

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS GUARAPUAVA
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

MARCELO KNÜPPEL PEREIRA

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CAMINHÕES FORA DE
ESTRADA NA MINERAÇÃO - ATRAVÉS DE INDICADORES
DE DESEMPENHO**

GUARAPUAVA
2019

MARCELO KNÜPPEL PEREIRA

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CAMINHÕES FORA DE
ESTRADA NA MINERAÇÃO - ATRAVÉS DE INDICADORES
DE DESEMPENHO**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à
Coordenação de Engenharia Mecânica, como
requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel
em Engenharia Mecânica, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. David Lira Nunez
Coorientador: MSc. Clério Vieira Santos

GUARAPUAVA
2019

TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CAMINHÕES FORA DE ESTRADA NA MINERAÇÃO - ATRAVÉS DE INDICADORES DE DESEMPENHO

MARCELO KNÜPPEL PEREIRA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em Guarapuava, Paraná na data 07 de junho de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

David Lira Nuñez
Prof. Orientador

Ricardo Vinícius Bubna Biscaia
Membro Da Banca

Álamo Alexandre da Silva Batista
Membro Da Banca

Aldo Przybysz
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Marcelo Knüppel Pereira
Nome do aluno

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.

NÜPPEL, Marcelo P. **Análise comparativa entre caminhões fora de estrada na mineração:** através de indicadores de desempenho. 2019. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Mecânica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2019.

RESUMO

Na exploração de lavra de mina a céu aberto a operação do transporte de minério dentro da mina é umas das atividades mais importantes para o processo, sendo responsável por boa parte do custo total da atividade de mineração. Com isso, este trabalho demonstra um estudo de comparação entre dois caminhões fora de estrada com sistema de tração diesel-elétrico e mecânico, por meio de seus indicadores de desempenho de manutenção e operação, ajudando no auxílio das tomadas de decisões no equipamento mais eficiente para a empresa. Os caminhões são comparados na mesma faixa de vida de utilização e mesmas condições operacionais, e estão localizados uma mina em Minas Gerais. Os dados utilizados para a construção dos indicadores são obtidos por meio do sistema de monitoramento dos caminhões, dos registros de manutenções e dos especialistas dos fabricantes. A comparação dos indicadores de desempenho evidenciam uma mesma tendência no comportamento das curvas dos gráficos, indicando que os caminhões foram comparados nas mesmas condições de operação. Os caminhões da Frota A apresentaram um baixo custo por tonelada produzida, alta produtividade, maior eficiência mecânica dos componentes e mais ágil em sua operação, mostrando ser o equipamento que mais se alinha com a estratégia da empresa. Já, os caminhões da Frota B apresentaram ser um equipamento menos eficiente mecanicamente e de maior dificuldade para sua operação, apesar de um menor custo para sua manutenção. O trabalho mostrou que há uma oportunidade de melhoria no desempenho da Frota A, com a realização de treinamentos para contribuir com a experiência ou revisando procedimentos atuais adotados pela área de manutenção, para uma redução dos tempos de manutenção dos caminhões. Outra oportunidade de melhoria é ter um bom relacionamento com os fabricantes para diminuir o *lead time* de reposição de sobressalentes e na redução nos custos de peças.

Palavras-chave: Mineração. Indicadores de Desempenho. Manutenção. Caminhão Fora de Estrada.

KNÜPPEL, Marcelo P. **Comparative analysis among off-highway trucks in mining**: through performance indicator. 2019. 78 f. Graduation course work to achieve Bachelor of Mechanical Engineering - Federal Technology University of Paraná. Guarapuava, 2019.

ABSTRACT

In the open pit mining exploration, the ore transport operation inside de mine it is considered one of the most important activities on the process, being responsible for a large part of the total costs of mining. With this, this work demonstrates a comparison study between two off-road trucks with diesel-electric and mechanical traction system through their maintenance and operation performance indicators, helping to make decisions in the most efficient equipment for the company. The trucks are compared in the same range of operational life and operating conditions, and are located in a mine in Minas Gerais. The data used for the construction of the indicators are obtained through the truck monitoring system, the maintenance records and the manufacturers' specialists. The comparison of the indicators shows a similar tendency in the behavior in the graphical curves, indicating that the trucks were compared under the same operating conditions. The trucks from Fleet A presented a low cost per ton produced, high productivity, greater mechanical efficiency of the components and are more agile in their operation, these trucks showed to be the most aligned with the company strategy. The Fleet B showed to be less effective mechanically and appeared to be a little bit more complicated to be operated, but it has a lower cost of parts for maintenance. The work showed that there is an opportunity improve to the performance of Fleet A, with conducting training to contribute with the experience or reviewing current procedures adopted by the maintenance area, for a reduction of the times of maintenance of the trucks. Another opportunity of improvement it is to have a good relationship with the manufacturers, to reduce the lead time of replacement of spare parts and in the reduction in the cost of pieces.

Keywords: Mining. Performance Indicator. Maintenance. Off-highway truck.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Caminhão fora de estrada	13
Figura 2 - Medidas caminhão fora de estrada	14
Figura 3 - Trem de força diesel-elétrico	15
Figura 4 - Esquema de retardo dinâmico.....	16
Figura 5 - Trem de força mecânico	17
Figura 6 - Conversor de torque.....	18
Figura 7 - Ciclo de operação de carga e transporte	25
Figura 8 - Procedimento de manobra	28
Figura 9 - Básculas das frotas.....	38
Figura 10 - Exemplo relatório de manutenção Frota A.....	40
Figura 11 - Exemplo relatório de manutenção Frota B	40
Figura 12 - Dados de operação.....	43
Figura 13 - Relatório consumo específico.....	44
Figura 14 - Disponibilidade física	47
Figura 15 - Disponibilidade física detalhada.....	47
Figura 16 - Tempo médio entre falhas	49
Figura 17 - Tempo médio para reparo	51
Figura 18 - Tempo médio entre serviços.....	52
Figura 19 - Tempo médio para serviços	54
Figura 20 - Custo de manutenção	55
Figura 21 - Custo de manutenção detalhado	56
Figura 22 - Carga média	58
Figura 23 - Tempo de manobra	59
Figura 24 - Tempo de basculamento	61
Figura 25 - Velocidade média cheio.....	62
Figura 26 - Velocidade média vazio.....	63
Figura 27 - Velocidade média	65
Figura 28 - Produtividade média	66
Figura 29 - Consumo de combustível.....	67
Figura 30 - Custo operação.....	69
Figura 31 - Custo operação detalhada	69
Figura 32 - Acumulado dos indicadores de manutenção.....	71
Figura 33 - Acumulado dos indicadores de operação	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dados indicadores de manutenção Frota A	41
Quadro 2 - Dados indicadores de manutenção Frota B.....	41
Quadro 3 - Dados LCC Frota B	42
Quadro 4 - Dados de operação	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Indicadores de manutenção	20
Tabela 2 - Especificação técnica.....	38
Tabela 3 - Indicadores de desempenho utilizados	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPEX	Despesas de Capital (do inglês - <i>Capital Expenditure</i>)
DF	Disponibilidade Física (do inglês – <i>Physical Availability</i>)
DMT	Distância Média de Transporte
LCC	Ciclo do Custo de Vida (do inglês – <i>Life Cycle Cost</i>)
KPI	Indicador Chave de Performance (do inglês – <i>Key Performance Indicators</i>)
MTTR	Tempo Médio Para Reparo (do inglês – <i>Mean Time to Repair</i>)
MTBF	Tempo Médio Entre Falhas (do inglês – <i>Mean Time Between Failures</i>)
MTTS	Tempo Médio para Serviços (do inglês - <i>Mean Time To Service</i>)
MTBS	Tempo Médio Entre Serviços (do inglês - <i>Mean Time Between Service</i>)
OPEX	Despesas Operacionais (do inglês – <i>Operational Expenditure</i>)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	OPORTUNIDADE DE PESQUISA.....	10
1.2	JUSTIFICATIVA.....	11
1.3	OBJETIVOS	11
1.3.1	Objetivo Geral	12
1.3.2	Objetivos Específicos	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1	CAMINHÃO FORA DE ESTRADA	13
2.1.1	Caminhão Diesel-elétrico	15
2.1.2	Caminhão Mecânico.....	16
2.2	INDICADORES DE DESEMPENHO	19
2.2.1	Indicadores de Manutenção.....	19
2.2.1.1	Cálculo dos indicadores de manutenção	20
2.2.2	Indicadores de Operação	25
2.2.2.1	Cálculo dos indicadores de operação	26
2.3	SISTEMA DE DESPACHO	32
2.4	SISTEMA SAP.....	33
3	ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	35
4	DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	37
4.1	ESCOLHA DA FROTA	37
4.2	ESCOLHA DOS INDICADORES DE DESEMPENHO	39
4.3	LEVANTAMENTO DOS DADOS	39
4.3.1	Indicadores de Manutenção.....	40
4.3.2	Custo de Manutenção	42
4.3.3	Indicadores de Operação	43
4.3.4	Custo de Operação.....	45
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
5.1	INDICADORES DE MANUTENÇÃO	47
5.2	INDICADORES DE OPERAÇÃO.....	58
6	CONCLUSÃO	72
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
	APÊNDICE A - ROTEIRO DE PESQUISA DOCUMENTAL	78

1 INTRODUÇÃO

A mineração é uma das mais importantes atividades na contribuição para o desenvolvimento e conservação do padrão de vida mundial, pois é dela que se extrai diversos tipos de matéria prima para as indústrias e comércios do mundo. No Brasil a mineração é uma das protagonistas no apoio financeiro e econômico do país, devido a vasta variedade de minerais que se pode encontrar no território brasileiro.

O propósito da atividade de mineração é localizar onde se tem minério, transportar o minério da jazida mineral por meio das operações de lavra a céu aberto (ou subterrânea) até diferentes pontos de descarga distribuídos na mina, para então ser beneficiado em condições de ser utilizado pelas indústrias (Chaves, 2002).

Uma das principais operações na atividade de mineração é o transporte de material dentro da mina. De acordo com Barbosa (2010), esta operação possui um valor considerável no processo chegando a ser responsável por aproximadamente 40% do custo total da produção do minério. Os caminhões são responsáveis por fornecer continuamente a usina o minério que ela precisa, com um baixo custo por tonelada produzida (Nunes, 2011).

O mercado internacional de minério de ferro recente é caracterizado pelo ganho de participação de mercado pelas quatro maiores produtoras de minério de ferro e pelo esforço contínuo de diminuição de custo de produção (Price, 2014). Com isso, a escolha de um equipamento de transporte mais eficiente a ser utilizado no processo de transporte deve ser realizada de forma cautelosa.

Durante o processo de renovação de frota ou durante a expansão, não se deve levar em consideração apenas o custo de aquisição do equipamento, pois segundo Yoshitake (1995), os gastos financeiros para manter o equipamento em operação superam os custos iniciais de aquisição com o passar dos anos de utilização até atingir o fim da sua vida útil.

Analisar o comportamento dos indicadores de desempenho das frotas de caminhões ajuda as áreas responsáveis pela manutenção e operação a tomar decisões que auxiliam na redução dos custos e a ter um equipamento mais produtivo, explorando o seu máximo potencial. Além disso, consultar os indicadores ajuda a verificar se o equipamento entrega o que é prometido pelos fabricantes.

Os indicadores de desempenho são mecanismos de auxílio à gestão inteligente bastante eficaz, que segundo Al Weber (2005), realizar a medição do desempenho é um princípio

fundamental do gerenciamento, porque ela identifica as lacunas de desempenho atual com o planejado ou esperado, mostrando um caminho para seguir, a fim de minimizar esta diferença. Contribuindo, então para uma redução nos custos de operação e produção, tendo uma melhor aproveitamento dos investimentos e a ter um serviço mais competitivo no mercado.

Deste modo, medir parâmetros que possam contribuir para a melhor utilização dos equipamentos é fundamental para o negócio. Os indicadores de desempenho também conhecidos como KPI (do inglês *Key Performance Indicators*), segundo Rizzotto (2017), permitem aos gestores identificar se as metas traçadas estão sendo executadas, a monitorar o desempenho do equipamento, a identificar possíveis pontos de melhorias no processo ou na utilização do equipamento. Os KPI, ajudam também aos gestores terem uma visão mais abrangente das áreas que envolve a operação de transporte.

Com isso, esse trabalho apresenta uma avaliação comparativa entre dois caminhões fora de estrada com a configuração do sistema de tração diferente, um diesel-elétrico e outro mecânico, através da análise de seus principais indicadores de desempenho de manutenção e operação. Assim, apresentam-se dados que auxiliam na tomada de decisão ao setor de engenharia, quando for decidir qual é o equipamento mais vantajoso para a empresa. Além, de auxiliar na gestão da manutenção e operação do equipamento a fim de uma melhor utilização dos caminhões.

O trabalho busca também mostrar quais os pontos que necessitam de melhorias no processo de transporte e apresentar como é o comportamento da curva dos indicadores de desempenho com o passar do tempo de operação dos caminhões.

1.1 OPORTUNIDADE DE PESQUISA

A oportunidade para esta pesquisa se deu durante o estágio curricular obrigatório no curso de Engenharia Mecânica, realizado em uma mineradora brasileira localizada em Minas Gerais. Durante o estágio em um determinado processo de renovação de caminhões fora de estrada, foi necessário realizar um trabalho de comparação entre dois tipos de caminhões que estavam em operação na mina, por meio de seus indicadores de desempenho.

Auxiliando então, na tomada de decisão para a escolha do melhor equipamento para a empresa e ajudar com informações às áreas de manutenção e operação.

Com isso, surgiu a oportunidade de criar um modelo comparativo entre caminhões fora de estrada para informar o desempenho das frotas, coletando material relevante para auxiliar a

gestão da manutenção dos equipamentos novos e/ou existentes, além de identificar melhorias nos procedimentos de operação que poderiam alavancar os índices de produção da empresa.

1.2 JUSTIFICATIVA

A importância da mineração para a economia brasileira é clara, segundo Vale (2019), a extração de minério no país contribui com quase 5% do PIB nacional e é uma importante fonte de renda para muitas famílias brasileiras. Sabe-se também que a mineração é fundamental para o desenvolvimento do país. O Instituto Minere (2019), afirma que a mineração contribui com milhares de empregos diretos e indiretos devido a esta oferecer matéria prima para as indústrias, fazendo da atividade uma das principais fontes de criação de empregos.

O custo para manter toda uma atividade de exploração é muito alto, sendo indispensável ter uma boa gestão para a redução de custos. Para Teixeira (2016), a competitividade e a sobrevivência no mercado estão ligadas a capacidade de redução no custo de produção do minério.

Escolher e utilizar um equipamento de forma eficaz é necessário para ajudar a manter as metas e o desenvolvimento da empresa. Segundo Quevedo (2009), dentre os equipamentos que são utilizados na atividade de mineração os caminhões fora de estrada são os que mais podem impactar na sua produção e um dos equipamentos que mais gera custo de manutenção e operação para a empresa.

Desenvolver um trabalho comparativo entre os indicadores de desempenho dos dois tipos de caminhão fora de estrada auxilia não somente os engenheiros na escolha de um novo equipamento que atenda às necessidades da empresa, mas também aos gestores e engenheiros que atuam nas áreas de operação e manutenção da organização. Por meio de uma consulta aos indicadores é possível ver atividades no processo que precisam de mais atenção, ajudando assim na melhora do desempenho da organização como um todo.

Além disso, a carência de informações disponíveis na literatura acadêmica no comparativo entre caminhões diesel-elétrico e mecânico, também ajuda a justificar a relevância para a realização desse trabalho, contribuindo como meio em futuras decisões estratégicas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 *OBJETIVO GERAL*

O objetivo desse estudo é realizar uma análise comparativa entre dois diferentes tipos de caminhão fora de estrada utilizados na mineração, por meio dos indicadores de desempenho de manutenção e operação.

1.3.2 *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

Os seguintes objetivos específicos direcionam o presente trabalho a alcançar o objetivo geral:

- Abordar os principais conceitos relacionados ao trabalho proposto;
- Identificar e selecionar os principais indicadores de manutenção e operação para a tomada de decisão;
- Coletar dados que possam validar o estudo proposto;
- Contribuir para o meio acadêmico e industrial, com uma proposta de comparativo entre equipamento de mineração.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados os assuntos mais relevantes para a realização deste trabalho.

2.1 CAMINHÃO FORA DE ESTRADA

Os caminhões fora de estrada ou *off-highway trucks* do inglês, são equipamentos amplamente utilizados para a movimentação de grandes quantidades de materiais. É um equipamento aplicado nos serviços pesados de construção e principalmente no transporte de minério de ferro nas minas a céu aberto.

Para Borges (2013), a combinação do caminhão com uma escavadeira ou pá carregadeira perfeita agiliza a operação de transporte de minério até os britadores distribuídos pela mina, otimizando a produtividade e principalmente minimizando os custos de produção.

Segundo o Ricardo e Catalani (2007) os caminhões fora de estrada são equipamentos famosos pela sua grande capacidade, força e tamanho que fogem do comum, não sendo possível a sua utilização nas rodovias ou em ruas de nosso cotidiano, e que possuem características mecânicas de fabricação especiais para o trabalho pesado.

A sua configuração é formada basicamente por um chassi, pelo trem de força, por sistemas de suspensão, de freio, hidráulico e caçamba. Na Figura 1, tem-se a imagem de um caminhão fora de estrada.

Figura 1 - Caminhão fora de estrada



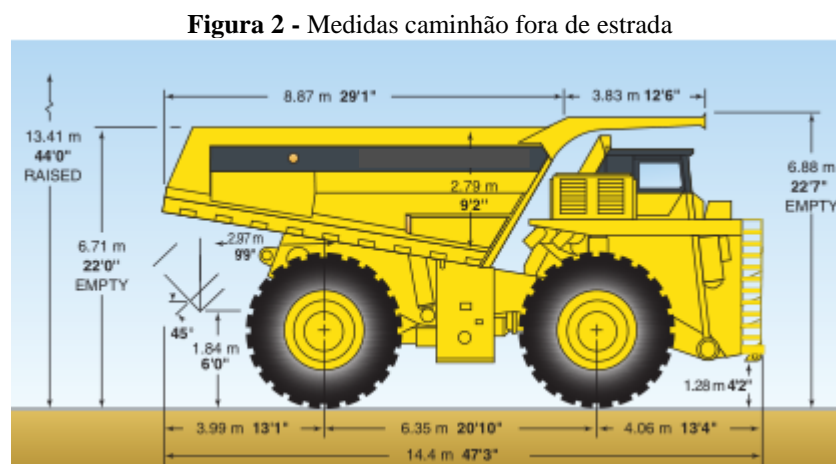
Fonte - Catálogo Caterpillar (2012)

Segundo Lopes (2010), os caminhões acompanharam o porte das escavadeiras, mas por falta de tecnologia foram barrados pelo tamanho dos pneus, mas nas últimas décadas a

tecnologia de fabricação dos pneus avançou conduzindo um crescimento no tamanho dos caminhões fora de estrada para as capacidades atuais de produção.

Pode-se encontrar no mercado diferentes fabricantes de caminhão fora de estrada, com modelos com capacidade de carregamento que vão de 20 toneladas a patamares maiores que 450 toneladas, com diferentes modelos de pneus e básculas para adequar as necessidades da atividade. O sistema de tração dos caminhões pode ser de forma mecânica ou diesel-elétrica.

Na Figura 2 é mostrado algumas medidas de um modelo de caminhão, mostrando toda a sua robustez.



Fonte - Catálogo Komatsu (2012)

De acordo com Jaworski (1997), mesmo com a elevada carga com que os caminhões transportam eles podem atingir velocidades de 60km/h, possuindo freios potentes acionados por ar comprimido.

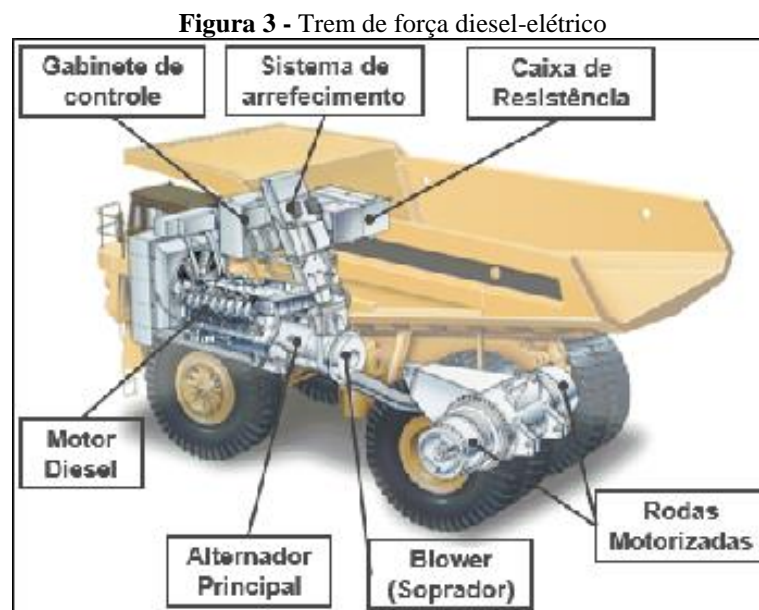
Jaworski (1997) cita também, que os caminhões de transporte de minério possuem caçambas muito bem reforçadas, normalmente com fundo em “V”, feito para baixar o centro de gravidade e reduzir o impacto no momento do carregamento.

De acordo com Operation (2019), é chamado de trem de força o conjunto de componentes que são responsáveis pela geração e transmissão de força até o solo para que o equipamento seja colocado em movimento. Haim (2011), classifica como trem de força os elementos de transmissão de potência desde o virabrequim do motor até os freios das rodas.

A seguir será apresentado o funcionamento do trem de força que estão presentes nos caminhões estudados no trabalho.

2.1.1 CAMINHÃO DIESEL-ELÉTRICO

Os caminhões de tração diesel-elétrico são equipamentos que possuem um sistema de trem de força formados pelos seguintes componentes: motor diesel, alternador, soprador, gabinete de controle, sistema de arrefecimento, caixa de resistências, cabos elétricos e as rodas motorizadas. Abaixo na Figura 3, tem-se como é disposto o trem de força.



Fonte - Autoria própria (2019)

No manual de oficina Komatsu (2006), é mostrado como é o funcionamento do sistema de tração destes caminhões durante a propulsão. O manual mostra que o motor diesel, em funcionamento, aciona um alternador que está em linha com a rotação do motor, que por sua vez produz uma corrente alternada (CA) que é transmitida para dentro do gabinete principal.

Dentro do gabinete principal a energia gerada é retificada para corrente contínua (CC) que volta a ser convertida para CA através dos inversores, após estas conversões o gabinete fornece a energia elétrica gerada controlada para os dois motores das rodas traseiras fixados à carcaça do eixo.

