

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

IGOR CARNEIRO ABREU

**PROJETO DE MELHORIA DE INDICADORES DE CAMINHÕES FORA DE
ESTRADA**

**OURO PRETO - MG
2017**

IGOR CARNEIRO ABREU

igorcabh@gmail.com

**PROJETO DE MELHORIA DE INDICADORES DE CAMINHÕES FORA DE
ESTRADA**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Engenheiro de Minas.

Professor orientador: MSc. Flávia Gomes Pinto

**OURO PRETO – MG
2017**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas - Departamento de Engenharia de Minas

ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO

Aos 26 dias do mês de julho de 2017, às 10h30min, no auditório do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas - DEMIN/EM, foi realizada a defesa da monografia de final de curso de Engenharia de Minas requisito da disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II, pelo aluno **Igor Carneiro Abreu**, intitulado: “**PROJETO DE MELHORIA DE INDICADORES DE CAMINHÕES FORA DE ESTRADA**”, sendo a comissão avaliadora formada pela **Profª. M.Sc. Flávia Gomes Pinto** (orientadora), **Prof. Dr. Hernani Mota de Lima** e **Engº de Minas Syro Gusthavo Lacerda**.

Após arguição sobre o trabalho, a comissão avaliadora deliberou por unanimidade pela **A.P.R.O.V.A.C.ÃO**... do candidato, com a nota **7,0** concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporar no texto final da monografia as alterações determinadas/sugeridas pela banca.

O aluno fará jus aos créditos e conceito de aprovação na disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II após a entrega dos exemplares definitivos (Cd e cópia impressa) da versão final da monografia defendida, conforme modelo do CEMIN-2009, no Colegiado do Curso de Engenharia de Minas – CEMIN.

Para fins de registro, foi lavrada a presente ata que, depois de lida e aprovada é assinada pelos membros da comissão avaliadora e pela discente.

Ouro Preto, 26 de julho de 2017.

Profª. M.Sc. Flávia Gomes Pinto
Presidente da Comissão Avaliadora e Professora Orientadora

Prof. Dr. Hernani Mota de Lima
Membro da Comissão Avaliadora

Engº de Minas Syro Gusthavo Lacerda
Membro da Comissão Avaliadora

Igor Carneiro Abreu

Prof. Ms.C. José Fernando Miranda
Professor responsável pela Disciplina Min 491 – Trabalho de Conclusão de Curso

Dedico esse trabalho a minha família, em especial meus pais Wanda e Gilvan, e meus irmãos Helder e Edgar por todo o amor e apoio ao longo dessa jornada.

AGRADECIMENTO

Ao Governo Brasileiro por ter me propiciado, até o momento, a maior oportunidade da minha vida que foi participar do programa Ciência Sem Fronteiras.

A todos que contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional ao longo desses anos.

A minha orientadora Flávia Gomes Pinto, pelo conhecimento compartilhado e orientação neste trabalho.

Aos professores do curso de Engenharia de Minas por serem referência ímpar no setor de produção mineral.

A Universidade Federal de Ouro Preto pelo ensino e moradia gratuitos e de qualidade.

A República Gaiola de Ouro por ter sido o local que me proporcionou lições complementares a educação provida pelos meus pais.

“A persistência é o caminho do êxito.”

Charles Chaplin.

RESUMO

O trabalho realizado consiste em uma revisão bibliográfica contendo conceitos básicos sobre dimensionamento de equipamentos, carregamento, transporte, indicadores operacionais e um estudo de caso a respeito da utilização física de caminhões de uma mina de minério de ferro de classe mundial. O estudo foi baseado na utilização física de caminhões fora de estrada calculados por meio de fórmulas disponíveis na literatura. Foram propostas opções para aumentar o número de horas trabalhadas por equipamento, de uma frota de caminhões fora de estrada, por meio de um turno adicional durante o período administrativo. Tais alternativas apresentadas tem como objetivo utilizar os equipamentos disponíveis de uma forma mais efetiva maximizando a eficiência operacional. A avaliação foi baseada em cenários operacionais, o intuito é prover diferentes opções para serem adotadas de acordo com as condições vigentes. A busca de alternativas para flexibilizar a cadeia produtiva dentro da mina foi um dos alvos do trabalho conduzido, propiciando condições para aumentar o nível de aderência em relação a movimentação de estéril e minério planejados. A frota de caminhões é da Komatsu, o modelo é o 830 E. Caso o estudo fosse implementado, o mesmo propiciaria um ganho de horas trabalhadas de 3,5%. Os ganhos calculados relativos a aumento do número de horas trabalhadas, foram base para o cálculo da utilização física dos equipamentos, que aumentaria em 2,8%. O estudo propõe duas alternativas em relação ao aumento de horas trabalhadas. A primeira proposta, é em relação ao incremento da movimentação de estéril e minério que aumentaria em 3,5%. A segunda, consiste na redução do número de equipamentos de transporte programados em 0,9 caminhões por mês, mantendo a mesma movimentação planejada inicialmente.

Palavras-chave: Carregamento e transporte, utilização física, caminhão fora de estrada, mina a céu aberto, otimização.

ABSTRACT

The work conducted presents a literature review containing basic concepts about fleet selection, loading, haulage, key performance indicators and a case study of truck utilization of world class iron ore mine. The project is based on fleet utilization calculated through equations that may be found in the literature. It is proposed options to increase the number of work hours per truck, through implementation of an extra truck's operator shift, during administrative journey. Those presented alternatives aim utilize equipment more effectively, maximizing operation efficiency. The assessment is based on operational scenarios, the idea is provide different options according to the ongoing conditions in the mine. The search of alternatives that would turn flexible the mine productive chain is one of the outcomes of this work, propitiating conditions to increase the compliance level related to planned ore and waste movement, as a consequence using the equipment adequately. The haulage fleet is 830 E Komatsu trucks. If the project will be implemented it will provide a gain of 3.5% of work hours. The gain related to number of work hours were converted into equipment utilization, which increased 2.8%. The conducted study has two options related to the number of work hours growth. The first idea is related to increase ore and waste movement in 3.5%. The second proposal is related to reduction of scheduled haulage fleet in 0.9 truck per month, maintaining the initial ore and waste movement.

Key-words: *Loading and haulage, equipment utilization, mine trucks, open pit, optimization.*

LISTA DE SIMBOLOS

DF– Disponibilidade Física

ROM– *Run of Mine*

UF – Utilização Física

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Município de Conceição do Mato Dentro.....	1
Figura 2: Operação de carregamento.....	5
Figura 3: Pá carregadeira.....	6
Figura 4: Distância média de transporte.....	6
Figura 5: Carga média.....	9
Figura 6: Velocidade média cheio.....	10
Figura 7: Velocidade média vazio.....	10
Figura 8: Tempo médio de basculamento.....	11
Figura 9: Tempo médio de fila.....	12
Figura 10: Tempo médio de ciclo.....	10
Figura 11: Movimentação planejada.....	14
Figura 12: UF planejada.....	15
Figura 13: DF planejada.....	15
Figura 14: Produtividade de caminhões.....	16
Figura 15: Número de caminhões programado.....	17
Figura 16: Quantidade de horas trabalhadas.....	17
Figura 17: UF mensal.....	18
Figura 18: Quantidade de caminhões.....	19
Figura 19: Movimentação recalculada.....	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Horário de revezamento de refeições.....	13
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Contextualização.....	1
1.2	Objetivos.....	2
1.2.1	Geral.....	2
1.2.2	Específicos.....	2
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1	Seleção de Equipamentos.....	3
2.2	Equipamentos de Escavação e Carregamento.....	3
2.2.1	Retroescavadeiras e Escavadeiras Hidráulicas.....	4
2.3	Pá Carregadeiras.....	5
2.4	Transporte por caminhões.....	6
2.5	Indicadores Operacionais.....	8
2.6	Contextualização sobre o Projeto Minas-Rio.....	9
3	MÉTODO UTILIZADO.....	12
3.1	Levantamento de Indicadores de Transporte.....	12
3.1.1	Ciclo de transporte.....	12
3.2	Descrição da Proposta.....	16
3.3	Desenvolvimento.....	16
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	20
4.1	Melhoria do Índice Operacional de Utilização Física.....	20
4.2	Considerações Sobre Dimensionamento De Frota.....	21
4.3	Considerações Sobre Movimentação.....	22
5	CONCLUSÃO.....	23
6	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	24

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A mina objeto de estudo localiza-se nos municípios Conceição do Mato Dentro e Alvorada de Minas, a 160 km da capital do Estado de Minas Gerais. A Figura 1 apresenta o mapa que contém a localização do município no qual a mina foi implantada



Figura 1: Município de Conceição do Mato Dentro (IBGE, 2017).

O projeto em estudo é propriedade da Anglo American plc, e consiste em uma operação de minério de ferro que se encontra em estágio de *ramp up* com capacidade nominal de 26,5 milhões de toneladas de *pellet feed* por ano.

