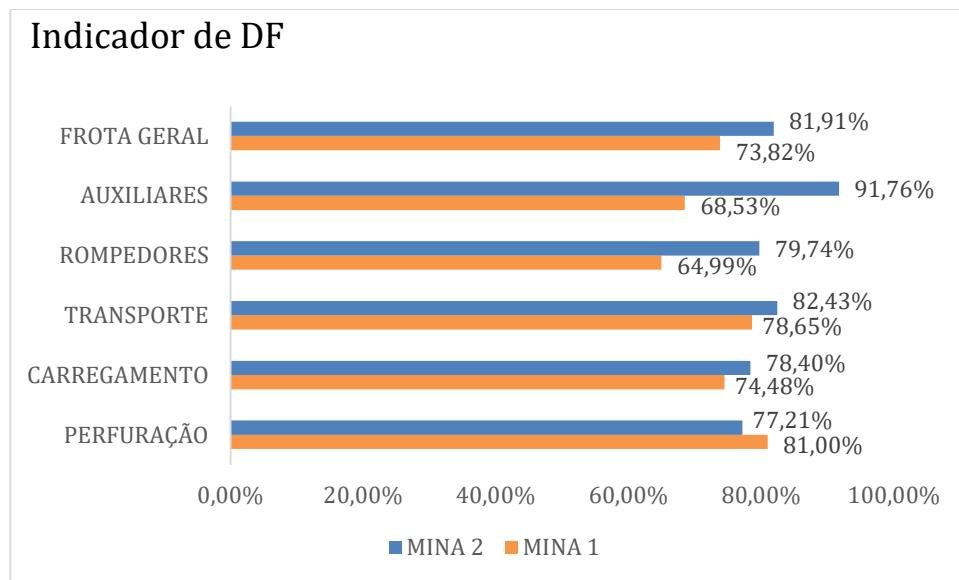
Com os dados do período do estudo, foi possível fazer uma comparação entre os números da mina estudada e os números da outra mina do complexo mineral, a fim de se equiparar os indicadores.

Para isso, utilizou-se um banco de dados com dados históricos reais de indicadores da frota da outra mina do complexo mineral, denominada “Mina 1”, com dados abrangendo o período de janeiro de 2021 a junho de 2022, ao longo dos 18

meses, se obteve a média de indicadores dos equipamentos da mina 1, os quais são utilizados para comparação com os indicadores desse trabalho.

A figura 25 mostra a comparação de DF entre a média histórica da mina 1 e a média acumulada da mina 2, no período considerado.

Figura 25 – Comparação de DF entre média histórica da mina 1 e média acumulada da mina 2.

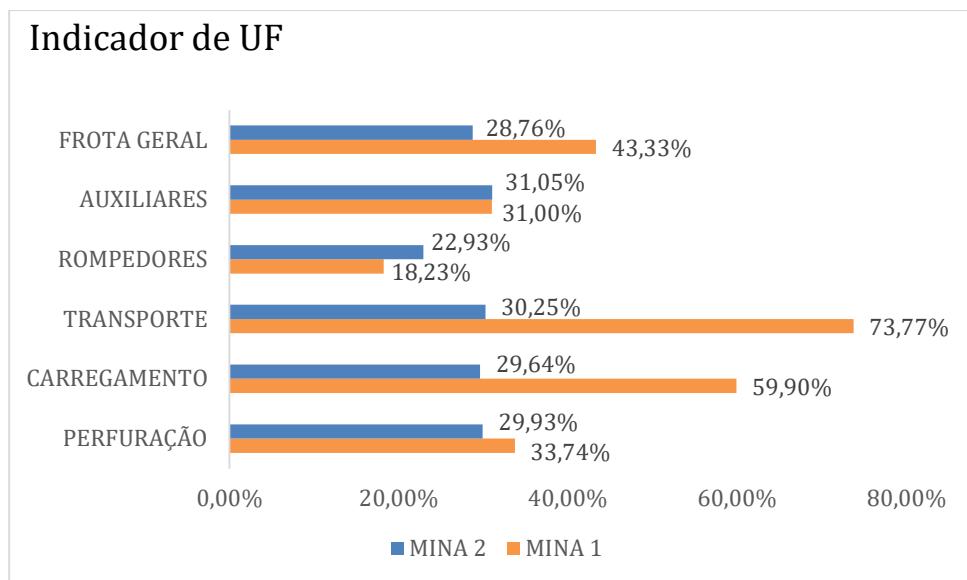


Fonte: Elaborado pelo autor

Nos índices acima, observa-se que no geral, a frota da mina 2 apresenta maior DF (81,91%) em relação à mina 1 (73,82%), mostrando que os equipamentos da mina 2 ficam mais tempo disponíveis. Para as frotas de perfuração, carregamento e transporte, o indicador apresenta diferença menor que 5%, já para rompedores e auxiliares ficam acima de 14%, ambos valores maiores da mina 2.

A figura 26 mostra a comparação de UF entre a média histórica da mina 1 e a média acumulada da mina 2.

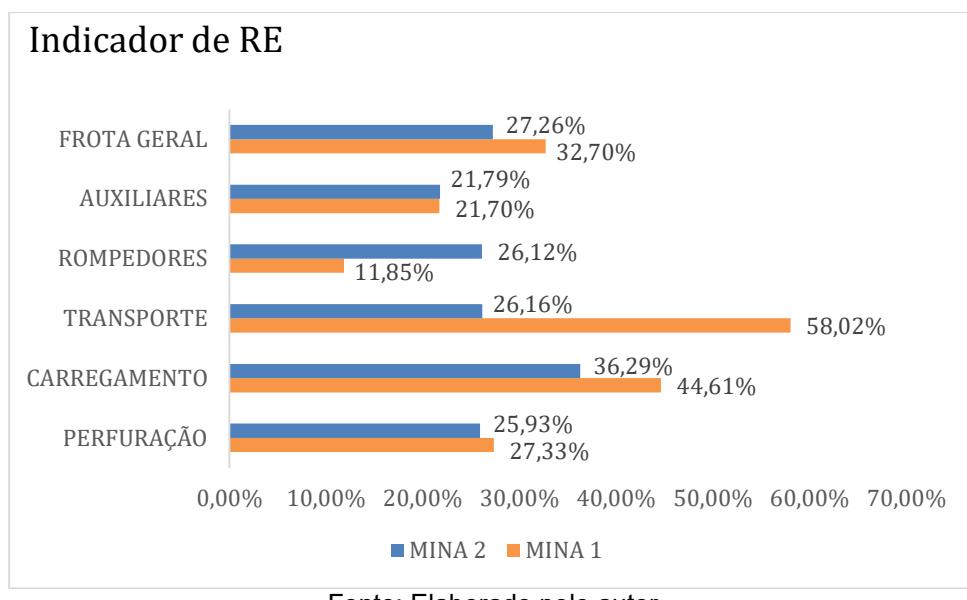
Figura 26 - Comparação de UF entre média histórica da mina 1 e média acumulada de mina 2.



Percebe-se que nas frotas de perfuração, carregamento e transporte, os índices da mina 1 foram maiores que os da mina 2, em especial à frota de transporte, apresentando valor maior que o dobro de UF para a mina 1. Contudo, as UF da frota de rompedores e equipamentos auxiliares da mina 2 foram maiores que da mina 1. Para a frota geral obteve-se o valor de UF de 43,33% para a mina 1 e 28,76% para a mina 2, novamente, com a mina 1 tendo indicadores maiores que o da mina 2.

A figura 27 mostra a comparação de RE entre a média histórica da mina 1 e a média acumulada da mina 2.

Figura 27 - Comparação de RE entre média histórica da mina 1 e média acumulada de mina 2.



Fonte: Elaborado pelo autor

Para o indicador de RE, a frota de perfuração, carregamento e transporte da mina 1 foi superior que da mina 2. Já para a frota de rompedores e equipamentos auxiliares, a mina 2 apresentou melhor RE, com a frota de rompedores da mina 2 apresentando RE maior que o dobra da mina 1. Para a frota geral, a mina 1 teve maior RE, superando em mais de 5% a mina 2.