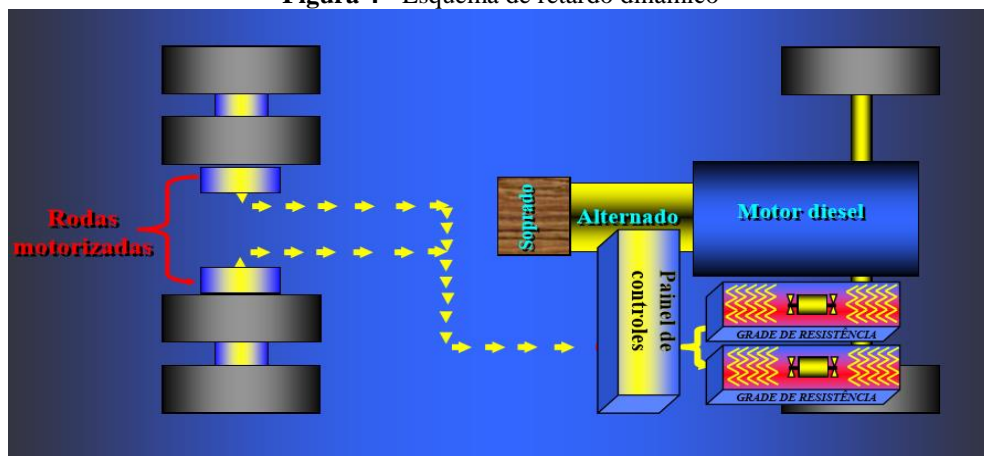
Na saída do alternador é acoplado em linha um conjunto de ventiladores duplos (soprador), este soprador é responsável por proporcionar ar de arrefecimento para os motores das rodas, para o sistema de controle e caixa de resistores. O sistema de freio destes caminhões é atuado de forma inteiramente hidráulica, onde pressionando o pedal de freio é acionado um único disco de freio em cada uma das rodas dianteiras reduzindo a velocidade, e nos freios traseiros são acionados dois discos de velocidade de armadura.

Os caminhões diesel-elétricos são equipados também com um sistema de retardo dinâmico, que segundo Komatsu (2006), é responsável por desacelerar o caminhão em circunstâncias normais de operação ou para o controle de velocidade em descidas. Quando o operador retira o pé do acelerador os motores elétricos das rodas são girados através da inércia das rodas, fazendo os motores virarem geradores elétricos.

A energia gerada e transferida para o painel de controle que vai acumular a energia gerada nos capacitores, o excedente dessa energia acumulada vai para o gerador fazendo-o virar um motor elétrico, sendo eletronicamente cortado o diesel do motor, que passa a ser girado pelo gerador, que por fim vai fazer o funcionamento dos sistemas auxiliares.

Toda a energia excedente que não deu para acumular e girar o motor diesel é enviado para a caixa de resistência para fazer a sua dissipação em forma de calor. Na Figura 4 é possível visualizar o esquema de retardo.

Figura 4 - Esquema de retardo dinâmico



Fonte - Autoria própria (2019)

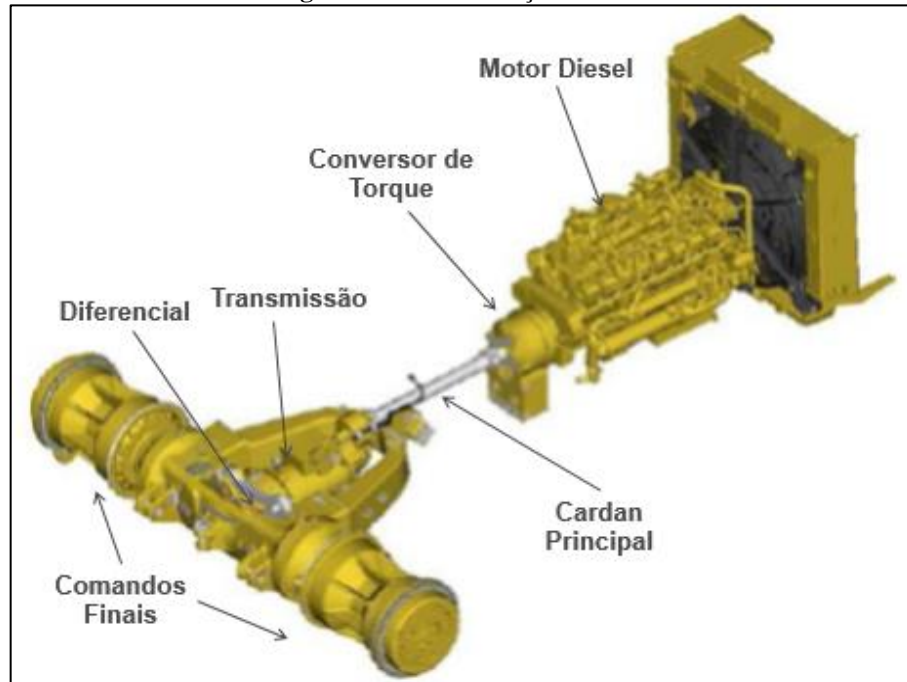
No estudo é esperado que os caminhões diesel-elétrico tenham um consumo de combustível menor que os caminhões de tração inteiramente mecânica, devido a melhor eficiência prometida pelo fabricante do modelo.

2.1.2 CAMINHÃO MECÂNICO

O trem de força dos caminhões de tração mecânica é formado basicamente pelos seguintes componentes: motor diesel, conversor de torque, eixo cardan, engrenagens de transferências, diferencial, e os comandos finais, como pode ser visto na Figura 5 abaixo.

O princípio de funcionamento do trem de força dos caminhões mecânicos se da seguinte forma, um motor diesel em funcionamento gira um conversor de torque que está em linha com a saída do motor diesel.

Figura 5 - Trem de força mecânico



Fonte - Autoria própria (2019)

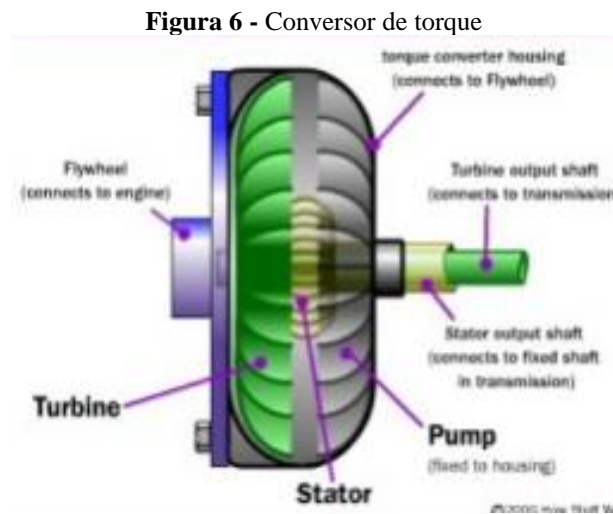
O conversor de torque de acordo com a Sotreq (2004), é um acoplamento hidráulico que realiza a transmissão de potência do motor para a transmissão sem haver contato mecânico.

O conversor é formado por um impulsor que está ligado ao volante do motor, que ao realizar o movimento de rotação impulsiona o fluido, contido dentro do conversor, com uma energia muito alta contra as pás da turbina que está acoplada ao eixo de saída, fazendo a turbina girar e transmitindo a potência para o eixo cardan. Entre o impulsor e a turbina existe um estator que é responsável por redirecionar o fluido em sentido favorável ao impulsor, multiplicando sua capacidade de torque.

Conforme Sotreq (2004), o aumento de torque só é perceptível quando se há uma solicitação de carga, quando essa solicitação deixa de existir o impulsor e a turbina passam a ter a mesma rotação, devido uma embreagem existente no conjunto.

Em Caterpillar (2006), é descrito que em velocidades baixas, (menores que 8 Km/h), o conversor de torque está em funcionamento fazendo a multiplicação do torque e também nas mudanças de marchas fazendo-as de forma mais suave, com o aumento da velocidade uma embreagem é acionada fornecendo mais potências as rodas.

A disposição dos componentes do conversor de torque pode ser vista na Figura 6.



A potência que está no eixo de saída do conversor é acoplada ao eixo cardan que é responsável por transmitir essa potência gerada para transmissão. De acordo com a Caterpillar (2012), é utilizada uma transmissão *power shift* planetária com seis velocidades com controle eletrônico de embreagem responsável por realizar o controle da potência de acordo com a demanda.

A saída da transmissão está ligada ao diferencial do caminhão, que conforme Caterpillar (2006), é responsável por dividir a potência gerada para o eixo direito e esquerdo que estão conectados aos comandos finais e realizam o ajuste de velocidades do veículo quando realiza uma curva.

Os comandos finais são responsáveis por receber esta potência oriunda do diferencial e transmiti-la até as rodas traseiras do caminhão, fazendo-o deslocar. Segundo Caterpillar (2012), os comandos finais possuem um pacote de engrenagens de redução dupla que proporcionam a multiplicação do alto torque para reduzir ainda mais a tensão do trem de força.

O sistema de freio de serviço que está acoplado às quatro rodas destes caminhões é formado, de acordo com Caterpillar (2012), por discos e placas com ranhuras que estão espaçadas entre si e são comprimidos um contra o outro por pistões acionados por ar comprimido, fazendo o caminhão frear. Os discos e placas são banhados a óleo continuamente para realizar o arrefecimento do conjunto.

2.2 INDICADORES DE DESEMPENHO

Os indicadores de desempenhos também chamados de KPI's, de acordo com Branco Filho (2006), por definição são aqueles que indicam, são dados estatísticos relativos a uma situação, dados numéricos estabelecidos sobre algum processo que se deseja controlar. Ou seja, é um dado quantitativo que mostra como se encontra o desempenho de um determinado setor ou equipamento.

Para Ribeiro (2017), medir o desempenho é fundamental para se determinar um ponto de chegada, estabelecer parâmetros, compartilhar e entender expectativas, determinar e mobilizar recursos, corrigir rumos, reforçar ações, reconhecer e recompensar resultados, empenho, dedicação e comprometimento.

De acordo com Takashina e Flores (1996), os indicadores de desempenho devem estar voltados para os resultados do negócio de modo a orientar as ações do processo no sentido de entregar sempre o melhor para o cliente ou usuário.

Atualmente, com a grande oferta entre as grandes marcas de caminhões fora de estrada, acompanhar como se comporta a curva dos indicadores de desempenho dos equipamentos durante a utilização do equipamento se torna um ótimo aliado para o setor da engenharia e áreas da manutenção e operação na busca por uma boa performance dos equipamentos.

A escolha de quais indicadores devem ser utilizados, parte do planejamento estratégico da empresa. Para a realização do presente estudo, foram divididos os indicadores de desempenho em: indicadores de desempenho de manutenção e indicadores de desempenho de operação, que serão detalhados logo em seguida nos próximos tópicos.

2.2.1 INDICADORES DE MANUTENÇÃO

O setor da manutenção em uma empresa é de grande importância para o bom desempenho da mesma, pois é função dela manter o bom funcionamento dos equipamentos. A missão da manutenção, segundo Kardec e Nascif (2009) é assegurar a confiabilidade e a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de forma que atenda um processo de produção ou de serviço, com segurança, preservação do meio ambiente e custo adequados.

Branco Filho (2006) define indicadores de manutenção como dados relativos aos processos de manutenção que se deseja controlar, usados para comparação com situações anteriores, afim de medir o desempenho contra os padrões estabelecidos. Para auxiliar o setor

de manutenção na busca de um bom desempenho de um equipamento, ou mesmo para medir o nível de eficiência das operações do setor, verificando se a mão de obra está sendo bem aproveitada e se o atendimento da manutenção está dentro do planejado.

Assim, com as informações dos indicadores é possível tomar decisões estratégicas.

Conforme Branco Filho (2006), deve-se apontar quais indicadores ou quais parâmetros devem ser controlados e medidos para verificar se a manutenção se encontra na direção correta com os princípios da empresa ou setor. Na literatura pode ser encontrado diferentes indicadores de manutenção utilizados pelas empresas para medir o trabalho e a evolução do setor ou equipamento.

Menezes e Almeida (2002), destacam os indicadores descritos na Tabela 1 para a avaliação do nível de performance em relação a manutenção dos equipamentos.

Tabela 1 - Indicadores de manutenção

ITEM DE CONTROLE	DESCRIÇÃO	FONTE
Número de ocorrências	Quantidade de correções corretivas no mês por classe de equipamentos.	Sistema de paradas
Horas de parada	Número de horas paradas devido as manutenções corretivas, por classe de equipamentos.	Sistema de paradas
Tempo médio entre falhas – MTBF	Relação entre o tempo de operação e o número de falhas dos equipamentos.	Sistema de paradas
Tempo médio para reparo – MTTR	Relação entre o tempo de reparo e o número de falhas no equipamento.	Sistema de paradas
Disponibilidade física – DF	Percentual de tempo em que o circuito esteve disponível para operação.	Sistema de paradas
Rendimento operacional – RO	Relação entre o total de horas efetivamente trabalhadas pelo circuito e o total de horas calendário.	Sistema de paradas
Vida útil de subconjunto e componentes	Horas trabalhadas do material aplicado.	Sistema de manutenção

Fonte – Adaptado de Menezes e Almeida (2002)

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), no que se refere aos indicadores de disponibilidade e paradas dos equipamentos, estabelecer metas para a equipe de manutenção motivam as equipes de trabalho no sentido de alcançar grandes resultados.

2.2.1.1 CÁLCULO DOS INDICADORES DE MANUTENÇÃO

MTTR - O MTTR (*Mean Time To Repair*) como é conhecido no inglês, e o TMRP (Tempo Médio para Reparo) como é conhecido em português, é uma medida que mostra o

tempo médio para reparar um determinado equipamento, frota ou o que estiver analisando. De acordo com Santos (2018), o indicador mostra o tempo gasto em média que os funcionários levam para colocar o equipamento novamente em funcionamento. Para este indicador, o aconselhado é manter o tempo o mais baixo possível.

O indicador tem por finalidade apontar a esperança matemática do tempo de reestabelecimento do equipamento desde a falha até o equipamento ser aceito como em condições de operação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994).

O tempo médio para reparos é um dos indicadores que afetam a disponibilidade física do equipamento, que se faz sentido somente quando se busca uma melhoria na manutenção, verificando seus pontos de deficiências. Para então, ser possível treinar as pessoas, adquirir ferramentas, sobressalentes e outros itens para se ter um tempo de reparo menor (Branco Filho, 2006).

O indicador de tempo médio de reparo é dado em hora (h) e calculado por Lafraia (2001), através da formula abaixo:

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n HMNP}{N^{\circ} Falhas} \quad (1)$$

Onde:

- HMNP ou Horas de manutenção Não Programadas é a somatória das horas de manutenção corretivas que o equipamento necessitou ser submetido;
- N° Falhas é a quantidade de paradas não programadas para manutenção do equipamento.

MTBF - O MTBF (*Mean Time Between Failures*) como é conhecido em inglês ou TMEF (Tempo Médio Entre Falhas) como é conhecido em português, é um indicador que mostra o qual é o tempo médio entre o fim de uma falha e o início de outra. O tempo médio entre falhas reflete a frequência de intervenções no equipamento durante determinado tempo específico (Martins, 2012).

Conforme Branco Filho (2006), o indicador tem por finalidade medir o tempo médio de funcionamento de um equipamento entre uma manutenção corretiva e outra manutenção corretiva no mesmo equipamento. O aconselhável para este indicador é manter o número de horas o mais alto possível, indicando que o equipamento possui uma boa eficiência mecânica, devido à grande quantidade de horas entre as manutenções realizadas.

O indicador de tempo médio entre falhas é dado em hora (h) e calculado segundo Lafraia (2001), através da formula abaixo:

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n HT}{N^{\circ} Falhas} \quad (2)$$

Onde:

- HT ou Horas Trabalhadas é a somatória das horas trabalhadas do equipamento;
- N° Falhas é a quantidade de paradas não programadas para manutenção corretivas do equipamento.

Disponibilidade física - A Disponibilidade física ou DF, segundo Kardec e Nascif (2009), é a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado. O indicador de disponibilidade física é o valor da probabilidade de o equipamento estar em condições de operação quando necessário.

Fogliatto e Ribeiro (2009), definem disponibilidade como a capacidade de um equipamento, mediante manutenção apropriada, desempenhar sua função requerida em um período de tempo predeterminado

O indicador de disponibilidade física segundo Branco Filho (2006), mostra quanto o equipamento está disponível para o emprego de sua função, dentro do que foi planejado para estar disponível, levando em consideração o tempo que ele esteve parado para a manutenção. Para o indicador procura-se manter o percentual de disponibilidade o mais elevado possível.

O cálculo utilizado para encontrar a disponibilidade física dos equipamentos é dado por Menezes e Almeida (2002), de acordo com a formula a baixo, levando em conta todas as intervenções, corretivas e preventivas.

$$DF = \frac{HC - HT}{HC} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

- HC ou Horas Calendário é o total de horas do período considerado;
- HM ou Horas de Manutenção é a somatória de horas de manutenção do equipamento no período considerado.

Custo de manutenção - O custo de manutenção é responsável por indicar o gasto com as manutenções do equipamento, o indicador é calculado através da soma de todos os gastos

que a manutenção teve com o equipamento em um determinado período de tempo ou para a vida útil do equipamento.

É importante saber distinguir os custos de manutenção com os custos de aquisição do equipamento. O custo de manutenção é o custo necessário para manter o equipamento em funcionamento através de peças de reposições, materiais de consumo, energia, mão de obra e outros recursos, representando uma grande parte do total para a produção da organização (Xenos, 2004).

Segundo Branco Filho (2006), o custo de manutenção com sobressalentes indica a totalidade das despesas em aquisição de sobressalentes utilizados nas tarefas de manutenção corretivas e preventivas.

Uma importante ferramenta que ajuda a montar o indicador de custo de manutenção é o LCC (*Life Cycle Cost*) - Custo do Ciclo de Vida, que é uma ferramenta que expõe todos os gastos durante o ciclo de vida do equipamento através de gráficos. Conforme Menezes e Almeida (2002), a sua utilização apresenta melhores resultados nas fases iniciais, apesar de poder ser empregada em qualquer estágio do ciclo de vida.

Segundo Menezes e Almeida (2002), o LCC proporciona uma análise de alternativas e tomada de decisão que leva em conta os gastos de aquisição do equipamento, os custos de operação com o equipamento durante sua vida útil, custo com o destino final e também a perda de receita decorrentes da produção comprometida em função de falhas com o equipamento.

A utilização da metodologia do custo do ciclo de vida é bastante utilizada no apoio de decisões em relação aos equipamentos para o setor da mineração. Segundo Kumar e Nanda (2003) apud Vieira e Souza (2016), os objetivos do LCC são:

- Permitir que as alternativas de investimento sejam analisadas de forma mais eficiente;
- Considerar o impacto de todos os custos do equipamento;
- Ajudar na escolha entre equipamentos concorrentes.

MTTS - O MTTS (*Mean Time To Service*) como é conhecido em inglês ou o TMPS (Tempo Médio Para Serviço), é o tempo médio gasto para executar qualquer serviço no equipamento sendo corretiva, preventiva e outros serviços. Neste tipo de indicador quanto menor for o tempo para a execução do serviço ou da parada, melhor é o desempenho do equipamento.

Segundo Kardec e Nascif (2009), este indicador é importante para a manutenção, sendo dependente da facilidade de o equipamento ser mantido e da capacidade de quem faz as

intervenções nos equipamentos. O indicador é calculado através da divisão da somatória de todas as horas de manutenção sofrida pelo equipamento, pelo número de serviços executados no período, sendo expresso em hora (h), dado por:

$$MTTS = \frac{\sum_{i=1}^n HMNP + HMPR + HMPV}{N^{\circ} \text{ Serviços}} \quad (4)$$

Onde:

- HMNP ou Horas de Manutenção Não Programadas é a somatória das horas de manutenção corretiva que o equipamento necessitou ser submetido;
- HMPR ou Horas de Manutenção Programadas é a somatória das horas de manutenção corretiva programadas que o equipamento necessitou ser submetido;
- HMPV ou Horas de Manutenção Preventivas é a somatória das horas de manutenção preventiva que o equipamento necessitou ser submetido;
- N° Serviços é a quantidade de serviços executados no equipamento.

MTBS – O MTBS (*Mean Time Between Service*) como é conhecido em inglês ou o TMES (Tempo Médio Entre Serviço), é responsável por indicar o tempo médio gasto entre o final de qualquer serviço ou parada do equipamento e o início de outro no equipamento. De acordo com Suehiro (1992), o MTBS é uma aplicação semelhante ao MTBF, mas neste caso o número de paradas é superior, devido o maior número de serviços realizados.

Para esse indicador o ideal é se ter números alto, ou seja, quanto maior é o tempo entre os serviços melhor é o desempenho do caminhão e da equipe de manutenção. É calculado através da formula a baixo, sendo expresso em hora (h).

$$MTBS = \frac{\sum_{i=1}^n HT}{N^{\circ} \text{ Serviços}} \quad (5)$$

Onde:

- HT ou Horas Trabalhadas é a somatória das horas trabalhadas do equipamento;
- N° Serviços é a quantidade de serviços executados pela manutenção.

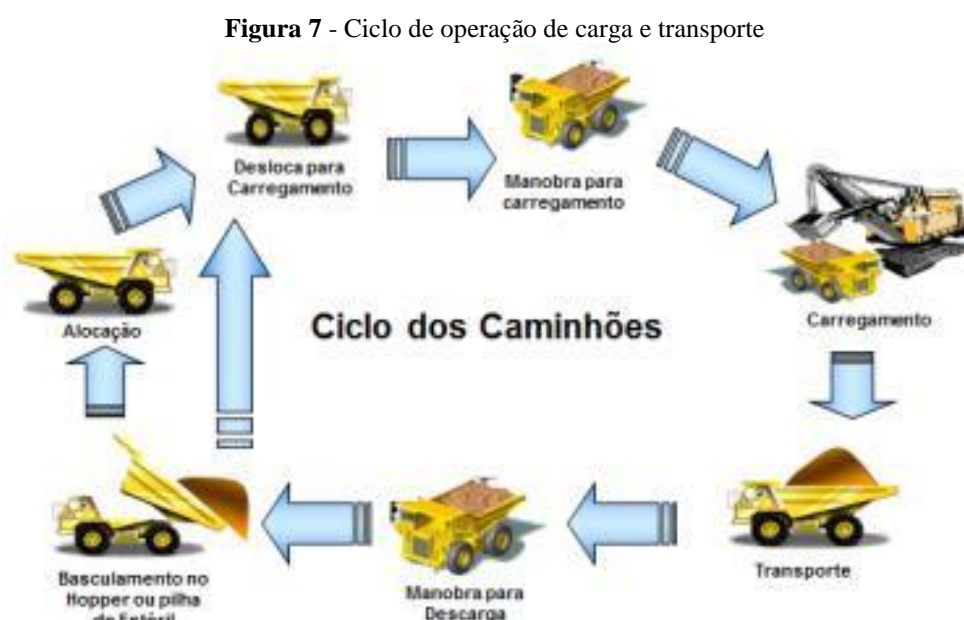
2.2.2 INDICADORES DE OPERAÇÃO

A movimentação de minério de ferro através das minas para que seja beneficiado ou na movimentação de estéril é uma operação fundamental que está presente nas mais diversas minas a céu aberto do mundo. Segundo Borges (2013), na mineração a atividade de transporte de carga é onde as empresas tem os maiores gastos e tem grande influência no desempenho econômico de uma mina.

O transporte de material realizado pelos caminhões fora de estrada não agrega valor nenhum ao produto, por isso a forma que se utiliza os caminhões deve ser o mais eficiente possível.

Conforme Sousa Junior (2012), o ciclo básico de operação normalmente utilizado pelas empresas nas minas de minério de ferro é dividido em quatro operações: primeiro a operação de carregamento do caminhão, depois transporte do material até o britador, descarga do material no britador e retorno do caminhão até o equipamento de carga fechando um ciclo e dando início a outro ciclo.

Na Figura 7, é possível visualizar o ciclo de operações.



Fonte - Adaptado de Coutinho (2017)

Para gerenciar toda a operação de transporte de carga dentro de uma mina, a consulta aos indicadores de desempenho voltados para a operação dos caminhões se torna fundamental para ter um processo mais eficiente. Para Menezes e Almeida (2002), a performance dos

caminhões deve ser acompanhada de perto, tanto no ponto de vista do desempenho dos equipamentos quanto na aplicação dos recursos humanos e materiais.