A unidade em questão utiliza equipamentos de carregamento e transporte da Komatsu, contendo caminhões fora de estrada 830E, pá carregadeiras WA1200, escavadeiras PC 4000 e escavadeiras PC 5500. Além disso, tais equipamentos utilizam ferramentas de sistema embarcados com GPS de alta precisão, sistema anti-colisão e despacho eletrônico.

A justificativa para a realização do projeto está associada a utilização dos recursos disponíveis de maneira mais eficaz. Durante o período de revezamento de almoço e jantar, foi identificado a oportunidade de aumentar a quantidade de horas trabalhadas dos equipamentos de transporte.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

O principal objetivo é aumentar o número de horas trabalhadas efetivas por equipamento de transporte, conseqüentemente melhorar o indicador de UF da frota de caminhões fora de estrada.

1.2.2 Específicos

Os objetivos específicos do projeto são:

- Aumentar a movimentação de material durante o período das refeições;
- Diminuir o número de caminhões programados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O carregamento e transporte de materiais em minas a céu aberto depende dos tipos de equipamentos, condições operacionais e fatores humanos.

2.1 Seleção de Equipamentos

A seleção de equipamentos é uma etapa relevante para um projeto de mineração, em relação as operações de mina, tal fase consiste no dimensionamento de equipamentos de escavação e transporte (BERKHIMER, 2011). A seleção de equipamentos de forma equivocada pode ocasionar uma baixa performance em termos econômicos (BERKHIMER, 2011). Portanto, durante a fase de concepção de um projeto adotam-se premissas afim de calcular a viabilidade do empreendimento. No entanto, é necessário realizar estimativas dos custos relacionados a operações de mina, que é baseado em despesas com escavação e transporte (STEBBINGS *et al.*, 2011). Tais cálculos servem de base para realizarem estudos de viabilidade econômica em termos técnicos, operacionais e financeiros.

Segundo BASCENTIN (2013), a seleção de equipamentos é um dos fatores mais importantes que influenciam no desenho da cava, taludes, altura de banco, tamanho dos blocos, geometria, desenho de rampas, sequência de escavação e plano de lavra. De acordo NEL *et al* (2011), existem várias causas que afetam a produtividade de caminhões e escavadeiras, sendo eles:

- Alocações dos equipamentos;
- Turnos nos quais os equipamentos são operados;
- Geometria das rampas e o gradiente das mesmas;
- Resistência ao rolamento;
- Mistura de frotas de diferentes tamanhos.

2.2 Equipamentos de Escavação e Carregamento

A performance de um equipamento de escavação/carregamento pode variar de acordo com: Potência do motor; volume e formato da concha; tipo de rocha a ser carregada/escavada; tipo de unha. Além disso, há fatores operacionais como: posicionamento dos caminhões; altura

das bancadas; habilidade dos operadores; granulometria e umidade dos materiais; condições de drenagem das praças de manobra. Em linhas gerais, a altura da bancada selecionada deve ser adequada para o tamanho dos equipamentos de carregamento, no caso de uma escavadeira hidráulica, a altura do banco deve respeitar a altura máxima que o equipamento consegue escavar (HISTRULID, 2013).

As escavadeiras são equipamentos que devem ser locomovidos o mínimo possível para evitar o desgaste de componentes mecânicos. A locomoção desses tipos de equipamentos ocorre principalmente devido a isolamento de áreas de desmonte de rochas, manutenções corretivas ou preventivas e mudanças de frentes de lavra. Um ponto importante, em relação ao planejamento de lavra, é que deve-se levar em consideração a locomoção de tais equipamentos, para que os mesmos possam ser utilizados de forma produtiva o máximo de tempo possível. No caso da Anglo American, foi construído um local dentro da mina para realizar a manutenção durante períodos mais longos, evitando assim deslocamento excessivo dos equipamentos e conseqüentemente menor desgaste de certos componentes mecânicos.

2.2.1 Retroescavadeiras e Escavadeiras Hidráulicas

As retroescavadeiras e escavadeiras são equipamentos que podem ter tamanhos variados e possuem sistemas de funcionamento a cabo ou hidráulico. No caso das retroescavadeiras, as mesmas são operadas sob plataformas, conforme mostrado na Figura 2, sendo que as tais são construídas com o próprio material que está sendo escavado. Em comparação com as escavadeiras hidráulicas, as retroescavadeiras possuem um tempo de ciclo de carregamento menor, pelo fato de operarem em plataformas. Portanto, retroescavadeiras possuem produtividade (tonelada por hora) superior a escavadeiras do mesmo modelo, com concha de mesmo volume.



Figura 2: Operação de carregamento (SOTREQ, 2015).

2.3 Pá Carregadeiras.

As pá carregadeiras são equipamentos versáteis, utilizados na lavra de materiais em minas a céu aberto. A maior vantagem oferecida pelas pá carregadeiras, está relacionada ao fácil deslocamento, considerando que as quais utilizam pneus conforme é apresentado na Figura 3. De acordo BOHNET (2011), as pá carregadeiras são equipamentos muito móveis, logo são ideais para situações que requerem mudanças de frente de lavra constantemente.



Figura 3: Pá carregadeira (Komatsu, 2011).

As pá carregadeiras, são equipamentos usualmente utilizados para carregar materiais que propiciam de baixa a média resistência ao serem manuseados. (BOHNET, 2011). Além disso, tais equipamentos podem ser empregados para transportar minério de uma pilha até o britador, caso tal distância for relativamente curta.

O tempo de ciclo de carregamento das pá carregadeiras é aproximadamente 25% à 50% menor do que uma escavadeira. Porém, em determinados casos devido ao menor tamanho de concha das pá carregadeiras, as mesmas tendem a ser menos produtivas (BOHNET, 2011). Um ponto relevante, é que a disponibilidade física de pá carregadeiras tende a ser menor do que das escavadeiras (BOHNET, 2011).

2.4 Transporte por caminhões

A seleção de frota de transporte requer um entendimento do método de lavra bem como as vantagens e desvantagens associadas ao tal, levando em conta os equipamentos disponíveis no mercado (HUMPHREY *et al.*, 2011). Dessa maneira, a análise de um sistema de transporte mais adequado para a circunstância operacional é essencial para definir uma frota de caminhões

de forma assertiva. O transporte de material na mineração de forma segura, eficiente e viável economicamente é um ponto crítico para operações de mina (HUMPHREY *et al.*, 2011).

De acordo com SOUZA (2005), seguem as vantagens da operação de transporte com caminhões:

- Os equipamentos de transporte podem ser transferidos em pouco tempo para outra frente de lavra, proporcionando flexibilidade operacional;
- Considerando que os teores podem variar de acordo com a profundidade da cava, diferentes bancos podem ser lavrados simultaneamente, garantindo os requisitos relacionados ao teor de alimentação da planta de beneficiamento;
- Durante as paradas da planta de beneficiamento, os equipamentos de transporte podem ser deslocados para frentes de estéril;
- Os requisitos de qualificação da mão de obra não são específicos;
- A operação não é totalmente comprometida quando é realizada a manutenção de um dos equipamentos de transporte, assim é possível continuar a lavra de forma economicamente viável enquanto uma quantidade mínima de caminhões que estiverem operando;
- Quando há restrições de basculamento na planta de beneficiamento, estoques podem ser construídos em posições estratégicas para depois serem lavrados em momentos oportunos;
- A operação de carregamento pode ser feita simultaneamente com pá carregadeira e ou escavadeira, dependendo da compatibilidade dos equipamentos de carregamento e transporte;
- Permite evacuação de pessoas e equipamentos em um curto intervalo de tempo, em caso de situações de risco.

As desvantagens da operação de transporte com caminhões

De acordo com SOUZA (2005), seguem as desvantagens da operação de transporte com caminhões:

- Baixa eficiência energética, sendo que cerca de 50% da energia disponível é consumida com o próprio deslocamento do equipamento e a outra parcela é utilizada para o transporte da carga;

- Significativo tempo gasto com deslocamento sem transporte de minério;
- Usualmente a inclinação utilizada na construção das rampas é de 10%, assim os acessos são extensos e tendem a aumentar a medida que novos bancos são abertos;
- O custo de abertura e manutenção das estradas é significativo;
- Em certas ocasiões devido a intempéries, a operação pode ser limitada a determinados trechos ou até mesmo paralisada;
- São necessários equipamentos auxiliares (caminhões pipa) para realizar a umectação das vias, dessa maneira a quantidade de poeira nos acessos é controlada tornando a operação mais segura, minimizando impactos ambientais.

2.5 Indicadores Operacionais

O gerenciamento de indicadores é uma maneira de melhorar e controlar a performance operacional. De acordo com SOUSA (2017), a performance dos equipamentos de mina pode ser avaliada de acordo com os índices listados:

- Hora calendário;
- Hora manutenção;
- Hora trabalhada;
- Hora improdutiva;
- Rendimento Operacional;
- Produtividade.

