

# UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO ESCOLA DE MINAS DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS



# HIGOR VINÍCIUS LOPES GUEDES

REDUÇÃO DOS IMPACTOS RELACIONADOS À TROCA DE TURNO NA OPERAÇÃO DE MINA

# HIGOR VINÍCIUS LOPES GUEDES

# REDUÇÃO DOS IMPACTOS RELACIONADOS À TROCA DE TURNO NA OPERAÇÃO DE MINA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Hernani Mota de Lima Coorientador: André Felipe Ferreira de Oliveira

OURO PRETO 2022

# SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

G924r Guedes, Higor Vinicius Lopes.

Redução dos impactos relacionados à troca de turno na operação de mina. [manuscrito] / Higor Vinicius Lopes Guedes. - 2022. 45 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Hernani Mota de Lima. Coorientador: André Felipe Ferreira de Oliveira. Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Minas e recursos minerais. 2. Sistema de turnos de trabalho. 3. Controle de produção. I. Lima, Hernani Mota de. II. Oliveira, André Felipe Ferreira de. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.



# MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO REITORIA ESCOLA DE MINAS DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS



# **FOLHA DE APROVAÇÃO**

# **Higor Vinicius Lopes Guedes**

# Redução dos impactos relacionados à troca de turno na operação de mina

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

Aprovada em 04 de novembro de 2022

#### Membros da banca

Dr - Hernani Mota de Lima - Orientador - (UFOP) Engenheira de Minas - Daniela Souza Barros - (UFOP) Engenheiro de Minas - João Pedro Martins Mau - (UFOP)

Hernani Mota de Lima, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 11/11/2022



Documento assinado eletronicamente por **Hernani Mota de Lima**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/01/2023, às 16:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do <u>Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015</u>.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <a href="http://sei.ufop.br/sei/controlador\_externo.php?acao=documento\_conferir&id\_orgao\_acesso\_externo=0">http://sei.ufop.br/sei/controlador\_externo.php?acao=documento\_conferir&id\_orgao\_acesso\_externo=0</a>, informando o código verificador **0454483** e o código CRC **282124D1**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.017205/2022-35

SEI nº 0454483

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35402-163 Telefone: 3135591590 - www.ufop.br

# **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, antes de tudo, a Deus por sempre me guardar e me abençoar.

Aos meus pais, Elizene e Ernani, por sempre me apoiarem e serem meu porto seguro.

Aos meus irmãos, Hiago e Bruno, por todo companheirismo.

Aos professores da Universidade Federal de Ouro Preto pelos ensinamentos compartilhados.

A minha segunda família, a República Dominakana, por toda amizade e apoio durante a graduação.

Aos meus orientadores Hernani Mota de Lima e André Oliveira, pela disposição, incentivo e auxílio necessários para a elaboração deste trabalho.

Ao Sandro Passos, Luana Carvalho, André Oliveira e Ricardo Ligório, por terem sido exemplos de profissionais.

A Anglo American pela oportunidade de estágio e desenvolvimento deste estudo.

Aos meus amigos, em especial, Maria Clara, Daniela, Antônio e Lucas!

A UFOP pelo ensino público e de qualidade.

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

"Eu sei o preço do sucesso: dedicação, trabalho duro e uma incessante devoção às coisas que você quer ver acontecer." - Frank Lloyd Wrigh

#### **RESUMO**

O processo produtivo da operação de mina é composto por etapas de desmonte, carregamento e transporte, de forma que o destino do minério lavrado seja a britsgem e posteriormente a usina, para ser tratado e transformado no produto final. Algumas perdas estão intrínsecas ao processo, como parada para refeição, troca de turno, corretiva de equipamentos, entre outros. É de suma importância que tais perdas sejam mapeadas e recebam devidas tratativas, com o intuito de minimizar os impactos. Tendo conhecimento das perdas é possível propor melhorias, como demonstrado neste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Este TCC foi desenvolvido a partir da alteração da metodologia de troca de turno implementada na Mina do Sapo, Anglo American. Foram analisadas ganhos na frota de transporte: tempo de troca de turno, utilização física e movimentação hora-a-hora do dia e os ganhos na britagem: utilização física, influência da troca de turno na falta de minério e alimentação hora-a-hora do dia. Tais ganhos refletiram no melhor desempenho da frota de transporte, gerando uma maior massa movimentada, massa alimentada e produto final.

Palavras-chave: Operação de Mina; Troca de Turno; Utilização Física.

#### **ABSTRACT**

The production process of the mine operation consists of blasting, loading and transport stages, so that the mined ore goes to the crusher and later the plant, to be treated and transformed into the final product. Some losses are intrinsic to the process, such as a lunch, shift change, lake of load equipment, among others. It is of paramount importance that such losses are mapped and receive appropriate treatment, to minimize impacts. Knowing the losses, it is possible to propose improvements, as demonstrated in the present work. The following study was developed from the change in the shift change methodology used at the Sapo Mine, Anglo American. Gains in the truck fleet were analyzed: shift change time, use of availability and movement hour by hour and gains in crushing: use of availability, influence of shift change in the lack of ore and hourly crusher feed. Such gains reflected in the better performance of the truck fleet, generating a greater mass handled, mass fed and final product.

Keywords: Mine Operation; Shift Change; Use Of Availability.

# **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1: Vista aérea da Mina do Sapo	14
Figura 2: Perfuratriz DM30	17
Figura 3: Circuito carregamento	19
Figura 4: Pá carregadeira WA1200	19
Figura 5: Escavadeira PC5500	20
Figura 6: Caminhão 830E	21
Figura 7: Ciclo de transporte	22
Figura 8: Tipos de movimentações	23
Figura 9: Indicador de Desempenho	24
Figura 10: Disponibilidade Física	
Figura 11: Utilização Física	26
Figura 12: Pontos troca de turno	

# LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Perdas UF frota de transporte (jan-abr)	34
Gráfico 2: Evolução tempo troca de turno (jan-abr)	34
Gráfico 3: Movimentação hora a hora (jan – abr)	35
Gráfico 4: Alimentação hora a hora (jan – abr)	36
Gráfico 5: Perda UF britagem (jan – abr)	38
Gráfico 6: Influência da troca de turno na Falta de Minério (jan – abr)	38
Gráfico 7: Perda UF frota de transporte (mai – set)	39
Gráfico 8: Evolução tempo troca de turno	40
Gráfico 9: Movimentação hora a hora do dia (mai – set)	41
Gráfico 10: Alimentação hora a hora do dia (mai – set)	41
Gráfico 11: Perda UF britagem (mai – set)	42
Gráfico 12: Influência da troca de turno na Falta de Minério	43

# **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Horários Turnos	28
Tabela 2. Categoria de Perda	33
Tabela 3. Impacto falta de minério	34