Segundo Felsch (2014), além do planejamento operacional, a execução operacional deve ser feita de forma bem controlada, uma vez que os equipamentos de transporte são considerados produtivos quando estão carregados, e os equipamentos de carga quando estão em processo de carregamento. Os períodos de filas, ociosidades e paradas não planejadas dos equipamentos são os principais fatores para a perda de produtividade.

Um dos fatores que influenciam na produtividade dos caminhões são os tempos no ciclo de transporte do material, sendo definido como a somatória do tempo gasto pelo equipamento para executar um conjunto de determinadas operações (Borges, 2013). Outro fator é o modo que o operador conduz o equipamento, segundo Ricardo e Catalani (2007), é necessário submeter o operador a um período de treinamento, a fim de que ele possa operar o equipamento nos níveis de produção previstos pelo fabricante, sem que haja, um desgaste excessivo dos componentes, diminuição das velocidades e um aumento nos tempos do ciclo.

Os tempos de ciclo de operação podem ser dividido em dois tipos diferentes: tempos fixos e tempos variáveis. Segundo Jaworski (1997), os tempos fixos independem da distância percorrida são tempos geralmente constantes num grande número de ciclo, como os tempos de carga, de descarga e de manobras. Já nos tempos variáveis é necessário para que um equipamento se locomova do local de carregamento, até o local onde efetua a descarga e retorne ao local de carregamento.

Para a realização deste trabalho foram analisados os seguintes indicadores para o comparativo: carga média, tempo de manobra, tempo de basculamento, consumo de combustível, as velocidades de transporte, a produtividade e o custo de operação. A observação destes indicadores é importante para saber se os equipamentos entregam o resultado esperado de acordo com que os fabricantes e é possível verificar se os equipamentos estão trabalhando sobre esforços prejudiciais para a mecânica do mesmo.

2.2.2.1 *CÁLCULO DOS INDICADORES DE OPERAÇÃO*

Carga média - O indicador de carga média é utilizado para acompanhar qual é o peso médio, em toneladas, transportado pelos caminhões num determinado período de tempo, auxiliando os gestores na verificação do nível de eficiência de carregamento para com a utilização da capacidade de transporte ou carga útil do equipamento.

Teixeira (2016), define carga média como o conjunto de valores da quantidade de massa, medido em toneladas, que o equipamento transporta por cada viagem que ele realiza. Segundo Abreu (2017), o intuito de analisar o indicador de carga média dos caminhões fora de estrada é verificar se os equipamentos estão sendo utilizados de forma adequada, em termos de capacidade de transporte.

Segundo Rocha e Chaves (2015), carga útil é definido como a massa de material que o equipamento pode carregar ou transportar, não podendo ultrapassar 80% da carga necessária para desestabilizar ou pôr em risco a operação.

De acordo com a Caterpillar (2012), realizar o gerenciamento da carga que é transportada nos caminhões permite que os responsáveis melhorem a eficiência da utilização do caminhão e do equipamento de carregamento, assim melhorando os níveis de produtividade, evitando sobrecargas que possam causar danos a vida útil do equipamento, reduzindo ao mesmo tempo os custos de operação e manutenção.

Tempo de manobra - O indicador de tempo de manobra mostra o tempo médio, em minutos, gasto para manobrar o equipamento. O tempo é dado pela média da soma de todos os tempos gasto pelo caminhão fora de estrada, para realizar as manobras durante os vários ciclos de transporte que o mesmo realiza. Como visto anteriormente, os tempos de manobras são caracterizados como tempo fixo, ou seja, normalmente são constantes em um grande número de ciclos, tendo muita influência no tempo total do ciclo.

Para que se tenha uma boa operação de manobra, alguns fatores devem ser considerados, de acordo com Ricardo e Catalani (2007), apesar de alguns tempos serem considerados fixos, estes dependem de fatores como tipo de equipamento, compacidade do solo; rampa favorável, habilidade do operador, entre outros para conseguir tempos baixos.

Alguns fatores operacionais, como por exemplo o tamanho das praças de carga que permita os movimentos dos caminhões e uma restrição no tamanho da boca de alimentação do britador na britagem, podem influenciar o tempo do ciclo de transporte (Abreu, 2017).

Em seu estudo Teixeira (2016), destaca que as praças de carregamento estreitas apresentam maiores dificuldades no encosto dos caminhões e forçam uma operação cautelosa na busca da centralização das cargas, podendo levar a um acréscimo no tempo de carregamento e assim perda na produtividade das frotas.

Por meio da Figura 7, é possível observar que durante um ciclo de transporte de material na mina, há apenas duas operações de manobras, uma manobra para o carregamento e uma manobra para descarregamento do caminhão. Segundo Coutinho (2017), a ação de manobrar

para o carregamento é quando o caminhão deve manobrar de ré até posicionar sua caçamba próxima ao equipamento de carga a fim de que seja feito o despejo do material. Depois de posicionado o caminhão, dá-se início ao carregamento e após isso o caminhão carregado se desloca cheio até o seu destino final. Na Figura 8, temos uma representação do procedimento de manobra para a realização do carregamento do caminhão.

Figura 8 - Procedimento de manobra



Fonte - Adaptado de Teixeira (2017)

A atividade de manobra para descarregamento, segundo Coutinho (2017), se inicia após o caminhão se deslocar ao seu destino, quando então começa a manobra para o posicionamento do caminhão para descarga e basculamento, quando é realizado o despejo e esvaziamento completo de material contido na caçamba, encerrando assim o seu completo ciclo.

Tempo de basculamento - O indicador de tempo de basculamento mostra qual é a média dos tempos, em minutos, que os caminhões levam para descarregar o material por completo da caçamba, ou seja, bascular todo o material transportado no local de destino. Assim como o tempo de manobra, o tempo de basculamento também é considerado tempo fixo, sendo influenciado pelos mesmos quesitos já citados anteriores.

Segundo Abreu (2017), os equipamentos de transporte levam materiais principalmente para as usinas de beneficiamento, pilhas de estéril e estoques de minério. Portanto esse autor comenta que, é relevante em relação ao ciclo de transporte o tempo que os equipamentos demoram para despejar os materiais nos locais designados.

O tempo de basculamento na usina de beneficiamento é alto, devido a bascula do caminhão necessitar ser levantada vagarosamente, para não haver excesso de material no silo do britador, da mesma forma ela desce devagar evitando com que haja fortes choques

mecânicos entre as partes do caminhão. Além de outros cuidados que envolve a operação para que não ocorra nenhum acidente, por se tratar de uma atividade perigosa.

De acordo com Ricardo e Catalani (2007), o tempo gasto por um equipamento para realizar o procedimento de basculamento do material são fornecidos pelos fabricantes através de tabelas em seus catálogos.

Velocidade média - O indicador de velocidade média mostra qual a velocidade praticada pelo equipamento durante um período de tempo, é dado em Km/h. Segundo Coutinho (2017), é a relação entre a distância média percorrida pelo caminhão com o tempo de deslocamento do equipamento, sendo quanto mais rápido a velocidade média maior é o seu deslocamento. O indicador de velocidade média é composto por duas velocidades: velocidade média do equipamento carregado e velocidade média do equipamento vazio.

O indicador de velocidade média carregado ou cheio é a média das velocidades em que o caminhão fora de estrada está transportando material desde o ponto de carregamento até o ponto de descarregamento. Já o indicador de velocidade média vazio é calculado através da média das velocidades que o equipamento se desloca do ponto de basculamento até o ponto de carregamento da carga. De acordo com Jaworski (1997), o retorno vazio ou sem carga do caminhão proporciona um aumento na velocidade da ordem de 30% em relação ao deslocamento com ele cheio.

Para Abreu (2017), a velocidade dos equipamentos de transporte é um indicador que está diretamente relacionado a produtividade, a segurança e a eficiência do equipamento. Para Abreu (2017), na mina a velocidade limite para equipamentos de transporte carregados com minério ou estéril é de 28 km/h e quando estão vazios esta média de velocidade não deve ultrapassar 40 km/h.

Como visto anteriormente, os tempos de transporte do material são considerados como tempos variáveis, sendo de acordo com Ricardo e Catalani (2007), os tempos que mais influenciam no tempo do ciclo e na produtividade. Realizar então, um controle das velocidades de transporte acaba sendo ideal para alcançar metas de produtividade e ter bom desempenho dos caminhões, sem correr riscos de acidentes.

Para que os caminhões tenham uma boa performance de velocidades é necessário tomar alguns cuidados com as condições de pista da mina, são vários os fatores que podem influenciar no desempenho do equipamento. Segundo Ricardo e Catalani (2007), as pistas de transportes devem ter largura suficiente para o tráfego dos equipamentos, ser bem conservada, sem

irregularidades e com uma boa drenagem, ter baixa resistência ao rolamento e afundamento, para que não ocorra uma diminuição da velocidade máxima e um aumento no tempo do ciclo.

Além destes fatores citados a cima, outros como número de curvas fechadas no caminho, grandes trechos de aclive também influenciam diretamente no desempenho do equipamento. Para Ricardo e Catalani (2007), instruir corretamente o operador a utilizar as maiores marchas em cada trecho do trajeto e aplicar medidas para a pista apresentar boas condições, ajudam a minimizarem os tempos com transporte.

Produtividade - O indicador de produtividade expressa a produtividade média realizado por um equipamento em um determinado período de tempo, dado em toneladas por hora. O indicador é uma ferramenta importante para a gestão dos negócios da empresa, tendo o intuito de avaliar o rendimento e a eficiência das atividades da empresa.

Em Vale (2017) tem-se, que a produtividade verifica o quanto um caminhão é capaz de produzir num determinado número de horas. A fórmula utilizada para calcular a produtividade média (ton/h) de um equipamento ou de uma frota é dado por Jaworski (1997), como:

$$PRODUTIVIDADE = \frac{\sum_{i=1}^n MOVIMENTAÇÃO (ton)}{\sum_{i=1}^n HT (h)} \quad (6)$$

Onde:

- HT ou Horas Trabalhadas é a somatória das horas trabalhadas do equipamento num período de tempo;
- MOVIMENTAÇÃO é a quantidade ou volume de material movimentado pelos caminhões num determinado período de tempo em toneladas.

Alguns fatores que podem influenciar na produtividade dos caminhões no transporte de minério nas minas. Para Teixeira (2016), a carga média utilizada nos caminhões impacta diretamente na produtividade, pois quando os caminhões são liberados das frentes de lavra com pouco material sobre as caçambas eles perdem produtividade.

De acordo com Borges (2013), a Distância Média de Transporte (DMT) está diretamente ligado ao tempo de ciclo de transporte dos caminhões e por consequência reflete na produtividade da frota.

Além destes fatores, variáveis como velocidade média de transporte, condições de pista, tempos de manobra, tempos de basculamento e condições climáticas, são fundamentais para alcançar uma boa produtividade média com os equipamentos. Segundo Jaworski (1997), alguns

princípios podem ser tomados para uma melhor produtividade dos caminhões como aproveitar, sempre que possível, a assistência de rampas para aumentar a velocidade dos equipamentos, utilizar velocidades constantes em trechos retos e acelerações e desacelerações bruscas, e quando houver ciclos combinados é ideal operar dentro da condição de sincronismo.

Consumo de combustível - O indicador de consumo médio de combustível é responsável por informar qual o consumo específico de combustível no processo de transporte durante um período de tempo, expresso em litros de diesel por tonelada movimentada. De acordo com o Manual de Indicadores da Vale (2012), o consumo de combustível é utilizado na análise do desempenho do equipamento e é calculado pela fórmula abaixo:

$$CONSUMO = \frac{\sum_{i=1}^n DIESEL (l)}{\sum_{i=1}^n MOVIMENTAÇÃO (ton)} \quad (7)$$

Onde:

- DIESEL é a somatória da quantidade de diesel abastecido no equipamento num período de tempo;
- MOVIMENTAÇÃO é a quantidade ou volume de material movimentado pelos caminhões num determinado período de tempo em toneladas.

Para Campos Junior et al. (2013), realizar trabalhos em prol da diminuição do consumo de combustível dos equipamentos de transporte é fundamental para uma redução no custo total de produção, pois os caminhões fora de estrada são responsáveis por cerca de 70% do total de diesel consumido na operação de lavra.

Ricardo e Catalani (2007), compartilham a mesma ideia, pois devido aos constantes aumentos dos preços dos combustíveis, os custos com diesel acabam sendo os que mais oneram na utilização do equipamento, sendo fundamental ter um controle adequado.

O consumo de combustível pode ser afetado de várias maneiras, a sua redução ou aumento da eficiência depende de fatores como as velocidades de transporte, a carga utilizada, as condições de mina, números e manobras realizada, condições climáticas, distâncias percorridas, entre outras.

Entretanto um dos fatores que mais interfere no consumo de combustível é a forma com que o operador utiliza o caminhão fora de estrada, o indicado pelos fabricantes é que o operador busque uma forma de dirigir mais suave e constante possível, para que mantenha uma média no consumo de diesel.

Custo de operação - O indicador de custo de operação é responsável por mostrar qual a média de custo em dólar por tonelada produzida de minério de ferro, em um determinado período de tempo. Através deste indicador os gestores podem conhecer qual o gasto que está tendo de operação para um determinado equipamento ou numa frota de equipamentos, para realizar a produção.

De acordo com Ricardo e Catalani (2007), os custos de operação são os que ocorrem quando o equipamento é operado para realizar algum trabalho, destacando algumas despesas como: combustíveis, lubrificantes, mão-de-obra, operador, pneus e materiais rodantes.

Complementando, Borges (2013), diz que os custos relativos à operação dos caminhões fora de estrada são uma soma dos custos de manutenção com os custos operacionais, ou seja, despesa utilizada para trabalhar com o equipamento.

Gerenciar os gastos que a empresa realiza para a operação de suas atividades é de grande importância para o bom desempenho da mesma, na atividade de mineração os gastos com o transporte de materiais são os mais expressivos na operação de mina. Segundo Bernardi (2015), a composição de custo das atividades de minas a céu aberto que operam pelo método convencional, quando é utilizado caminhões fora de estrada, os custos totais se dividem da seguinte forma: 32% perfuração e desmonte, 16% carregamento e 52% com o transporte com caminhões.

Então, devido a esses altos gastos com a operação de transporte de mina, a análise dos indicadores de manutenção e aos indicadores de desempenho da operação do equipamento é importante para enxergar os pontos de melhorias no processo e conseguir uma redução dos gastos na produção do minério. Com isso, a lucratividade da empresa será maior, tendo ela uma baixa onerosidade por cada tonelada de minério produzida.

2.3 SISTEMA DE DESPACHO

De acordo com Pinto (2007), as empresas do setor de mineração vêm fazendo cada vez mais investimentos em novas tecnologias, com isso, tem surgido oportunidades para o desenvolvimento de tecnologias que favoreçam o controle das atividades de mineração. O sistema de despacho é uma das tecnologias que tem ajudado as empresas na redução dos custos e no aumento de produtividade.

O despacho é um sistema de gerenciamento de frota para exploração de mina a céu aberto, que permite melhorar a produção e eficiência do processo, aumentando ao mesmo tempo a segurança e o controle das atividades.

Segundo Pinto (2007), a alocação dos caminhões em uma mina a céu aberto pode ser dinâmica ou estática, sendo que, quando estática o caminhão carrega e descarrega no mesmo ponto durante um determinado período de tempo, já quando é dinâmica a carga e descarga do caminhão é definido de acordo com critérios pré-estabelecidos.

A implementação de um sistema de despacho é de grande custo, mas de acordo com Kolonja (1993), na lavra a céu aberto vêm sendo utilizado com mais frequência a alocação dinâmica, despachando os caminhões para onde tenham maiores produtividades.

As grandes empresas do setor de mineração têm utilizado sistemas de roteirização para traçar as rotas para os diversos equipamentos da empresa seguindo alguns critérios referentes ao ritmo de lavra. Segundo Tomi (2017), as empresas têm utilizado os sistemas de despacho nos caminhões de mina para monitorar as tarefas, controlar e investigar a operação dos equipamentos de produção.

Um dos fabricantes do sistema de despacho mais utilizado no mundo, a Modular *Mining*, mostra em seu site que além da otimização do transporte, o sistema também é capaz de gerenciar os serviços de abastecimento, realizar uma supervisão remota, realizar uma análise da carga transportada, retirar relatórios na web em tempo real, entre outras funcionalidades.

Para Costa e Ganga (2010), o sistema de despacho é essencial para redução de custos na roteirização das máquinas em uma mina além de garantir a qualidade do minério e produtividade tornando-se algo estratégico para empresa.

De acordo com Costa e Ganga (2010), o sistema de despacho é capaz de monitorar continuamente as várias atividades dos equipamentos, gravando e armazenando os dados do ciclo de transporte diariamente. Fazendo com que estes dados possam ser utilizados para análises posteriormente, de modo a auxiliar as áreas de engenharia, manutenção, operação, produção e de planejamento.

2.4 SISTEMA SAP

O Sistema SAP é um software voltado para gestão empresarial criado por uma organização alemã em 1970. De acordo com Vieira (2014), a sigla é uma abreviação do inglês

" *Systems Applications and Products in Data Processing*". Em português, o termo significa "Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados".

O software SAP é um tipo de Sistema Integrado de Gestão ou ERP (*Enterprise Resource Planning*) que integra todos os departamentos que abrangem uma empresa, desde o RH até a emissão de nota fiscal. Antes dos sistemas ERP as empresas tinham um sistema diferente para cada setor da empresa, com isso a comunicação entre os setores ficava comprometidas, gerando um maior tempo na execução de tarefas por parte dos setores.

O Sistema SAP pode ser customizado para qualquer tipo de empresa e funciona por meio de módulos, onde cada modulo representa uma área da empresa e os módulos podem se interagir entre eles.

Segundo Cardoso (2001), o Sistema SAP disponibiliza diversos módulos, dentre os principais temos:

- SAP MM - *Material Management* (Gestão de Materiais);
- SAP SD - *Sales and Distribution* (Vendas e Distribuição);
- SAP FI - *Financial Accounting* (Contabilidade Financeira);
- SAP PP - *Production Planning and Control* (Planejamento da Produção);
- SAP CO - *Controlling* (Controladoria);
- SAP QM - *Quality Management* (Administração de Qualidade);
- SAP PM - *Plant Maintenance* (Planejamento da Manutenção).

A utilização desta ferramenta, alinhada à estratégia da empresa em gerenciamento de ativos, permite a integração, padronização e controle confiável dos processos, auxiliando nas tomadas de decisão.

Para realizar toda a gestão da manutenção dos equipamentos de mineração as grandes empresas utilizam o modulo SAP PM, de acordo com um documento de treinamento da Softtek (2011), o modulo PM é onde são planejados, executados e controlados, todos os serviços efetuados durante uma intervenção de manutenção em um equipamento.

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Para a realização deste trabalho foi utilizado uma abordagem quantitativa, considerando que foram utilizadas ferramentas, técnicas estatísticas, gráficos, tabelas e fórmulas matemáticas para alcançar os resultados e realizar as análises comparativas entre o comportamento dos indicadores de desempenho dos equipamentos.

O universo de pesquisa compreende o setor de transporte de uma empresa de tratamento de minério de ferro, localizada no complexo minerador de Itabira em Minas Gerais.

Os materiais foram coletados por meio de uma pesquisa documental, os dados foram colhidos através dos relatórios de índice de manutenção, de movimentação de carga, de consumo de combustível e de produtividade que estão disponíveis no sistema TOP¹, que recebe os dados proveniente do despacho contidos nos caminhões.

Alguns dados foram adquiridos por meio dos registros de manutenção dos caminhões contidos no sistema SAP apontados pelo setor de planejamento e controle de manutenção e através de planilhas de controle de componentes utilizadas pela área da oficina de reforma de componentes de caminhões da empresa, (Apêndice A).

Alguns dados em particular foram adquiridos através dos fabricantes dos caminhões, como os LCC com os gastos teóricos de manutenção dos caminhões. O gasto real com a manutenção dos caminhões de uma das frotas também foi obtido com o fabricante.

Foi utilizado o método de análise de conteúdo para verificar os dados e efetuar um diagnóstico dos indicadores de desempenho no comparativo entre os caminhões, afim de atingir os objetivos do estudo.

Para a realização do trabalho foram encontradas algumas limitações, como o fato de o estudo ser restringido por um período de um ano de utilização dos equipamentos, apesar de o comparativo proposto poder ser utilizado para toda a vida útil do equipamento, devido a uma das frotas ter sido utilizado apenas nesse intervalo. Foi necessário também correlacionar os dados dos caminhões devido eles terem começado a trabalhar em datas diferentes, para deixar todos na mesma base de horas trabalhadas, por isso, os indicadores de manutenção foram analisados a cada mil horas trabalhadas.

¹ TOP é um sistema próprio da empresa de onde se pode retirar diversos relatórios com dados da utilização dos equipamentos coletados pelo sistema de despacho contido nos equipamentos.

O desempenho na operação dos caminhões é fortemente influenciado pela condição de pista da mina como visto anteriormente, para evitar comparar os caminhões rodando em condições diferentes. Os dados foram coletados mensalmente de forma que as duas frotas estivessem operando com as mesmas condições de mina, sendo carregado pelos mesmos equipamentos e descarregados nos mesmos britadores, garantindo assim os mesmos critérios no comparativo.

Devido ao pouco tempo de operação de uma das frotas não foi possível introduzir custos importantes com os caminhões que são os gastos com pneus e com a báscula. Fez-se necessário também suprimir todos os dados que continham valores do trabalho, devido a esses dados serem de uso interno da empresa.

O levantamento bibliográfico baseou-se principalmente em livros encontrados na literatura, juntamente com artigos, dissertações de autores nacionais e internacionais provenientes do meio acadêmico.

Após a coleta e organização dos dados, os indicadores de performance dos equipamentos foram calculados através das fórmulas nas referências e apresentados por meio de gráficos implementados no software Power BI, que de acordo com a Microsoft (2019), é uma solução voltada para a análise de negócios proporcionando realizar a análise informações e o compartilhamento de ideias.

4 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Neste capítulo é apresentado como foi realizado o desenvolvimento do trabalho comparativo entre os modelos de caminhão fora de estrada, através de seus indicadores de desempenho de manutenção e de operação, para o auxílio na tomada de decisão por parte da área da engenharia e dos setores da manutenção e operação dos caminhões.

4.1 ESCOLHA DA FROTA

O ponto de partida para a realização da análise comparativa, se dá primeiramente na escolha das frotas que serão comparadas. A escolha das frotas partiu do princípio da necessidade de comparação entre dois modelos de caminhão fora de estrada que estão em operação na mina e que possuem a sua configuração de funcionamento de forma diferente.

A Frota A é composta por quatro caminhões fora de estrada que iniciaram suas atividades na mina entre o final de julho/2017 e o meio de agosto/2017. Os caminhões da Frota A são equipamentos diesel-elétricos, onde o funcionamento do seu trem de força se dá por um motor de combustão interna diesel que transmite a potência gerada por ele para um alternador, que por sua vez transmite a energia elétrica para o gabinete de controle para então ser distribuída para as rodas motorizadas das rodas traseiras dos equipamentos. A energia gerada também é utilizada para alimentar um soprador que é responsável pelo resfriamento das partes eletrônicas e sistemas de freios dos caminhões.

Já a Frota B é composta por dez caminhões fora de estrada que começaram suas atividades entre janeiro/2013 e julho/2013. Os caminhões da frota possuem o sistema de transmissão convencional, ou seja, de forma mecânica. Tendo o trem de força formado por um motor diesel, que gera uma potência que é transferida para o conversor de torque, que então entrega a potência para o sistema de transmissão do caminhão.

Na saída da transmissão está conectado o diferencial que recebe os torques e velocidades adequadas ao movimento e conduz então essa potência gerada para os comandos finais, fazendo o equipamento se mover.