4.4 Perfil de perdas de tempo das frotas

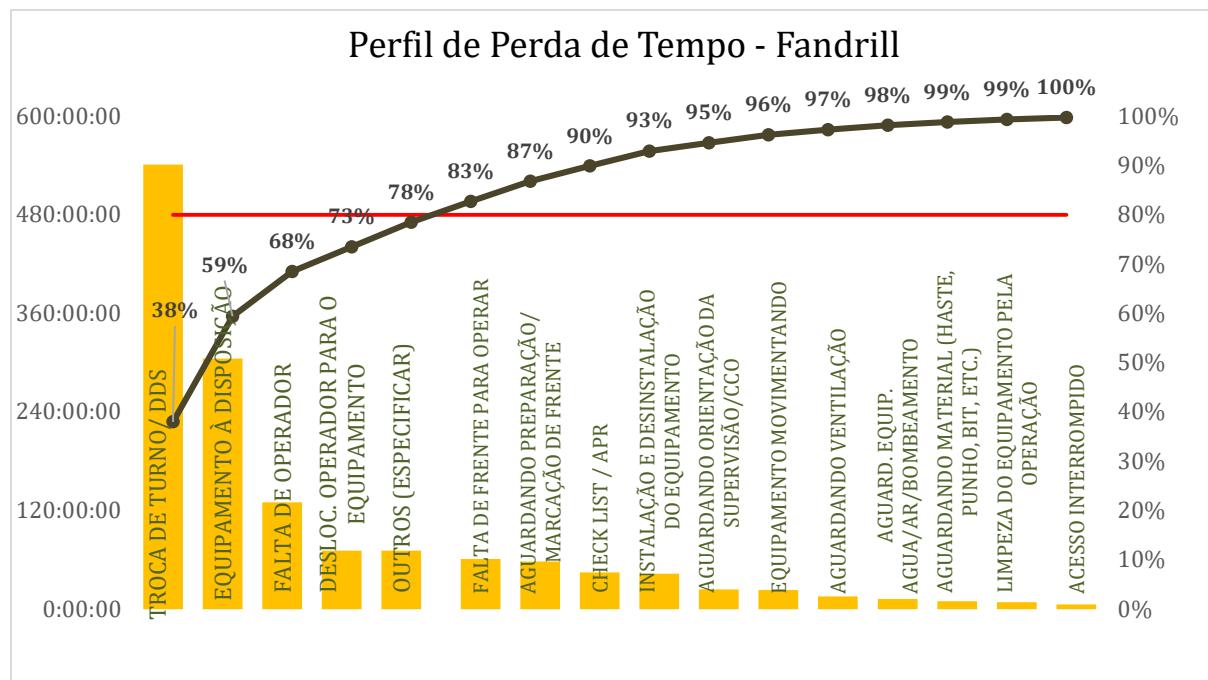
Para conseguir entender os valores dos indicadores e o que eles representam em questão de rendimento operacional do equipamento e identificar gargalos na operação, é necessário analisar fatores que contribuem para a perda de tempo em operação do equipamento. Logo, foram analisados os perfis de perda de tempo dos equipamentos que tiveram suas produtividades médias medidas, sendo, equipamentos das frotas de perfuração, carregamento e transporte, a fim de identificar os gargalos das mesmas.

Diversos são os fatores que contribuem para a disponibilidade física, utilização física e rendimento apresentarem tais números, desde motivos programados, como manutenções preventivas, trocas de turno, paradas planejadas, “checklist” do equipamento, preenchimento de “APR”, entre outros, e, também motivos não programados, como manutenções corretivas, falta de frete para operar, falta de

operador, atrasos operacionais, troca de turno, entre outros fatores, que influenciam diretamente nos indicadores da frota.

A figura 28 mostra um exemplo de perfil de perda de tempo (horas improdutivas) dos equipamentos de perfuração. Para tal, foi utilizado o gráfico do *fandrill* para fazer a representação dos equipamentos de perfuração. Nos apêndices A, B e C encontram-se demais gráficos que foram utilizados na análise dos equipamentos de perfuração.

Figura 28 - exemplo de perfil de perda de tempo dos equipamentos de perfuração



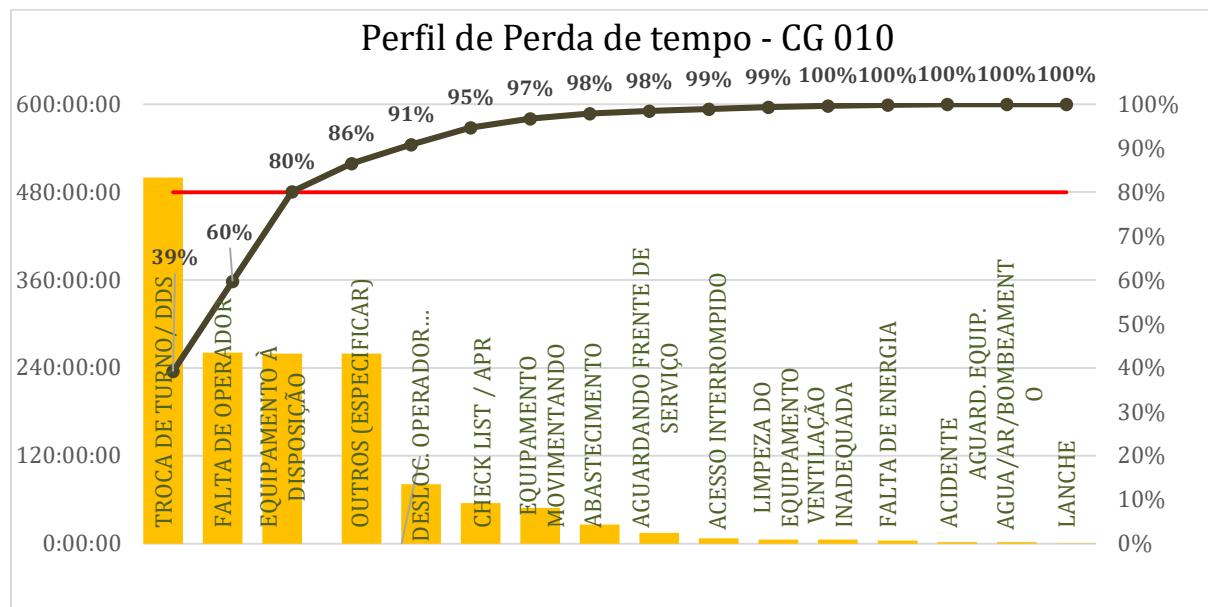
Fonte: elaborado pelo autor

Percebe-se pela análise da figura 28, que as atividades que mais afetam os indicadores são “troca de turno”, “equipamento à disposição”, “falta de operador”, “deslocamento de operador para o equipamento” e “outros”. Analisando-se demais gráficos que se encontram nos apêndices A, B e C, é possível observar que a atividade “aguardando frente para operar” também se mostra como uma das mais frequentes. A linha vermelha é uma reta de valor constante de 80% e funciona como parâmetro para identificar os valores que mais contribuíram para as perdas de tempo. Já a curva em preto, representa os valores acumulados das respectivas atividades que contribuíram com as perdas de tempo.

A figura 29 mostra um exemplo de perfil de perda de tempo dos equipamentos de carregamento, para tal, foi utilizado o gráfico de uma das LHDs para fazer a representação da frota de carregamento. Nos apêndices D e E, encontram-se demais gráficos que foram utilizados na análise dos equipamentos de carregamento.

Observando-se o gráfico da figura 29 é possível perceber que as principais atividades que afetam os indicadores da frota de carregamento são “troca de turno”, “falta de operador” e “equipamentos à disposição”. Analisando-se os apêndices D e E, percebe-se a mesma tendência para os outros dois equipamentos da frota de carregamento, com acréscimo da atividade “outros” nas que afetam os indicadores.

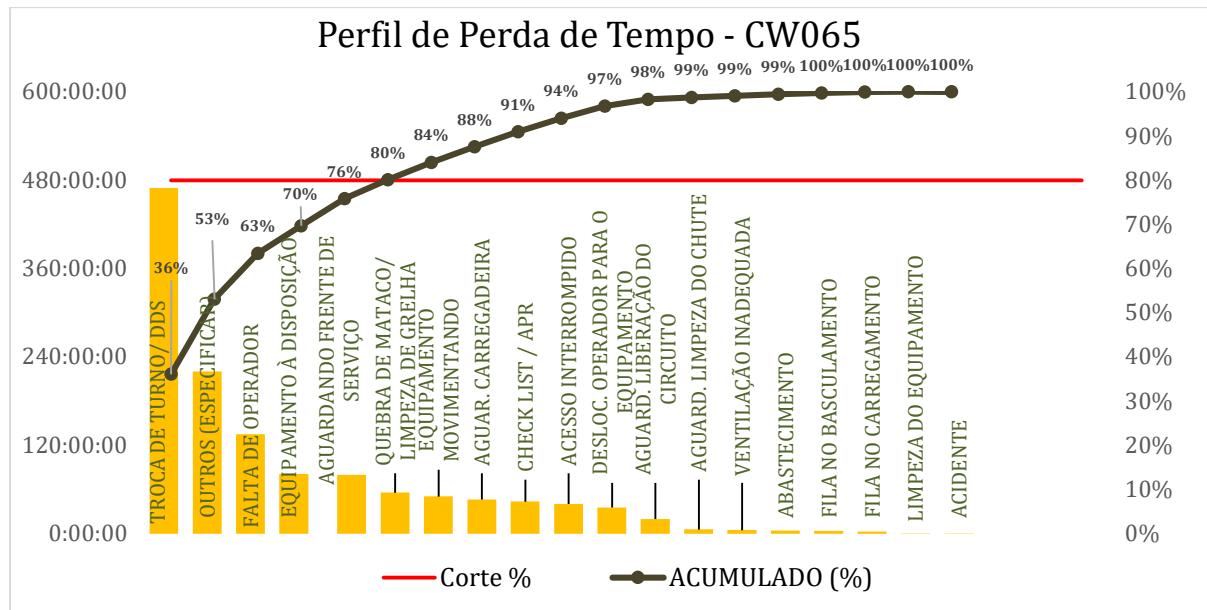
Figura 29 - Exemplo de perfil de perda de tempo da frota de carregamento