# **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

ALI – Alimentação da britagem

DDS - Diálogo diário de segurança

DF – Disponibilidade Física

DMT – Distância Média de Transporte

HC- Horas calendário

HD – Horas disponíveis

HI – Horas improdutivas

HC - Horas Calendário

HD – Horas Disponíveis

HI – Horas Improdutivas

HM – Horas em Manutenção

HT – Horas Trabalhadas

KPI's – Key performance indicators – Indicadores Chave de Desempenho

L100 – Perdas internas

L200 – Perdas externas

L300 – Perda de produção

MR – Melhor Rota

OM – Outras Movimentações

PD – Programação Dinâmica

PL – Programação Linear

RM – Recuperação mássica

ROM - Run of mine

TCC - Trabalho de conclusão de curso

UF – Utilização Física

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	MINA OBJETO DO ESTUDO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVO GERAL	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	PERFURAÇÃO E DESMONTE	17
3.2	CARREGAMENTO E TRANSPORTE	18
3.2.	1 PÁS CARREGADEIRAS	19
3.2.	2 ESCAVADEIRAS	20
3.2.	3 TRANSPORTE	21
3.3	INDICADORES CHAVE DE DESEMPENHO (KPI's)	23
3.3.	1 DISPONIBILIDADE FÍSICA	24
3.3.	2 UTILIZAÇÃO FÍSICA	25
3.3.	3 PRODUTIVIDADE HORÁRIA	27
3.4	PLANEJAMENTO DE LAVRA	27
3.4.	PLANEJAMENTO DE LAVRA A LONGO PRAZO	28
3.4.	PLANEJAMENTO DE LAVRA A MÉDIO PRAZO	28
3.4.	PLANEJAMENTO DE LAVRA A CURTO PRAZO	28
3.5	SISTEMA DE DESPACHO	29
4.	METODOLOGIA	31
4.1	DESCRIÇÃO DO CASO	31
4.2	ANTIGA ESTRATÉGIA TROCA DE TURNO	31
4.3	NOVA ESTRATÉGIA PARA TROCA DE TURNO	32
4.4	IMPACTO DA TROCA DE TURNO NA UTILIZAÇÃO DO TRANSPORTE	33
4.5	IMPACTO DA TROCA DE TURNO NA MOVIMENTAÇÃO TOTAL	35
4.6	IMPACTO DA TROCA DE TURNO NA ALIMENTAÇÃO DA BRITAGEM	35
4.7	IMPACTO UTILIZAÇÃO FISÍCA DA BRITAGEM	36
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
5.1	AUMENTO NA UTILIZAÇÃO DA FROTA DE TRANSPORTE	39
5.2	MELHORIA NO TEMPO MÉDIO DE TROCA DE TURNO	40
5.3	MELHOR DESEMPENHO MOVIMENTAÇÃO HORA A HORA DO DIA	40
5.4	MELHOR DESEMPENHO ALIMENTAÇÃO DA BRITAGEM	41
5.5	MELHORIA NA UTILIZAÇÃO DA BRITAGEM	42

5.6	POTENCIAL DE GANHO ESTIMADO	43
6	CONCLUSÕES	44
REF	FERÊNCIAS	45

# 1 INTRODUÇÃO

# 1.1 MINA OBJETO DO ESTUDO

A mina do Sapo está situada entre os municípios de Alvorada de Minas e Conceição do Mato Dentro (Figura 1), região central do estado de Minas Gerais, localizada a aproximadamente 160km da capital mineira, Belo Horizonte. A mina faz parte do projeto Minas-Rio do grupo *Anglo American plc*, com seu início em 2014, a mina tem uma capacidade nominal de 26,5 milhões de toneladas de pellet feed com alto teor de ferro, variando entre 67 e 68%.

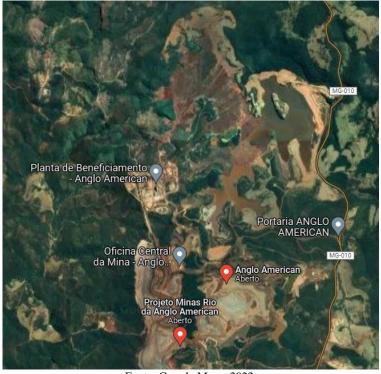


Figura 1: Vista aérea da Mina do Sapo

Fonte: Google Maps, 2022.

A atividade de lavra é constituída de operações convencionais, como perfuração, desmonte, carregamento e transporte. Ademais, após o devido tratamento do minério na usina de beneficiamento, o mesmo é transportado até o porto em São João da Barra, no Rio de Janeiro, através de um mineroduto com uma extensão de 529km, passando por vários municípios.

A mina conta com o auxílio de sistemas embarcados, como o despacho eletrônico com sistema de GPS, com alta precisão e foco nas operações de lavra (escavadeiras, pás carregadeiras, tratores e perfuratrizes).

A mineração consiste em uma atividade intricada que requer não apenas os conhecimentos técnicos, mas leva em consideração também os estratégicos, com o intuito de atender as demandas provenientes do mercado. É possível considerar que a mineração possui quatro atividades bases: prospecção, exploração, desenvolvimento e lavra. De acordo com Curi (2017), a lavra consiste em todo o conjunto de operações unitárias de aproveitamento de jazidas. Ademais, segundo Omachi (2015), a explotação possibilita a comercialização do minério, preparando-o previamente para que o mesmo seja beneficiado.

Por conseguinte, é possível dividir os métodos de lavra em: lavra subterrânea e lavra a céu aberto. Alguns fatores são levados em consideração para a escolha do método mais adequado, como, condições humanas, sociais, legais e vigentes, jazida e meio físico circundante e conjuntura financeira e econômica (CURI, 2017).

A mina deste TCC (Mina do Sapo) é uma mina de lavra a céu aberto e faz o uso do método de lavra por bancada. De acordo com Pereira (2019), possui algumas vantagens, como alta produtividade, desenvolvimento simplificado e baixa relação estéril minério. Contudo, é necessário um alto investimento para o início das atividades e extensas áreas para operação. O processo produtivo de uma mina a céu aberto é composto por operações de perfuração, desmonte, carregamento e transporte. Portanto, é de suma importância que haja um mapeamento e tratativas para as perdas intrínsecas ao processo, de forma que minimize os impactos e melhore o desempenho da operação.

# 2 OBJETIVOS

# 2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste estudo é apresentar a eficácia do novo método utilizado para troca de turno no processo produtivo da operação de mina.

# 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Demonstrar o impacto da troca de turno na utilização da frota de transporte e da britagem.
- Comparar o desempenho da movimentação e alimentação hora a hora do dia entre os dois métodos de troca de turno utilizado.
- Demonstrar os ganhos da nova estratégia.

# 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este tópico expõe referências que atendem os conceitos gerais relacionados ao TCC. As menções foram baseadas em livros, trabalhos científicos e meios digitais.

# 3.1 PERFURAÇÃO E DESMONTE

Segundo Jimeno (2003), a perfuração de rochas tem como finalidade a abertura de furos no maciço rochoso segundo uma geometria e distribuição adequada, com o objetivo de alocar explosivos e acessórios de iniciação. A técnica de desmonte com explosivos está relacionada com a dificuldade para segregar o maciço rochoso (rocha pouco fraturada ou rígida). Tal técnica fornece energia suficiente para a fragmentação, com o objetivo de facilitar as atividades posteriores para atingir a produção desejada com melhor custo benefício (NOBEL FOUNDATION).