De acordo com SILVA (2011), o indicador de UF pode ser calculado com base na quantidade de horas que o equipamento foi utilizado de forma efetiva, sendo que é descontada a quantidade de horas que o equipamento estava em manutenção. Dessa maneira, SILVA (2011) afirma que uma série de fatores podem afetar na UF dos equipamentos, como por exemplo:

- Parada de outros equipamentos;
- Falta de operadores;
- Falha dos operadores;
- Condições climáticas desfavoráveis;
- Desmonte de rochas;
- Preparação de material.

O cálculo do indicador UF é dado pela EQ. 1 (SILVA, 2011):

$$UF = \frac{HT}{HP - HO}$$

Onde HT é o total de horas efetivamente trabalhadas, HP horas calculas no período e HO horas de reparo.

A DF pode ser descrita como a quantidade de horas que o equipamento está em condições de operar, ou seja não está em manutenção (SILVA, 2011). O cálculo da DF pode ser realizado de acordo com EQ. 2 (SILVA, 2011):

$$DF = \frac{HP - HO}{HP}$$

A DF pode ser expressa pela porcentagem de tempo que o equipamento está apto a ser operado, descrito na equação acima, na qual HP e HO idem da EQ. 1 (SILVA, 2011).

2.6 Contextualização sobre o Projeto Minas-Rio

O projeto Minas-Rio conta com uma cava licenciada no município de Conceição do Mato dentro, planta de beneficiamento, mineroduto e porto. Basicamente, o minério oriundo da mina é conduzido por correias transportadoras de longa distância até a planta de beneficiamento. Na usina de beneficiamento, o ROM passa por etapas de: britagem; moagem; deslamagem e concentração. O concentrado de ferro produzido, é transportado até o Porto de Açu, no Estado do Rio de Janeiro, por meio de um mineroduto de 525 km de extensão. O mineroduto é a parte do projeto na qual foi investido a maior quantidade de recursos, o mesmo atravessa 32 municípios mineiros e fluminenses. A capacidade nominal de projeto é de 26,5 milhões de toneladas de *pellet feed*. Basicamente os produtos da usina de beneficiamento são:

- Direct reduction pellet feed, com intervalo de sílica até 1,8% e 68% de Ferro;
- Blast furnace pellet feed, com intervalo de sílica entre 1,8% à 2,90% e 68% de Ferro;
- N blast furnace, com intervalo de sílica de 2,90% à 3,80 com 68% de Ferro.

Caso seja produzido alguma quantidade de concentrado que ultrapasse o limite de 3,8% de sílica, o produto é classificado como não vendável. Logo, a estratégia adotada pela companhia é misturá-lo com um produto que contenha sílica dentro do limite de especificação descrito. Portanto, o produto final terá uma porcentagem de sílica intermediária entre os dois

materiais misturados, dependendo da massa e teor de sílica de cada um dos componentes do *blend*.

A mina é operada com escavadeiras hidráulicas, retroescavadeiras e pá carregadeiras. Os equipamentos de carregamento e escavação são:

- 2 PC-5500;
- 2 PC-4000;
- 3 WA-1200.

Na mina em estudo há 2 tipos de escavadeiras PC-5500, sendo que uma delas é uma retroescavadeira e a outra hidráulica. Em termos operacionais, os equipamentos são alocados em frentes de minério e estéril, que irão propiciar a maior produtividade. A operação de carregamento das pá carregadeiras difere significativamente das escavadeiras, em termos de número de passes para carregar um caminhão. As escavadeiras descritas são equipamentos robustos e tem capacidade de escavação e carregamento. As pá carregadeiras não possuem capacidade de escavação, apenas carregamento, logo há determinadas condições operacionais que as mesmas não podem ser utilizadas. Uma vantagem das pá carregadeiras em relação as escavadeiras é que as mesmas são equipamentos flexíveis, deslocando em um curto intervalo de tempo para outra frente de lavra. O processo de lavra na mina é realizado de acordo com os equipamentos de carregamento e escavação disponíveis. De acordo com os teores médios disponíveis nas frentes de lavra, os equipamentos são alocados de tal forma a atender os requisitos da planta de beneficiamento.

Em termos práticos, os equipamentos devem ser operados sob circunstâncias que ofereçam a maior produtividade e menor risco possível. As escavadeiras PC-4000 são operadas em bancos de 10 metros de altura, enquanto as PC-5500 são operadas em bancos de 15 metros de altura. Um ponto relevante quanto a operação desses equipamentos de carregamento e escavação, é que a habilidade do operador influencia significativamente na produtividade dos mesmos.

A frota de perfuratrizes é composta por um conjunto de equipamentos que são capazes de perfurar diferentes diâmetros. Os equipamentos de perfuração são:

- 2 perfuratrizes Atlas Copco, DML rotopercussiva com diâmetro de perfuração de 7 1/2"
- 1 perfuratriz Atlas Copco, DM30 rotopercussiva com diâmetro de perfuração de 6 3/4"

- 1 perfuratriz Catterpillar MD6420, percussiva com diâmetro de perfuração de 9 7/8”

A frota de equipamentos auxiliares é composta pelos seguintes equipamentos:

- 3 tratores de esteiras Komatsu D375
- 5 tratores de esteiras Komatsu D475
- 2 caminhões pipa Komatsu HD785
- 4 motoniveladoras GD825
- 2 tratores de pneu WD900.

Um dos indicadores operacionais mais relevantes para analisar uma operação de mina é a distância média de transporte. Tal variável, está relacionada com o tempo de ciclo de transporte, carregamento e produtividade dos equipamentos envolvidos na lavra. A Figura 4, apresenta a distância média de transporte nos meses de janeiro à dezembro e a média do ano (em vermelho). É possível afirmar que o indicador distância média de transporte se manteve relativamente estável ao longo do período em análise.

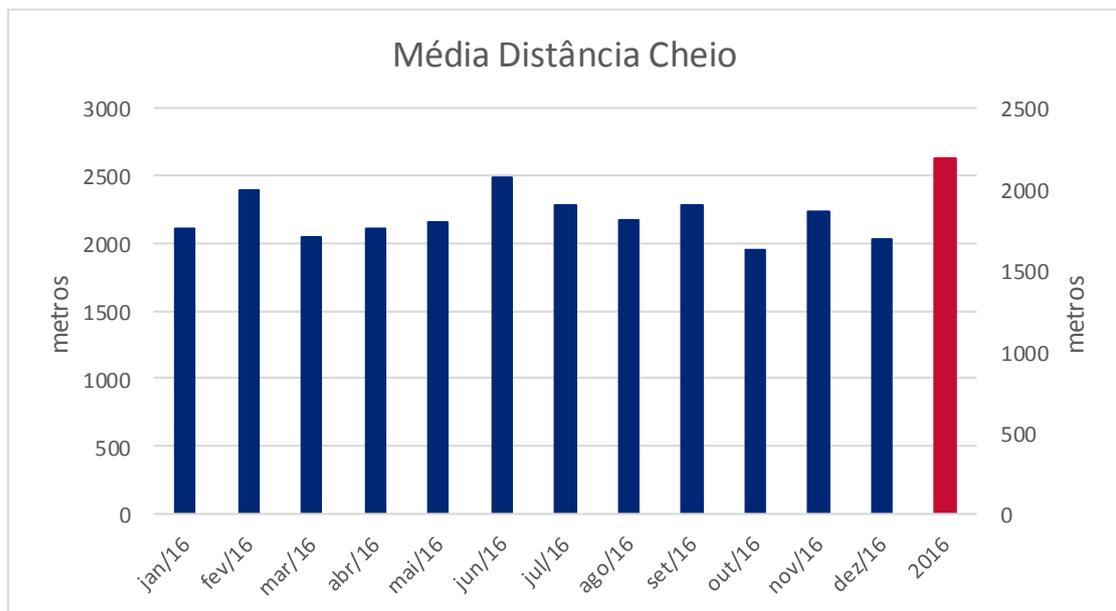


Figura 4: Distância média de transporte.

3 MÉTODO UTILIZADO

3.1 Levantamento de Indicadores de Transporte

Uma equipe constituída por colaboradores da Anglo American plc, responsáveis pela área de transporte, realizaram reuniões técnicas para definir quais seriam as estratégias seguidas para atingir os objetivos deste trabalho.

Inicialmente, foi definida a necessidade de analisar os índices operacionais relacionados aos ciclos de transporte. E em seguida, definiu-se onde os recursos disponíveis seriam alocados para atingir os objetivos desejados. A base de dados desse projeto foi o ano de 2016, no qual foram analisados diferentes cenários operacionais. Dessa forma, foi feita uma análise de condições adversas, no intuito de representar diferentes circunstâncias práticas.