Fonte: Elaborado pelo autor

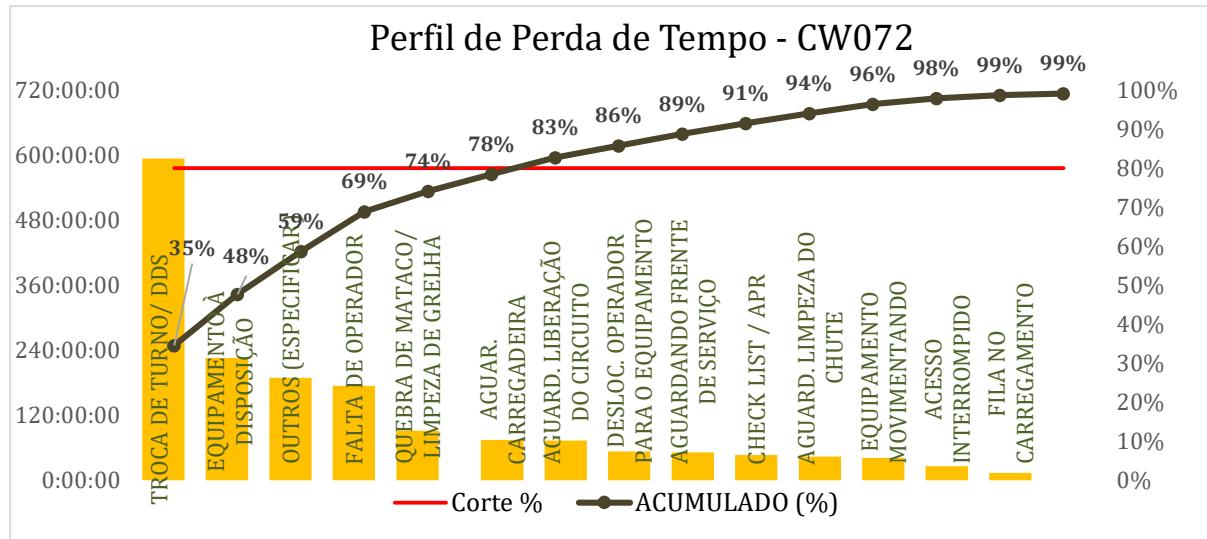
A figuras 30 e 31 mostram o perfil de perda de tempo dos equipamentos de transporte, para tal, foi utilizado o gráfico dos caminhões articulados.

Figura 30 - Perfil de perda de tempo do caminhão CW065



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 31 - Perfil de perda de tempo do caminhão CW072



Fonte: Elaborado pelo autor

Observando os gráficos dos caminhões, é possível identificar que as atividades que mais afetam os indicadores são “troca de turno”, “falta de operador”, “equipamento a disposição”, “quebra de mataço e limpeza de grelha”, na qual o caminhão aguarda a limpeza da grelha pelo rompedor para bascular sua carga, e “outros”.

Para os equipamentos rompedores e equipamentos auxiliares, não foi calculado o perfil de perda de tempo das atividades, devido à complexidade e diversidade de atividades realizadas por esses equipamentos, e, também, pelo fato de não se obter uma produtividade média desses equipamentos, mais uma vez devido à complexidade e diversidade das atividades realizadas por esses equipamentos.

Cabe ressaltar que as atividades analisadas pelos gráficos apresentados, são atividades improdutivas, que geram ociosidade ou utilização para atividades não programadas para o equipamento. Logo, essas atividades, somadas com horas paradas por manutenção, são as responsáveis por afetar os indicadores de DF, UF, RE e PM.

A tabela 15 mostra a relação de horas em manutenção de cada equipamento para cada mês do período abrangido, bem como, as horas acumuladas de manutenção nos 4 meses e as médias para equipamentos e mensal da frota.

Tabela 15 - Relação de horas em manutenção de cada equipamento e acumulado, bem como as médias de equipamento e frota geral.

HORAS EM MANUTENÇÃO (PREVENTIVA + CORRETIVA)						
Equipamento	Março	Abril	Maio	Junho	Acumulado	Média Equipamento
SB036	213:28:00	285:02:00	140:20:00	166:50:00	805:40:00	201:25:00
JE058	151:02:00	313:28:00	156:34:00	269:37:00	890:41:00	222:40:15
JE064	-	129:44:00	192:31:00	132:22:00	454:37:00	151:32:20
JE071	56:52:00	71:02:00	127:21:00	132:17:00	387:32:00	96:53:00
CG010	255:58:00	227:53:00	96:46:00	138:14:00	718:51:00	179:42:45
CG011	127:54:00	228:25:00	138:02:00	76:30:00	570:51:00	142:42:45
CG017	175:34:00	77:54:00	191:43:00	163:35:00	608:46:00	152:11:30
CW065	92:55:00	115:52:00	167:34:00	122:24:00	498:45:00	124:41:15
CW072	138:15:00	92:31:00	180:11:00	120:53:00	531:50:00	132:57:30
RC021	285:55:00	184:35:00	143:52:00	161:56:00	776:18:00	194:04:30
RC023	185:51:00	151:08:00	156:02:00	123:06:00	616:07:00	154:01:45
RC047	72:06:00	90:18:00	61:43:00	67:00:00	291:07:00	72:46:45
TP005	46:59:00	23:49:00	215:09:00	66:00:00	351:57:00	87:59:15
MT035	36:30:00	61:10:00	28:21:00	7:10:00	133:11:00	33:17:45
Acumulado	1839:19:00	2052:51:00	1996:09:00	1747:54:00	7636:13:00	1909:03:15
Média da Frota	141:29:09	146:37:56	142:34:56	124:51:00	545:26:39	138:53:15

Fonte: Elaborado pelo autor

Para todo o período, o total de horas calendário foi de 2928 horas, distribuídos em 720 horas em março, 744 horas em abril, 720 horas em maio e 744 horas em junho. Logo, alguns equipamentos apresentam muitas horas em manutenção, a exemplo do jumbo JE 058 no mês de abril, que teve mais de 313 horas

em manutenção, com mais de 40% do tempo mensal em manutenção. Por outro lado, outros equipamentos apresentam baixo tempo de manutenção em alguns meses, e até mesmo no acumulado de quatro meses, é o caso do equipamento MT035, uma plataforma da frota de equipamentos auxiliares, que apresentou apenas 7 h e 10 minem manutenção no mês de junho e 133:11:00 h no acumulado de quatro meses, tendo assim, uma média de 33:17:45 h em manutenção por mês durante o período e um acumulado de 133:11:00 h de manutenção nos 4 meses.

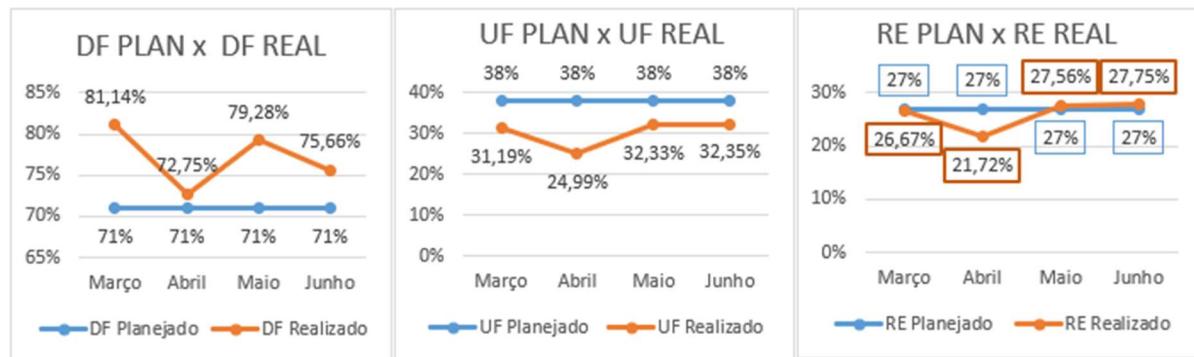
4.5 Discussão

Com os dados devidamente apresentados, é possível ter uma melhor visão dos indicadores, e, também, entender como cada atividade improdutiva pode influenciar em seus valores, por meio dos perfis de perda de tempo de cada equipamento.

Para a frota de perfuração, percebe-se que o equipamento utilizado na lavra (*fandrill*) apresenta maior UF e RE comparados aos equipamentos de desenvolvimento (jumbos) o que influencia positivamente a média total de tais indicadores da frota. Porém, quando se analisa a produtividade média (PM), em metros perfurados por hora, se observa o contrário, em que o *fandrill* influencia negativamente abaixando a média total de perfuração, que teve a média de 34,96 m/h perfurados. Tais valores podem ser consultados nas tabelas 1 e 2.

É possível determinar que a frota não atingiu seu valor planejado de (UF) e (RE) rendimento operacional, apesar de que nos meses de maio e junho tenha apresentado maior RE que o planejado, o que não acontece para UF, que em todos os meses apresentou valores abaixo do planejado, tal fato pode ser melhor evidenciado pela figura 32.

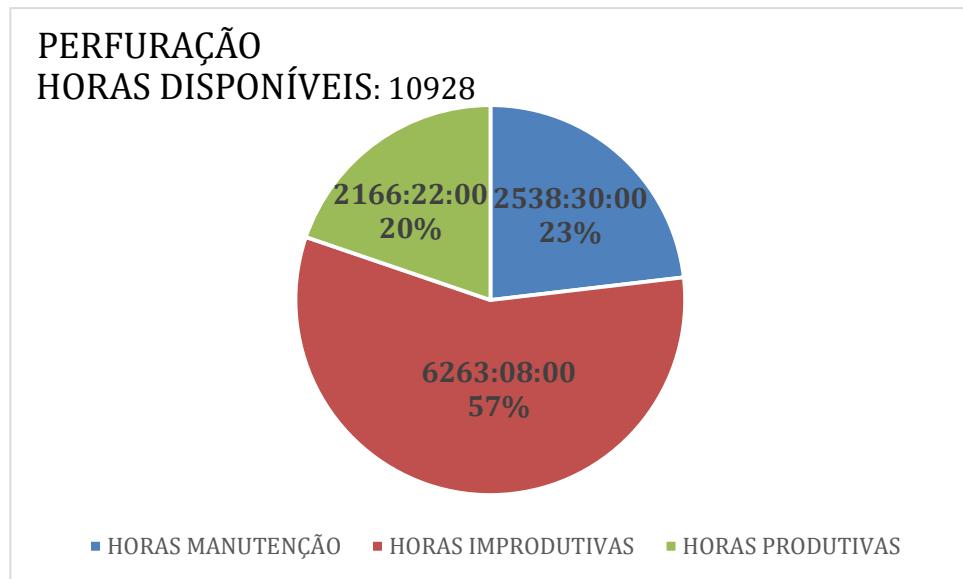
Figura 32 - Gráficos de UF, DF e RE Planejado X Realizado da frota de perfuração



Fonte: elaborado pelo autor

Observando as figuras relativas à comparação com os dados históricos da mina 1, percebe-se que todos os indicadores da mina 2 ficaram abaixo dos indicadores da mina 1. Tais fatores podem ser justificados analisando a figura 27 e os apêndices A, B e C, que apresentam o perfil de perda de tempo das atividades que mais afetaram a frota.