DIA ST

Figura 2: Perfuratriz DM30

Fonte: Epiroc, 2022

Com a etapa da perfuração e desmonte realizada, inicia-se a lavra pelas carregadeiras e

escavadeiras. Através o planejamento de lavra, as máquinas de carga são posicionadas nas suas respectivas frentes de lavra e os caminhões são direcionados as mesmas.

#### 3.2 CARREGAMENTO E TRANSPORTE

É de extrema importância que a seleção das máquinas de carregamento e transporte ocorram em conjunto, visando atingir a eficiência desejada para operação. De acordo com Le-Feaux (2008) apud Riquelme (2017), o processo de carregamento e transporte é de suma importância para as atividades de mineração, isso se deve a relevância dos custos que estão associados ao mesmo. Tal processo, compõe um dos maiores custos para a atividade mineira, fato relacionado ao número de equipes envolvidas, grau de mecanização e por ser um processo que tem permanece ao longo da vida útil da mina (SILVA, 2018).

As máquinas de carga (escavadeiras e pás-carregadeiras) são utilizadas para realizar um papel essencial na mina, o corte e o carregamento. Segundo Coutinho (2017), o processo de carregamento reflete diretamente em todo o ciclo de produção, visto que o transporte é dependente do mesmo. O baixo desempenho dessas máquinas influencia na massa produzida na mina.

O carregamento é uma operação realizada em circuito fechado com o transporte (figura 3). De acordo com Silva (2011), essa operação é constituída pelas seguintes etapas:

- Enchimento da caçamba unitária da unidade de carregamento;
- Giro cheio até o local de descarregamento;
- Descarregamento do material nos caminhões;
- Giro vazio até o local de carregamento.

Figura 3: Circuito carregamento



Fonte: SILVA (2018).

# 3.2.1 PÁS CARREGADEIRAS

As pás carregadeiras (figura 4) são as máquinas mais dinâmicas na mineração. São equipadas com caçamba frontal, que são acionadas por sistemas hidráulicos. Tais equipamentos, são apropriados para ocorrências de mudança de frente de lavra, pois possui um deslocamento mais ágil, com relação a outros equipamentos de carregamento, refletindo nas menores dificuldades e eliminando uma operação de maior custo (RICARDO, 2007).

Figura 4: Pá carregadeira WA1200

Fonte: Catálogo Komatsu WA1200-6

# 3.2.2 ESCAVADEIRAS

Equipamentos de carga mais robustos e com maiores dimensões, são mais apropriados para operações em taludes que possuem maiores dimensões. As escavadeiras (figura 5) são máquinas de trabalho mais estático (sistema de rolamento utilizado apenas para o seu deslocamento). A depender do seu tipo de trabalho e uso, tais equipamento podem ser classificados como drag-line (lança com caçamba de arrasto), shovel (lança com pá frontal) ou back-shovel (lança retroescavadora) (RICARDO, 2007).



Figura 5: Escavadeira PC5500

Fonte: Catálogo Komatsu PC5500-11

#### 3.2.3 TRANSPORTE

Por ser um processo de grande flexibilidade e mobilidade, o transporte de caminhões (figura 6) é uns dos mais bem quisto pelos engenheiros (KOPE, 2012). Para que ocorra um fluxo adequado para o cumprimento de produção, é de suma importância que a manutenção das estradas/vias da mina esteja em conformidade. Visto que, a má condição das vias afeta diretamente na produtividade e nos custos de manutenção dos mesmos. Isso afeta ativamente no tempo de ciclo do caminhão (SILVA, 2021).



Figura 6: Caminhão 830E

Fonte: Catálogo Komatsu 830E

O equipamento de transporte tem o intuito de levar o material/minério até os britadores, pilha de estéril ou pilha pulmão. O tempo de ciclo (figura 7) do caminhão consiste no tempo de viagem cheio e vazio, duração total entre a origem até ao destino determinado, tais tempos são influenciados pela massa movimentada, distância percorrida, tempo de manobras, tempo de carregamento, tempo de descarga, as condições das vias, velocidade, intervenções durante o

deslocamento, condições intempéries, e outros fatores (SILVA, 2018). Todos esses fatores afetam diretamente no indicador de produtividade do caminhão.

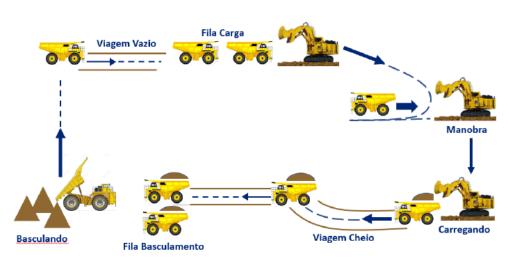


Figura 7: Ciclo de transporte

Fonte: Acervo Anglo American

Com relação aos tempos de fila, os mesmos são ponderados a partir do momento que o equipamento de transporte entra no *beacon* (sinalizador) de carregamento, enquanto outro caminhão está carregando. Quando o caminhão, que já estava carregando, finaliza o carregamento, automaticamente, o status do caminhão altera para manobra (SILVA, 2018).

As viagens são classificadas como ROM (*Run of Mine*), que consiste no minério proveniente da frente de lava com o destino para a alimentação da britagem ou os estoques. Outra classificação é o OM (outras movimentações), retomada do minério dos estoques ou remanejo e o Estéril, material inferior ao nível econômico viável (teor) (figura 8) (SANTOS, 2022).

ROM | Britagem | Banco | PME | PDE | PMI | PDE | PMI |

Figura 8: Tipos de movimentações

Fonte: Acervo Anglo American

Todas essas movimentações têm sua importância e devem ser realizadas conforme o planejado. O ROM é responsável por alimentar os britadores, dar continuidade ao processo produtivo e criar estoques (importantes para manter a produção nas condições adversas da mina). Quando o minério é retomado, chama-se de OM. É importante que priorize o ROM, pois quando é retornado dos estoques, trabalha-se com dois tombos, o que gera um aumento nos custos. Contudo, a retomada em alguns momentos se faz necessária (SANTOS, 2022)

# 3.3 INDICADORES CHAVE DE DESEMPENHO (KPI'S)

Os indicadores de desempenho, *Key Performance Indicators* (KPI's), são um conjunto critérios que fornecem informações relacionadas ao desempenho de um processo (LIMA, 2005). É de suma importância que os indicadores sejam selecionados com cautela, com o intuito de ter uma maior assertividade na tratativa do desempenho.

De acordo com Caldeira (2021), os KPI's auxiliam no monitoramento do desempenho de um processo, medindo o resultado com relação as metas planejadas. Eles são utilizados para quantificar e qualificar determinados processos e são compostos por um padrão de medida, metodologia para a coleta dos dados e uma meta. Através desses KPI's, é possível ter um monitoramento, um feedback, de forma que possibilite o melhor controle e gestão do

desempenho operacional. É necessário que sejam de um fácil entendimento e que transmitam informações que realmente irá fazer sentido para o processo (figura 9).