Os dois modelos de caminhão são equipados com o sistema de despacho, monitorados pela telemetria e preparados para utilização de carga em torno de 240 toneladas, sendo também suas manutenções controladas pelo setor de PCM. Na Tabela 2, tem-se algumas especificações técnicas dos caminhões, proveniente dos fabricantes.

Tabela 2 - Especificação técnica

ESPECIFICAÇÃO	FROTA A	FROTA B
Acionamento	Diesel/Elétrico	Diesel
Potência líquida	2500 HP	2415 HP
Payload nominal	221,6 toneladas métricas	229,0 toneladas métricas
Velocidade máxima carregado	64,0 km/h	54,3 km/h
Tempo de elevação da báscula	21,0 segundos	20,0 segundos
Tempo de abaixamento da báscula	16,0 segundos	19,0 segundos
Tanque de combustível	4542 litros	4922 litros
Consumo de combustível	122 - 170 litros/hora	136 - 181 litros/hora
Comprimento	14,4 m	12,9 m
Altura	6,9 m	6,5 m
Largura	7,3 m	7,7 m

Fonte - Autoria própria (2019)

Os caminhões possuem a sua báscula de formato, estrutura e peso diferentes. Os caminhões da Frota A possuem a sua báscula formada apenas por uma chapa soldadas em cima de longarinas que atravessam de uma lateral para a outra da báscula, com um formato de fundo e rodapé arredondado.

Os caminhões da Frota B são constituídos de uma chapa base e uma chapa de desgaste soldados em cima de longarinas segmentadas na parte de baixo da báscula, o formato do fundo da báscula  quase plana como rodapé em 45°. Na Figura 9, pode ser visto os modelos de básculas das frotas.

Figura 9 - Básculas das frotas



Fonte - Autoria própria (2019)

4.2 ESCOLHA DOS INDICADORES DE DESEMPENHO

Inicialmente, é definido que a análise comparativa dos caminhões foi realizada através dos indicadores de desempenho relacionados a manutenção e a operação dos equipamentos. Foi então, realizado um estudo sobre os principais indicadores que ajudariam na construção do comparativo, alinhando ao pensamento da empresa. Sendo definido pela utilização dos seguintes indicadores mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Indicadores de desempenho utilizados

Indicadores de Manutenção	Indicadores de Operação
Disponibilidade física operacional	Carga média
Tempo médio entre falhas	Tempo de basculamento
Tempo médio para reparo	Tempo de manobra
Tempo médio entre serviços	Velocidade média/cheio e vazio
Tempo médio para serviços	Produtividade média
Custo de Manutenção	Consumo de combustível médio
	Custo de operação

Fonte - Autoria própria (2019)

4.3 LEVANTAMENTO DOS DADOS

Nesta fase é definido qual é o período de tempo que os dados seriam coletados. Devido não ser possível comparar os indicadores de manutenção e operação dos caminhões em mesmas datas, já que cada frota começou a operar em épocas distintas. Foi então necessário compará-los de forma diferente. Para os indicadores de manutenção dos caminhões, os dados são apurados a cada mil horas trabalhados no horímetro, a fim de compararmos os caminhões na mesma faixa de hora de operação, com a mesma idade.

Os indicadores de operação são fortemente influenciados pelas condições da mina, então seus dados foram coletados para os caminhões rodando nas mesmas origens de carregamento e destinos basculamento do ciclo de transporte, de forma mensal. Com isso, foi garantido que os caminhões iriam operar sob mesmas condições da mina, mesmas condições climáticas e mesma distância média de transporte.

Após a coleta dos dados e a realização dos cálculos e construção das tabelas, os indicadores obtidos foram exportados para o software Power BI, para serem gerados os gráficos

de cada um dos indicadores. A seguir será detalhado como foi realizada a obtenção dos indicadores.

4.3.1 INDICADORES DE MANUTENÇÃO

Os indicadores de manutenção de DF, MTBF, MTTR, MTBS e MTTTS são calculados através das fórmulas de cada indicador como visto na revisão bibliográfica, utilizando dados obtidos por meio do relatório de índices de manutenção gerados na plataforma TOP. Devido aos caminhões das frotas completarem cada ciclo de mil horas de horímetro em datas diferentes, foi necessário gerar relatórios para cada período de data que cada caminhão completava o ciclo de mil horas.

Nas Figura 10 e 11 tem-se um dos vários relatórios gerados.

Figura 10 - Exemplo relatório de manutenção Frota A

Índices de Manutenção de Equipamentos				Localidade: Mina Itabira				Produção				Grupo: Caminhão							
				Unidade Operacional: << Varios >>				Turno Inicial: 19/09/2017 00:00:00				Frota: << Varios >>							
				Gerência Manutenção: << Varios >>				Turno Final: 09/11/2017 18:00:00				Porte: << Varios >>							
Grupo	Porte	Frota	Equipamento	MTTR	MTBF	Paradas não prog	MTTS	MTBS	Paradas manut.	Quant. Equip.	DF	UF	RO	HC	HT	HM	HMNP	HMPR	HMPV
Caminhão	GP	Frota A	Caminhão 01	10,53	189,73	5	4,10	31,62	30	1	90,14	84,33	76,01	<u>1.248,0</u>	<u>948,6</u>	<u>123,1</u>	52,7	31,4	39,0
			Caminhão 02	3,64	1.035,93	1	2,54	64,75	16	1	96,75	85,80	83,01	<u>1.248,0</u>	<u>1.035,9</u>	<u>40,6</u>	3,6	6,2	30,8
			Caminhão 03	8,79	327,35	3	2,43	27,28	36	1	93,00	84,61	78,69	<u>1.248,0</u>	<u>982,0</u>	<u>87,3</u>	26,4	15,2	45,7
			Caminhão 04	1,92	205,80	5	2,42	49,00	21	1	95,93	85,95	82,45	<u>1.248,0</u>	<u>1.029,0</u>	<u>50,8</u>	9,6	3,3	37,9
			Frota A	6,59	285,40	14	2,93	38,79	103	4	93,96	85,19	80,04	<u>4.992,0</u>	<u>3.995,6</u>	<u>301,7</u>	92,3	56,1	153,4
	Total GP		6,59	285,40	14	2,93	38,79	103	4	93,96	85,19	80,04	<u>4.992,0</u>	<u>3.995,6</u>	<u>301,7</u>	92,3	56,1	153,4	

Fonte - TOP (2019)

Figura 11 - Exemplo relatório de manutenção Frota B

Índices de Manutenção de Equipamentos				Localidade: Mina Itabira				Produção				Grupo: Caminhão							
				Unidade Operacional: << Varios >>				Turno Inicial: 19/09/2017 00:00:00				Frota: << Varios >>							
				Gerência Manutenção: << Varios >>				Turno Final: 09/11/2017 18:00:00				Porte: << Varios >>							
Grupo	Porte	Frota	Equipamento	MTTR	MTBF	Paradas não prog	MTTS	MTBS	Paradas manut.	Quant. Equip.	DF	UF	RO	HC	HT	HM	HMNP	HMPR	HMPV
Caminhão	GP	Frota B	Caminhão 01	11,01	76,28	10	6,54	21,19	36	1	79,98	81,10	64,87	<u>1.176,0</u>	<u>762,8</u>	<u>235,4</u>	110,1	7,4	117,8
			Caminhão 02	34,53	72,99	9	9,89	18,25	36	1	69,71	80,13	55,86	<u>1.176,0</u>	<u>656,9</u>	<u>356,2</u>	310,7	16,4	29,0
			Caminhão 03	2,83	43,51	17	7,17	19,99	37	1	77,44	81,22	62,89	<u>1.176,0</u>	<u>739,6</u>	<u>265,3</u>	48,1	40,2	177,1
			Caminhão 04	7,01	68,11	11	8,04	22,70	33	1	77,43	82,27	63,70	<u>1.176,0</u>	<u>749,2</u>	<u>265,4</u>	77,1	6,9	142,4
			Caminhão 05	3,94	135,05	6	8,80	36,83	22	1	83,53	82,48	68,90	<u>1.176,0</u>	<u>810,3</u>	<u>193,6</u>	23,6	30,4	139,6
			Caminhão 06	3,89	47,92	17	4,32	20,89	39	1	85,67	80,87	69,28	<u>1.176,0</u>	<u>814,7</u>	<u>168,6</u>	66,2	9,9	92,4
			Caminhão 07	2,64	79,36	11	3,04	22,97	38	1	90,19	82,31	74,24	<u>1.176,0</u>	<u>873,0</u>	<u>115,4</u>	29,1	11,5	74,8
			Caminhão 08	4,72	104,41	7	10,86	28,11	26	1	75,99	81,79	62,15	<u>1.176,0</u>	<u>730,9</u>	<u>282,4</u>	33,0	20,6	228,8
			Caminhão 09	6,35	89,99	8	9,95	23,22	31	1	73,78	82,97	61,21	<u>1.176,0</u>	<u>719,9</u>	<u>308,3</u>	50,8	27,1	224,9
			Caminhão 10	15,02	105,15	7	4,93	12,69	58	1	75,67	82,71	62,59	<u>1.176,0</u>	<u>736,1</u>	<u>286,1</u>	105,1	36,9	144,1
	Frota B	7,34	69,62	120	6,43	19,70	424	11	78,92	81,84	64,59	<u>12.936,0</u>	<u>8.354,7</u>	<u>2.727,1</u>	881,1	223,7	1.572,8		
	Total GP		7,34	69,62	120	6,43	19,70	424	11	78,92	81,84	64,59	<u>12.936,0</u>	<u>8.354,7</u>	<u>2.727,1</u>	881,1	223,7	1.572,8	

Fonte - TOP (2019)

Com os dados de cada um dos caminhões foi então possível realizar os cálculos para frota completa. Com a ajuda do software MS-Excel pode ser construído uma tabela com os dados calculados para o acumulado da frota, para cada um dos indicadores procurados.

No Quadro 1, é apresentado os valores dos indicadores para Frota A com até 7000 horas trabalhadas, que foi quando o caminhão completou um ano de operação. E no Quadro 2, tem-se os dados para a Frota B com até 35000 horas trabalhadas, já que o equipamento possui um maior tempo de utilização.

Quadro 1 - Dados indicadores de manutenção Frota A

DADOS GERAIS FROTA A													
HORAS	HC	HT	HM	HMNP	HMPR	HMPV	Nº R	Nº S	MTTR	MTBF	MTTS	MTBS	DF
0 - 1000	4800,00	3618,30	381,80	112,80	78,10	181,40	24	141	4,70	150,76	2,64	25,66	92,05
1001 - 2000	4776,00	3764,90	308,70	102,80	55,00	151,00	17	89	6,05	221,46	3,47	42,30	93,54
2001 - 3000	4680,00	3611,00	321,50	104,00	66,20	151,30	10	84	10,40	361,10	3,83	42,99	93,13
3001 - 4000	5304,00	3609,40	635,20	335,30	37,70	260,40	21	108	15,97	171,88	5,86	33,42	88,02
4001 - 5000	4920,00	3649,10	417,70	60,90	62,10	294,80	15	115	4,06	243,27	3,63	31,73	91,51
5001 - 6000	4921,00	3699,30	610,00	186,60	112,40	306,80	27	134	6,91	137,01	4,52	27,61	87,60
6001 - 7000	3552,00	2800,20	341,40	101,50	84,40	146,40	19	98	5,34	147,38	3,39	28,57	90,39

Fonte - Autoria própria (2019)

Quadro 2 - Dados indicadores de manutenção Frota B

DADOS GERAIS FROTA B													
HORAS	HC	HT	HM	HMNP	HMPR	HMPV	Nº R	Nº S	MTTR	MTBF	MTTS	MTBS	DF
0 - 1000	13452,00	10791,00	776,00	195,55	171,11	408,70	60	157	3,26	179,85	4,94	68,73	94,23
1001 - 2000	10272,00	8017,00	489,00	157,62	82,22	248,03	34	114	4,64	235,79	4,28	70,32	95,24
2001 - 3000	13872,00	10591,00	738,00	258,85	156,46	320,85	53	167	4,88	199,83	4,41	63,42	94,68
3001 - 4000	8664,00	6646,00	480,00	128,20	156,76	196,30	43	124	2,98	154,56	3,88	53,60	94,46
4001 - 5000	13032,00	10082,00	881,00	295,24	244,81	341,86	75	214	3,94	134,43	4,12	47,11	93,24
5001 - 6000	12432,00	9707,00	929,00	423,29	231,07	274,90	84	179	5,04	115,56	5,19	54,23	92,53
6001 - 7000	10224,00	8161,00	688,00	232,66	227,38	227,65	64	172	3,64	127,52	4,00	47,45	93,27
7001 - 8000	13176,00	10271,00	1188,00	264,00	359,24	564,25	80	209	3,30	128,39	5,68	49,14	90,98
8001 - 9000	11448,00	8807,30	991,20	481,41	215,32	294,55	82	250	5,87	107,41	3,97	35,23	91,34
9001 - 10000	11472,00	8505,90	810,30	399,59	185,91	226,15	93	230	4,30	91,46	3,53	36,98	92,94
10001 - 11000	11424,00	8265,20	1103,50	430,57	493,40	180,05	77	250	5,59	107,34	4,42	33,06	90,34
11001 - 12000	13608,00	9665,30	1059,70	441,87	437,63	180,16	96	324	4,60	100,68	3,27	29,83	92,21
12001 - 13000	12600,00	8783,60	1295,90	435,02	669,33	191,67	119	369	3,66	73,81	3,51	23,80	89,72
13001 - 14000	12648,00	9109,40	1168,60	516,81	454,16	197,37	100	375	5,17	91,09	3,12	24,29	90,76
14001 - 15000	11880,00	8625,00	1187,70	379,60	595,80	212,40	112	408	3,39	77,01	2,91	21,14	90,00
15001 - 16000	12396,00	8896,30	1164,80	439,00	542,90	182,60	117	398	3,75	76,04	2,93	22,35	90,60
16001 - 17000	13044,00	8703,70	1420,30	769,80	429,20	221,10	113	427	6,81	77,02	3,33	20,38	89,11
17001 - 18000	13266,00	8374,30	1858,20	730,40	846,20	281,50	135	451	5,41	62,03	4,12	18,57	85,99
18001 - 19000	12924,00	8583,20	1902,50	795,80	702,70	404,20	112	449	7,11	76,64	4,24	19,12	85,28
19001 - 20000	13578,00	9090,00	2324,00	628,70	1209,40	470,60	134	458	4,69	67,84	5,04	19,85	82,88
20001 - 21000	13620,00	9209,40	2311,90	563,90	1094,50	471,50	121	489	4,66	76,11	4,36	18,83	83,03
21001 - 22000	14424,00	9090,20	3076,30	1111,50	1017,00	945,70	155	582	7,17	58,65	5,28	15,62	78,67
22001 - 23000	12120,00	7748,10	2044,70	580,50	620,40	832,50	106	396	5,48	73,10	5,13	19,57	83,13
23001 - 24000	14376,00	9009,30	2806,10	810,70	679,00	1313,90	148	479	5,48	60,87	5,85	18,81	80,48
24001 - 25000	14088,00	8795,20	2948,60	1360,90	357,80	1227,20	176	508	7,73	49,97	5,80	17,31	79,07
25001 - 26000	13536,00	8827,50	2741,90	1162,80	381,70	1144,80	127	555	9,16	69,51	4,85	15,91	79,74
26001 - 27000	14880,00	9137,40	3820,90	1122,00	645,80	1960,90	136	584	8,25	67,19	6,38	15,65	74,32
27001 - 28000	13968,00	8940,30	3268,50	1152,10	618,20	1481,80	118	545	9,76	75,77	5,97	16,40	76,60
28001 - 29000	15096,00	10109,60	2874,77	965,50	554,20	2029,20	95	582	10,16	106,42	6,10	17,37	80,96
29001 - 30000	14040,00	8167,10	3486,10	1261,80	319,10	1905,50	115	550	10,97	71,02	6,34	14,85	75,17
30001 - 31000	15720,00	9268,90	3840,90	1367,10	255,10	2203,20	139	543	9,84	66,68	7,04	17,07	75,57
31001 - 32000	10104,00	6558,20	2027,80	585,46	294,80	1137,50	85	329	6,89	77,16	6,13	19,93	79,93
32001 - 33000	4128,00	2545,00	877,20	231,00	61,30	541,00	34	113	6,79	74,85	7,37	22,52	78,75
33001 - 34000	2472,00	1216,10	847,50	241,60	45,60	560,30	36	86	6,71	33,78	9,85	14,14	65,72
34001 - 35000	1176,00	656,90	356,20	310,70	16,40	29,00	9	36	34,52	72,99	9,89	18,25	69,71

Fonte - Autoria própria (2019)

O indicador de custo de manutenção será tratado no próximo tópico por ter uma abordagem diferente para a obtenção dos dados.

4.3.2 CUSTO DE MANUTENÇÃO

O indicador de custo de manutenção pode ser calculado através da soma de todas as despesas que se tem com a manutenção do caminhão em um determinado período de tempo. Mas, para o presente estudo o indicador de custo de manutenção será determinado apenas pelo custo de peças de reposição.

Para tal, foi realizado o estudo do custo do ciclo de vida do caminhão da Frota B, somente para reposição de peças. Para isso, foi necessário realizar o levantamento de dados oriundo dos controles de manutenção encontrado no SAP, de planilhas de controles de vida útil e de valores de reforma de componentes e periféricos fornecidos pela área da manutenção de componentes.

Quadro 3 - Dados LCC Frota B

Frota B				
Segmento	Nome do Evento	Operação/Manutenção	Intervalo	Eventos por Equipamento
REVISÃO	REVISÃO MECÂNICA 1000 HRS	Manutenção	1000	1
REVISÃO	REVISÃO MECÂNICA 3000 HRS	Manutenção	3000	1
REVISÃO	REVISÃO MECÂNICA 6000 HRS	Manutenção	6000	1
REVISÃO	REVISÃO LUBRIFICAÇÃO 500 HRS	Manutenção	500	1
REVISÃO	REVISÃO LUBRIFICAÇÃO 1000 HRS	Manutenção	1000	1
REVISÃO	REVISÃO LUBRIFICAÇÃO 3000 HRS	Manutenção	3000	1
TREM DE FORÇA	COMANDO FINAL	Manutenção	14394,5	2
TREM DE FORÇA	CONVERSOR DE TORQUE	Manutenção	25214	1
TREM DE FORÇA	DIFERENCIAL	Manutenção	20434	1
TREM DE FORÇA	MOTOR DIESEL	Manutenção	16174,75	1
TREM DE FORÇA	TRANSMISSÃO	Manutenção	20659,67	1
PERIFÉRICO	ACUMULADOR DE NITROGENIO	Manutenção	14000	3
PERIFÉRICO	AJUSTADORES DE FREIO	Manutenção	12000	2
PERIFÉRICO	ALTERNADOR	Manutenção	20000	1
PERIFÉRICO	BATERIA	Manutenção	4000	4
PERIFÉRICO	BOMBA DE ÁGUA PRINCIPAL	Manutenção	9000	1
PERIFÉRICO	BOMBA DA HELICE	Manutenção	18000	1
PERIFÉRICO	BOMBA DO CONVERSOR	Manutenção	8000	1
PERIFÉRICO	BOMBA CARGA TRANSMISSÃO	Manutenção	16000	1
PERIFÉRICO	BOMBA DE DIREÇÃO	Manutenção	16000	1
PERIFÉRICO	BOMBA DE ELEVAÇÃO	Manutenção	17500	1
PERIFÉRICO	BUCHA DA ÂNCORA	Manutenção	12000	1
PERIFÉRICO	CARDAN PRINCIPAL	Manutenção	25000	1
PERIFÉRICO	CILINDRO DE DIREÇÃO	Manutenção	20000	2
PERIFÉRICO	CILINDRO DE ELEVAÇÃO	Manutenção	20000	2
PERIFÉRICO	CÂMARA DE FREIO	Manutenção	20000	4
PERIFÉRICO	COMPRESSOR AR CONDICIONADO	Manutenção	12000	1
PERIFÉRICO	CONJUNTO FREIO DIANTEIRO	Manutenção	18000	2
PERIFÉRICO	MANGUEIRAS	Manutenção	anual	1
PERIFÉRICO	MOTOR DE PARTIDA	Manutenção	16000	2
PERIFÉRICO	PINO E BUCHA	Manutenção	anual	1
PERIFÉRICO	RADIADOR	Manutenção	20000	1
PERIFÉRICO	ROLAMENTO RODA DIANT	Manutenção	16000	2
PERIFÉRICO	SEMI EIXO LE	Manutenção	36000	1
PERIFÉRICO	SEMI EIXO LD	Manutenção	36000	1
PERIFÉRICO	SUSPENSÃO DIANTEIRA	Manutenção	20000	2
PERIFÉRICO	SUSPENSÃO TRASEIRA	Manutenção	20000	2
PERIFÉRICO	VÁLVULA GP ELEVAÇÃO SERIE ALTA	Manutenção	20000	1
PERIFÉRICO	VÁLVULA ORBITROL	Manutenção	15000	1

Fonte - Autoria própria (2019)

O Quadro 3, apresenta todos os eventos de manutenção que um caminhão da Frota B durante a sua fase de ciclo de vida. O quadro apresenta também o intervalo de frequência que ocorre cada manutenção preventiva que é realizada e o número de eventos que ocorre por manutenção.

De posse dos dados de custo de peças de manutenção do caminhão pela área da manutenção da empresa, foi então utilizado um software próprio da empresa que realiza o ciclo do custo de vida do equipamento para até 65000 horas trabalhadas, os custos encontrados são apresentados a cada mil horas trabalhadas do equipamento.

Conforme já mencionado, devido a política de restrição da empresa na divulgação de dados internos para o mundo externo, será suprimido todos os dados que constam valores das tabelas, gráficos e imagens apresentadas no trabalho.

Para a Frota A os dados do custo de manutenção realizada pela área de manutenção da empresa, são obtidos através dos relatórios de custo de manutenção que o fabricante do modelo realizou no período de um ano. Não foi realizado o LCC para a Frota A até mesmo horímetro devido não se ter dados suficientes para projetar os custos com manutenção para vida do ativo.

Foi adicionado ao comparativo os valores com a gasto de manutenção que é esperado pelos fabricantes para os caminhões durante toda sua vida útil de operação do equipamento.

4.3.3 INDICADORES DE OPERAÇÃO

Para a obtenção dos dados dos indicadores de carga média, tempo de manobra, tempo de basculamento, velocidade média, velocidade média cheio, velocidade média vazio e da produtividade média, foi utilizado o relatório de movimentação de carga gerado também na plataforma TOP da empresa, o relatório mostra os dados variáveis obtidos pelo sistema de despacho durante os ciclos de operações.

Figura 12 - Dados de operação

Equipamento	Diesel (l)	Hora Traba.	Consumo (l/HT)	Consumo (L/Ton)	Carga Média (ton)	Tempo Manobra	Tempo Basculamento	Vel. Cheio (Km/h)	Vel. Vazio (Km/h)	Vel. Global (Km/h)	Produtividade (Ton/h)	Movimentação (ton)
Caminhão 01	3.414	20,82	163,94	0,35	246,5	0,95	0,96	20,68	28,91	23,92	473,57	9.861
Caminhão 02	3.447	18,24	188,93	0,28	244,6	0,99	1,23	19,44	28,49	23,45	670,43	12.232
Caminhão 03	2.599	18,83	138,02	0,19	243,7	0,82	1,12	18,11	18,16	18,14	724,70	13.646
Caminhão 04	3.529	18,94	186,31	0,25	244,3	1,06	1,06	20,67	27,20	23,51	748,20	14.171
Caminhão 05	3.449	18,29	188,60	0,27	241,1	1,15	1,20	21,05	23,34	22,17	698,90	12.781
Caminhão 01	3.567	18,07	197,32	0,29	239,4	0,90	1,19	22,79	24,73	23,76	675,48	12.209
Caminhão 02	3.344	19,08	175,20	0,23	241,0	0,89	1,18	21,56	20,18	20,83	757,72	14.461
Caminhão 03	3.630	19,87	182,66	0,29	237,8	0,76	0,88	20,74	24,54	22,49	634,22	12.602
Caminhão 04	3.341	19,55	170,93	0,26	242,4	0,93	1,09	20,66	22,78	21,70	657,29	12.847
Caminhão 05	2.396	19,61	122,15	0,18	234,3	0,82	0,97	17,58	26,47	21,25	669,15	13.122

Fonte - Relatório da empresa (2019)

Foi então, construído uma tabela para a grande quantidade de dados obtidos, uma parte da tabela com os dados pôde ser visto na Figura 12 abaixo.