3.1.1 Ciclo de transporte

De acordo com as diretrizes definidas, o primeiro indicador analisado foi a carga média dos caminhões fora de estrada. O intuito é avaliar se os equipamentos estão sendo utilizados de forma adequada, em termos de capacidade de transporte. A Figura 5, apresenta as cargas médias de transporte nos meses de janeiro à dezembro e a média do período (em vermelho).

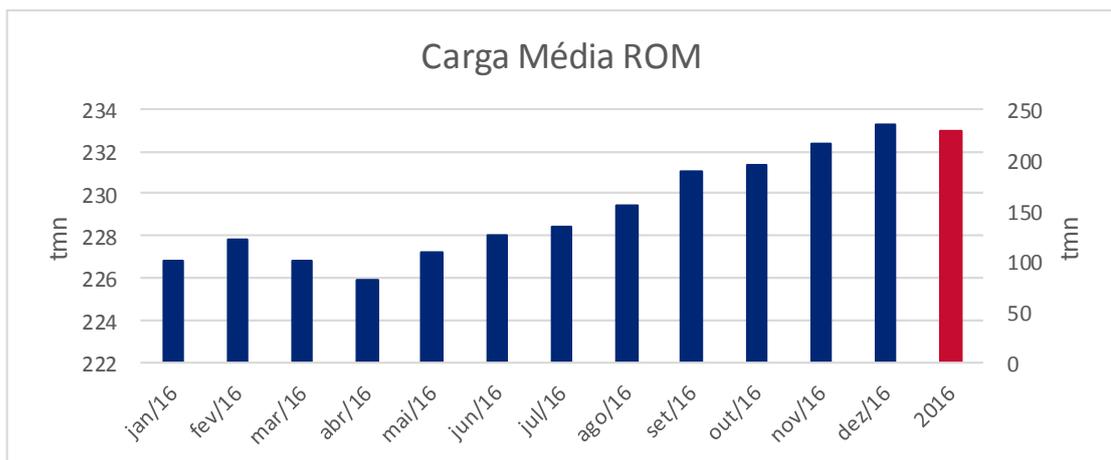


Figura 5: Carga média

Analisando o gráfico, é possível verificar um aumento ao longo do ano das cargas médias de ROM que saiu do patamar de 227 toneladas em janeiro, para 233 toneladas em dezembro. Considerando a diferença de carga média entre os meses de janeiro e dezembro, o total é de 6 toneladas por ciclo de transporte.

A velocidade dos equipamentos de transporte é um indicador que está relacionado a produtividade e segurança. Na mina, a velocidade limite para equipamentos de transporte carregados com minério ou estéril é de 28 km/h. Quando estão vazios, esta média de velocidade não deve ultrapassar 40 km/h. A Figura 6 apresenta a velocidade média dos equipamentos quando carregados ao longo dos meses de 2016. A Figura 6 ainda indica um aumento na velocidade média a partir de maio de 2016. Em contrapartida, a Figura 7 apresenta a velocidade média quando vazio, podendo identificar uma redução de tal indicador no segundo semestre. Em termos de valores médios de 2016 (em vermelho), a diferença entre tais velocidades é expressiva sendo 19 km/h quando os equipamentos estão carregados e 27 km/h quando vazios.

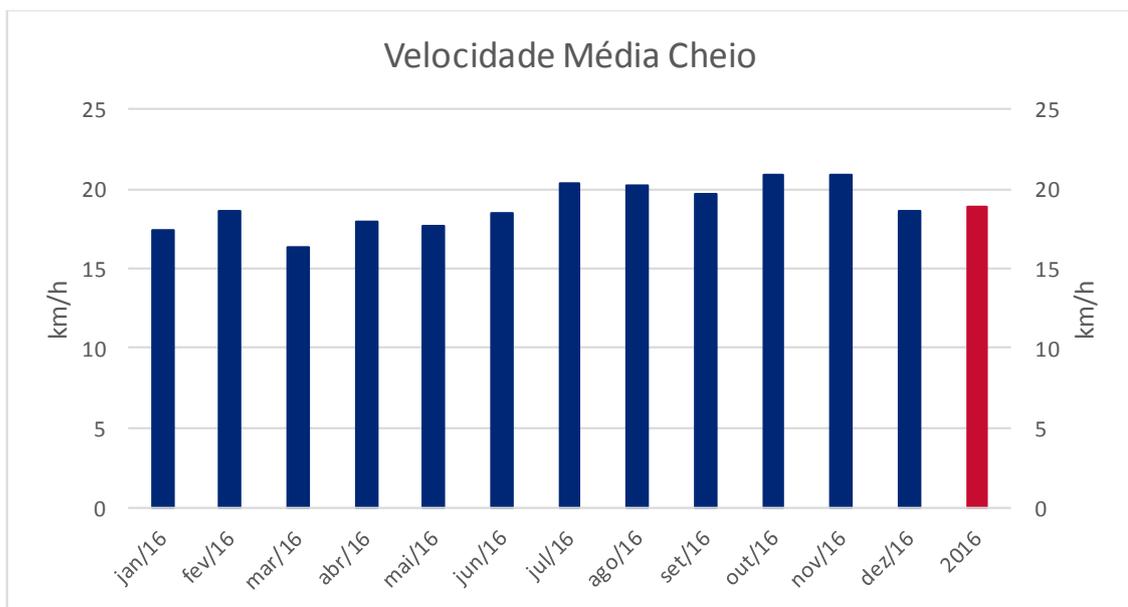


Figura 6: Velocidade média cheio

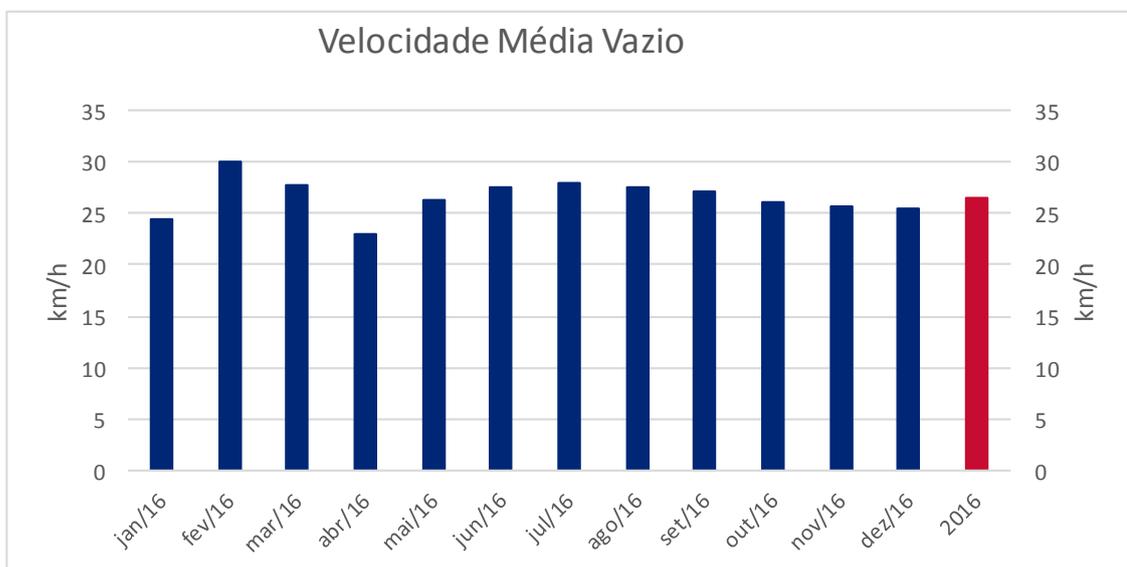


Figura 7: Velocidade média vazio

Os equipamentos de transporte conduzem materiais principalmente para a planta de beneficiamento, pilhas de estéril e estoques de minério. Portanto, é relevante em relação ao ciclo de transporte o tempo que os equipamentos demoram para despejar os materiais nos locais designados. Dentre as possibilidades citadas, o tempo de basculamento na planta de beneficiamento é maior, pois a balsa do equipamento necessita ser soerguida vagarosamente, devido ao excesso de material no silo do britador. Os estoques de minérios são o segundo ponto de basculamento com maior tempo de despejo, devido a necessidade de dispor os materiais em pontos específicos, para que a pilha seja construída de forma adequada. Em contrapartida, as pilhas de estéril são construídas usualmente com auxílio de um trator de esteira. As pilhas de estéril possuem ampla área de basculamento, contribuindo para o despejo do material de forma mais rápida. A Figura 8, retrata o tempo de basculamento ao longo do ano e a média do período (em vermelho).