Relevante

KPI

Fácil relatar

Amplamente
conhecido

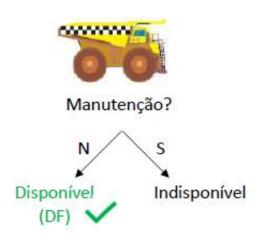
Figura 9: Indicador de Desempenho

Fonte: Acervo Anglo American

# 3.3.1 DISPONIBILIDADE FÍSICA

A disponibilidade física (DF), consiste em um indicador de tempo que depende da manutenção (manutenção preventiva e manutenção corretiva), da condição do equipamento e da forma de operação. A DF indica o tempo que o equipamento está disponível para operar, ou seja, todo o tempo que o equipamento não estará em manutenção (SANTOS, 2022).

Figura 10: Disponibilidade Física



Fonte: Acervo Anglo America

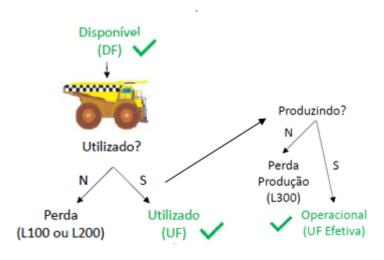
Para o cálculo da DF, utiliza-se as horas calendário (HC), as horas em manutenção (HM) e as horas disponíveis (HD). Ou seja, a DF determina a porcentagem das horas calendário que estão disponíveis para serem utilizadas.

$$DF = \frac{HC - HM}{(HC)} = \frac{HD}{(HC)} \tag{1}$$

# 3.3.2 UTILIZAÇÃO FÍSICA

A utilização física (UF) é o indicador dado em porcentagem que indica o tempo que o equipamento é, de fato, utilizado, incluindo as perdas de produção.

Figura 11: Utilização Física



Fonte: Acervo Anglo American

De acordo com o método de cálculo da Anglo American, as perdas de produção que influenciam neste indicador são as perdas internas (L100), perdas externas (L200) e perdas de produção (L300). L100 consiste no tempo em que o ativo está disponível, mas não está sendo utilizado devido à alguma perda interna ao processo, ou seja, que são controláveis pela operação (exemplo: troca de turno, refeição, abastecimento, lanche, etc). Nesta categoria o motor encontra-se desligado e o equipamento parado. A L200 consiste no tempo em que o ativo está disponível, mas não está sendo utilizado devido à alguma perda externa ao processo, ou seja, não são controláveis pela operação (ex: chuva, descarga atmosférica, neblina, pista escorregadia, falta de sinal de satélite; etc.). O L300, consiste nas perdas ocorrem com o equipamento em utilização, mas sem desempenhar funções primárias ou secundárias (ex: filas, tempo ocioso, acesso bloqueado, preparando material, deslocamentos; etc.).

Para o cálculo da UF, utiliza-se as HC, HM, horas improdutivas (HI) e horas trabalhadas (HT). Como na fórmula a seguir.

$$UF = \frac{HC - HM - HI}{HC - HM} = \frac{HD - HI}{HD} = \frac{HT}{HD}$$
(2)

# 3.3.3 PRODUTIVIDADE HORÁRIA

A produtividade de qualquer equipamento é a razão de produção por tempo, dependendo da sua natureza (produção ou perfuração), em outras palavras, representa o quanto um equipamento é capaz de produzir num determinado número de horas. Para os equipamentos de produção (transporte e carregamento/escavação), ela é calculada em toneladas por hora, enquanto para as perfuratrizes, mede-se em metros por hora.

Quando se diz respeito ao transporte, além da carga média outros fatores influenciam na produtividade do equipamento, como viagem vazio, manobra carga, carregamento, viagem cheio, manobra básculo e o tempo basculando, distância média de transporte (DMT) e as velocidades executadas. Quando se diz respeito aos equipamentos de carga, os fatores que influenciam, além da carga média, são os tempos de manobra e carregamento.

#### 3.4 PLANEJAMENTO DE LAVRA

De acordo com Hartman (2002), o planejamento e a execução de uma lavra a céu aberto devem ser cuidadosamente realizadas, com o intuito de minimizar os custos unitários da operação.

O planejamento de lavra pode ser caracterizado como conjunto de práticas que se destinam a extração de recursos minerais de forma benéfica, com o objetivo de lavrar uma menor quantidade de estéril e uma maior quantidade de minério (PINTO E DUTRA, 2008).

Alguns fatores devem ser levados em consideração para o planejamento de lavra, como os fatores naturais e geológicos (teores de minério, clima, ambiente), econômicos (custo operacional, taxa de produção, relação estéril/minério) e tecnológicos (limite de cava, altura e ângulo do talude, máquinas, entre outros).

De acordo com Chimuco (2010), o planejamento de lavra deve abranger um período de tempo para que possa prever o desempenho das atividades que estão envolvidas nos planos. Com isso, o planejamento de lavra é dividido em: curto, médio e longo prazo.

#### 3.4.1 PLANEJAMENTO DE LAVRA A LONGO PRAZO

Segundo Madarino (2018), o planejamento de longo prazo tem como objetivo determinar informações que são indispensáveis para o plano de lavra (dimensionamento de frota dos equipamentos, exaustão da mina, locação de minério e estéril, entre outros fatores). É de suma importância que destaque a toda a vida útil de uma mina, ou a maior parte da mesma (HARTMAN & MUTMANSKY, 2020).

Através do planejamento de longo prazo, é possível determinar o melhor sequenciamento de lavra, obedecendo as restrições ambientais, de segurança, técnica, estratégicas, entre outras (SILVA, 2008). É esperado que a equipe de operação e as demais partes interessadas cumpram com o plano para que não prejudique a estratégia definida para o longo prazo (SOUZA, 2013).

Ademais, sendo uma das etapas preliminares do processo de extração, faz-se necessário que as informações sejam o mais ideal e assertivas possíveis, evitando custos extras na execução do plano (CURI, 2014).

#### 3.4.2 PLANEJAMENTO DE LAVRA A MÉDIO PRAZO

O planejamento médio prazo tem como objetivo a divisão dos planos do longo prazo em planos anuais (SOUZA, 2013). O mesmo, tem o reflexo do longo prazo, levando em consideração a utilização eficiente dos recursos que estão disponíveis.

De acordo com Pinto e Dutra (2008), o planejamento a médio prazo define um sequenciamento de produção, com o intuito de maximizar o valor presente líquido e atingir o retorno do investimento que foi feito inicialmente.

#### 3.4.3 PLANEJAMENTO DE LAVRA A CURTO PRAZO

Por conseguinte, o planejamento curto prazo abrange as características operacionais do plano longo prazo, de forma que seja refletida em planos semestrais, trimestrais mensais e

semanais (SOUZA, 2013).

De acordo com Rocha (2022), o mesmo tem como suas principais atribuições: determinação do ritmo de lavra nas frentes executadas, dimensionamento de equipamentos (carga e transporte) para atender a qualidade necessária especificada pela usina de beneficiamento e elaboração de planos que facilitem o a operação de mina.