Para encontrar estes dados foram necessários alguns cuidados, primeiramente foi definido o período da coleta dos dados, sendo de agosto/17 até agosto/18. Os dados também foram filtrados de forma que os equipamentos operassem na mesma mina sob mesmas condições, percorrendo os mesmos caminhos, sendo carregados pelos mesmos equipamentos e descarregando nos mesmos pontos de descarga. Para garantir as condições acima, só foram usados os dados dos caminhões que trabalharam acima de 18 horas por dia sob mesmas condições pré-estabelecidas.

Na Figura 7, tem-se a presença do indicador de consumo de combustível, mas para isso foi necessário correlacionar os dados do relatório de movimentação de carga com os dados do relatório de consumo específico do equipamento, também retirado do sistema TOP da empresa.

Na Figura 13, tem-se uma parte de um dos relatórios de consumo específico gerados para o cálculo do consumo de combustível.

Figura 13 - Relatório consumo específico

Frota	Equipamento	Diesel	Hora	Turma	Grupo	Posto Comboio	Duração Abastecimento
Frota A	Caminhão 01	3.942	14:12:00	Turma B	Caminhão	PPPE	00:19:48
Frota A	Caminhão 02	3.224	14:53:00	Turma B	Caminhão	PPPE	00:19:59
Frota A	Caminhão 03	3.627	18:57:30	Turma D	Caminhão	PPPE	00:14:33
Frota A	Caminhão 04	3.414	16:09:47	Turma D	Caminhão	PPPE	00:19:18
Frota B	Caminhão 01	3.368	17:20:07	Turma D	Caminhão	PPPE	00:13:46
Frota B	Caminhão 02	3.871	06:32:18	Turma D	Caminhão	PPPE	00:19:37
Frota B	Caminhão 03	3.591	14:00:54	Turma A	Caminhão	PPPE	00:20:02
Frota B	Caminhão 04	3.107	21:00:05	Turma E	Caminhão	PPPE	00:20:19

Fonte - Autoria própria (2019)

Dentro do relatório de consumo específico apenas o dado da quantidade de diesel abastecida foi utilizado. Após ter os dados correlacionados, passou a ter uma tabela com as informações da quantidade de material movimentado e abastecida no dia de trabalho, sendo então possível calcular o consumo de combustível por tonelada transportada do equipamento através da fórmula citada nas referências.

Em seguida, os dados foram compilados mês a mês como definido anteriormente, para que então fosse gerado os gráficos e analisado os indicadores. No Quadro 5, tem-se os dados encontrado para os indicadores de operação.

Quadro 4 - Dados de operação

Mês	Frota	Carga Média (ton)	Manobra (min)	Basculamento (min)	Vel. Cheio (km/h)	Vel. Vazio (km/h)	Vel. Global (km/h)	Produtividade (ton/h)	Consumo L/Ton
Ago/17	FROTA B	245,65	1,02	0,95	20,71	28,45	23,98	643,96	0,242
Ago/17	FROTA A	238,13	1,23	0,98	19,32	27,38	22,79	572,00	0,281
Set/17	FROTA B	243,75	0,98	1,04	20,36	28,56	23,75	638,46	0,231
Set/17	FROTA A	237,54	1,06	0,83	20,85	27,27	23,68	611,24	0,229
Out/17	FROTA B	243,12	0,96	1,15	19,94	27,93	23,29	673,07	0,243
Out/17	FROTA A	236,08	1,05	0,88	21,02	28,42	24,15	647,07	0,236
Nov/17	FROTA B	242,13	0,90	1,06	18,66	23,93	20,97	664,55	0,217
Nov/17	FROTA A	237,30	0,95	0,84	19,21	24,48	21,55	703,97	0,180
Dez/17	FROTA B	244,16	0,97	1,11	18,72	22,72	20,54	673,17	0,224
Dez/17	FROTA A	238,48	0,97	0,83	20,46	25,12	22,60	713,79	0,193
Jan/18	FROTA B	242,41	0,88	1,05	20,31	27,10	23,23	735,04	0,178
Jan/18	FROTA A	237,20	0,95	0,83	21,75	28,08	24,56	718,83	0,196
Fev/18	FROTA B	239,70	0,90	0,99	20,67	23,62	22,07	728,08	0,169
Fev/18	FROTA A	234,77	0,98	0,82	20,43	24,24	22,23	748,86	0,155
Mar/18	FROTA B	241,58	0,91	0,98	19,86	23,04	21,31	678,10	0,185
Mar/18	FROTA A	237,59	0,98	0,81	20,20	23,73	21,80	683,23	0,174
Abr/18	FROTA B	235,22	0,95	0,99	20,25	26,48	23,01	680,84	0,207
Abr/18	FROTA A	231,73	1,03	0,78	21,38	27,14	23,99	720,35	0,168
Mai/18	FROTA B	238,61	0,93	0,97	20,50	27,15	23,32	671,13	0,198
Mai/18	FROTA A	232,35	0,98	0,78	22,31	28,35	25,01	682,25	0,174
Jun/18	FROTA B	241,08	0,93	0,97	20,21	28,04	23,48	665,26	0,228
Jun/18	FROTA A	237,26	0,95	0,77	21,61	29,30	24,97	680,27	0,212
Jul/18	FROTA B	242,20	0,93	0,95	20,28	28,92	23,87	645,42	0,239
Jul/18	FROTA A	243,92	0,98	0,73	22,00	29,91	25,48	719,82	0,189
Ago/18	FROTA B	238,53	0,96	0,96	19,65	28,36	23,25	599,59	0,262
Ago/18	FROTA A	240,14	1,00	0,71	20,49	29,14	24,21	676,81	0,210

Fonte - Autoria própria (2018)

O custo de operação dos equipamentos será tratado no próximo tópico por terem uma abordagem diferente da realizada acima.

4.3.4 CUSTO DE OPERAÇÃO

O indicador de custo de operação do equipamento é dado pelas somas de todos os custos que se tem para a operação em um determinado período de tempo dividido pela produtividade dos caminhões. Entretanto, para o estudo o indicador de custo de operação será dado apenas pela soma dos custos de combustível e custo de peças dividido à produtividade do equipamento.

Para tal, foram utilizados os dados obtidos dos relatórios de movimentação de carga e consumo específico de combustível provenientes da plataforma da empresa, que pode ser visto na Tabela 8, foi também utilizado o valor do custo do litro de diesel para a empresa, disponível no SAP. Sendo então, realizado o cálculo para obtenção do indicador.

$$CUSTO OPERAÇÃO = \frac{Custo Manutenção + (Consumo Diesel * Custo Diesel)}{Produtividade} \quad (8)$$

Onde:

- Custo de Manutenção (USD/HT) é o custo gasto com peças por HT;

- Consumo de Diesel (L/HT) é o consumo de litros por HT;
- Custo Diesel (USD/L) é o custo por litro de diesel;
- Produtividade (ton./HT) é a movimentação por hora trabalhada do equipamento.

Através dos cálculos foram obtidos os resultados mostrados no Quadro 6 para o indicador. Diferentemente dos outros indicadores de operação o custo de operação será separado por períodos de mil em mil horas trabalhadas igualmente feito para manutenção, mas para tal foi utilizado a produtividade média da frota do período de um ano.

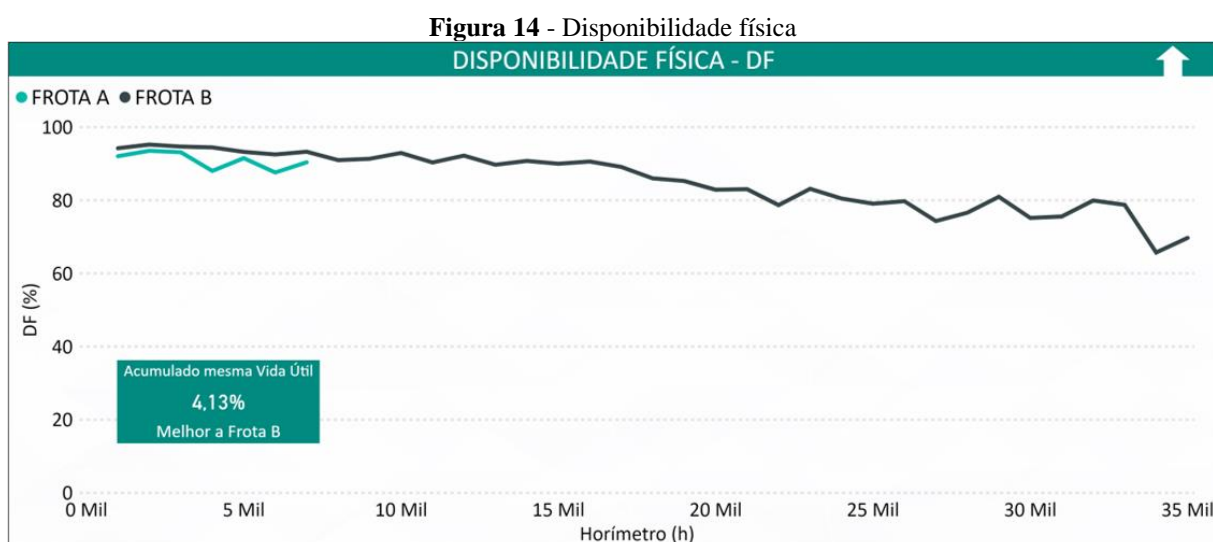
O custo de operação por tonelada produzida é apresentado para Frota A até o período de um ano ou 7000 HT, devido a frota só ter trabalhado por esse período. Já, a Frota B é apresentada até 65000 HT, devido a mesma ter os custos estimados pelo LCC realizado e, utilizando a média de consumo de combustível da frota.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

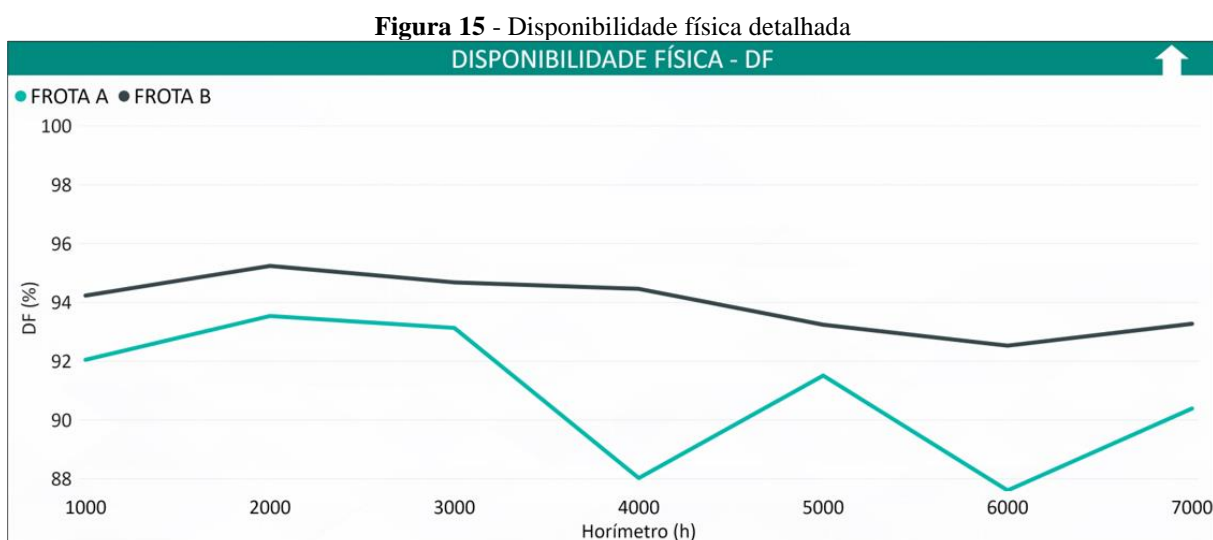
Neste capítulo será apresentado os resultados e comparações as curvas encontradas para os indicadores de desempenho das duas frotas, analisando a influência dos indicadores e o comportamento dos indicadores com o passar do tempo.

5.1 INDICADORES DE MANUTENÇÃO

O primeiro indicador a ser apresentado é o de disponibilidade física dos equipamentos, na Figura 14 e, Figura 15, tem-se as curvas do indicador dos caminhões até 7000 horas para a Frota A e de 35000 horas para a Frota B.



Fonte - Autoria própria (2019)



Fonte - Autoria própria (2019)

Para os indicadores de disponibilidade física e custo de manutenção foram realizados gráficos com uma menor escala, devido à importância dentro da empresa e melhor visualização dos dados. As setas mostradas nos títulos dos gráficos representam o que é melhor para o indicador, seta para cima mostra que quanto maior o número melhor é para o indicador e vice e versa.

A Figura 14, mostra que durante o período analisado, a disponibilidade física dos equipamentos teve uma variação entre 87% e 95% de DF. No intervalo das primeiras 1000 horas de horímetro a Frota B teve uma disponibilidade física de 94,23%, contra 92,05% da Frota A. Na sequência a DF das frotas tiveram uma melhora, sendo que a Frota B teve a sua melhor DF subindo para mais de 95% de disponibilidade e a Frota A para quase de 93,5%, nas 2000 horas de horímetro.

A partir daí as frotas tiveram uma tendência de queda, entre 2000-3000 horas a Frota A se manteve com 93,13% de DF, e a Frota B diminuiu cerca de 1%, indo para 94,68% de DF. Depois, a Frota A começou a oscilar entre 92% e 87% de disponibilidade, fechando as últimas mil horas próximo dos 90,39% de DF, a Frota B manteve a queda de forma suave atingindo 92% com 6000 horas e fechando com 93,27% no último horímetro analisado.

A Frota A apresentou uma disponibilidade física durante a comparação das 7000 horas operação dos equipamentos inferior à Frota B, no acumulado a Frota A teve uma DF próxima de 90%, enquanto a Frota B teve cerca de 94% de disponibilidade, uma diferença de cerca de 4,1%. A variação percentual entre a maior e menor disponibilidade apresentada pelas frotas é de quase 3% para a Frota B e de aproximadamente 6,3% para a Frota A.

As curvas de disponibilidade física das frotas mostraram que os caminhões da Frota B apresentam uma maior disponibilidade física dos equipamentos durante as 7000 horas de operação na mina, que é um fator bom para a empresa, pois quanto mais os equipamentos estiverem disponíveis para a operação maior produtividade é esperada. Além disso, uma boa disponibilidade é sinal de um bom trabalho realizado pela manutenção e de boa eficiência mecânica do equipamento.

Mas, mesmo com uma DF menor para a Frota A os valores encontrados são bem próximos da Frota B. As curvas mostraram boa tendência na performance das frotas, quando a DF de um aumenta o da outra também aumenta e se uma diminui a outra também diminui. Isso, mostra que as frotas foram comparadas em mesmas condições de vida do equipamento.

O fato de a equipe de manutenção não ter grande expertise na manutenção dos equipamentos da Frota A, apesar de a equipe ter sido treinada, contribuiu para esta menor

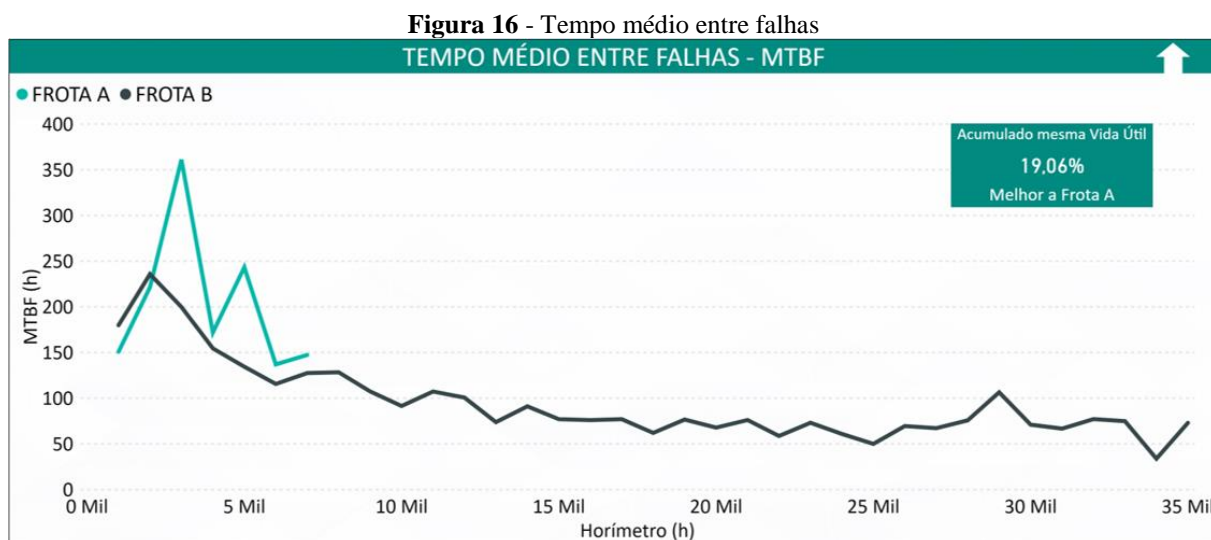
disponibilidade física dos equipamentos, pois o tempo para a realização das manutenções pode ser maior para essa frota.

A Figura 14, apresenta a disponibilidade física das frotas, para a Frota B com até 35000 horas de horímetro. Por meio da curva da Frota B é possível observar como é o comportamento da DF com o passar dos anos de utilização do equipamento, pode-se observar que a disponibilidade do equipamento vai diminuindo gradativamente e que nos períodos que antecedem as reformas ou substituições dos componentes do trem de força, a inclinação da queda é maior que nos períodos após realizadas as manutenções.

Essa queda era esperada já que com o passar do tempo os componentes vão ficando mais desgastados, sujeitos à depreciação do equipamento, a mais quebras e consequentemente mais manutenções corretivas.

Como a disponibilidade física é muito dependente da manutenção realizada no equipamento, uma forma de estreitar a diferença entre as frotas e melhorar a disponibilidade é investir na área da manutenção dos caminhões com treinamentos e ferramentas que possam melhorar os tempos e os números de manutenções nos equipamentos.

O próximo indicador a ser apresentado é o tempo médio entre as falhas corretivas das frotas. Na Figura 16 tem-se as curvas obtidas.



Fonte - Autoria própria (2019)

As curvas do MTBF das frotas vistas na Figura 16, mostram que os equipamentos da Frota A apresentam um maior número de horas entre uma corretiva e outra, apesar de nas primeiras 2000 horas de utilização das frotas, a Frota B apresentar uma melhor performance,

neste período a Frota B subiu de aproximadamente 179h para quase 235h entre as falhas, enquanto a Frota A subiu de quase 150h para 221h.

A partir daí as frotas tiveram um comportamento diferente, com o passar do tempo a Frota A teve grandes oscilações e a Frota B teve um decréscimo nas horas entre falhas. Com 3000 horas enquanto a Frota B caiu para quase 200h entre manutenções a Frota A atingiu seu maior valor de quase 360h, na sequência com 4000 horas as duas frotas caíram no indicador, atingindo quase 171h a Frota A e pouco menos de 155h para a Frota B.

Com 5000 horas a Frota A voltou a subir e a Frota B continuou em queda, no final do ciclo comparado, as duas frotas mostraram uma recuperação em seu indicador fechando com os tempos bem próximos, c cerca de 230h entre as manutenções corretivas nas frotas.

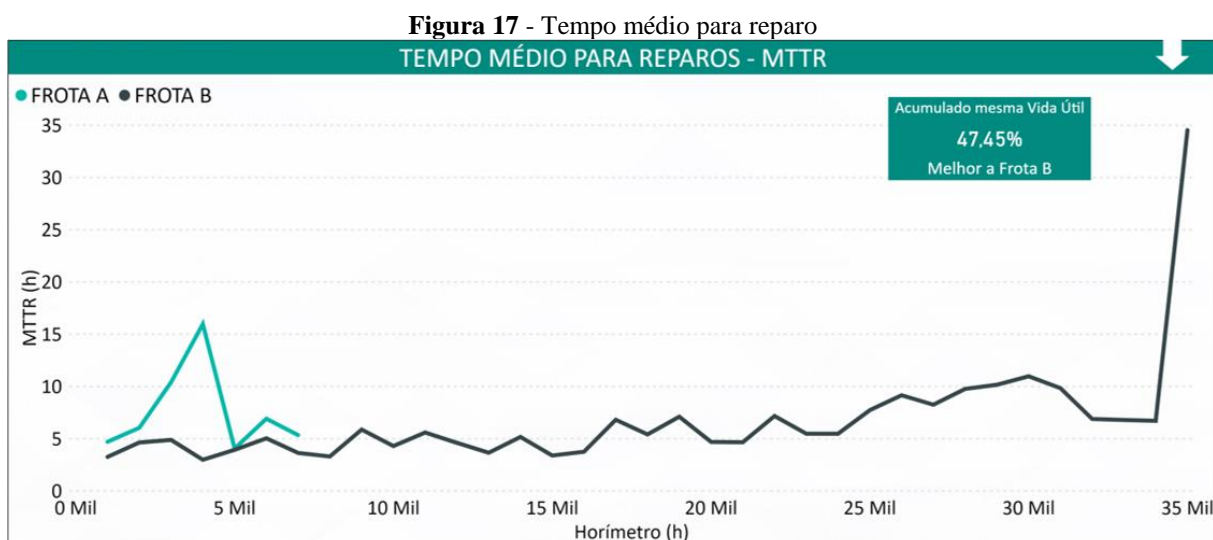
As frotas apresentam uma grande variação em seu indicador, a Frota A apresenta uma variação de quase 62% do MTBF e quase 50% para com a Frota B. No acumulado do indicador para o período as frotas apresentaram uma diferença de quase 19% para os tempos médios entre falhas. As curvas mostram que as frotas apresentam bons números nas primeiras 3000 horas de horímetro dos equipamentos, quando os componentes estão novos, vindo a cair na sequência.

Para o indicador os equipamentos da Frota A são melhores, pois a frota é melhor quase em todo o período analisado, mostrando que os equipamentos com tração diesel-elétrica possuem uma mecânica mais confiável, com menores quebras de componentes, tendo a necessidade de menos intervenções de manutenções nos seus componentes.

Devido ao sistema de tração da Frota B ser mecânico, leva ao equipamento ter maiores esforços mecânicos nos componentes, com isso a possibilidade de ter que passar por manutenções pode ser maior. Apesar de existir uma diferença considerável entre as frotas, é visto que a Frota B apresenta uma menor variação no período para o indicador, mostrando que o equipamento tem uma constância na quantidade de manutenções realizadas mensalmente.

É importante destacar também que as curvas apresentam uma boa concordância entre as frotas com o passar do tempo. Analisando os dados da Frota B com até 35000 de horímetro, é observado que com o passar do tempo a diferença de horas entre as manutenções cai progressivamente, devido aos desgastes sofridos pelos componentes que ocasiona mais manutenções corretivas no equipamento.