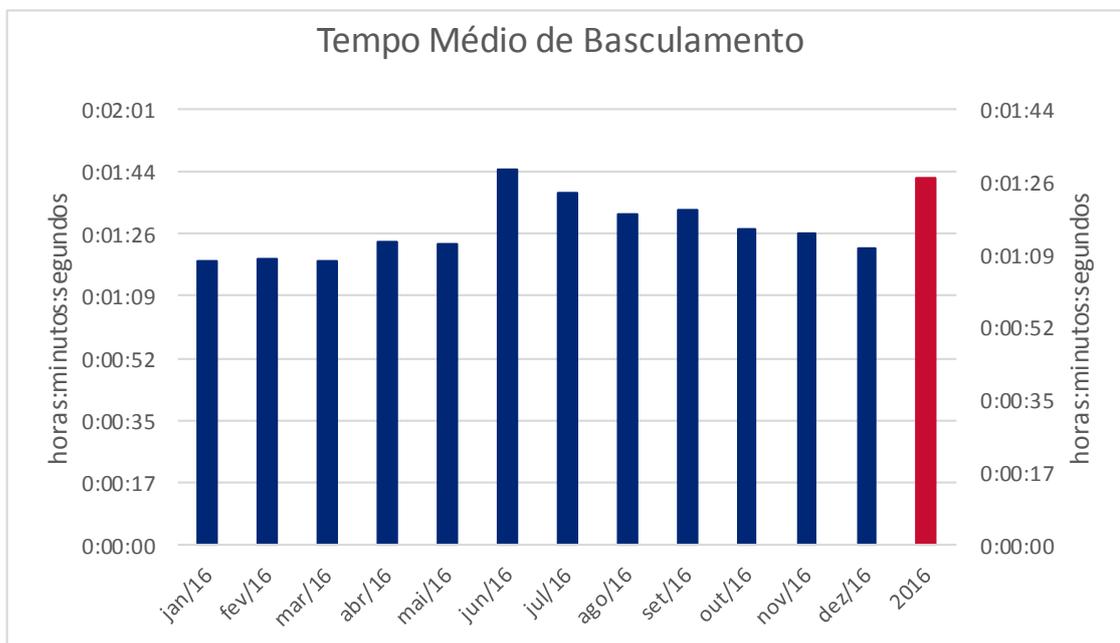


Figura 8: Tempo médio de basculamento

A equipe de planejamento de mina, ao realizar o dimensionamento de frota, avalia fatores operacionais, como por exemplo a produtividade horária dos equipamentos envolvidos na operação. Dentre as variáveis que são analisadas, o tempo médio de fila de carregamento pode ser um parâmetro para avaliar se a lavra está ocorrendo preferencialmente em alguma das frentes, concentrando um maior número de caminhões por hora em determinadas localidades.

O tempo médio de fila de carregamento de janeiro a dezembro e a média (em vermelho) do período é apresentado na Figura 9. É possível notar um maior tempo de fila de carregamento nos meses de janeiro à março. A causa para tal aumento é devido à restrições de alimentação

de determinadas frentes de minério, que continham rochas inadequadas para a planta de beneficiamento. Logo, o sistema de despacho da mina enviava um maior número de caminhões para as frentes que não havia restrições, conseqüentemente o tempo médio de fila aumentou em tais locais.

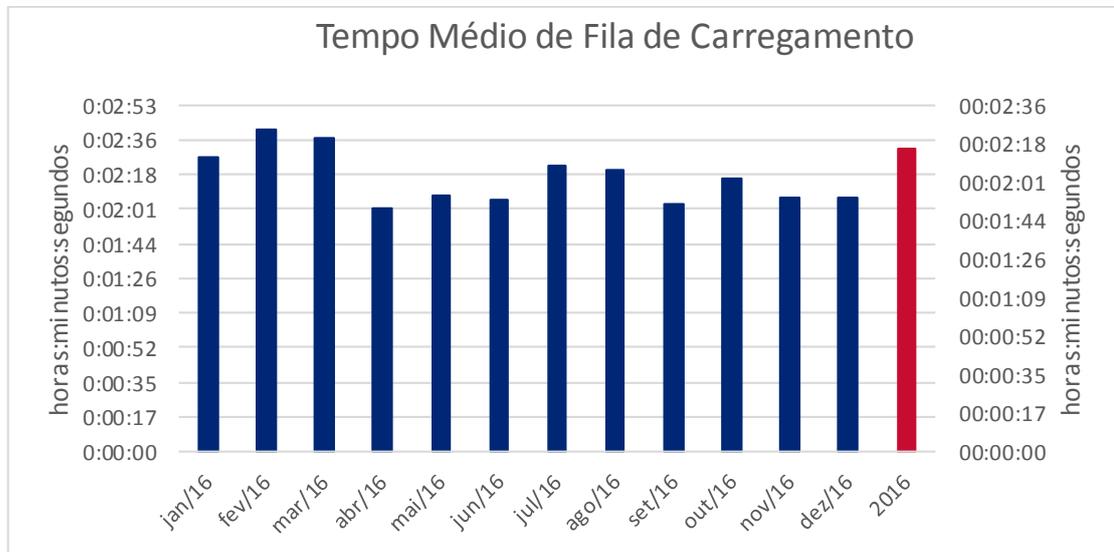


Figura 9: Tempo médio de fila

Dentre os indicadores citados em relação ao ciclo de transporte, pode-se afirmar que há inúmeras variáveis operacionais que podem ser controladas ou não. A Figura 10 apresenta o tempo de ciclo médio de janeiro à dezembro e a média do período (em vermelho). Uma variação do tempo total de ciclo pode ser notada, principalmente nos meses de junho e julho. Alguns fatores operacionais como por exemplo: praças de manobra estreitas e restrições de alimentação na britagem podem influenciar no tempo do ciclo de transporte. No caso, o mês com maior tempo de ciclo de transporte foi janeiro, que devido a intempéries, foi afetado negativamente.

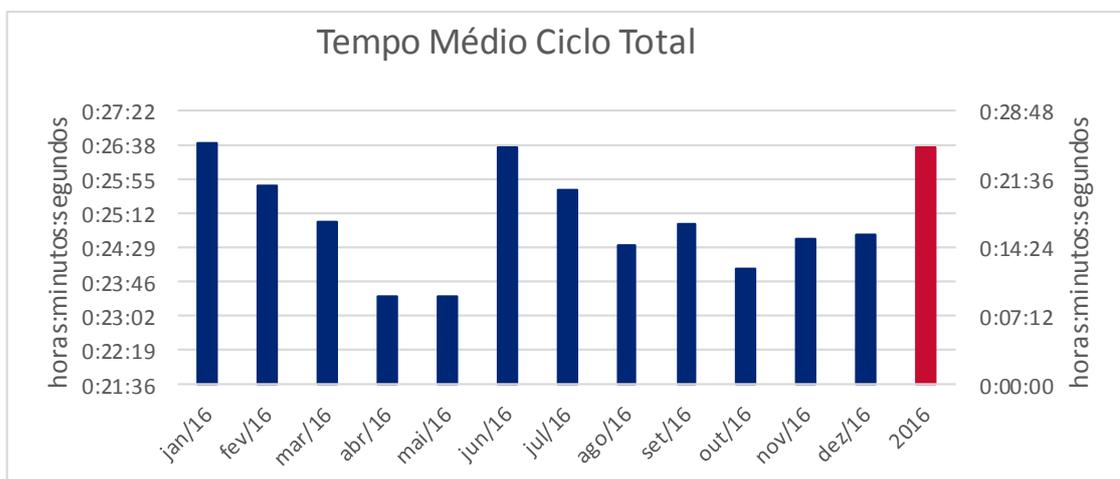


Figura 10: Tempo médio ciclo

3.2 Descrição da Proposta

O objetivo do trabalho é aumentar a UF da frota de caminhões fora de estrada. Os equipamentos são operados em período integral, exceto durante os revezamentos das refeições, nas quais são interrompidos um terço da frota por vez, totalizando 3 interrupções durante o almoço e 3 durante o jantar. A proposta consiste em contratar 10 operadores e compor uma equipe durante o horário administrativo, para efetuar revezamentos durante o período de almoço e jantar. A Tabela 1 apresenta os horários nos quais tais revezamentos são realizados.

Tabela 1: Horário de revezamento de refeições

Refeição	Hora Inicial	Hora Final
Almoço	11h:10	12h:10
	12h:10	13h:10
	13h:10	14h:10
Jantar	18h:00	19h:00
	19h:00	20h:00
	20h:00	21h:00

A proposta é fazer com que os operadores cheguem às 11h:00 da manhã, participem do diálogo de segurança até às 11h:10 e iniciem o revezamento logo em seguida, totalizando 3 revezamentos no período de almoço. A jornada de trabalho consiste em 9 horas, sendo que são 8 horas de trabalho e 1 hora de refeição, portanto às 20h:00 os operadores dessa equipe deverão encerrar as atividades do dia. Portanto, o turno de horário administrativo seria capaz de realizar 5 revezamentos do total de 6 refeições que são realizadas em um dia.