O plano a curto prazo realiza uma interface com as outras partes interessadas, como perfuração, desmonte, infraestrutura, meio ambiente, geotecnia, manutenção, drenagem e usina (BUDKE, 2019). Assim, o plano curto prazo necessita de maior detalhamento das atividades, visando o menor impacto para o processo produtivo.

#### 3.5 SISTEMA DE DESPACHO

É de extrema necessidade o uso de tecnologias integradas no processo produtivo de uma mina, que gerem informações para que possa ter um acompanhamento em tempo real, visando um melhor controle de todas as atividades.

O sistema de despacho é utilizado como uma ferramenta que auxilia na gestão de frotas, criação de fluxos de movimentação e dimensionamento dos equipamentos (PEREIRA, 2019). De acordo com Pinto (2007), os caminhões podem ser alocados de forma estática ou dinâmicas, sendo a segunda necessária a utilização de um sistema de despacho. Através desse sistema, mesmo que tenha um alto investimento, é possível conhecer um ganho significativo na produtividade das frotas, tanto de carga, como de transporte.

Ademais, é possível ter uma comunicação direta com o equipamento, monitoramento, através de uma sala de controle, dos parâmetros que diz respeito as máquinas (velocidade, localização, pontos de carga e descarga, origem e destino das viagens realizadas, entre outros) (PEREIRA, 2016).

A *Modular Mining*, possui um sistema de gerenciamento de frotas, DISPACTCH, que se baseia em modelos de programação matemática (Programação Linear (PL), Programação Dinâmica (PD) e Melhor Rota (MR)). De acordo com Silva (2018), através destes modelos é possível a realização do cálculo de melhor rota, melhor alocação de equipamentos, visando maximizar a produtividade dos mesmos. Outro fator importante, é que esse sistema busca cumprir com a metas traçadas, de modo que cumpra a alimentação da britagem primária.

Este sistema tem o objetivo de otimizar as frotas de carregamento e transporte,

alcançando um aumento na produtividade e reduzindo os custos operacionais. Assim, as informações que são geradas em tempo real, armazenada em um banco de dados que são utilizados para o maior controle e análises, através dos indicadores presentes no processo.

#### 4. METODOLOGIA

Este tópico faz a descrição do caso apontando o problema levantado e a solução estudada. É apresentada a metodologia do dimensionamento de uma frota de carregamento e transporte com detalhamento diário que foi estudado visando aumentar a precisão dos KPI's dos equipamentos.

# 4.1 DESCRIÇÃO DO CASO

O processo produtivo da Mina do Sapo acontece de maneira contínua, ou seja, 24 horas por dia, 7 dias por semana. Sendo assim, faz necessário o trabalho em turnos distintos. A troca de turno dos colaboradores faz parte do processo produtivo e gera impacto na produção. Com isso, é de suma importância a criação de estratégias que diminuam tais impactos.

Na operação da Mina Do Sapo, os colaboradores são divididos em 4 turmas, sendo turma A, B, C e D, compostas por operadores de carga, transporte e perfuratriz. Os turnos são divididos em turno da madrugada, turno do dia e turno da tarde (tabela 1)

Tabela 1. Horários Turnos

Turno	Horário
Madrugada	1:00 às 7:00
Dia	7:00 às 16:00
Tarde	16:00 às 1:00

Fonte: Elaborado pelo Autor

Para realização da troca de turno, alguns aspectos são levados em consideração, como realização de testes rotineiros antes do início da jornada do trabalho, diálogo diário de segurança (DDS) e logísticas dos pontos mais eficientes para realização da mesma.

# 4.2 ANTIGA ESTRATÉGIA TROCA DE TURNO

No antigo modelo usado na Mina do Sapo para troca de turno, os operadores chegavam no site, batiam ponto e em seguida eram direcionados para as realizações dos testes rotineiros que precedem o início da jornada de trabalho, como teste do bafômetro e teste de fadiga, por exemplo. Na medida que iam finalizando esses procedimentos iniciais, os mesmos iam para o ponto indicado para realização do DDS. Com isso, o coordenador do turno aguardava todos os colaboradores chegarem ao ponto indicado para a realização do DDS.

Quando finalizado o DDS, os operadores, todos juntos, eram direcionados aos microônibus e caminhonetes, chegando mais tarde nos respectivos pontos selecionados para realização da troca de turno, causando um maior impacto para o processo produtivo.

# 4.3 NOVA ESTRATÉGIA PARA TROCA DE TURNO

No novo método utilizado na mina de estudo, troca de turno antecipada, os operadores chegam ao site, batem ponto e são direcionados para a realização dos testes de rotina. Por conseguinte, os operadores que realizaram os testes primeiro, são direcionados para a caminhonete com o destino para a troca de turno. Os primeiros operadores a realizarem a troca são os operadores das máquinas de carga. Neste momento, o coordenador/técnico aproveita a viagem para realização do DDS com os operadores que já estão a caminho da troca de turno.

Depois, são selecionados 10 operadores para entrar no micro-ônibus com destino a troca de turno no estacionamento 3A, ao chegar, 10 caminhões são direcionados para o estacionamento e ocorre a troca de turno, de forma que o caminhão não espere o operador, mas sim que o operador espere o caminhão. Em seguida, outros operadores são destinados a troca em nível no Blend 1 que é mais próximo a praça do britador (caminhões já estão carregador de minério) e por fim, os últimos operadores são destinados a troca de turno no estacionamento em nível do Borel.

A troca de turno no estacionamento em nível do Borel, Blend 1 e estacionamento do 3A (que possui uma melhor logística quando comparado aos outros estacionamentos) são pontos essenciais para contribuírem com o aumento da taxa de alimentação da britagem nesses momentos.

Para essa antecipação, os DDS ocorre com grupos distintos (aproveitando das oportunidades para a realização do mesmo), de forma que não seja necessário juntar todos os operadores ao mesmo tempo e esperar para que faça a troca de turno depois. Vale ressaltar que, mesmo nesses momentos de oportunidade, os DDS são realizados de forma efetiva e com as devidas instruções para o início da jornada de trabalho.

Na figura 12, é possível ver quais os pontos utilizados para troca de turno na Mina do Sapo, como o estacionamento do 3A, Borel, Blend e o escritório da mina (local de onde os operadores saem para troca de turno).

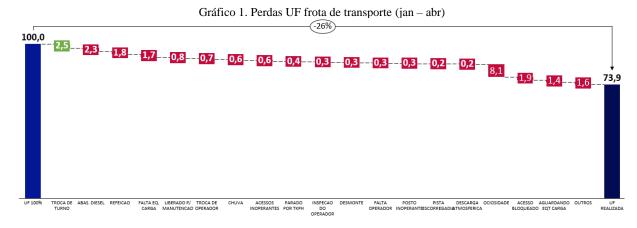


Figura 12: Pontos troca de turno

Fonte: Acervo Anglo American

# 4.4 IMPACTO DA TROCA DE TURNO NA UTILIZAÇÃO DO TRANSPORTE

A partir dos dados obtidos dos meses de janeiro, fevereiro, março e abril de 2022, notase que a troca de turno foi a perda que mais afetou na utilização da frota de transporte, um total de 2,5%.