O gráfico obtido para o indicador de tempo médio para reparo para as frotas é mostrado na Figura 17.



Para o indicador de MTTR a Figura 17, mostra que a Frota B apresenta melhores números em relação a Frota A no início do comparativo, com 1000 horas de horímetro os equipamentos da Frota A apresentam um tempo de quase 5h para os reparos, enquanto a Frota B realizou um tempo abaixo das 3,5h de manutenção. As frotas tiveram na sequência uma tendência de crescimento no indicador, entre 1000 - 3000 horas, a Frota A teve um aumento no tempo médio de reparo para quase 11h e a Frota B para próximo das 5h de manutenção.

Com 4000 horas de horímetro a Frota B obteve uma queda do número de horas para reparo dos equipamentos, passando a executar seu menor valor de pouco menos de 3h, ao mesmo tempo a Frota A atingiu o seu maior tempo para os reparos de quase 16h. As duas frotas atingiram praticamente o mesmo valor de MTTR com 5000 horas de horímetro, executando um tempo de 4h para as manutenções.

No final do período comparado as frotas tiveram uma mesma tendência no número de horas para os reparos, onde a Frota A fechou as 7000 horas com tempo superior a 5h e a Frota B com menos de 4h para os reparos. A Frota A teve novamente uma maior variação de seus valores, sendo de quase 75% para a mesma e de quase 40% para a Frota B. No acumulado para o período analisado a diferença entre o indicador das frotas é de quase 47,5%.

Os caminhões da Frota B são os que apresentam melhores resultados para o indicador, formando a curva do indicador quase que de forma linear e mostrando que os equipamentos aparentam ter uma mecânica mais fácil para se realizar as manutenções, o menor tempo para realizar os reparos indicam também que a equipe de manutenção é mais eficiente nas manutenções dos caminhões com tração mecânica. O fato de os caminhões da Frota B serem

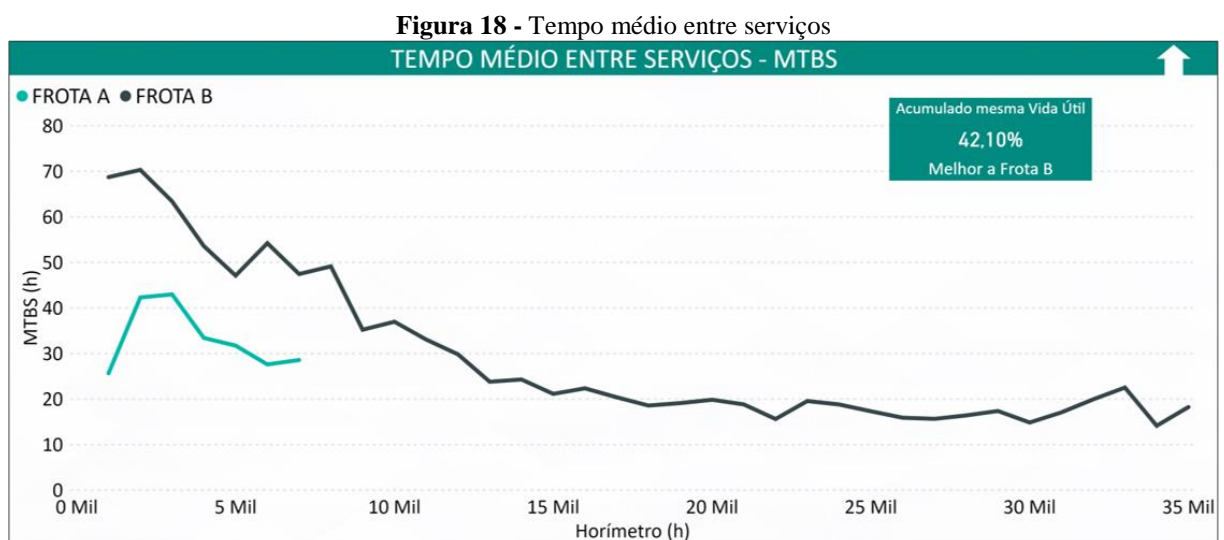
elétricos pode ter contribuído para o maior tempo nos reparos, pois a equipe de manutenção não tem certa experiência com este modelo de equipamento.

Assim, como nos indicadores já apresentados, as curvas do MTTR para a Frota A e Frota B apresentaram uma mesma tendência, é possível observar que elas sofrem variações positivas e negativas nas mesmas faixas de horímetro, mostrando que existe um mesmo padrão para as manutenções.

Analisando a curva da Frota B, nota-se que à medida que o equipamento vai envelhecendo, o tempo necessário para reparar os equipamentos vai crescendo e tendo um aumento acentuado após o início do fim de vida útil dos componentes do trem de força, esse aumento está relacionado com a complexidade das manutenções realizadas com o passar do tempo no equipamento.

Algumas medidas podem ser tomadas para o melhor desempenho da equipe de manutenção e melhor utilização dos equipamentos, ações como a realização de treinamentos dos responsáveis pelas manutenções, melhoria na disponibilidade de ferramentas adequadas e recomendadas pelo fabricante, ter uma boa relação com os *dealer* e buscar por novas tecnologias para o auxílio na manutenção podem ser fundamentais para o melhor desempenho dos equipamentos e consequentemente melhores índices de MTBF e MTTR.

Dando continuidade, será apresentado os resultados dos indicadores de tempo médio entre serviços e tempo médio para serviço. Na Figura 18 é possível visualizar o resultado encontrado para o MTBS.



No início do comparativo as frotas apresentaram uma diferença percentual de quase 63% para o indicador, a Frota A teve um tempo médio entre os serviços executados de quase 26h, enquanto a Frota B de mais de 68h. Prosseguindo, com 2000 horas os tempos das duas frotas melhorou, sendo que a Frota A teve maior variação passando seu tempo entre serviços para quase 43h e a Frota B aumentando para quase 71h.

A Frota B apresentou uma queda quando atingiu 3000 horas de horímetro, passando para quase 63h entre os serviços, e a Frota A manteve o seu indicador com o mesmo tempo anterior de 43h.

Na sequência, as duas frotas tiveram uma queda no tempo entre as manutenções com 4000 horas, passando a terem tempos de quase 33h para a Frota A e de quase 55h para a Frota B. Esta tendência de diminuição do tempo médio entre serviços executados nas frotas se manteve entre 4000-6000 horas, fecharam o ciclo com tempos em torno de 29h e 48h para a Frota A e Frota B.

As frotas terminaram o período analisado de um ano com uma diferença de quase 42% no tempo médio entre a realizações dos serviços nos equipamentos. A variação entre os maiores e menores valores praticados pelas frotas foram praticamente iguais, com aproximadamente 35% de diferença.

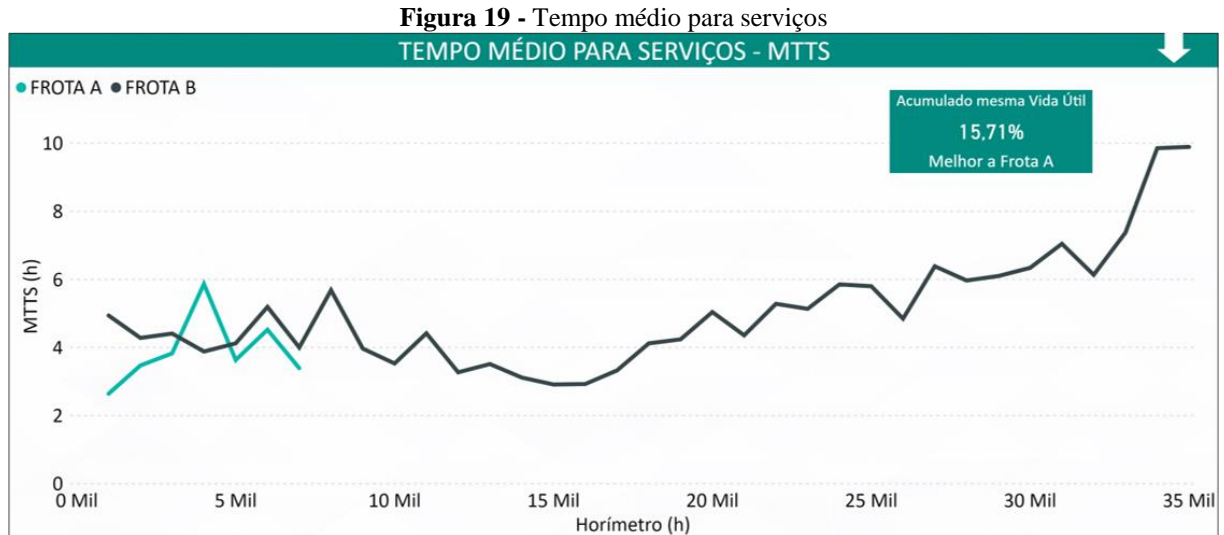
Analisando a Figura 13, a Frota B é a que apresenta os melhores resultados para o indicador, os tempos médios entre os serviços são superiores que o da Frota A, com isso os caminhões podem ficar mais tempo disponível para a sua utilização.

O número de manutenções preventivas que são realizadas nos equipamentos, podem ter sido um dos fatores que influenciou no resultado. Pois, o intervalo de entre as revisões e inspeções realizadas nos caminhões elétricos foram maiores que nos mecânicos e isso gera um menor tempo entre os serviços.

Nota-se, que existe uma boa concordância entre as curvas dos indicadores, as frotas apresentaram momentos de maior tempo entre serviços e momentos de diminuição deste tempo nas mesmas faixas de horímetro.

A curva formada pela Frota B para até 35000 horas de horímetro dos equipamentos, mostra que o indicador tem uma tendência de diminuição do tempo entre serviços com a depreciação do equipamento, que já era esperado devido o aparecimento de manutenções com maior frequência e sendo necessário um número maior de revisões no equipamento para mantê-lo disponível.

O desempenho das frotas em relação ao tempo médio para realizar os serviços é mostrado na Figura 19.



Nas primeiras 1000 horas de utilização dos equipamentos as frotas apresentaram tempos bastante distintos, a Frota A obteve quase 2,5h para a realização dos serviços contra quase 5h para a Frota B. Essa diferença tendeu a diminuir com a utilização dos caminhões, sendo pouco menos de 1h quando os caminhões tinham 2000 horas, e realizando um tempo de quase 4h para a execução dos serviços quando estavam com 3000 horas de horímetro.

No intervalo de 3001-4000 horas os tempos se inverteram, tendo a Frota A maiores tempos que a Frota B, a Frota A teve um tempo de quase 6h para a realização dos serviços e a Frota B de quase 4h. Mas, na sequência os caminhões da Frota A voltaram a realizar menores tempos para executar os serviços, sendo de quase 3,5h enquanto a Frota B realizava tempos pouco maior que 4h de serviços.

As frotas mostraram a mesma tendência de aumento e diminuição dos tempos com 6000 e 7000 horas do horímetro, a Frota A fechou as 7000 horas com quase 3h para a realização dos serviços no equipamento e a Frota B subiu com 6000 horas e caiu fechando as 7000 horas com 4h para realizar as manutenções.

A variação sofrida pelas frotas entre o maior e menor valor realizado para o indicador chega a quase 55% para a Frota A e de aproximadamente 25% para a Frota B. No acumulado durante um ano de operação dos equipamentos a Frota A possui tempos de quase 16% a menores que os da Frota B.

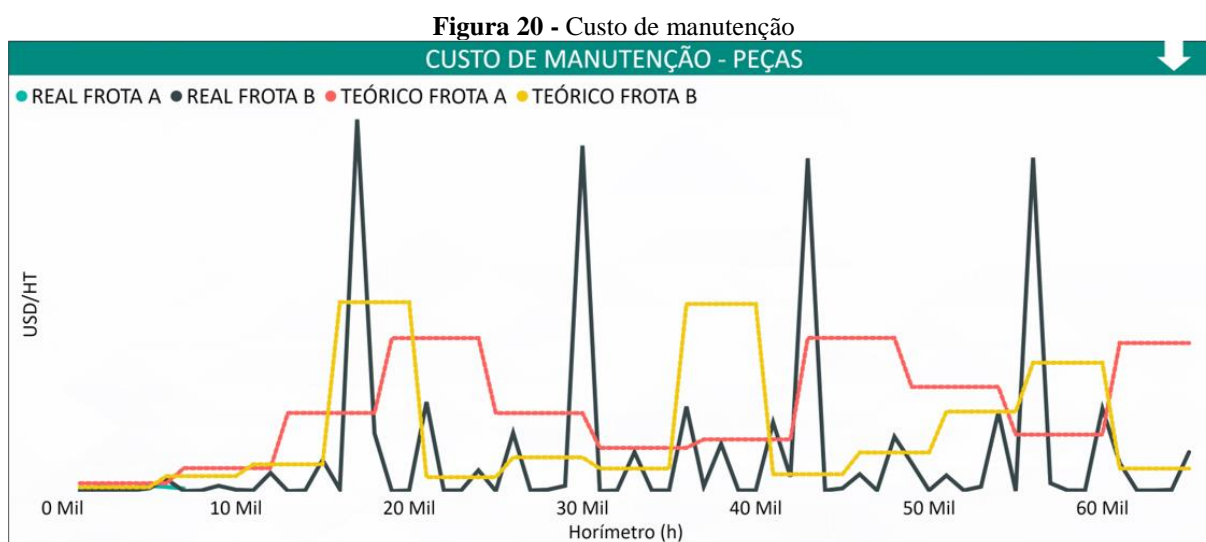
Para o indicador o equipamento que apresentou um melhor resultado fora os caminhões da Frota A, o caminhão diesel-elétrico apesar de ter uma mecânica mais complexa e apresentar maior número de revisões e inspeções, possui maior facilidade para a execução de suas inspeções e revisões contribuindo para um menor tempo para a realização dos serviços.

Diferentemente do que foi observado para os indicadores mostrados até agora, as curvas do indicador para as frotas não apresentaram uma mesma tendência durante o período comparado. Nas primeiras 4000 horas de horímetro dos equipamentos, a Frota A mostrou uma tendência no aumento do número de horas para o indicador e a Frota B apresentou uma tendência de diminuição deste valor. A partir das 5000 horas as frotas mostraram uma mesma tendência na formação da curva com a Frota A apresentando menores valores.

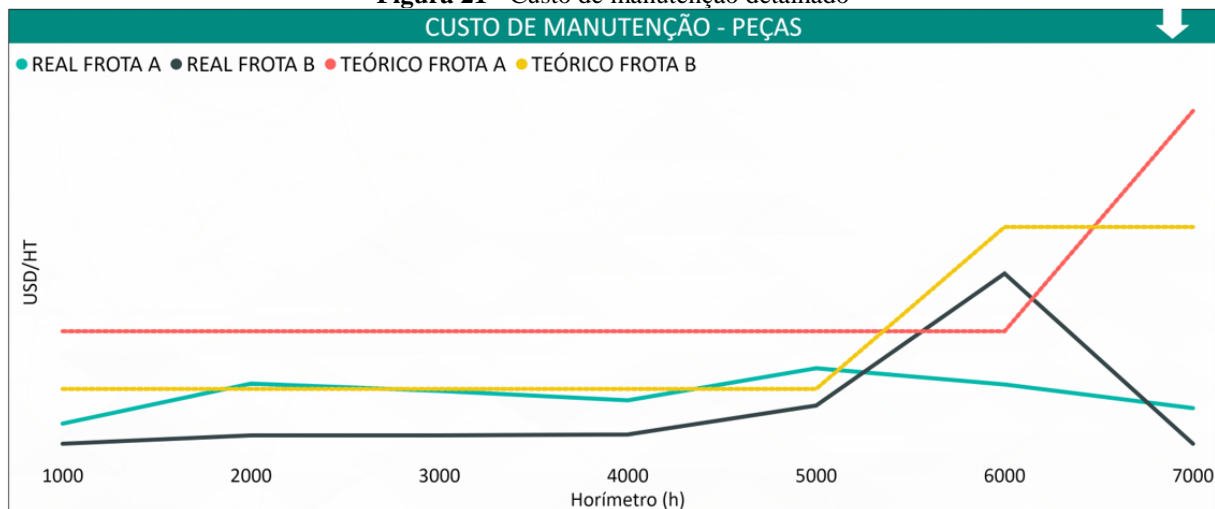
Analisando a curva do indicador formado pelos equipamentos da Frota B com até 35000 horas de horímetro é possível perceber uma tendência no aumento das horas para a realização de serviços nos equipamentos com o passar da sua vida útil, esse aumento no tempo para executar os serviços pode se dar ao maior aparecimento de falhas nos equipamentos e a maior complexidade destes serviços.

Devido as manutenções corretivas utilizadas para o cálculo dos indicadores de MTBF e MTTR também serem utilizadas nos cálculos para os indicadores de MTBS e MTTs, as mesmas medidas podem ser tomadas para a busca de melhores números para as frotas, como realizar os planos de manutenções de forma correta e eficiente e realizar uma boa programação das manutenções dos equipamentos podem ajudar na melhor eficiência da área de manutenção.

Por último, mas não menos importante que os outros indicadores de manutenção, temos os custos de manutenção realizado pela manutenção e o projetado pelos fabricantes.



Fonte - Autoria própria (2019)

Figura 21 - Custo de manutenção detalhado

Fonte - Autoria própria (2019)

Na Figura 21, é apresentado o custo de manutenção de peças para as frotas real e teórico, os valores reais são os valores realizados pela equipe de manutenção da empresa e está limitado para a Frota A até 7000 horas de horímetro. Os valores teóricos são valores fornecidos pelos fabricantes, valores estimados para os custos de peças esperados para toda a vida do equipamento.

Analisando os custos reais obtidos, a Frota B apresenta uma manutenção mais barata no período de um ano de operação dos equipamentos, o seu custo de manutenção vem desde o início de operação quase que de forma constante até atingir 4000 horas de horímetro. A Frota A neste período sofre um aumento no seu custo de peças de quase o dobro do praticado no início, fazendo com que a frota apresente uma diferença de quase 60% maior de custo da manutenção que a Frota B.

Na sequência, as duas frotas sofreram um aumento nos seus custos de manutenção com peças para os equipamentos, mas desta vez a Frota B apresenta um maior aumento, diminuindo a diferença de custo para quase 40% com 5000 horas. Ao atingir 6000 horas, a Frota B tem o pico no seu custo, ultrapassando a Frota A e fazendo com que fique aproximadamente 60% mais cara. No final do período comparado a Frota B volta a ter uma manutenção de quase 70% mais barata que a Frota A.

A variação no custo de manutenção com peças da Frota B é de quase 92%, enquanto a Frota A apresenta uma diferença de quase 61% em seu custo, a alta variação do custo para a Frota B se deve ao pico sofrido com 6000 horas. No acumulado para o período analisado a diferença entre o custo de manutenção com peças dos caminhões chega a quase 25% na média.

De certa forma, os custos de manutenção com peças para a Frota A é maior do que para a Frota B, fazendo da Frota B um equipamento mais barato em relação ao custo de manutenção com peças durante o ano comparado. Mas, se comparado os valores realizados pela empresa com os custos estimados pelos fabricantes, as frotas estão executando uma manutenção mais barata no período comparado. A Frota A apresenta um custo de quase 60% mais barato em relação ao esperado pelo fabricante e para a Frota B uma redução de quase 77% nos custos.

Estes números são bem aceitos pela empresa, pois significa que o setor tem realizado uma manutenção mais barata do que o esperado, ou seja, mais eficiente e reduzindo consideravelmente os custos de manutenção para as frotas estudadas.

A Figura 20, mostra os custos de manutenção com peças teóricas esperado para as frotas até o fim de sua vida útil e o custo real projetado para as manutenções da Frota B, sendo possível então observar como será o comportamento dos custos. Para a Frota B os custos reais atingem valores altos na faixa de horímetro de 16001-17000 horas devido o fim da vida dos componentes do trem de força dos caminhões, quando é necessário a reforma ou a substituição dos componentes, neste momento o custo chega a superar o projetado pelo fabricante.

Após, o custo executado decresce para valores bem abaixo do esperado e volta a se repetir os mesmos valores para a segunda vida dos componentes. A alta no custo da manutenção com peças também acontece para a Frota A, mas é previsto pelo fabricante que na faixa 19001-24000 horas aconteça estas reformas.

Comprando os custos reais e teóricos para a Frota B, tem-se menores custos realizados pela manutenção para a vida útil do equipamento, é notado também que após a primeira reforma no trem de força os componentes passam a ter uma vida útil menor, sendo necessário uma maior quantidade de reformas até atingir o horímetro para a baixa do equipamento.

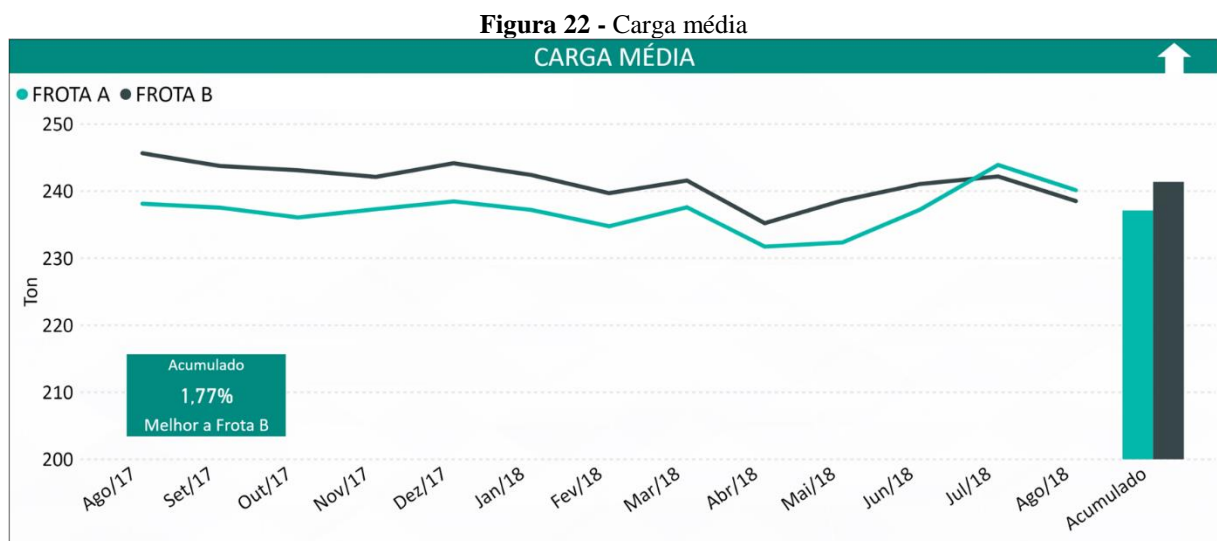
Analisando apenas os custos teóricos esperados pelos fabricantes dos caminhões, é visto que a Frota A apesar de ter um custo de manutenção maior durante o período de operação de um ano, ele tem custos menores quando analisado durante toda sua vida útil em relação a Frota B. É esperado que a vida útil dos componentes do trem de força da Frota A seja maior que a Frota B, tanto para a primeira vida quanto para as demais, com isso pode haver um menor número de reformas dos componentes e conseqüentemente um menor custo com manutenções.

A maior vida útil dos componentes do trem de força pode estar ligada ao fato do sistema de tração dos caminhões elétricos sofrerem menores esforços, os caminhões mecânicos possuem alto número de engrenagens que faz aumentar estes esforços, reduzindo a vida dos componentes.

5.2 INDICADORES DE OPERAÇÃO

Como visto anteriormente os dados para indicadores de operação foram retirados mês a mês durante o período de um ano de operação dos equipamentos, com os equipamentos sendo utilizados sobre as mesmas condições de mina. Os resultados obtidos pelas frotas serão apresentados na sequência começando pela carga média.