Figura 33 – gráfico de apropriação de horas dos equipamentos de perfuração

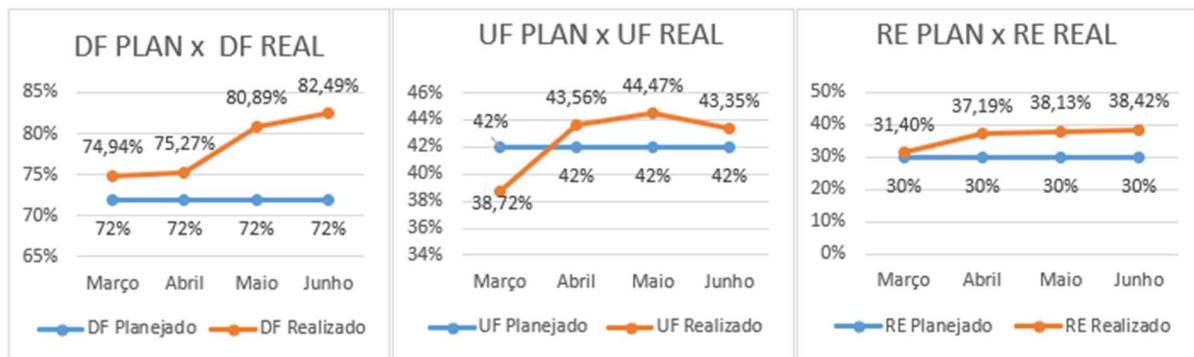


Fonte: Elaborado pelo autor

Como mencionado no capítulo 4.4, bem como mostrado na tabela 15, que mostra o tempo de manutenção para a mesma, das 10968 horas calendário disponíveis para a frota de perfuração (vale ressaltar que o equipamento JE 064 não operou no mês de março), cerca de 57% foram tempos improdutivos, 23% tempos em manutenção e 20% tempos produtivos, fato que pode ser verificado na figura 33.

Para a frota de carregamento, percebe-se que apresentou DF maior que o planejado, contudo, a UF realizada foi menor que a planejada no primeiro mês, mas apresentou superior nos meses seguintes. Porém, influenciada pela alta DF, o indicador de RE realizado ficou em mais de 6% maior que o planejado, o que pode contribuir com a produtividade média da frota, que apresentou o valor de 38,91 toneladas carregadas por hora durante o período de estudo. Tais dados podem ser observados na figura 34.

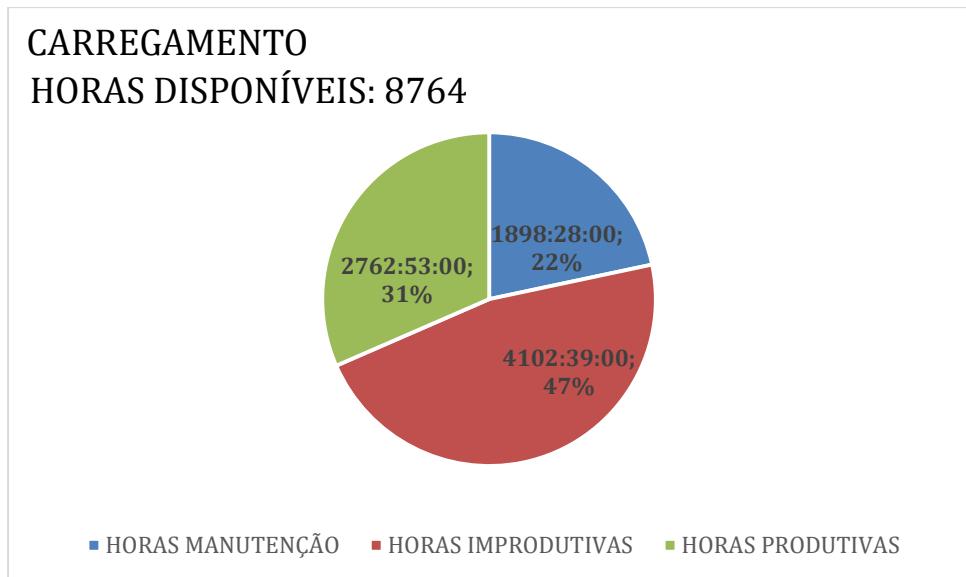
Figura 34 - Gráficos de UF, DF e RE Planejado X Realizado da frota de carregamento.



Fonte: Elaborado pelo autor

Observando as figuras relativas à comparação com os dados históricos da mina 1, percebe-se que o indicador de DF da mina 2 é maior que o da mina 1, contudo, os indicadores de UF e RE ficaram abaixo da mina 1, com o valor de UF tendo uma discrepância de mais de 20%. Logo, os valores podem ser justificados observando a figura 26 e os apêndices D e E. É possível identificar que as atividades improdutivas que mais afetaram os indicadores foram “troca de turno” “falta de operador”, “equipamento à disposição” e “deslocamento de operador para o equipamento”.

Figura 35 - gráfico de apropriação de horas dos equipamentos de carregamento

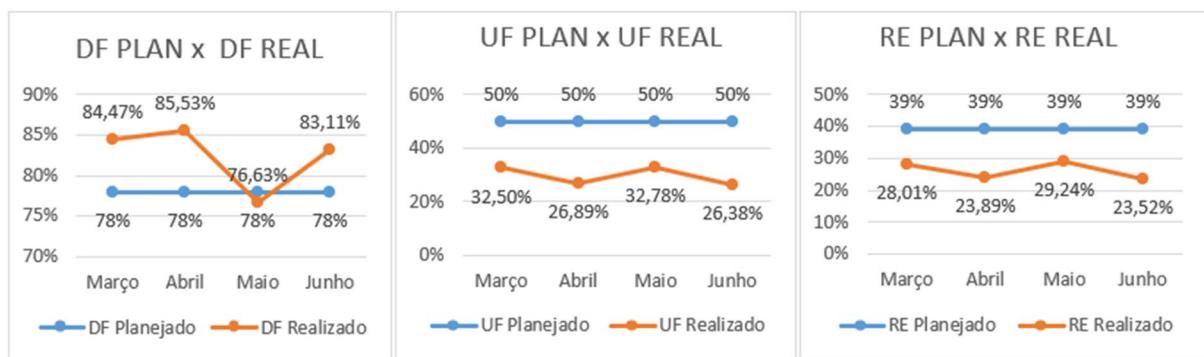


Fonte: Elaborado pelo autor.

Novamente pela tabela 15, observa-se que das 8764 horas calendário disponíveis para a frota, cerca de 47% foram de horas improdutivas, 31% de horas produtivas e 22% de horas em manutenção. Tal fato pode ser observado na figura 35.

Para a frota de transporte, percebe-se que apresentou DF realizada maior que planejada, contudo, os indicadores de UF e RE realizados ficaram abaixo dos planejados, sendo a UF realizada quase 20% menor que a planejada e o RE, seguindo a mesma tendência, apresenta o realizado de 13% menor que o planejado, logo, a produtividade média apresentou o valor de 63,86 toneladas transportadas por hora, conforme pode ser observado na figura 23 e nas tabelas 5 e 6. A Figura 36, apresenta as DF, UF e RR para a frota de transporte.

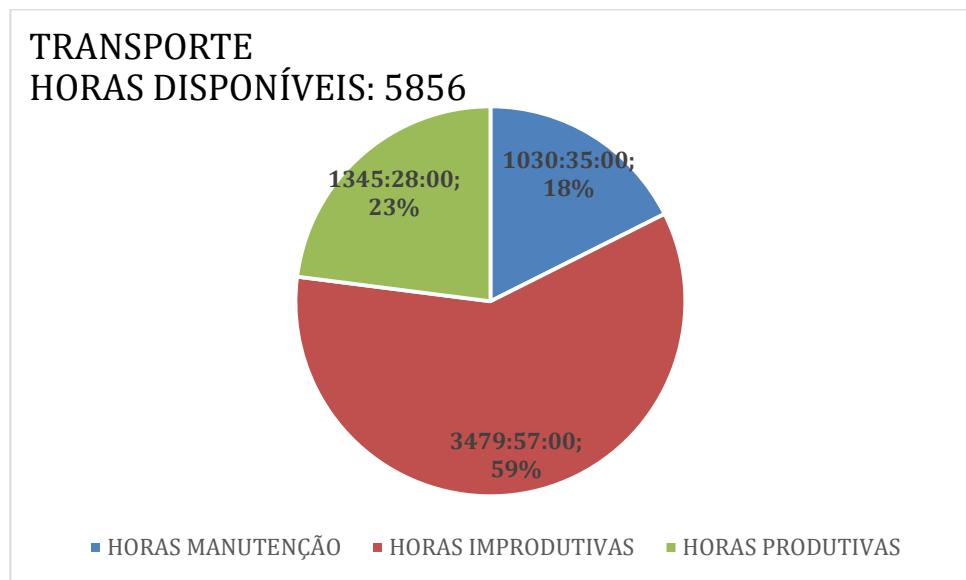
Figura 36 Gráficos de UF, DF e RE Planejado X Realizado da frota de transporte



Observando as figuras relativas à comparação com os dados históricos da mina 1, percebe-se a mesma tendência que a frota de carregamento, em que o indicador de DF da mina 2 é maior que o da mina 1 em quase 4%, e, que também, os indicadores de UF e RE ficaram abaixo da mina 1, com a UF mais de 43% menor e RE de mais de 31% menor comparados à mina 1.