Fonte: Elaborado pelo autor

Nestes meses, o acumulado da UF foi de 73,9%, sendo as principais perdas demonstradas no gráfico acima. No gráfico 1, é possível observar o "outros", que é a somatória de outras pequenas perdas (menor que 0,3%) com um menor impacto em ralação as demais.

Além disso, nota-se que o tempo média de troca de turno (considerando os três turnos) foi de 13,0 minutos, como demonstrado no gráfico 2. Um valor considerado alto, tendo em vista o impacto que os momentos de troca de turno causam no processo produtivo da mina. Essa média é um reflexo da antiga metodologia utilizada para troca de turno. Vale ressaltar que o período de janeiro e fevereiro é agravado pelo período chuvoso.



Gráfico 2. Evolução tempo troca de turno (jan – abr)

Fonte: Elaborado pelo autor

# 4.5 IMPACTO DA TROCA DE TURNO NA MOVIMENTAÇÃO TOTAL

É esperado que nos momentos de troca de turno ocorra uma redução no processo de produção da mina, visto que é o momento em que os colaboradores saem dos respectivos equipamentos para que os próximos entrem e deem continuidade no processo.

Contudo, é de suma importância que esse impacto seja o menor possível, de modo que não seja um grande empecilho para o cumprimento dos planos diários. No gráfico 3, é possível observar a média acumulada da movimentação hora a hora do dia dos meses de janeiro, fevereiro, março e abril de 2022.

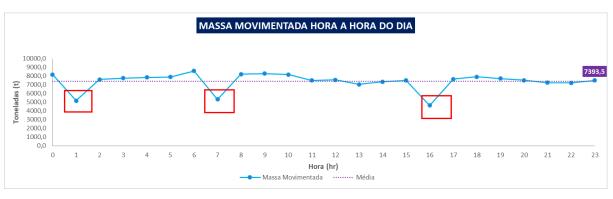


Gráfico 3. Movimentação hora a hora (jan – abr)

Fonte: Elaborado pelo autor

A partir do gráfico, constata-se que nos momentos de troca de turno (apontados acima) ocorre um declínio na movimentação total. Uma redução significativa, quando comparado com a média acumulada total (7.393,5t). A partir dos dados obtidos para a criação do gráfico 3, com base no sistema de despacho utilizado pela mina em estudo, encontra-se uma média de 5.044,3t para os três momentos de troca de turno indicados no mesmo, ou seja, 31,8% menor que a média total.

# 4.6 IMPACTO DA TROCA DE TURNO NA ALIMENTAÇÃO DA BRITAGEM

A alimentação da britagem é de extrema importância no processo de mineração. A

mesma tem como o objetivo a fragmentação e adequação da granulometria do minério oriundo da mina, de forma que seja utilizado posteriormente na usina de beneficiamento.

O minério proveniente da mina para alimentação da britagem é decorrente de dois tipos de movimentações, o ROM e a OM. O ROM, com origem das frentes de lavra e a OM com origem dos estoques. Para atender a usina há algumas premissas que devem ser seguidas na etapa da britagem, como exemplo: teor ferro, sílica, alumina, porcentagem de compacto e granulometria. Estes fatores implicam em restrições das frentes de lavra, ou seja, há momentos em que determinadas frentes não atendem à britagem e por isso não se tornam prioritárias durante a alocação dinâmica do sistema de despacho.

O gráfico 4, representa os dados obtidos sobre a alimentação da britagem hora a hora do dia. Nota-se que, nos momentos de troca de turno, como demonstrado, há um declínio na alimentação da britagem, sendo notório o impacto. A média acumulada hora a hora dos meses é de 5.026,5t, já nos momentos de troca de turno é de 3.448,7t, 31,4% menor.

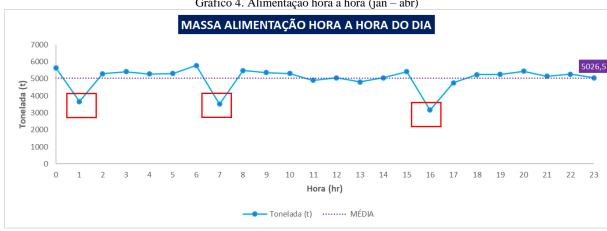


Gráfico 4. Alimentação hora a hora (jan – abr)

Fonte: Elaborado pelo autor

# 4.7 IMPACTO UTILIZAÇÃO FISÍCA DA BRITAGEM

Assim como o desempenho da mina, o desempenho da Britagem também é medido através de KPI's, como alimentação (tms), DF, UF e taxa de alimentação (tms/h). Alguns fatores interferem no desempenho da UF, tais fatores são classificados como atraso (quando a britagem está disponível, porém, tem sua atividade interrompida em consequência de algum atraso do processo), consequência (britagem parada devido a outros equipamentos, módulos ou processos) e standby (parada realizada por alguma estratégia operacional).

Na tabela 2, é possível observar as principais perdas que afetam a UF da britagem:

Tabela 2. Categoria de Perda

Nome	Categoria
Falta de Minério	Consequência-L100
Nível Alto da Pilha Pulmão	Consequência-L100
Microparada	Consequência-L100
Paralisação ou Greve	Atraso-L300
Detonação	Atraso-L300
Metal Não Encontrado	Consequência-L100
Metal Detectado	Consequência-L100
Limpeza da Grelha Mina	Consequência-L100
Mobilização Mina	Atraso-L300

Fonte: Acervo Anglo American

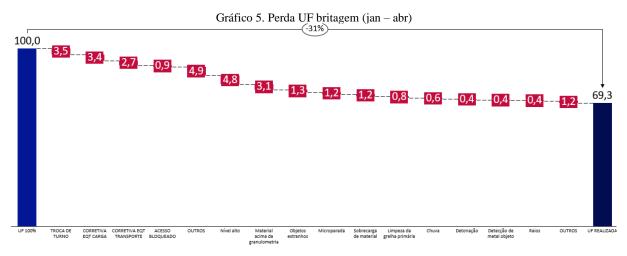
A falta de minério é uma das maiores perdas de UF na britagem, a mesma ocorre quando a britagem está disponível para utilização, contudo, não há massa para alimentação. Tal perda é causada por alguns fatores, como troca de turno, por exemplo. Na tabela 3 é possível observar alguns fatores que causam essa perda:

Tabela 3. Impacto falta de minério

Motivos Falta Minério	
Corretiva Mina	
Troca de Turno	
Revezamento Refeição	
Intempéries	
Mudança de Frente	
Acertando Praça	
Restrições de Teor	
Frente Contaminada	
Serviço Infraestrutura	

Fonte: Acervo Anglo American

A troca de turno impacta diretamente na alimentação da britagem, seja na perda por falta de minério ou na menor alimentação nos momentos que a mesma acontece. O gráfico 5, demonstra um acumulado de perdas da UF dos meses de janeiro, fevereiro, março e abril de 2022. Nota-se que a troca de turno é o principal fator que impactou na UF neste período. Foram desconsideradas as perdas por intempéries.