A ideia é avaliar o projeto através de diferentes cenários, sendo que foram propostas duas medidas plausíveis de acordo com o aumento do número de horas trabalhadas por equipamento. A primeira opção diz respeito a quantidade de caminhões programados, que pode ser reduzida. Contudo, a segunda proposta mantém a quantidade de equipamentos programados ao longo do ano, sendo possível realizar uma maior movimentação de estéril e minério.

3.3 Desenvolvimento

A equipe de planejamento de mina, define diretrizes em relação a quantidade de minério e estéril que devem ser movimentados por mês para garantir a alimentação da planta de beneficiamento. A Figura 11 apresenta a movimentação de estéril e minério planejados para os

meses de maio à dezembro do ano de 2017 e o acumulado do mesmo período (em vermelho). No entanto, para que a movimentação de estéril e minério seja realizada é necessário quantificar o número de caminhões requeridos. Dessa maneira, são consideradas premissas de produtividade dos caminhões (toneladas por hora), UF e DF afim de calcular a quantidade de equipamentos que serão necessários por mês.

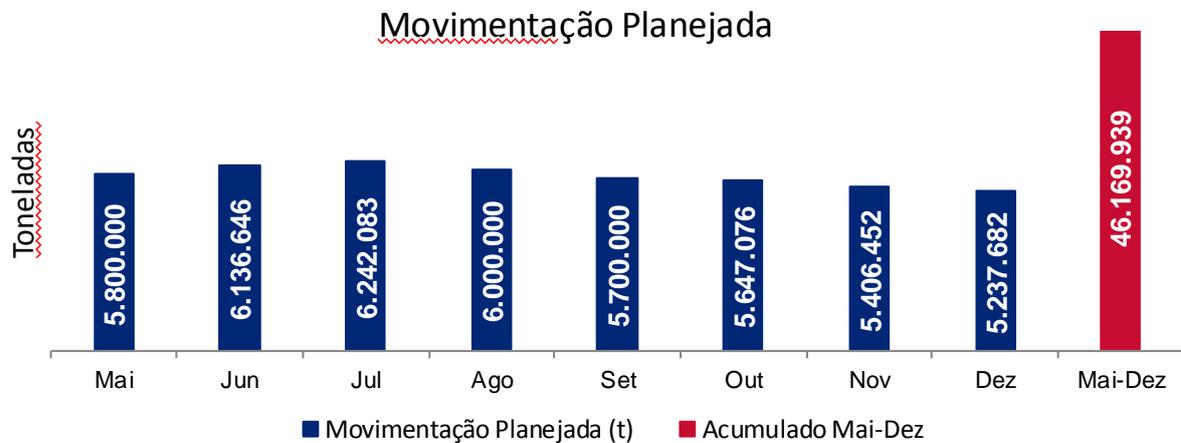


Figura 11: Movimentação planejada

A Figura 12 apresenta a UF planejada para o ano de 2017 que tem como referência uma base histórica e *benchmarking* de outras minas que operam com a mesmo tipo de equipamento e a média de maio à dezembro (em vermelho).

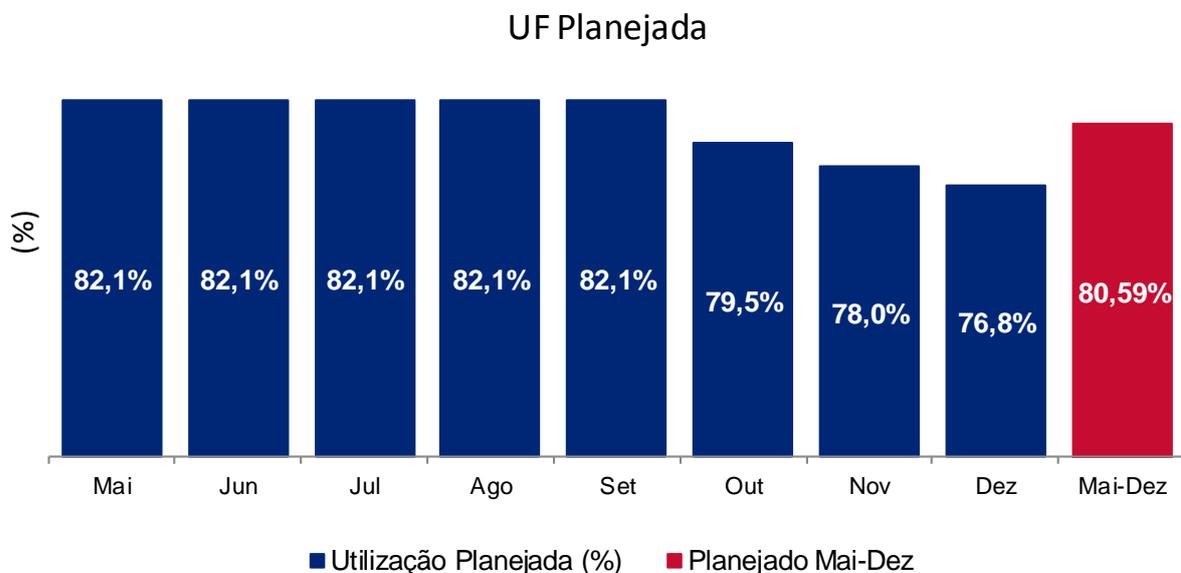


Figura 12: UF planejada

O indicador operacional DF, planejado para os meses de Maio à Dezembro e a média do período (em vermelho), é representado na Figura 13.

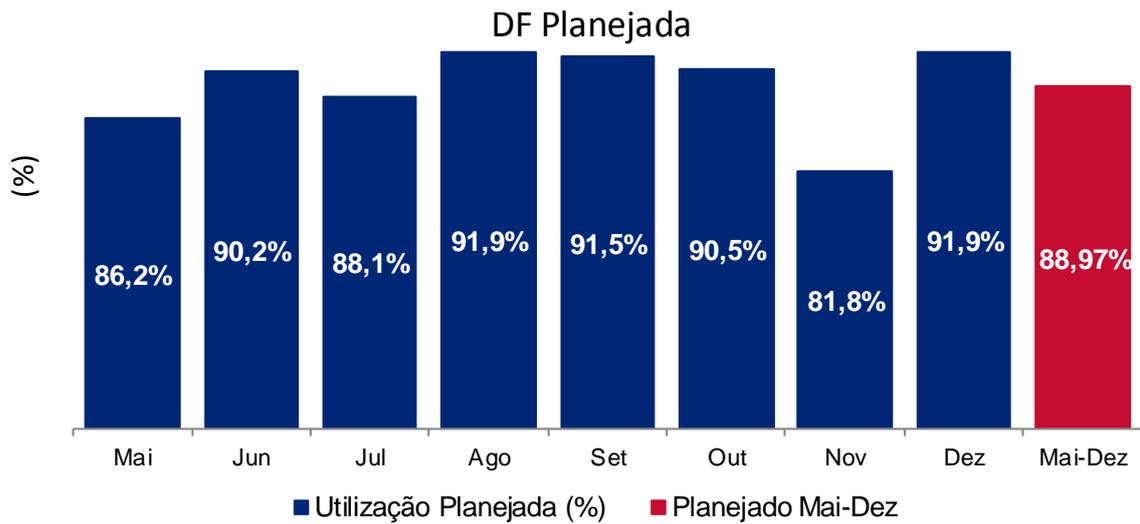


Figura 13: DF planejada

Um outro fator que deve ser considerado em relação ao dimensionamento de frota, é a produtividade estimada dos caminhões. A Figura 14 apresenta a produtividade dos equipamentos de maio à dezembro e a média do período (em vermelho). Tal estimativa de produtividade leva em consideração bases históricas da empresa.