Observando as figuras 29 e 30 é possível determinar que as atividades “troca de turno” “outros”, “falta de operador”, “equipamento à disposição”, “aguardando frente de serviço” e “quebra de mataco/limpeza de grelha” mais afetaram os indicadores.

Figura 37 - gráfico de apropriação de horas dos equipamentos de transporte

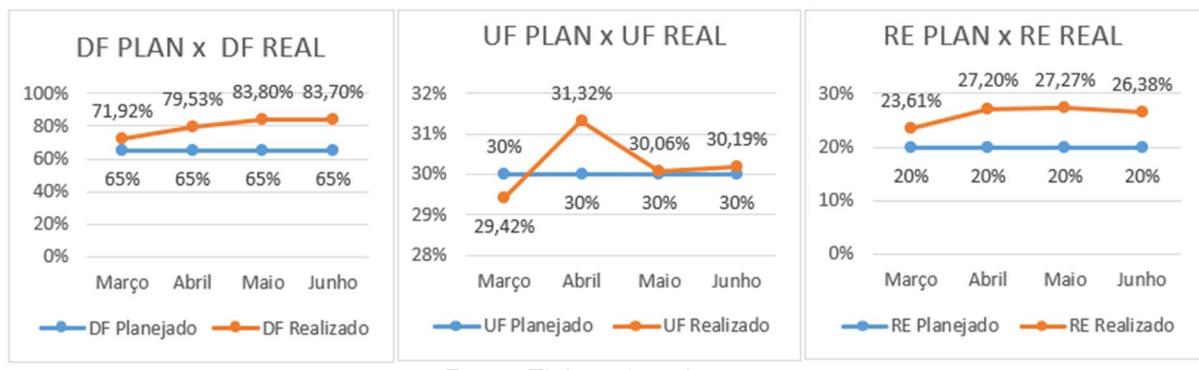


Fonte: Elaborado pelo autor

Mais uma vez, pela tabela 15, observa-se que das 5856 horas calendário disponíveis para a frota, aproximadamente 59% foram tempos improdutivos, 23% tempos produtivos e 18% de manutenção, que pode ser observado na figura 37.

Para a frota de equipamentos rompedores, percebe-se que apresentou DF realizada maior que planejada, contudo, os indicadores de UF realizado foi menor em pouco mais de 7% que a planejada, e, o indicador de RE realizado foi maior que o planejado em quase 7%. Tais fatos podem ser observados na figura 23 e nas tabelas 7 e 8. A figura 38 apresenta o gráfico de DF, UF e RE mensal.

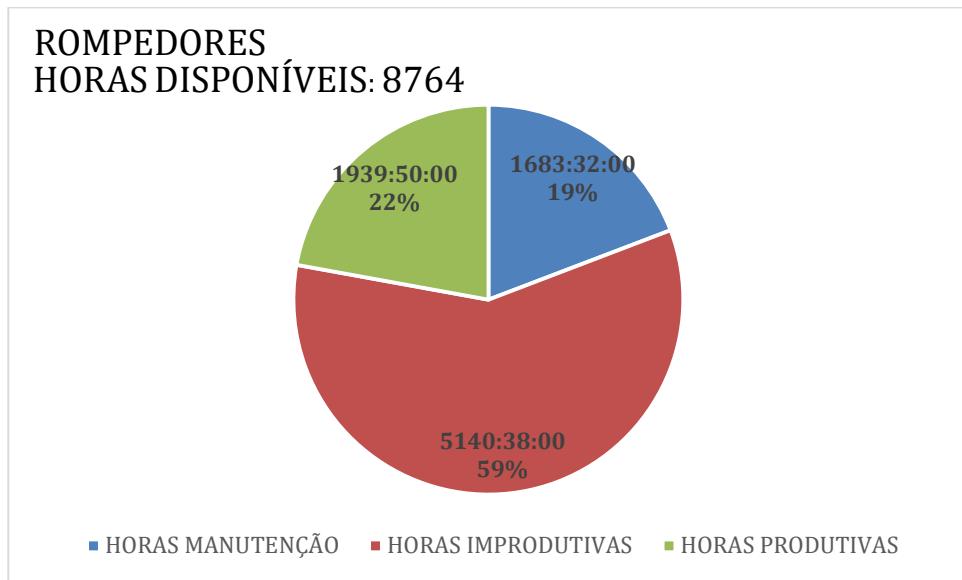
Figura 38 - Gráficos de UF, DF e RE Planejado X Realizado da frota de rompedores



Fonte: Elaborado pelo autor

Observando as figuras 24, 25 e 26, é possível verificar que a DF da frota de rompedores da mina 2 foi maior em quase 15% comparada à da mina 1, a UF maior em mais de 4% que a mina 1, e, RE maior em quase 15% que a mina 2. Apresentando todos resultados superiores aos da mina 1. Como forma de entendimento do indicador de DF.

Figura 39 - gráfico de apropriação de horas dos equipamentos rompedores.



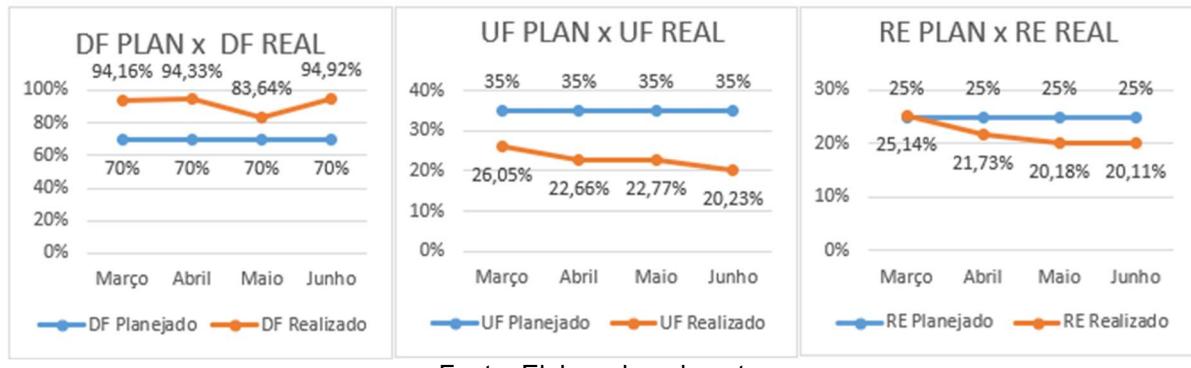
Fonte: Elaborado pelo autor

Na tabela 15 é possível observar que das 8764 horas calendário disponíveis para a frota, aproximadamente 59% foram de tempos improdutivos, 22% de tempos produtivos e 19% de tempos em manutenção, e, pode ser observado pela figura 39.

Para a frota de equipamentos auxiliares, percebe-se a DF realizada foi maior que a planejada em mais de 21%, contudo, a UF e RE realizados, foram menores que

as planejadas em quase 4% e 3%, conforme observados na figura 23 e tabelas 9 e 10. A figura 40, a seguir, apresenta o gráfico de DF, UF e RE.

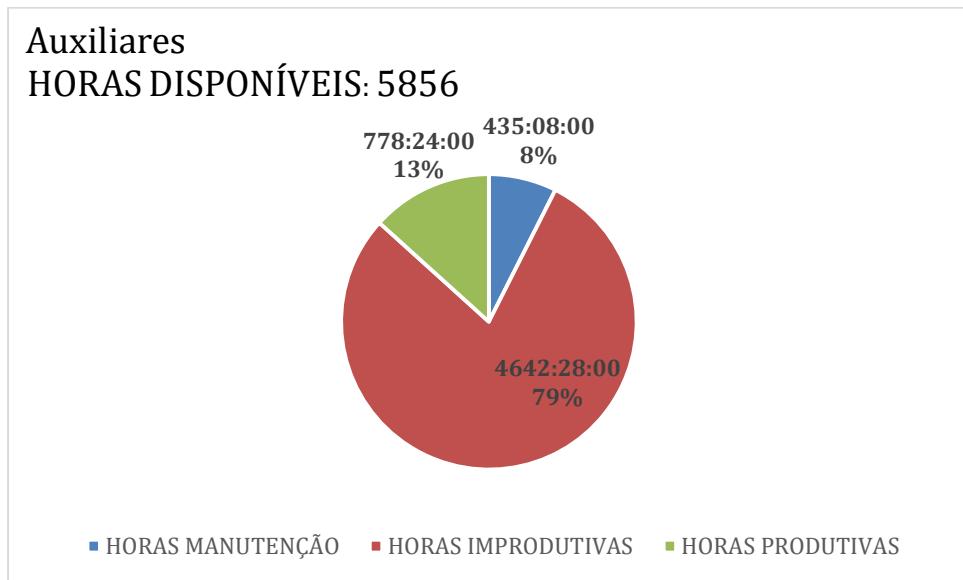
Figura 40 - Gráficos de UF, DF e RE Planejado X Realizado da frota de equipamentos auxiliares



Fonte: Elaborado pelo autor

Pelas figuras 24, 25 e 26 é possível verificar que os valores da DF da frota de equipamentos auxiliares da mina 2 comparados aos dados históricos da mina 1 foram maiores em mais de 23%, com a UF maior em apenas 0,5% que da mina 1 e RE maior em apenas 0,9%.