Fonte: Elaborado pelo autor

Quando considera os meses de 2022 em que se realizava a antiga estratégia de troca de turno, obtém-se um média de 0,72 horas de impacto da troca de turno no apontamento falta de minério, como ilustrado no gráfico 6.



Fonte: Elaborado pelo autor

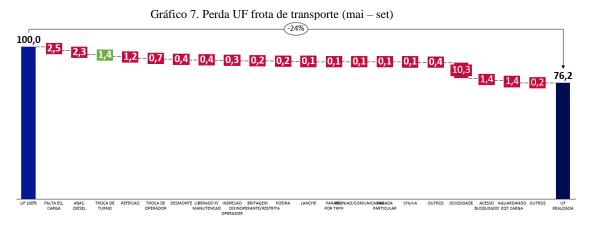
#### 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este tópico aborda os resultados obtidos através das análises para os meses de maio a setembro de 2022.

### 5.1 AUMENTO NA UTILIZAÇÃO DA FROTA DE TRANSPORTE

Com base na metodologia, foi possível obter um acumulado de UF nos períodos de janeiro a abril de 73,9%, sendo a maior perda por troca de turno (2,5% do total de perdas). Após a mudança da metodologia da troca de turno, notou-se que a troca de turno teve um menor impacto na UF da frota de transporte.

Com base no gráfico 7 do acumulado de UF dos meses maio a setembro, nota-se que a troca de turno deixou de ser o maior impacto na utilização, e, ademais, o desempenho da frota foi melhor (utilização de 76,2%), quando comparado ao acumulado dos meses anteriores (utilização de 73,9%).



Fonte: Elaborado pelo autor

A perda por troca de turno representou 1,4% das perdas totais, uma melhoria quando comparados aos meses anteriores, que representou uma perda de 2,5%.

#### 5.2 MELHORIA NO TEMPO MÉDIO DE TROCA DE TURNO

Além disso, foi possível notar a melhora no tempo médio de troca de turno, tendo em vista que nos meses de janeiro a abril o tempo médio foi de 13,0min. No gráfico 8, nota-se menores tempos, reflexo da nova estratégia para troca de turno. No gráfico 8 é possível notar uma reta constante, entre o mês de abril e maio, quando, de fato, ocorreu a mudança da estratégia da troca de turno, além de ser possível notar também uma queda na tendência. Nos meses de maio a setembro, o tempo médio foi de 7,3min, 43,8% menor do que os meses anteriores.

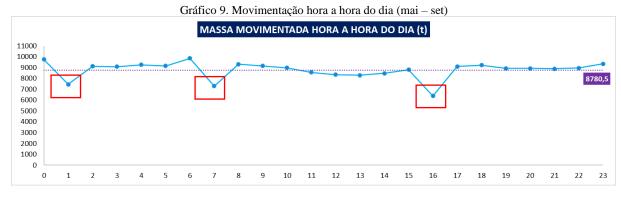


Fonte: Elaborado pelo autor

Quando observa-se o, no gráfico 8, acumulado de janeiro até setembro, é possível notar a diferença e a queda dos tempos de troca de turno. Sendo a média acumulada de 9,8min.

# 5.3 MELHOR DESEMPENHO MOVIMENTAÇÃO HORA A HORA DO DIA

É notório os ganhos com a redução do tempo da troca de turno no processo produtivo da mina. No gráfico 9, constate-se que nos momentos que ocorrem, de fato, a troca de turno, houve uma menor perda na movimentação hora a hora do dia, quando comparado com os meses de janeiro a abril. O gráfico 9 mostra a movimentação total acumulada (t) hora a hora por dia

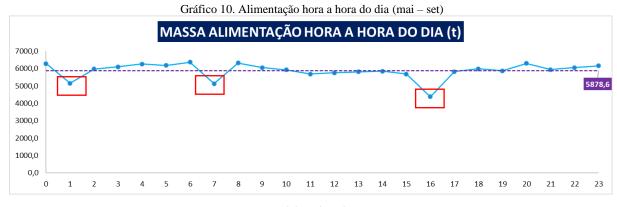


Fonte: Elaborado pelo autor

Nos quatro primeiros meses do ano, obteve-se uma média acumulada total de 7.393,5t, já nos meses de maio a setembro, a média foi de 8.780,5t, ou seja, um aumento de 18%. Com relação apenas aos momentos de troca de turno, nos primeiros meses do ano, a média acumulada foi de 5.044,3t contra uma média de 7.739,9t nos meses de maio a setembro, ou seja, um ganho de 34,8% nestes momentos.

## 5.4 MELHOR DESEMPENHO ALIMENTAÇÃO DA BRITAGEM

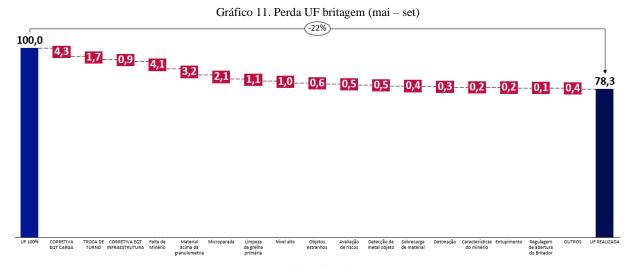
Na alimentação da britagem hora a hora do dia, notou-se que nos meses de maio a setembro, a média acumulada total de alimentação também foi maior que os meses de janeiro a abril, 5.878,6t e 5.026,5t, respectivamente. Nos momentos de troca de turno a média de 4.890,4t e 3.448,7t, ou seja, uma melhoria de 29,5%, reflexo da mudança da estratégia da troca de turno.



Fonte: Elaborado pelo autor

## 5.5 MELHORIA NA UTILIZAÇÃO DA BRITAGEM

Após a mudança da estratégia de troca de turno, foi possível observar uma melhoria com relação a UF da britagem. Nos primeiros meses do ano, a troca de turno foi o maior impacto na UF, dentro dos apontamentos da falta de minério. No gráfico 11, constata-se que a troca de turno foi a segunda perda que mais afetou a UF, dentro dos apontamentos por falta de minério.



Fonte: Elaborado pelo autor

Ou seja, conclui-se então que nos momentos que ocorrem a troca de turno, ocorreu uma menor perda no britador por falta de minério decorrente da troca de turno da mia. É possível observar essa melhora também com base no gráfico apresentado anteriormente sobre a alimentação da britagem hora a hora do dia.

O gráfico 12 demonstra a tendência da influência da troca de turno na falta de minério dos meses de janeiro a setembro. A média da influência da troca de turno nos meses de maio a setembro foi de 0,51h, 29,1% menor do que os meses anteriores.



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 5.6 POTENCIAL DE GANHO ESTIMADO

O ganho na utilização física do transporte, de 73,9% para 76,2% reflete na maior movimentação ano. Para realizar os cálculos do poencial de ganho estimado, foram utilizados as UF's obtidas no decorrer do trabalho como UF's anualizadas. Com a maior UF do transporte têm-se uma maior alimentação da britagem (ALI), gerando um maior produto/ano.