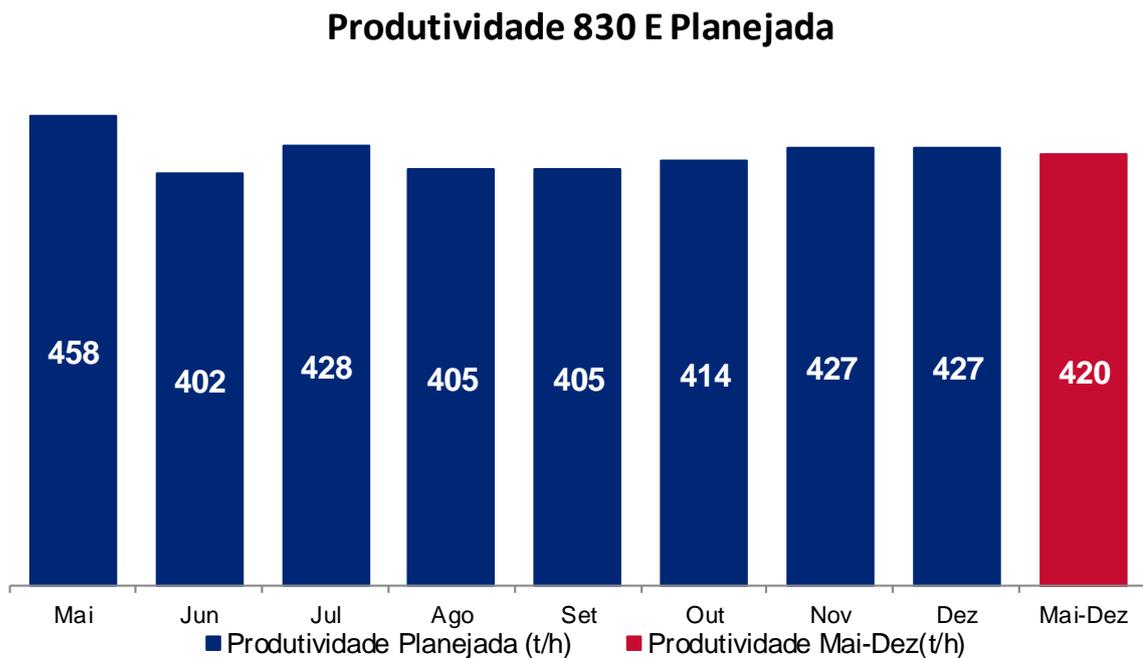


Figura 14: Produtividade de Caminhões

Considerando os parâmetros de UF, DF e produtividade, é possível dimensionar a frota de caminhões necessária para realizar a movimentação de estéril e minério planejada. No entanto, a Figura 15 apresenta a quantidade de equipamentos necessários no período em análise. Vale ressaltar que no mês de Junho a quantidade de caminhões programado, 28,62, é significativamente superior a média de anual (em azul) de 26,6. Tal fato é devido a uma expressiva quantidade de estéril que foi planejada ser lavrada no mês de junho. Além disso, no mês de novembro a quantidade de caminhões programados (29) é maior que a média, a explicação para tal é devido a baixa produtividade dos equipamentos durante o período de chuvoso.

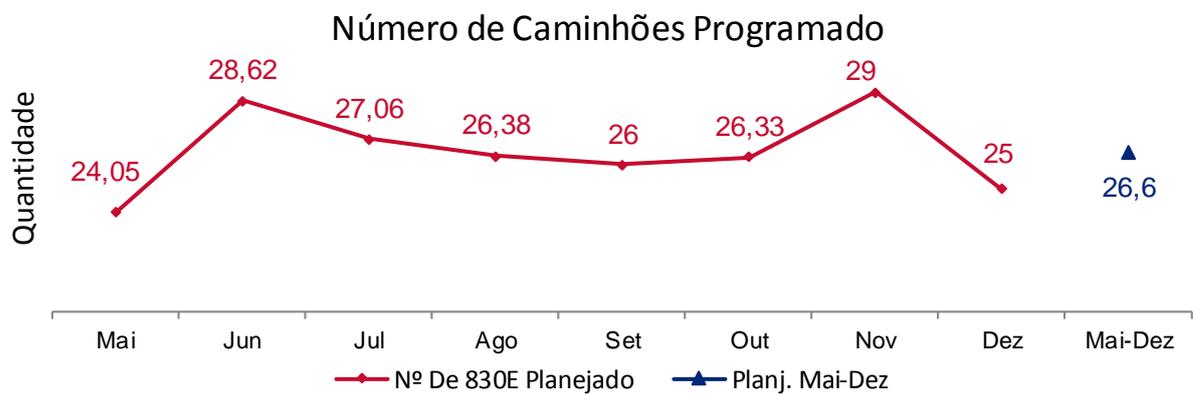


Figura 15: Número de caminhões programado

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Melhoria do Índice Operacional de Utilização Física

A operação de transporte em uma mineração deve ser avaliada de forma sistêmica, visto os significativos impactos nas atividades de toda cadeia produtiva.

O objetivo desse trabalho foi aumentar a UF dos equipamentos de transporte, visando uma melhoria na eficiência operacional, utilizando de uma forma mais eficaz os recursos disponíveis. A Figura 16 representa a quantidade de horas trabalhadas totais. Dessa maneira, o aumento na quantidade de horas de maio à dezembro é de 3,5%.

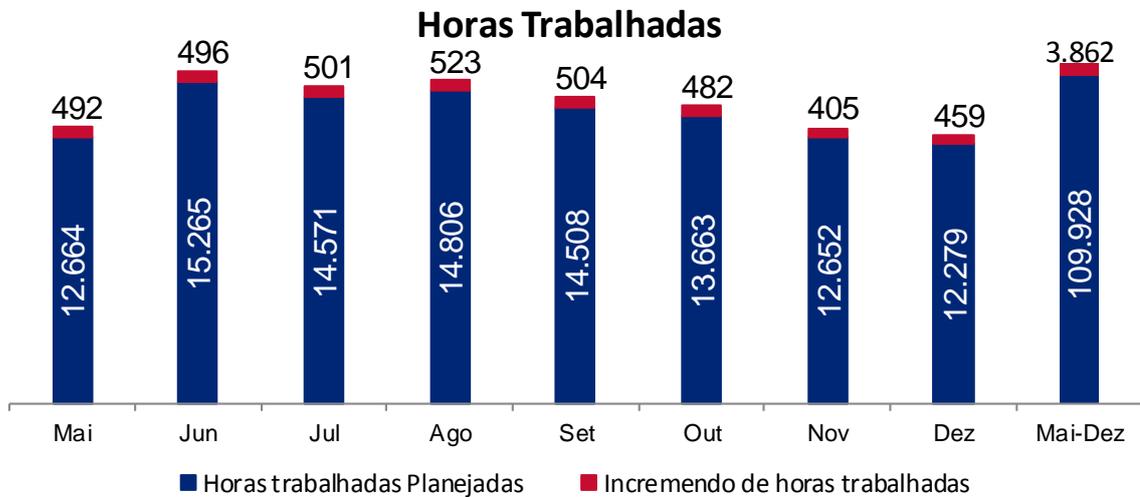


Figura 16: Quantidade de horas trabalhadas

A partir da quantidade de horas trabalhadas apresentada na Figura 16, é possível calcular a UF dos caminhões fora de estrada nos meses de maio à dezembro apresentada na Figura 17. Considerando que a quantidade de horas de manutenção será a mesma que antes da execução do projeto. O aumento no número de horas trabalhadas proporcionará um ganho percentual em UF de 2,8%.

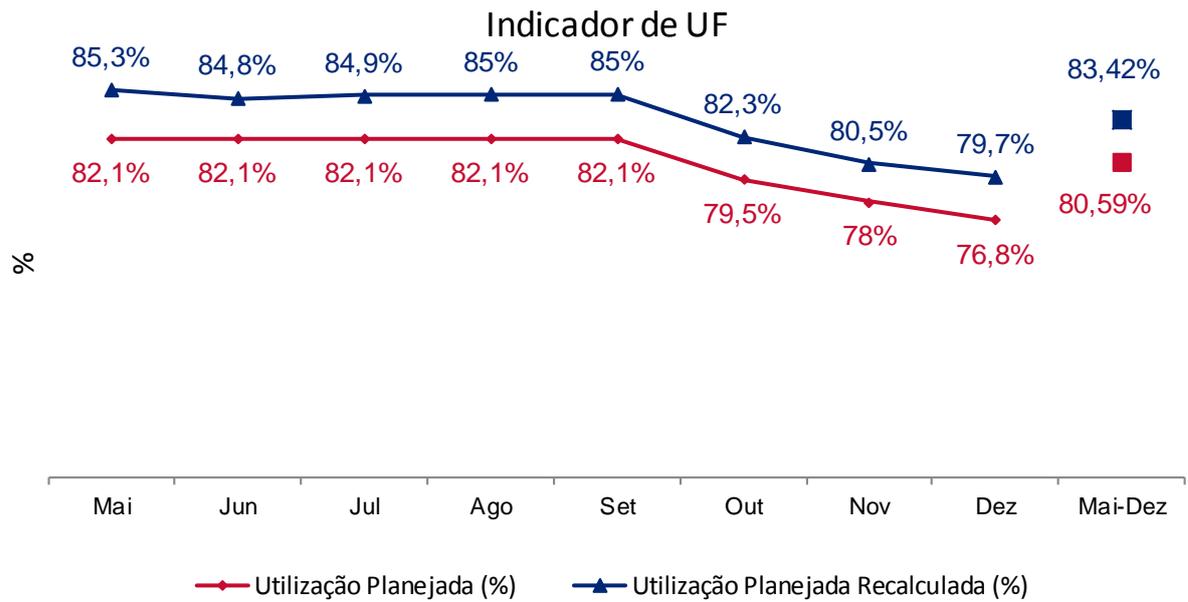


Figura 17: UF mensal

4.2 Considerações Sobre Dimensionamento De Frota

A contratação dos operadores pode ser uma possibilidade de otimizar recursos, aumentando a eficiência dos equipamentos de transporte. No entanto, é possível calcular o número de caminhões necessários para efetuar a movimentação planejada, considerando o aumento no número de horas trabalhadas e produtividade planejada. Logo, a Figura 18 representa a quantidade de equipamentos programados de maio à dezembro e a média ponderada do período. Os resultados apontam que em cada um dos meses, pode-se reduzir em 0,9 o número de caminhões dimensionados inicialmente.