Na Figura 22, tem-se as curvas do indicador de carga média para a Frota A, Frota B e a barra de acumulado no período analisado.



Fonte - Autoria própria (2019)

No início no comparativo no mês de agosto/17 os caminhões da Frota A e da Frota B tiveram a sua maior diferença na carga transportada sendo cerca de quase 13 ton de diferença, no mesmo momento em que a frota A realizava uma média de transporte de 238 ton a Frota B transportava 245 ton, sendo essa a sua maior carga de transporte observada.

A partir do primeiro mês as frotas tiveram uma redução na sua carga média, os caminhões da Frota A tiveram esta redução até o mês de outubro/17 e os caminhões da Frota B até novembro/17. Na sequência no mês de dezembro/17 eles votaram a subir sua carga média de transporte, com a Frota B atingindo 244 ton e a Frota A 238 ton na média.

Entre os meses de janeiro/18 e fevereiro/18 a carga média transportada pelas frotas voltou a cair e subiu logo em seguida no mês de março/18. No mês de abril/18 as frotas atingiram suas menores carga média, a Frota A teve uma média de pouco mais de 231 ton transportada e a Frota B de quase 235 ton. Após isso, as cargas transportadas pelos caminhões voltaram a subir até o mês de julho/18, quando a Frota A atingiu o seu maior valor, cerca de

243 ton movimentadas contra 242 ton da Frota B, e fecharam o período analisado com uma queda na quantidade de material transportado.

A carga média das frotas teve uma diferença de quase 2% no acumulado no período, enquanto a Frota B teve uma movimentação média de quase 241 ton, a Frota A carregou próximo das 238 ton. As frotas tiveram uma variação de quase 5% na carga transportada.

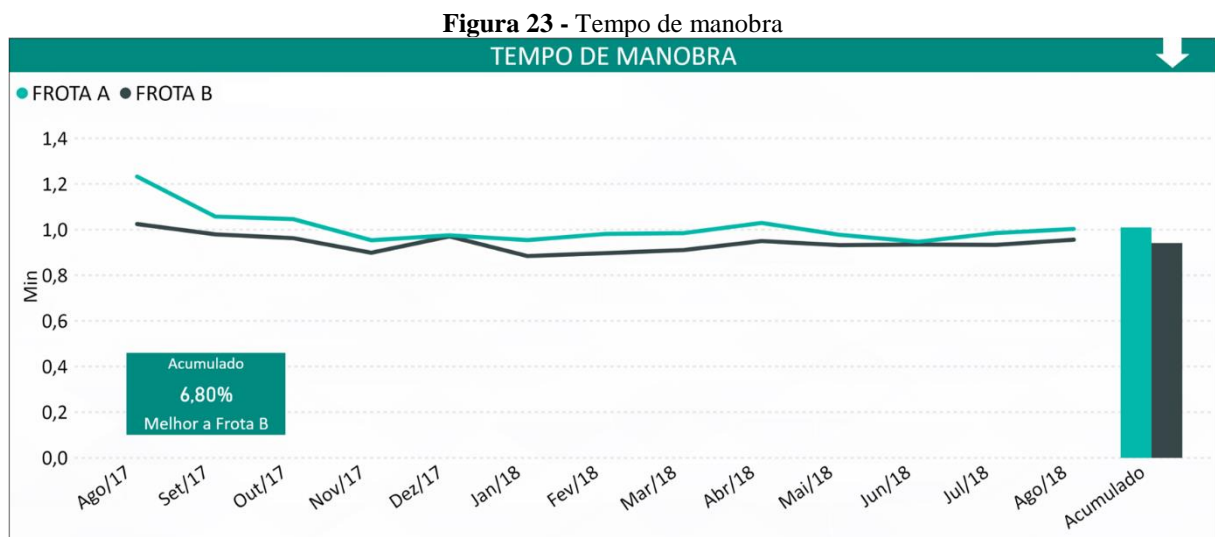
A Frota B apresentou melhor carga média durante todo o período comparado. Com isso, os caminhões da Frota B tiveram uma utilização da sua capacidade de transporte de forma mais eficiente. Apesar de não ter uma boa média acumulada, a Frota A mostrou uma melhora nos seus resultados nos meses finais do comparativo superando até o transportado pela Frota B, passando então a ser utilizado também de forma mais eficiente.

A utilização de uma carga média dentro do que os equipamentos suportam é importante, pois evita que componentes como a suspensão, os pneus, o chassi, báscula e o trem de força sofram com maiores desgastes devido aos sobrepesos e consequentemente reflitam nos indicadores de manutenção.

As curvas dos indicadores mostraram uma mesma tendência em sua formação, quando um subia o outro também subia, isso confirma que os caminhões estarem operando sob mesmas condições de mina.

Variáveis como DMT, o equipamento de carga, a distribuição da carga, podem interferir no indicador. Mas a principal influência pode vir do operador da máquina de carga, então uma forma de melhorar o indicador é treinando o operador do equipamento de carga, procurando melhorar a sua habilidade em medir o quanto está carregando no caminhão.

Na Figura 23, tem-se o gráfico como o indicador de tempo de manobra das frotas.



Fonte - Autoria própria (2019)

Em agosto/17 primeiro mês do comparativo, foi o mês em que os caminhões das frotas realizaram seus maiores tempos de manobra, os caminhões da Frota A tiveram um tempo médio de mais de 1,2 min para manobrar, e os da Frota B de quase 1,0 min. Depois disso, as frotas tiveram uma diminuição dos tempos até novembro/17, voltaram a subir em dezembro/17 e caíram novamente em janeiro/18, que foi quando atingiram seus menores tempos para manobras.

No mês de janeiro/18 os caminhões da Frota A realizaram tempos quase 1,0 min superior a Frota B, enquanto a Frota A realizava tempos próximo a 1,0 min a Frota B realizou tempos próximos a 0,9 min de manobra.

A partir de janeiro/18 os caminhões tiveram um aumento em seus tempos de manobra quase que de forma constante até o mês de abril/18 atingindo tempos próximos de 0,95 e 1,0 min para a Frota A e Frota B, respectivamente. Os tempos de manobras das frotas voltaram a cair rapidamente no mês de junho/18 e iniciaram uma nova subida até o último mês do comparativo, neste mês os caminhões das duas frotas realizaram tempos próximos a 1,0 min.

O tempo médio de manobra realizado pela Frota A durante o período comparado foi cerca de 1,0 min e para a Frota B quase 0,95 min, uma diferença de aproximadamente 7%. A diferença entre o maior e menor valor praticado pela Frota B é de mais de 13% e para a Frota A de quase 22%.

Durante todo o período analisado os caminhões da Frota A foram os que apresentaram os tempos mais elevados, tornando a Frota B a mais eficiente para realizar as manobras, ajudando a reduzir o tempo de ciclo. Um tempo excessivo de manobra não é bom para a produtividade do equipamento e nem para o caminhão, pois maiores são os esforços sofridos pelos equipamentos durante o processo, acarretando assim em um maior desgaste dos componentes do caminhão, principalmente no caminhão mecânico.

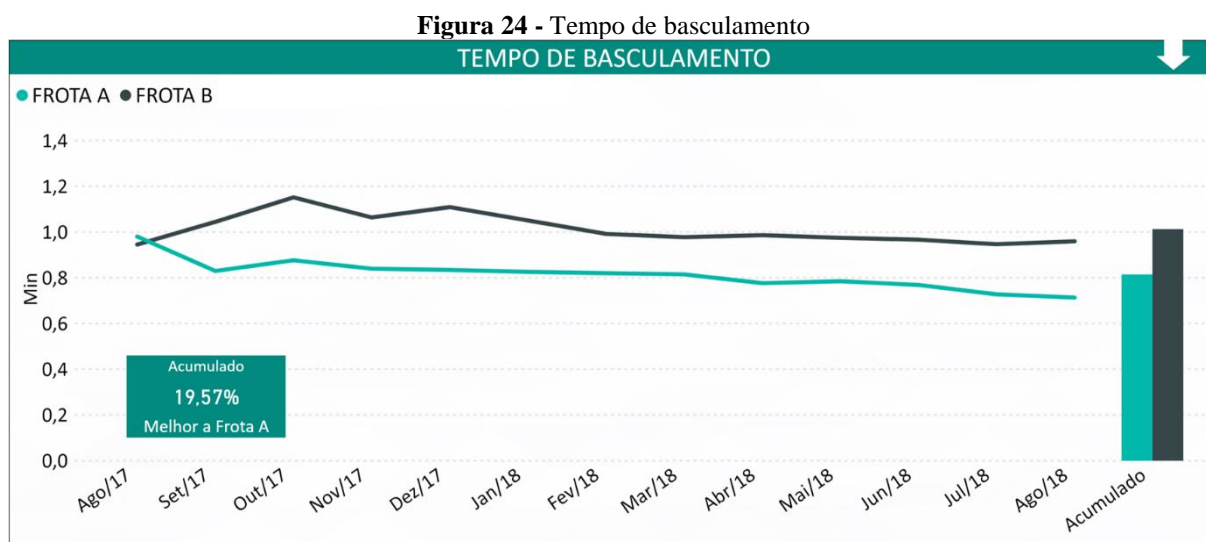
A falta de experiência dos operadores com os caminhões elétricos, mesmo com constantes treinamentos, pode ter influenciado no alto tempo de manobra.

Apesar de apresentarem tempo distintos as frotas exibiram uma mesma tendência na disposição da curva do indicador, os dois iniciaram o comparativo com tempo altos e foram diminuindo os tempos com o passar dos meses.

Muitos são os fatores que podem influenciar na atividade, desde as dimensões dos caminhões até a sua flexibilidade, mas os dois principais fatores que podem influenciar e o operador e a praça de manobra. Então, realizar treinamentos com os motoristas dos caminhões

e ter uma praça de manobra com área ampla, pode ajudar muito aos operadores para diminuir os tempos de manobra.

Na Figura 24, é mostrado os resultados obtidos para os tempos de basculamento realizado pelos caminhões das frotas.



No primeiro mês do comparativo os caminhões das frotas realizaram quase que um mesmo tempo para o basculamento de material, os dois realizaram tempos próximos de 1 min, mas com a Frota A realizando um tempo superior. Seguindo para o mês de setembro/17 as frotas apresentaram resultados adverso, enquanto a Frota A realizava tempos próximos de 0,8 min, a Frota B apresentou tempos superiores a 1 min, continuando a subir até atingir seu maior tempo com pouco mais de 1,1 min no mês de outubro/17.

A partir de dezembro/17 as frotas tiveram uma redução em seus tempos de basculamento até o fim do período comparado, o tempo médio de basculamento neste período realizado pela Frota A foi de pouco menos de 0,8 min e para a Frota B de quase 1,0 min. No acumulado para o período analisado a Frota B apresentou um maior tempo para bascular, sendo cerca de 0,2 min mais lento, enquanto a Frota A realizava tempos próximos de 0,8 min a Frota B apresentou tempos de quase 1,0 min. A variação entre o maior e menor valor praticado pela Frota A foi de quase 27% e para a Frota B de quase 17%.

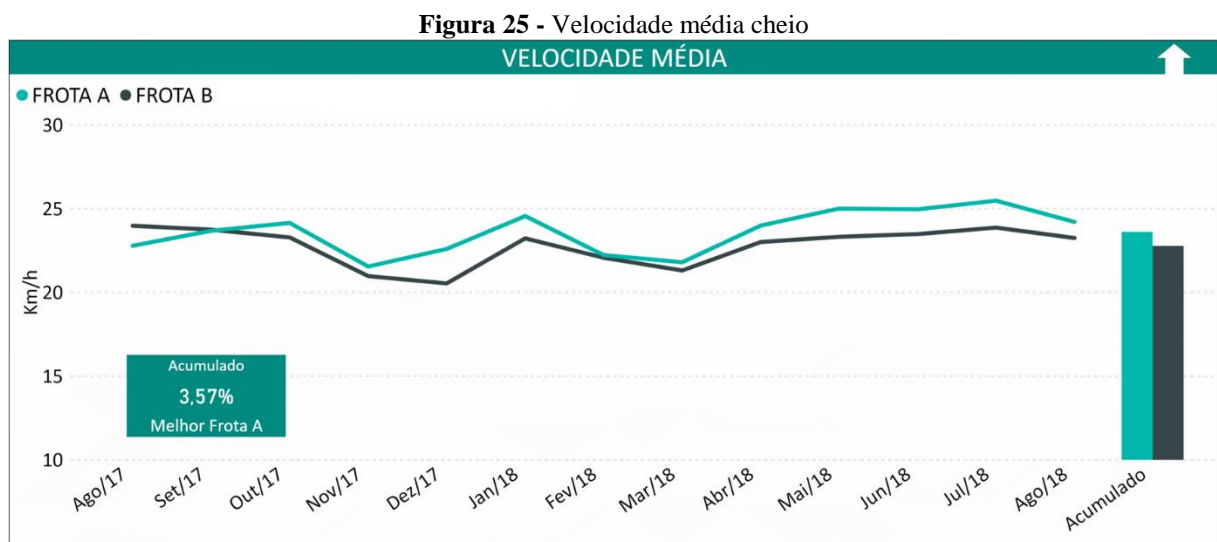
Para este indicador a Frota A foi a que apresentou melhores resultados, os tempos realizados para o basculamento foram menores que a Frota B em quase todo o período analisado, isso mostra que os caminhões da Frota A tem uma operação de basculamento mais ágil. O tempo que a báscula leva para descer são muito parecidos para as frotas, como esperado

visto sua especificação técnica, mas um dos fatores que contribui para a diferença no tempo de basculamento está relacionado com o formato da báscula.

Os caminhões da Frota A tem uma báscula com um formato arredondado que leva o material a escoar de forma mais rápida e continua, ao contrário da Frota B que tem uma báscula com os fundos planos. O formato da báscula também interfere na centralizao da carga na báscula, com isso pode ocorrer um aumento no tempo de descarga, além de fazer com que o equipamento sofra com maiores esforços mecânicos nos componentes do caminhão, principalmente a suspeno.

O tempo de basculamento podem ser diminuídos com treinamentos e orientaes para com os operadores, pois por mais que os caminhões tenham respostas diferentes ao levantamento, quem controla a velocidade para levantar ou abaixar a báscula são os próprios operadores. Outra forma de ajudar os operadores a realizar melhores tempos  tendo os britadores com um maior tamanho possível de área de recebimento do material.

A seguir será apresentado os resultados encontrados para as velocidades média dos caminhões: cheio, vazio e a global. A primeira velocidade a ser apresentada será a velocidade média de transporte com o veículo cheio.



Fonte - Autoria própria (2019)

Através da Figura 25 é visto que a Frota A teve uma velocidade média cheio menor que a Frota B no primeiro mês do comparativo, atingindo cerca de 19 km/h enquanto a Frota B apresentou uma média de mais de 20 km/h. De setembro/17 até o ms de outubro/17 as frotas tiveram resultados opostos, enquanto a Frota A teve um aumento de sua velocidade atingindo

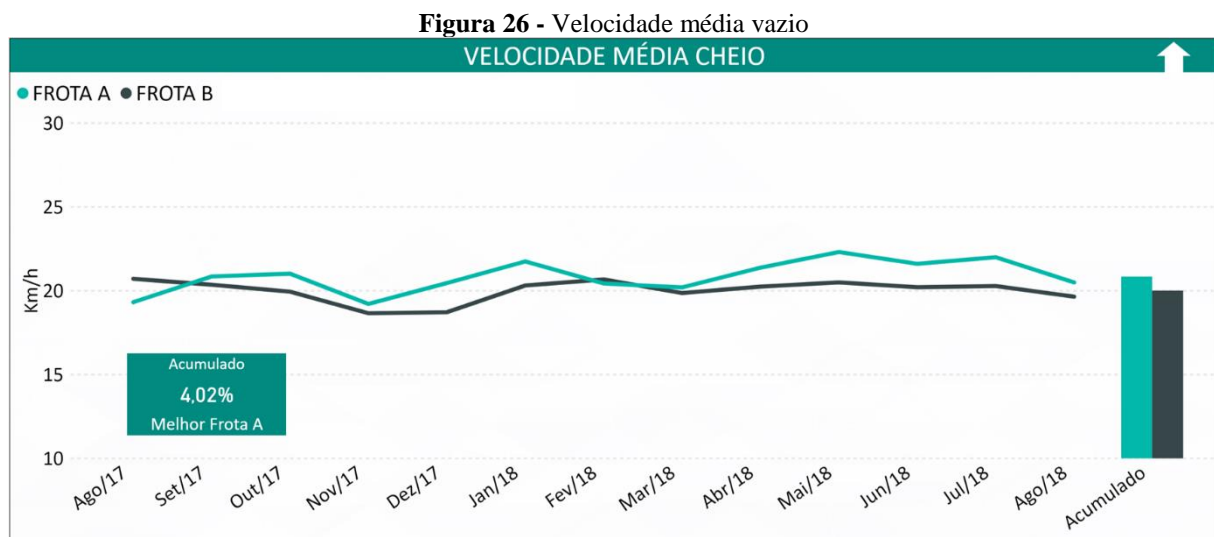
mais de 21 km/h, a Frota B diminuiu a sua velocidade para pouco mais de 18 km/h, mantendo até dezembro/17 a diminuição.

Entre os meses de fevereiro/18 e março/18 as frotas apresentaram praticamente as mesmas velocidades no transporte cheio em torno de 20 km/h, a partir daí os caminhões mantiveram uma oscilação com mesma tendência, mas com a Frota A com uma velocidade de cerca de 1 km/h maior que a Frota B no transporte carregado. No acumulado das frotas para o período analisado a diferença na velocidade foi de quase 5%, enquanto a Frota A teve uma média de 21 km/h a Frota B teve uma média de 20 km/h.

É possível notar que as duas frotas tiveram um comportamento semelhante na formação da curva do indicador, tiveram os mesmos períodos de aumento e diminuição da velocidade. A Frota A foi a frota que realizou melhores velocidades, a alta velocidade de transporte mostra que os caminhões podem transportar a carga estipulada em um menor tempo. Os caminhões da Frota B apesar de trafegarem em velocidades menores tiveram uma maior linearidade na velocidade que os caminhões da Frota A, sendo utilizado de forma mais eficiente.

Na mina a velocidade máxima que os caminhões podem trafegar é controlada pelo setor de operação. Um fator que influencia nas velocidades praticadas pelos caminhões são os operadores, o modo como eles operam o caminhão é fundamental para melhorar a velocidade média realizada e manter uma maior linearidade na velocidade, então realizar treinamentos e orientação dos operadores passa a ser ideal na busca de menores tempos de ciclo.

O próximo indicador de velocidade a ser mostrado é o indicador de velocidade média vazio que os caminhões andam nas minas. Na Figura 26 abaixo é possível visualizar as curvas do indicador formada pela Frota A e Frota B.



Fonte - Autoria própria (2019)

Nos dois primeiros meses do comparativo os caminhões não tiveram mudança nas velocidades de transporte sem material realizado para as frotas, sendo realizado pela Frota A nos meses de agosto/17 e setembro/17 uma velocidade média de quase 27 km/h, e para a Frota B 28,5 km/h. Após o mês de setembro a velocidade das frotas se inverteram, fazendo com que os caminhões das frotas fechassem o mês com uma velocidade próxima dos 28 km/h, mas com a Frota A com um valor um pouco maior.

Entre os meses de novembro/17 e dezembro/17 as frotas tiveram uma redução bastante acentuada em suas velocidades, com uma queda de quase 4 km/h. A velocidade das frotas voltou a subir no mês de janeiro/18, quando atingiram velocidades próximas de 28 km/h e voltaram a repetir a queda de velocidade sofrida do final de 2017 com a mesma intensidade no mês de março/18, fazendo as frotas atingirem seus menores valores de traslado.

A Frota A realizou no mês de março/18 uma velocidade vazia de quase 24 km/h e a Frota B de quase 23 km/h, na sequência tiveram um aumento de velocidade até o último mês comparado. Os caminhões fecharam o mês de agosto/18 com uma velocidade para a Frota B de quase 28 km/h e a Frota A com quase 29 km/h.

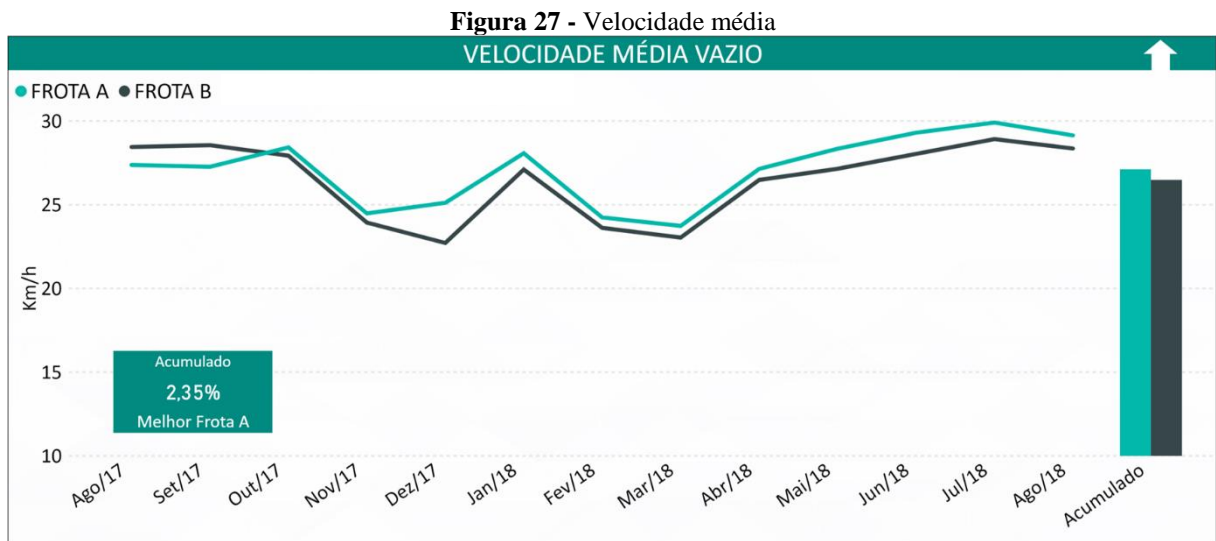
No acumulado para o período analisado os caminhões tiveram uma diferença de 1km/h na velocidade, enquanto a Frota A teve uma média de 27 km/h, a Frota B teve uma média de 26 km/h. As frotas tiveram uma variação entre o maior e menor valor da velocidade de quase 21%.

O indicador mostrou que os caminhões da Frota A praticam uma velocidade quando estão vazios maior que os caminhões da Frota B, fazendo com que a Frota A tenha maior eficiência em sua locomoção na mina, ajudando na diminuição do tempo de ciclo. É visto também que assim como na velocidade quando carregado, na velocidade quando vazio as frotas apresentam uma mesma tendência na oscilação de sua velocidade.

As mesmas ações que podem ser aplicadas para melhorar o indicador de velocidade cheio, podem ser replicadas para maximizar as velocidades de transporte vazio.

A seguir na Figura 27, será apresentado a curva do indicador de velocidade média global para o transporte de material das duas frotas comparadas.

Nos três primeiros meses do comparativo as frotas alteraram de posição em suas velocidades médias, no mês de agosto/17 a Frota B apresentava uma velocidade maior que a Frota A, enquanto a Frota B tinha sua maior velocidade durante um ano de quase 24 km/h a Frota A teve quase 23 km/h de velocidade.



No mês de setembro/17 as frotas realizaram a mesma velocidade média de 23,5 km/h e inverteram a posição em outubro, quando a Frota A passou a ter uma velocidade de quase 24 km/h e a Frota B caiu para quase 23 km/h.