A alimentação da britagem (ALI) é calculada através da DF, UF, horas calendário (HC) e produtividade da britagem. A HC é o produto entre número de dias, hora dia e número de equipamentos.

$$ALI = DF \times UF \times Produtividade \times HC$$
 (3)

Para o cálculo, considerou uma DF de 82,8% e produtividade de 7.564,1 tms/h.

A partir da alimentação, calcula-se o produto final estimado através da recuperação mássica (RM). Foi considerado uma RM de 49,0%, e a margem de lucro anual da empresa para esse estudo. Com isso, obtém-se um potencial de ganho em preservação de valor na ordem de 49,3 milhões de reais.

### 6 CONCLUSÕES

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), demonstrou o quanto a troca de turno afeta no processo produtivo da mina como um todo. O estudo teve como base dois períodos, o primeiro período consiste no meses de janeiro a abril e o segundo nos meses de maio a setembro, quando ocorreu a mudança da estratégia da troca de turno.

As análises se deram da comparação dos aspectos dos dois períodos, como UF, movimentação hora a hora do dia, alimentação hora a hora do dia, tempo de troca de turno e a falta de minério.

Após a mudança da metodologia de troca de turno, foi notório os ganhos no processo. Tal mudança refletiu no melhor desempenho da frota de transporte, com uma UF de 73,9% e para uma UF de 76,2%. O mesmo cenário se refletiu na UF da britagem, de 69,3% para 78,3%.

Pro conseguinte, realizou-se uma simulação, considerando que essas UF's fossem anualizadas. Para essa simulação, considerou uma DF e produtividade da britagem fixa. Através da maior UF da frota de transporte obteu-se uma maior alimentação da britagem. Tais ganhos refletiram em um maior produto e, com isso, houve um ganho na preservação de valor anual.

A antecipação da troca de turno foi de suma importância para um melhor desempenho do processo produtivido na operação de mina, aumentando a utilização da frota de transporte, britagem e diminuindo as perdas nestes momentos. Vale ressaltar que essas alterações na metodologia foram feitas com bastante segurança e teste prévios, de forma que concretizasse a sua eficácia. Portanto, o estudo em caso, indicou um melhor desempenho no processo produtivo da mina do sapo.

### REFERÊNCIAS

- CALDEIRA, J. **100 Indicadores da Gestão: Key Performance Indicators**. 1ª ed. Coimbra: Actual, 2012.
- CHIMUCO, J. P. J. **Metodologia de Planejamento de Mina Para Retomada Das Operações de Lavra Das Jazidas de Kassinga Norte Angola.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2010.
- CURI, A. Minas A Céu Aberto Planejamento de Lavra. Oficina Textos. Ouro Preto, 2014.
- EPIROC, Epiroc DM30 II Equipamentos de perfuração rotativos para desmonte de rochas, BR, 2022. Disponível em: https://www.epiroc.com/pt-pt/products/drill-rigs/surface-blasthole-drill-rigs/dm30-ii. Acesso em: 01 out. 2022.
- HARTMAN, H. L.; MUTMANSKY, J. M. **Introductory Mining Engineering**. 2nd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2002.
- JIMENO, C. L.; JIMENO, E. L.; FRANCISCO J. A. C. (1995). **Manual de Perforacion y Voladura de Rocas**. Instituto Geologico y Minero de España.
- KOMATSU, **Komatsu 830E-AC Electric Drive Truck**, US, 2012. Disponível em: https://www.komatsuamerica.com/equipment/trucks/electric/830e-1ac. Acesso em: 01 out. 2022.
- KOMATSU, **Komatsu PC5500-11 hydraulic excavator**, EN, 2021. Disponível em https://www.komatsu.eu/en/excavators/mining-excavators/pc5500-11. Acesso em: 01 out. 2022.
- KOMATSU, **Komatsu WA1200-6 Wheel Loader**, US, 2011. Disponível em: https://www.komatsu.com.br/uploads/produtos/catalogo/d0609910cb.pdf. Acesso em: 01 out. 2022.
- KOPPE, J. C.; COSTA, J. F. C. L. Operações de lavra em pedreiras. In: CETEM/MCTI **Manual** de agregados para a construção civil. 2ª Edição. Rio de Janeiro, 2012. Cap.7. p.127-145.
- LÉON, F.A. MANRÍQUEZ. Evaluacion De La Incertidumbre Geológica Y Operacional Em Planes Mineros De Corto Plazo En Faenas A Cielo Abierto. Universidad De Chile, Facultad De Ciencias Físicas Y Matemáticas, Departamento de Ingeniería De Minas, Santiago de Chile. 2015.
- LIMA, H. M. R. Concepção e Implementação de Sistema de Indicadores de Desempenho em Empresas Construtoras de Empreendimentos Habitacionais de Baixa Renda. 2005. 171 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- MANDARINO, M. F. **Análise de Métodos Para Planejamento de Curto Prazo: Uma Abordagem Para o Line Up.** Monografia (Graduação em Engenharia de Minas), Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2018.

- MINA DO SAPO, **Google Maps**. Disponível em: https://www.google.com/maps/search/mina+do+sapo/@-19.4169673,-44.1203603.9z/data=!3m1!4b1. Acesso em: 01 out. 2022.
- OMACHI, Geraldo Yasujiro. Estudos para o aumento da vida útil das minas de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero, MG. 2015. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.
- PEREIRA, B. I. **Seleção e dimensionamento da frota de carregamento via simulação estudo de caso mina Ferro** + **Mineração**. Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Minas da Universidade federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2019.
- PINTO, C.; DUTRA, J. G., Introdução ao Planejamento e Operação de Lavra (A Céu Aberto e Subterrânea). Universidade Corporativa Chemtech. Belo Horizonte, 2008.
- RICARDO, H. S. e CATALANI, G. **Manual prático de escavação:** Terraplenagem e escavação de rocha. 3ª Edição. São Paulo: Editora PINI, 2007. p. 656.
- RIQUELME, H. A. GONZÁLEZ. **Seleção e alocação ótima do equipamento de carga para o cumprimento de um plano de produção na mineração a céu aberto**. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería de Minas, Santiago de Chile.2017.
- RODRIGUES, J. D. Proposta de melhoria da produtividade da escavadeira Liebherr R 954 SME através da metodologia Lean Seis Sigma. 2018. 65 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas) Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.
- SANTOS, Érica Aparecida Rocha. **Dimensionamento de frota semanal com detalhamento diário e a influência na aderência e cumprimento do plano de lavra**. 2022. 87 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas) Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022.
- SILVA, Hilda Santana de Oliveira da. **Análise da viabilidade técnica da estratégia de carregamento pelos dois lados da máquina de carga na mineração**. 2018. 89 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas) Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.
- SILVA, N. C. S. Metodologia de Planejamento Estratégico de Lavra Incorporando Riscos e Incertezas para a Obtenção de Resultados Operacionais. 2008. 118 p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- SILVA, Patrick Víctor Heleno e. **Alavancagem da produtividade dos equipamentos de uma mina a céu aberto: estudo de caso**. 84 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas) Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.

SOUZA, R. A. **Análise e Controle dos Índices de Aderência e Cumprimento para Planos de Lavra**. 2013. 41 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2013.