Figura 41 - gráfico de apropriação de horas dos equipamentos auxiliares.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como forma de entendimento do indicador de DF, na tabela 15 é possível observar que das 5856 horas calendário disponíveis para a frota, aproximadamente 79% foram de tempos improdutivos, 13% de tempos produtivos e apenas 8% de tempos em manutenção, e pode ser observado na figura 41.

Para a frota de equipamentos rompedores e auxiliares não foram definidas suas produtividades médias, nem o perfil de perda de tempo das atividades, devido as complexidades de mensurar tais fatores.

Por fim, analisando a frota geral, percebe-se que a DF realizada foi maior que a planejada em mais de 10%, contudo, a UF realizada foi menor que a planejada também em mais de 10%, e, o RE realizado menor que o planejado em quase 1%. Tais valores podem ser consultados na figura 23 e nas tabelas de 1 a 10. Logo, pelas figuras 24, 25 e 26, é possível observar que a DF da frota geral da mina 2 durante o período de estudo foi maior que a DF da frota dos mesmos equipamentos analisados da mina 1, contudo, a UF apresenta valores menores em quase 15% aos da mina 1, e, RE menores em mais de 5% comparados à mina 1.

Pela tabela 15, é possível identificar que das 40248 horas calendário disponíveis no período de estudo, 7636 horas e 13 minutos foram utilizadas em manutenções, com média de 1909 horas e 03 minutos de manutenções por mês. Para os equipamentos, obteve-se a média de 545 horas 26 minutos de manutenção para cada equipamento da frota, e, média de 138 horas e 53 minutos de manutenção em cada equipamento por mês.

5 CONCLUSÕES

Diante da análise detalhada dos dados apresentados ao longo deste estudo, é possível extrair considerações que fornecem percepções importantes sobre a gestão da frota de equipamentos na mina. Essas reflexões abrangem desde o desempenho específico de cada tipo de equipamento até uma visão mais abrangente da frota como um todo.

No que diz respeito à frota de perfuração, identificou-se uma grande diferença entre os indicadores de UF e RE do *fandrill* em comparação com os jumbos. Enquanto o *fandrill* contribui positivamente para a média total de UF e RE, sua influência negativa na Produtividade Média PM de perfuração é evidente. Essa discrepância destaca a necessidade de uma análise mais aprofundada para otimizar a produtividade da perfuração.

A comparação com os dados históricos da mina 1 revelou que todos os indicadores da mina 2 ficaram abaixo, indicando desafios significativos. O perfil de perda de tempo, apresentado nos apêndices A, B, C, demonstra que os tempos improdutivos desempenharam um papel crucial na frota de perfuração. Cerca de 57% do tempo disponível foram gastos em horas improdutivas, evidenciando a necessidade de estratégias eficazes de melhor gestão da frota.

Analizando a frota de carregamento, destaca-se a influência positiva da Disponibilidade de Frota (DF) na Produtividade Média (PM), que atingiu 38,91 toneladas carregadas por hora. No entanto, a UF realizada ficou abaixo do planejado, sugerindo oportunidades para melhorar a eficiência operacional. A comparação com a mina 1 revelou que, apesar da maior DF na mina 2, a UF e o RE foram inferiores.

Para a frota de transporte, a DF realizada foi maior que o planejado, mas a UF e RE ficaram abaixo das expectativas. A análise das atividades improdutivas, especialmente "troca de turno", "falta de operador" e "quebra de mataco/limpeza de grelha", destaca áreas críticas que precisam de atenção. A comparação com a mina 1 evidenciou uma tendência semelhante de desempenho inferior na UF e RE.

A frota de equipamentos rompedores apresentou uma DF maior que o planejado, com UF menor e RE maior. A análise comparativa com a mina 1 indicou

um desempenho superior na mina 2, apesar da DF mais elevada. A gestão eficiente do tempo improdutivo foi crucial para esse resultado.

Quanto à frota de equipamentos auxiliares, a DF realizada superou as expectativas, mas UF e RE foram menores. A comparação com a mina 1 destacou um desafio significativo na gestão do tempo improdutivo, representando 79% das horas disponíveis. Estratégias para reduzir essas horas improdutivas podem impactar positivamente a UF e RE.

No contexto geral da frota, apesar da DF realizada ser maior que o planejado, a UF e RE ficaram abaixo das expectativas. A necessidade de melhorias na gestão do tempo improdutivo é evidente, e, também, para manutenção, que conta com 7636 horas e 13 minutos dedicadas às manutenções durante o período de estudo.

Essas considerações finais oferecem uma base para a implementação de estratégias de otimização da frota, visando melhorias na eficiência operacional, redução de horas improdutivas e aumento da produtividade global da mina em questão. As conclusões aqui apresentadas podem orientar a tomada de decisões para maximizar o desempenho da frota de equipamentos, contribuindo para a melhoria operacional da mina.

Com base nos desafios identificados nas considerações finais, é possível sugerir melhorias estratégicas para otimizar o desempenho da frota de equipamentos na mina, como as seguintes.

- Melhorar estratégia e identificar oportunidades para aumentar a Utilização Física (UF) nas frotas de perfuração, carregamento, transporte, em que uma alternativa é realizar treinamentos específicos e contínuos para os operadores visando melhorar a eficiência e reduzir tempos improdutivos, focados na melhoria de habilidades técnicas e operacionais.
- Desenvolver planos auxiliares para lidar com eventos que causam interrupções e afetam a UF e RE das frotas.
- Avaliar possibilidades de implementar manutenção preditiva em equipamentos rompedores, a fim de corrigir problemas antes que se tornem críticos e exijam maior tempo parados.

- Investir em tecnologias que possam automatizar processos e minimizar tempos de espera.
- Desenvolver um plano de ação abrangente para otimizar a eficiência geral da frota, estabelecendo metas específicas para redução de horas improdutivas, aumento da Utilização Efetiva (UF) e Rendimento Operacional (RE).
- Implementar sistemas de monitoramento em tempo real para rastrear o desempenho de cada equipamento.
- Adotar tecnologias de análise de dados para identificar padrões e antecipar potenciais problemas operacionais.
- Investir em programas de treinamento contínuo para operadores e equipe de manutenção, focados na melhoria de habilidades técnicas e operacionais.
- Fomentar uma abordagem contínua de melhoria, incentivando a inovação e a implementação de melhores práticas.

Essas sugestões são direcionadas para abordar os desafios específicos identificados na análise, contribuindo para uma gestão mais eficaz da frota de equipamentos na mina 2. Implementar essas melhorias pode resultar em uma redução significativa das horas improdutivas, aumento da produtividade e melhor desempenho geral da operação.

Assim, o objetivo geral de analisar a DF, UF e RE da frota dos principais equipamentos de lavra de mina subterrânea de ouro, foi cumprido. Já os objetivos específicos foram cumpridos em parte, visto a dificuldade de encontrar, ou, até mesmo, a inexistência de dados na literatura para se basear os indicadores em questão, dado que, cada mina tem suas particularidades que afetam esses indicadores. Isso evidencia a carência de dados de apoio no setor e mostra a necessidade de estudos na área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Curso de Introdução à Mineração - Aula 2 - Histórico da Mineração. Ministério de Minas e Energia, 2017. Disponível em: <<https://antigo.mme.gov.br/documents/36108/451190/Aula+2+-+Hist%C3%B3rico+da+Minera%C3%A7%C3%A3o.pdf/c7e92bde-6632-1851-9ecd-a14a6af41939>>. Acesso em: 15 jan. 2024.

BRASIL, A.; CANDIA, R. C. Analise de Indicadores de Produção em uma mina subterrânea - ConBRepro. 2020. 11f. X Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 2020.

CATERPILLAR. Operation and Maintenance Manual - LHD CAT R1300G Series II Load Haul Dump. 2008. Disponível em: <https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/underground-hard-rock/underground-mining-load-haul-dump-lhd-loaders/18192466.html>. Acesso em: 18 de janeiro de 2024.

CATERPILLAR. LHD CAT R1600H. 2013. Disponível em: <https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/underground-hard-rock/underground-mining-load-haul-dump-lhd-loaders/18509152.html>. Acesso em: 3 de janeiro de 2024.

CATERPILLAR. LHD CAT R1700G. 2011. Disponível em: <https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/underground-hard-rock/underground-mining-load-haul-dump-lhd-loaders/730743084457382.html>. Acesso em: 3 de janeiro de 2024.

CONFEA. Importância dos Minerais para a Sociedade Moderna. Disponível em: <https://www.confea.org.br/midias/web_cartilha_mineracao_170x240.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2024.

COSTA, L. C. B. Dissertação de Mestrado Metodologia para Prever e Reduzir o Risco de Diluição Não Planejada em Lavras Estreitas pelo Método Sublevel Stoping. 2017. 152f .Dissertação (Mestrado em Geotecnica), Núcleo de Geotecnica, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

CURI, A. **Lavra de Minas**. 2017. 774f. Oficina de Textos, 2017.

DE BARROS, P. dos S. G. **Proposição de Modelo Para Gerenciamento de Riscos em Minas Subterrâneas Por Meio de Melhoria Contínua**.2023. 85f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023.