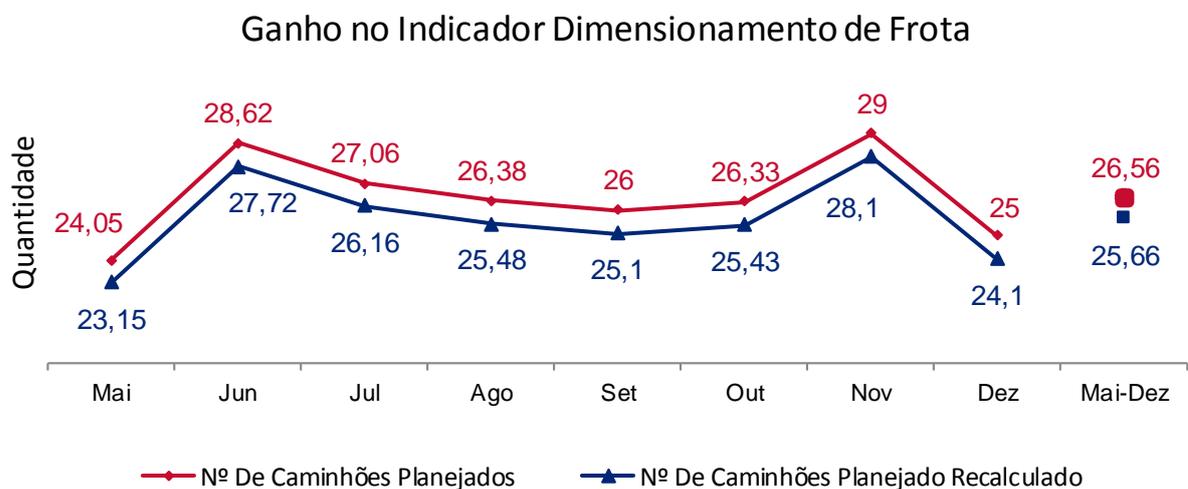


Figura 18: Quantidade de caminhões

4.3 Considerações Sobre Movimentação

A movimentação planejada de maio à dezembro varia de 5,8 milhões à 6,2 milhões de toneladas, apresentada na Figura 19 (em azul). Portanto, com o aumento do número de horas trabalhadas, é possível calcular a quantidade de estéril e minério que pode ser locomovido, caso o projeto seja executado. Caso haver atraso da lavra no período em análise, as quantidades de toneladas (em vermelho) podem ser transportadas pela frota de caminhões com intuito de cumprir a movimentação planejada.

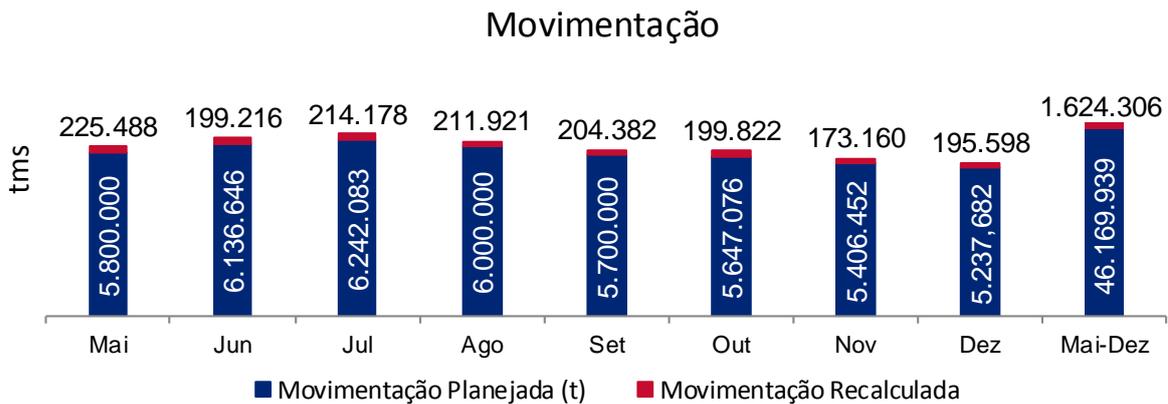


Figura 19: Movimentação Recalculada

Caso o projeto for implementado, as melhorias estão relacionadas ao aumento de: número de horas trabalhadas efetivas por equipamento de transporte; movimentação total durante o período das refeições. Além disso, o número de equipamentos de transporte programados por mês poderá ser reduzido. Os operadores de equipamentos de mina, passam por cursos de reciclagem e qualificação, visando aumentar o desempenho dos mesmos. No entanto, o projeto propiciaria uma certa quantidade de operadores ao longo do dia, que poderiam ser treinados. Em relação a saúde e segurança do trabalho, haveriam períodos de descanso ao longo do dia para os operadores, evitando problemas como a fadiga.

A manutenção dos equipamentos de transporte poderia ser postergada, visto que um número inferior de equipamentos estaria em operação. Dessa maneira a proposta consiste em: Reduzir o número de equipamentos planejados; Aumento da movimentação total da mina.

5 CONCLUSÃO

O projeto realizado avalia uma série de indicadores operacionais realizados no ano de 2016. Além disso, são considerados os índices operacionais planejados para o ano de 2017. O estudo se baseou em premissas de produtividade, horas trabalhadas, UF e DF dos equipamentos de transporte.

A proposta possibilita o aumento do número de horas trabalhadas efetivas por equipamento de transporte em 3,5%. Consequentemente, haveria uma melhora do indicador de UF da frota de transporte em 2,8%. Além disso, a quantidade de equipamentos de transporte programados por mês poderia ser reduzida em 0,9 unidades, mantendo a mesma movimentação planejada.

A ideia é avaliar o projeto através de diferentes cenários, dessa maneira foram propostas duas medidas plausíveis, de acordo com o planejamento de equipamentos de transporte para o ano de 2017. O trabalho realizado visou melhorar a eficiência operacional, utilizando de forma mais eficaz os recursos disponíveis. O estudo propiciaria flexibilidade operacional, permitindo o aumento da movimentação de material e a redução do número de equipamentos programados.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Bascentin, A. **A Decision Support System for Optimal Equipment Selection in Open Pit Mining: Analytical Hierarchy Process**. Istanbul University, 2003. 1p.

Bohnet, E. **Comparison of Surface Mining Methods**. SME Mining Engineering Handbook, Volume 3, Estados Unidos da América, 2011, p. 405-413

Berkhimer, E. N. **Selection and Sizing of Excavating, Loading and Hauling Equipment**. SME Mining Engineering Handbook, Volume 3, Estados Unidos da América, 2011, p. 931-956

Humphrey, J. AND Wagner D. **Mechanical Extraction, Loading, and Hauling**. SME Mining Engineering Handbook, Volume 3, Estados Unidos da América, 2011, p. 903-929

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

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Minas Gerais, Conceição do Mato Dentro**. 20017. Mapa, color. Disponível em :<
<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=311750&search=minas-gerais|conceicao-do-mato-dentro>>. Acesso em: 26 de jul. 2017

Komatsu. **Komatsu WA1200-6**. Japão, 2011, p.1 Disponível em :<
<http://www.komatsu.com.br/portal/wp-content/uploads/2014/05/WA1200-6-AESS815-00.pdf>
 > Acesso em: 26 de jul. 2017

Nel, S. et al. **Improving Truck-Shovel Matching**. Apcom Symposium, Wollongong, Austrália, 2011. 381-391

Silva, V. C. **Curso MIN 112 – Operações Mineiras**. Ouro Preto, 2011. p. 6-7

SOTREQ. **Caterpillar apresenta nova Escavadeira Hidráulica Shovel de Mineração modelo 6020B**. Brasil, 2015, p.1 Disponível em:<
<http://sotreq.com.br/blog/2015/01/09/caterpillar-apresenta-nova-escavadeira-hidraulica-shovel-de-mineracao-modelo-6020b/>>. Acesso em: 26 de jul. 2017

Sousa, W.T. **Curso MIN 113 – Lavra de Minas a Céu Aberto**. Ouro Preto, 2017. p.2-11

Souza, A. A. P. **Guia para Dimensionamento de Frotas de Carregamento e Transporte por Caminhões em Mineração a Céu Aberto**. Centro Universitário Luterano de Palmas, 2005. p. 27-28 (Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Engenharia de Minas).

Stebbing, S. AND Leinart, J. **Cost Estimating for Surfaces Mines**. SME Mining Engineering Handbook, Volume 3, Estados Unidos da America, 2011, p. 281-293