ESCAVA CENTER. **Máquinas de Demolição**. Disponível em: <<https://www.escavacenter.com.br/galeria-maquinas-demolicao#escavadeira-hidraulica>>. Acesso em: 19 de janeiro de 2024.

FARIA, M. P. de. **Fatores Intervenientes na Segurança do Trabalho de Abatimento Mecanizado**. 2008. 69f. Dissertação (Pós Graduação em Saúde Pública). Faculdade de Medicina, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

GALINDO, M. H. **Desafios Para a Integração das Informações de Planejamento, Manutenção e Operação em Uma Mina Subterrânea**. 2019. 63f. Dissertação (Mestrado em ciências); Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

IN THE MINE. **Eficiência Operacional, Os Desafios e Soluções para a otimização de minas e usinas**. Ano XVI, Nº 104. Editora Facto. p.15 – 31, 2023,

JAZIDA. **Lavra na Mineração: Uma Abordagem Sobre Métodos e Regulamentação**. Disponível em: <<https://blog.jazida.com/lavra-na-mineracao-uma-abordagem-sobre-metodos-e-regulamentacao>>. Acesso em: 04 de janeiro de 2024.

NADER, B.; TOMI, G. de; PASSOS, A. O. **Indicadores Chave de Desempenho e a Gestão Integrada da Mineração**. Revista Escola de Minas, Ouro Preto 65(4), p. 537–542, 2012.

NUNES, M. A. **Importância do Controle de Performance dos Equipamentos de Carga e Transporte para o Planejamento de Mina**. 2021. 70f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas) Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.

NUNES, T. C.; MOREIRA, B. M. **Gestão por KPI**.: XI Simpósio de Engenharia de Produção. Campina Grande, 2023.

OLIVEIRA, A. L. M. de. **Abordagem Prática de Indicadores Operacionais de Mina.** 2018. 57f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

PAIVA, G. **Aplicação de Tecnologias de Informação e Automação em Minas Subterrâneas.** 2016. 151f. Dissertação (Mestrado em ciências) Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

PEREIRA, B. C. **Análise de Sensibilidade de Indicadores de Desempenho na Equação da Produtividade de Caminhões Basculantes.** 2022. 32f. Monografia (Especialização em Engenharia Mineral), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2022.

PIMENTA, G. M.; SERRA, J. M.; BRANCÃO, A. L. **Indicadores de Desempenho para Gestão Estratégica – Um Estudo de Caso no Setor Logístico.** In: XII FATECLOG - Gestão da Cadeia de Suprimentos no Agronegócio: Desafios e Oportunidades no Contexto Atual, 18 jun. 2021.

RACIA, I. M. **Desenvolvimento de um Modelo de Dimensionamento de Equipamento de Escavação e de Transporte em Mineração.** 2016. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2016.

ROSMANINHO, I. F. **Ciclo de Desenvolvimento de Aberturas Subterrâneas.** 2021. 44f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.

SANDVIK. Equipamento de perfuração de desenvolvimento DD320S. 2019. Disponível em: <<https://www.rocktechnology.sandvik/pt-br/produtos/equipamento/equipamentos-de-perfuracao-subterranea/equipamento-de-perfuracao-de-desenvolvimento-dd320s/>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2024.

SANDVIK. Equipamento de perfuração de desenvolvimento DD321. 2022. Disponível em: <<https://www.rocktechnology.sandvik/pt-br/produtos/equipamento/equipamentos-de-perfuracao-subterranea/dd321-equipamento-de-perfuracao-de-desenvolvimento/>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2024.

SANDVIK. Equipamento de perfuração de desenvolvimento DL331. 2023.

Disponível em: <<https://www.rocktechnology.sandvik/pt-br/produtos/equipamento/equipamentos-de-perfuracao-subterranea/dl331-equipamento-de-perfuracao-de-furo-longo/>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2024.

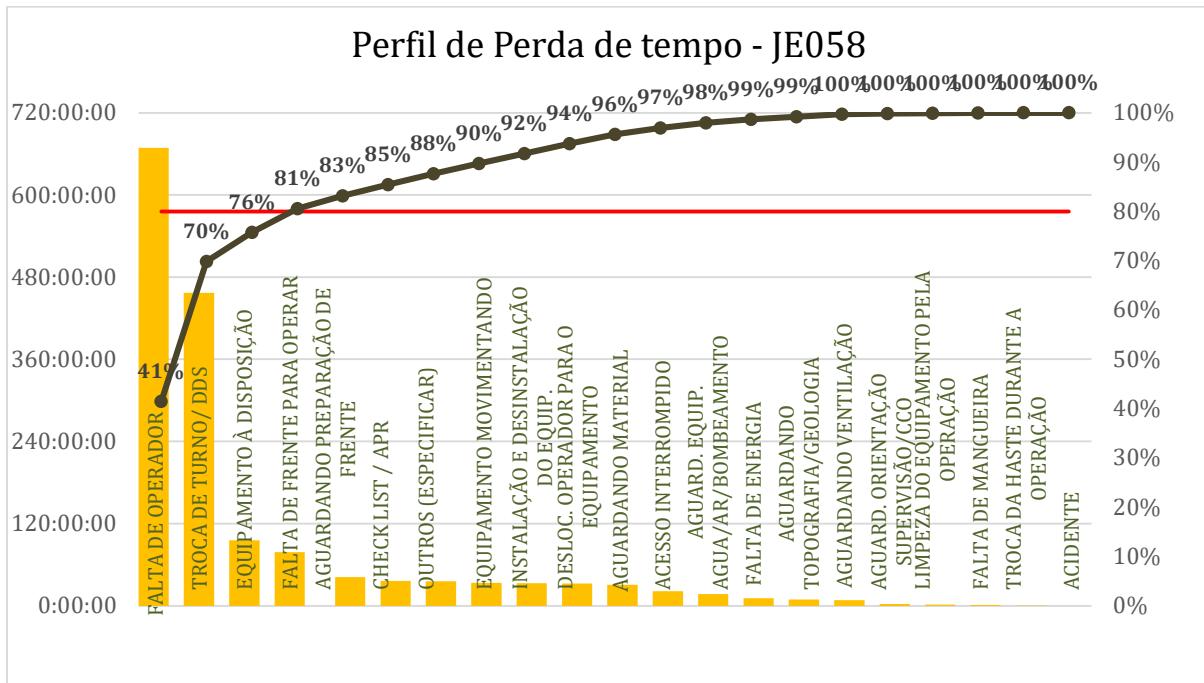
SILVA, A. de S. Avaliação de Indicadores Operacionais: Estudo de Caso na Operação de Mina da Mineração Buritirama S.A. 2020. 45f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas e Meio Ambiente), Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, 2020.

VOLVO. Caminhões Articulados A30G. 2018 Disponível em: <<https://www.volvoce.com/brasil/pt-br/products/articulated-haulers/a30g/#features>>. Acesso em: 04 de janeiro de 2024.

6 APÊNDICES

Apêndice A – Gráfico de perfil de perda de tempo do equipamento JE058

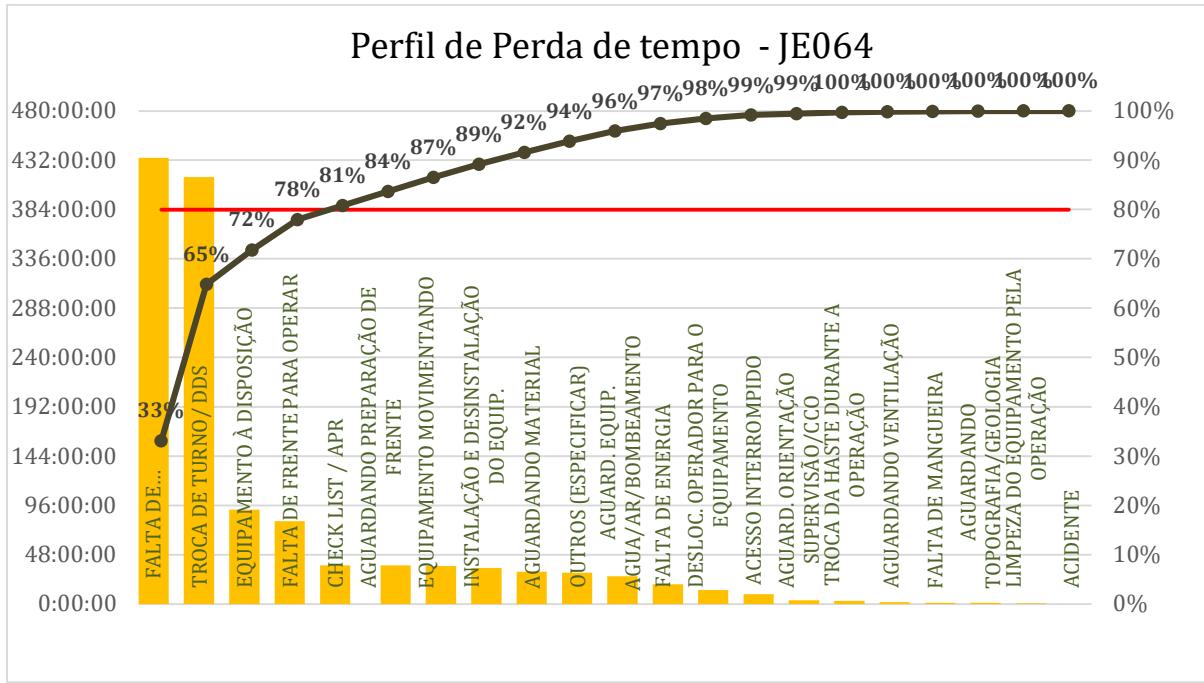
Apêndice A - perfil de perda de tempo do equipamento JE058



Fonte: Elaborado pelo autor

Apêndice B - gráfico de perfil de perda de tempo do equipamento JE064

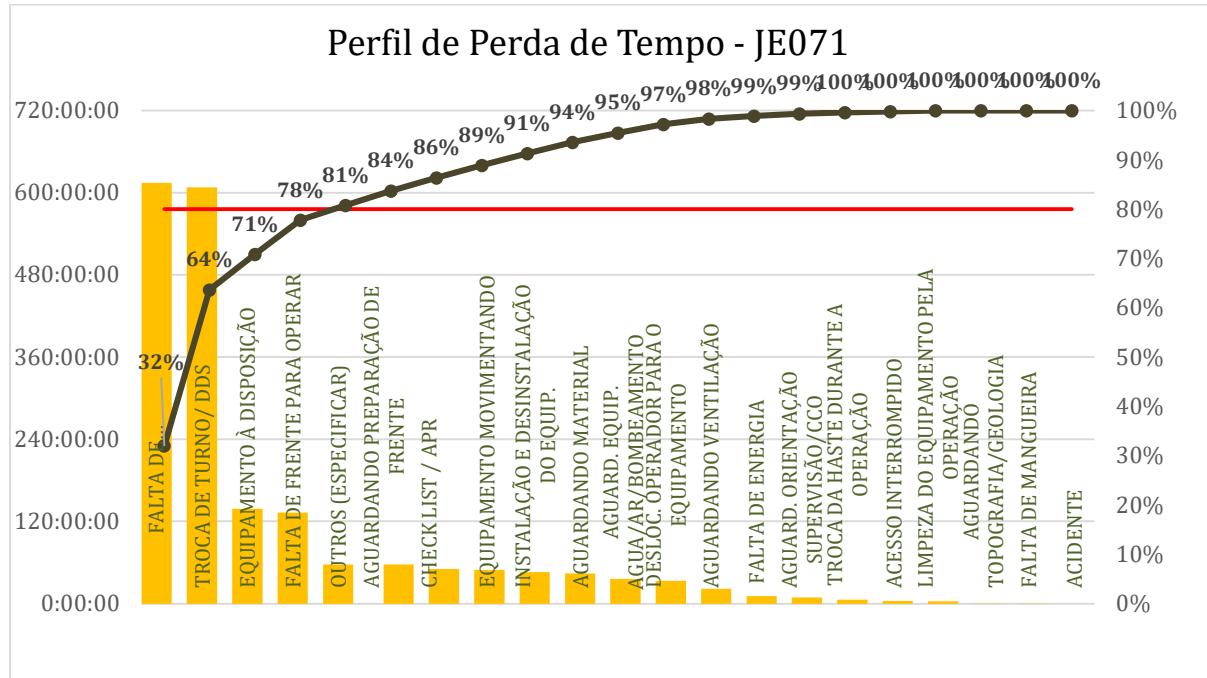
Apêndice B - perfil de perda de tempo do equipamento JE064



Fonte: elaborado pelo autor

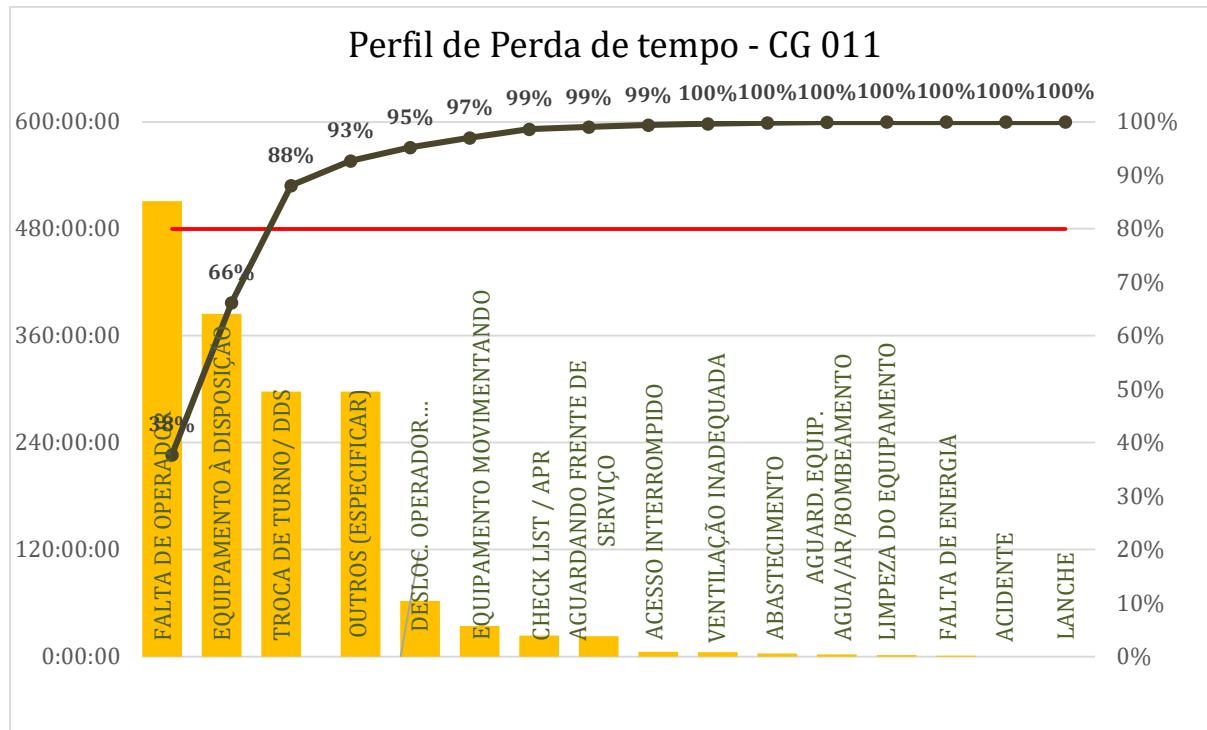
Apêndice C - gráfico de perfil de perda de tempo do equipamento JE071

Apêndice C - perfil de perda de tempo do equipamento JE071



Apêndice D – Gráfico de perfil de perda de tempo do equipamento CG011

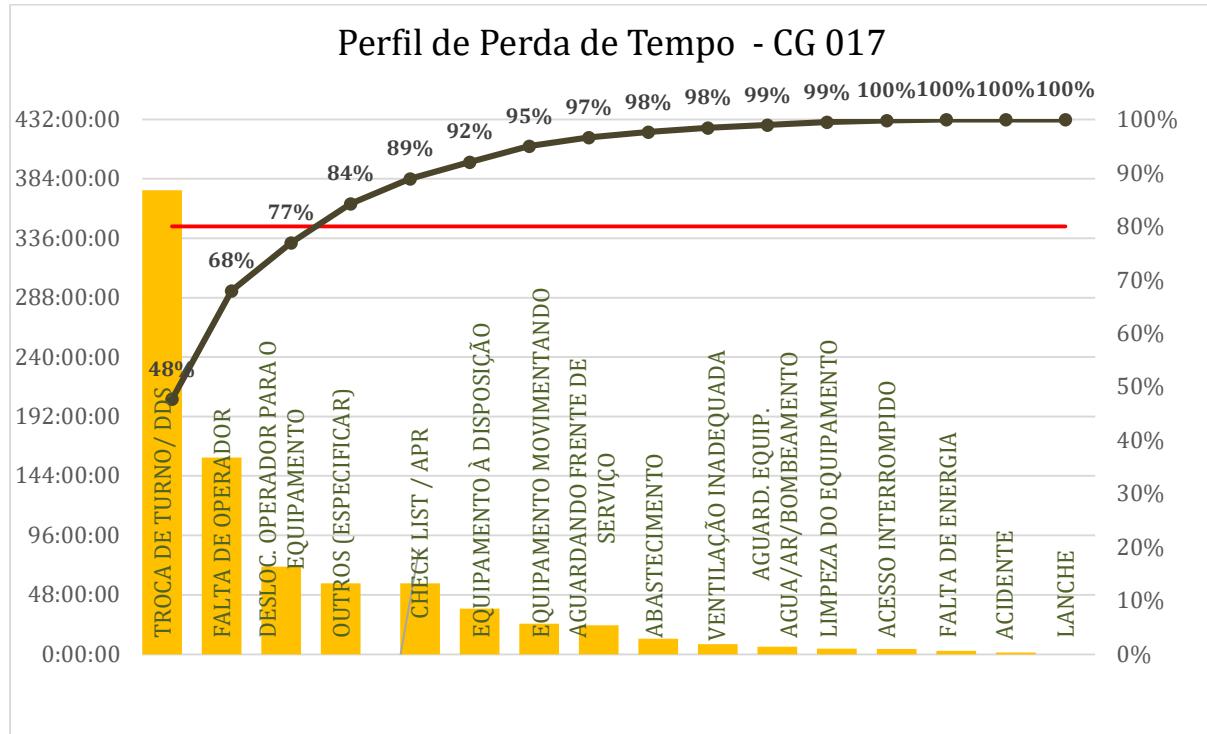
Apêndice D - perfil de perda de tempo do equipamento CG011



Fonte: Elaborado pelo autor

Apêndice E – Gráfico de perfil de perda de tempo do equipamento CG017.

Apêndice E - perfil de perda de tempo do equipamento CG017



Fonte: Elaborado pelo autor