Entre os meses de outubro/17 e março/18 as frotas passaram por um período de muita oscilação em suas velocidades médias, neste período as velocidades caíram em novembro/17, voltaram a subir até o mês de janeiro/18 quando atingiram entre 23 km/h e 24,5 km/h e novamente caíram até o mês de março fechando com uma velocidade de quase 22 km/h para a Frota A e quase 21 km/h para a Frota B.

A partir de abril/18 as frotas tiveram uma melhora de suas velocidades até o mês de julho/18, quando a Frota A teve sua melhor velocidade de aproximadamente 25 km/h e a Frota B de quase 24 km/h, depois tiveram uma pequena caída fechando próximos dos 24 km/h.

No acumulado para as frotas da velocidade média praticada pelos caminhões na mina, a diferença é de pouco mais de 3,5%, a Frota A fechou o período com uma velocidade de mais de 23 km/h e a Frota B de quase 22,5 km/h. A variação entre o maior e menor valor praticados pelas frotas foram de aproximadamente 14% para as duas frotas.

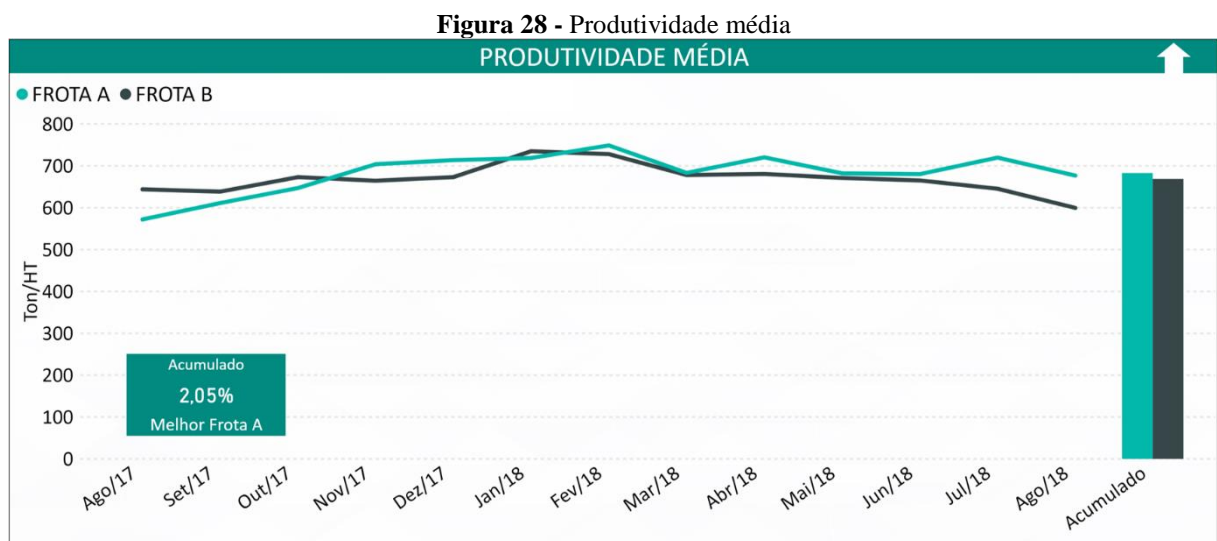
É visto pelas curvas do indicador das frotas que os caminhões da Frota A apesar de iniciar o comparativo com uma velocidade inferior à Frota B, pode ser explicado pela ausência de experiência com o equipamento naquele momento, apresenta uma velocidade média de transporte superior em quase todo o período analisado, fazendo que a frota seja a mais eficiente, como esperado visto a especificação técnica dos equipamentos.

A configuração do caminhão diesel-elétrico contribui para uma maior velocidade, pois o equipamento perde menos rotação nas mudanças de marchas, a transmissão de potência e de

forma mais eficiente, outro ponto é a presença do sistema de retardo que ajuda a manter a velocidade mais linear nas descidas.

Os mesmos fatores já mencionados para os indicadores de velocidade cheio e vazio, também podem influenciar nas velocidades médias de transporte dos caminhões, e consequentemente as mesmas medidas podem ser adotadas para realizar uma melhora deste indicador.

Na Figura 28, tem-se as curvas do indicador de produtividade média realizada pelos caminhões das frotas.



Fonte - Autoria própria (2019)

Os caminhões da Frota A e Frota B tiveram no início do período comparado uma produtividade bastante diferente, durante o mês de agosto/17 a Frota B teve uma produtividade média de quase 644 ton/ht e a Frota A de quase 572 ton/ht, tendo uma diferença considerável de 72 ton/ht.

A Frota B manteve uma produtividade maior até o mês de outubro/17 quando os caminhões produziram 673 ton/ht contra 647 ton/ht da Frota A, depois disso a Frota A assumiu a posição de melhor produtividade passando a produzir quase 704 ton/ht contra 644 ton/ht da Frota B.

Entre os meses de janeiro/18 e fevereiro/18 as frotas tiveram quase que uma mesma produtividade média de aproximadamente 733 ton/ht, maior valor para a Frota B, e o mesmo ocorreu no mês de março/18, mas com uma produtividade média em torno de 680 ton/ht.

Na sequência a Frota B teve um decréscimo de sua produtividade quase que de forma continua até atingir quase 600 ton/ht em agosto/18. Já para a Frota A a produtividade melhorou

no mês de abril/18, voltou a cair em maio/18 e subiu em julho/18 atingindo seu maior valor de produtividade de quase 720 ton/ht, fechando o comparativo em agosto/18 com quase 676 ton/ht.

No acumulado para as frotas do período de um ano, os caminhões da Frota A tiveram uma produtividade média de quase 683 ton/ht e os caminhões da Frota B de quase 667 ton/ht, quase 2,5% de diferença. A Frota A obteve uma variação de sua produtividade de aproximadamente 24% e os caminhões da Frota B de quase 18%, durante todo o período.

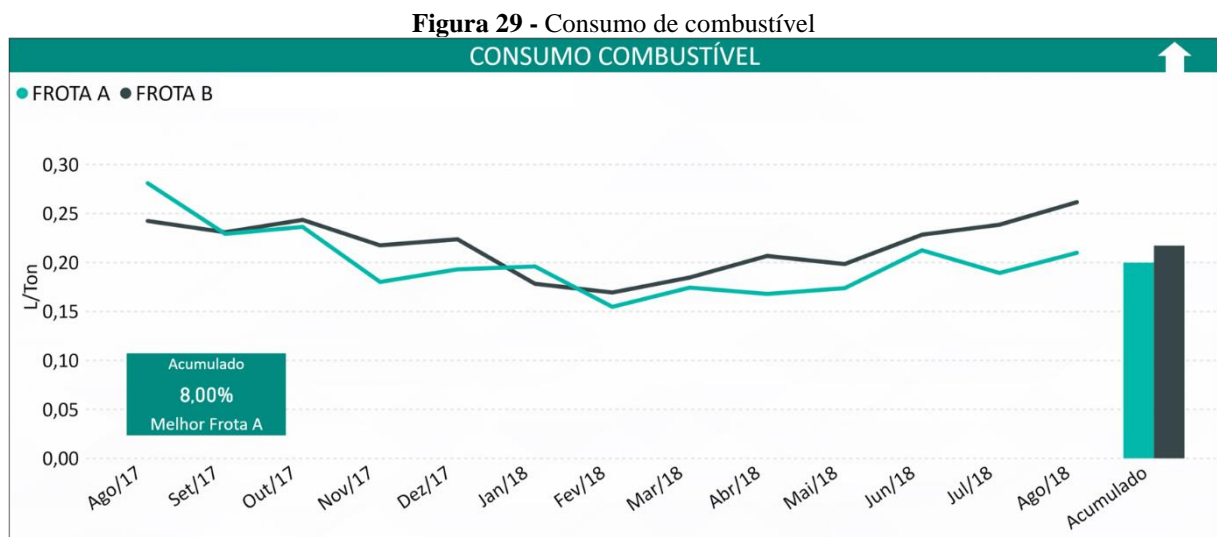
Durante o período comparado os caminhões da Frota A foram os que tiveram a maior produtividade por hora trabalhada, fazendo da frota a mais eficiente na movimentação de material.

Esta boa produtividade está diretamente relacionada com a boa disponibilidade física do equipamento e a boa resposta de performance dos indicadores de operação apresentados. A Frota B apesar de ter uma produtividade minimamente menor, apresentou uma maior linearidade de sua produtividade, sendo um ponto positivo para a frota, pois significa que o equipamento tem um padrão de utilização.

As curvas do indicador apresentaram de certo modo uma mesma tendência em sua construção, mais uma vez mostrando que o comparativo foi realizado sob mesmas condições operacionais.

O indicador de produtividade média é influenciado pelos indicadores de manutenção e operação mostrados até aqui, podem realizar nestes indicadores uma melhor produtividade do equipamento. Além disso, realizando um bom gerenciamento do transporte na mina e diminuindo a DMT também pode ajudar e ter melhores produtividades.

Na Figura 29, tem-se as curvas para o indicador de consumo de combustível.



Fonte - Autoria própria (2019)

Após este início com um consumo alto, as frotas tiveram uma oscilação positiva entre os meses de setembro/17 e fevereiro/18 reduzindo o consumo, em fevereiro/18 foi o mês em que as frotas realizaram o menor consumo de combustível durante o ano de operação. Neste mês foi realizado pela Frota A um consumo médio de aproximadamente 0,15 l/ton e para a Frota B de quase 0,17 l/ton.

A partir do mês de fevereiro/18 o consumo de combustível dos caminhões voltaram a subir de forma gradativa até o agosto/18, último mês comparado. Primeiro em abril/18 as frotas registravam 0,20 l/ton para a Frota B e 0,16 l/ton para a Frota A, depois subiu mais um pouco atingindo aproximadamente 0,23 l/ton para a Frota B e de quase 0,20 l/ton para a Frota A no mês de junho/18. Chegando, então ao mês de agosto/18 com um consumo médio de combustível de aproximadamente 0,21 l/ton realizado pela Frota A e cerca de 0,26 l/ton para a Frota B, tornando o maior valor da frota no período.

As frotas tiveram durante o período analisado uma variação entre o maior e menor valor de consumo de combustível alto, para a Frota A a variação foi cerca de 44% no consumo e para a Frota B de quase 35%. No acumulado para este um ano de operação a Frota B obteve pouco mais de 0,22 l/ton e a Frota A de quase 0,20 l/ton, uma diferença de 8% no acumulado.

É observado que o desempenho das frotas seguiu uma mesma tendência de aumento e diminuição do consumo, ou seja, o consumo caiu e aumentou nos mesmos períodos, mas com a variação diferente. No geral o consumo de combustível dos caminhões da Frota A são menores que o da Frota B, fazendo da Frota A a frota mais eficiente no consumo de combustível.

A utilização de motores elétricos nos caminhões, fazem com que seja necessário o emprego de menor trabalho do motor diesel para sua movimentação, devido a mínima perda de energia do sistema, principalmente nas mudanças de marchas, fazendo a transmissão de potência ser de forma mais contínua.

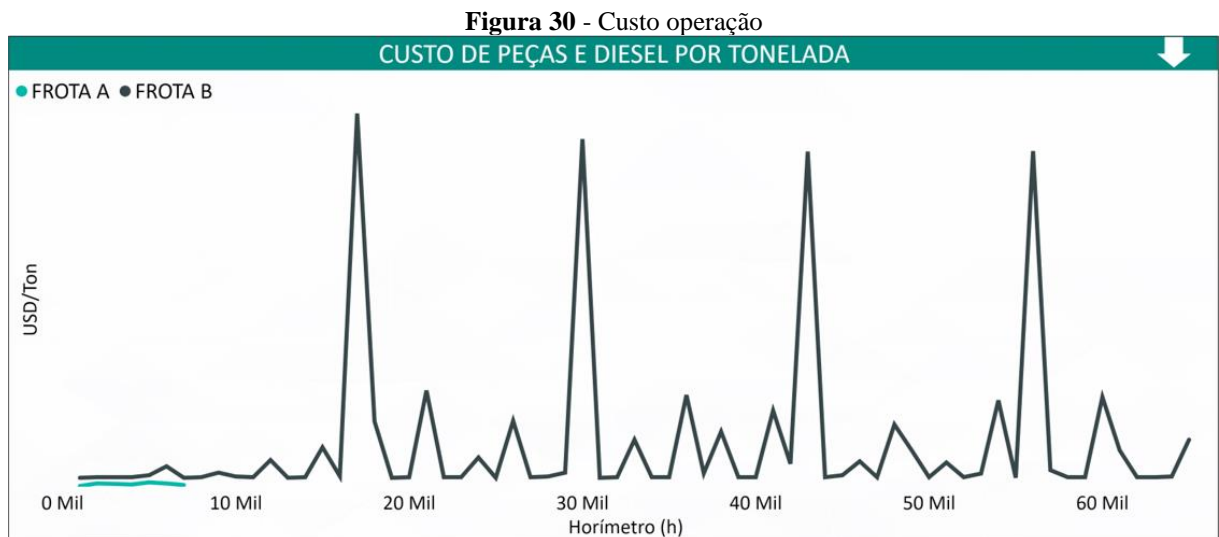
No sistema de tração mecânica apesar do conversor de torque minimizar as perdas e multiplicar a potência gerada, a necessidade de uma caixa de velocidades, faz com que se tenha uma perda de potência considerável devido os choques mecânicos entre os componentes do trem de força.

O fato de os caminhões diesel-elétrico serem equipados com um sistema de retardo dinâmico que absorve a energia gerada pelo movimento do equipamento, para então ser utilizado para tocar o motor diesel que faz o funcionamento de componentes auxiliares, fazem com que o consumo de combustível seja minimizado.

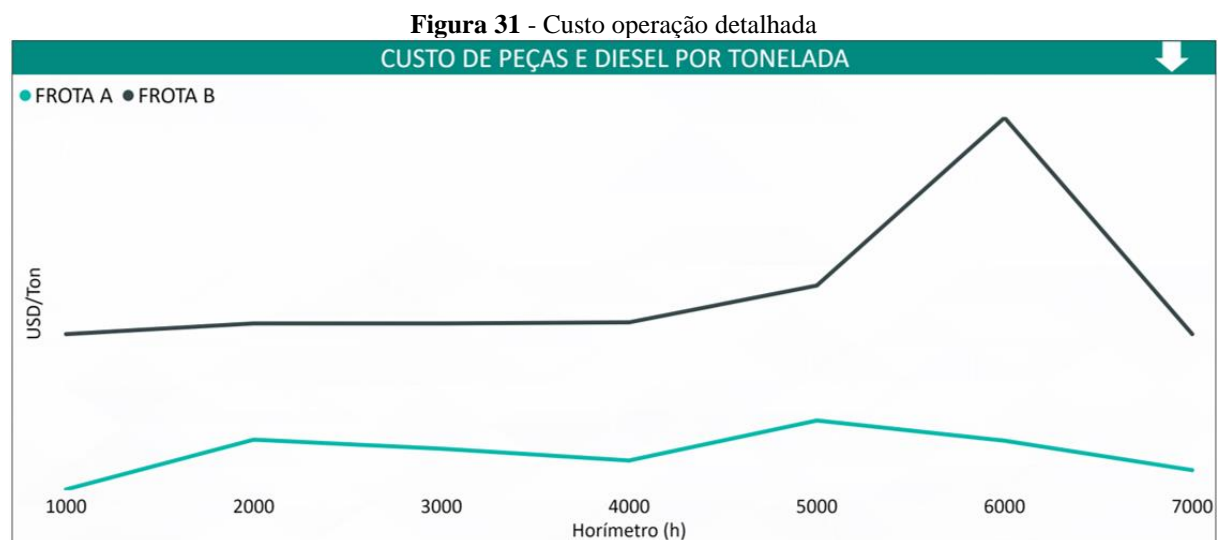
Uma das formas de melhorar o indicador de consumo de combustível para os caminhões é investindo no operador do caminhão, de forma que ela possa realizar o transporte com velocidades mais constantes. Também, treinando o operador de carga para realizar o procedimento de carregamento do caminhão com cargas mais lineares e construindo pista com menores inclinações e mantendo a calibragem certa dos pneus.

O indicador de custo de operação pode ser considerado um dos mais importantes do estudo, pois é nele que é visto qual dos modelos de caminhões mais se adequa ao interesse da empresa. Foi realizado um gráfico mais detalhado para facilitar a interpretação do indicador.

O último indicador a ser apresentado são as Figuras 30 e 31, custo de peças e diesel por tonelada transportada.



Fonte - Autoria própria (2019)



Fonte - Autoria própria (2019)

Na Figura 31, é visto que no começo da vida dos caminhões, com o horímetro marcando 1000 horas das frotas apresentaram uma diferença no gasto para a operação de aproximadamente 6,7% melhor para a Frota A. Com 2000 horas de horímetro os custos de operação aumentaram em quase 2,2% para a Frota A, enquanto a Frota B quase não alterou seu custo, caindo a diferença para quase 5% entre as frotas.

O custo de operação realizado pelos caminhões teve um aumento acentuado até atingirem 5000 horas de horímetro, mas a diferença no custo das frotas permaneceu entre 5% e 6%. Após este período, no intervalo de 5001-6000 horas, a curva do custo de operação dos caminhões da Frota A apresentou uma redução no custo e a Frota B apresentou um aumento de quase 7%, aumentando a diferença para quase 13% em relação a Frota A.

O custo das frotas apresentou uma queda no último período comparado, com 7000 horas de horímetro a diferença entre as frotas foi de aproximadamente 6%.

A diferença entre o menor e maior custo praticado para a operação das frotas foi de aproximadamente 8,5% para a Frota B, enquanto para a Frota A a variação de menos que 1%. Na média dos valores a diferença entre o custo de operação das frotas é de quase 7% para o período de um ano analisado.

Analisando os resultados do custo de operação dos equipamentos é visto que os caminhões diesel-elétrico da Frota A sejam os equipamentos que apresentaram um menor custo para a sua operação para a empresa no período analisado, mostrando ser uma frota mais barata para as condições atuais que estão sendo utilizados. Essa diferença no custo de operação dos caminhões é fortemente influenciada por dois motivos, o consumo de combustível e a produtividade do equipamento.

Os equipamentos com o trem de força mecânico apresentam um baixo custo de manutenção com peças, entretanto o consumo de diesel por tonelada produzida é alto e sua produtividade é baixa, com isso o custo por cada tonelada de minério transportada é maior. Ao contrário, os diesel-elétrico produzem mais, consomem menos e apesar de ter um custo com peças maiores os caminhões tem um custo geral menor.

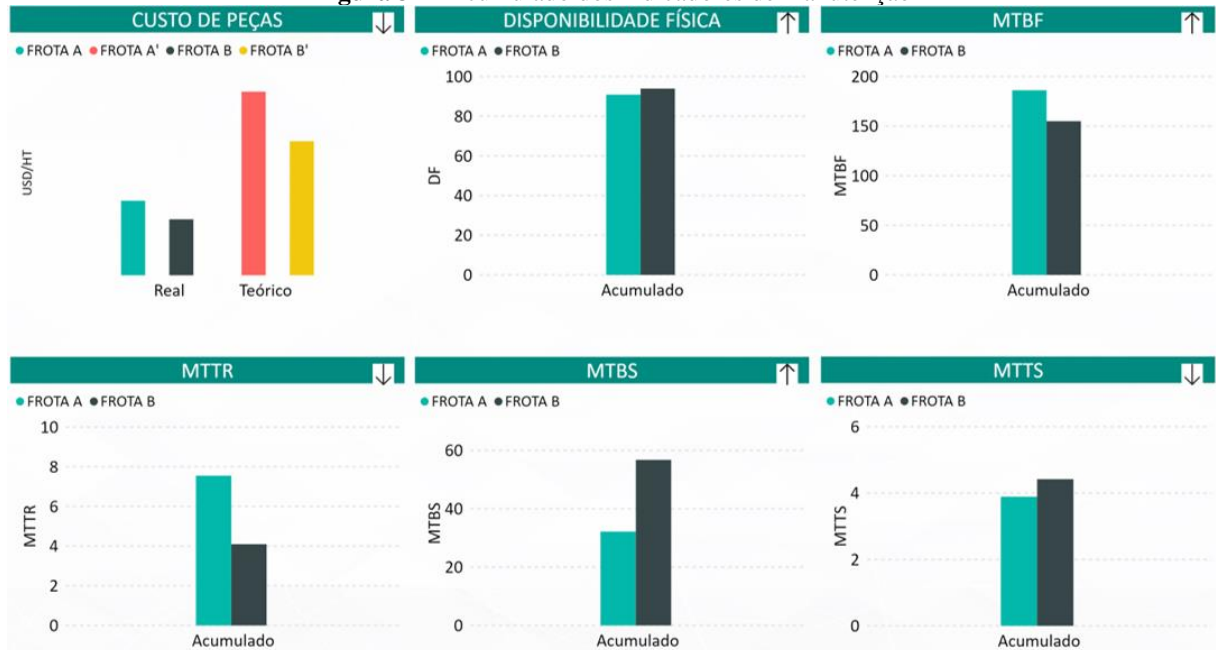
Na Figura 30, através da curva do indicador de custo de operação formado pela Frota B com o passar dos anos de utilização do equipamento, pode ser observado que o custo com a operação dos caminhões sofre picos nos momentos em que os componentes principais dos caminhões passam por reformas ou substituições dos mesmos e depois decrescem novamente.

Após a primeira reforma dos componentes do trem de força nota-se que o intervalo entre os picos de alto custo diminui, ou seja, os componentes do trem de força tendem a trabalhar

menos tempo após realização de suas reformas, como era esperado observando os resultados da projeção de custo de peças feito pelo fabricante.

Conforme citado anteriormente, o acumulado dos indicadores pode ser visto nas Figuras 31 e 32, como propósito de melhorar a interpretação dos resultados obtidos.

Figura 32 - Acumulado dos indicadores de manutenção



Fonte - Autoria própria (2019)

Figura 33 - Acumulado dos indicadores de operação



Fonte - Autoria própria (2019)

6 CONCLUSÃO

De uma forma geral o estudo mostra que as frotas comparadas apresentam um comportamento semelhante nas curvas de seus indicadores de desempenho, isso mostra que os equipamentos estavam operando sob mesmas condições de mina e que foram comparados em uma mesma vida de utilização.

Analisando separadamente os indicadores de manutenção e operação dos equipamentos, entende-se que os caminhões mecânicos e diesel-elétrico apresentam resultados próximos na sua manutenção, todavia a Frota A apresenta uma boa oportunidade de melhora.

Olhando para os dois principais indicadores de manutenção estudados, disponibilidade física e custo de manutenção, a Frota B tem números melhores do que a Frota A, sendo um equipamento mais barato em suas manutenções, muito devido aos componentes do trem de força serem menos complexo, tendo menos gastos com os reparos.

Entretanto é esperado que a vida útil dos componentes principais do trem de força do caminhão diesel-elétrico seja maior que o mecânico. A disponibilidade física dos equipamentos ficou muito próxima, mas nota-se que a Frota A apresenta uma maior oscilação de sua DF em alguns períodos de maior tempo na manutenção.

Os tempos entre as manutenções realizadas nos equipamentos da Frota A são consideravelmente maiores que os tempos entre os reparos realizados pela a Frota B, isso mostra que o equipamento com o trem de força diesel-elétrico apresenta ter os componentes mais confiáveis, que necessitam de menos manutenções devido ao menor número de quebras.

Porém o tempo entre os reparos são maiores. Os caminhões diesel-elétricos têm um sistema mais complexo ocasionando um tempo reparo maior que a Frota B.

O principal motivo para isso ocorrer é a falta de experiência que os mecânicos têm com este tipo de trem de força. Conseguindo elevar o grau de experiência da equipe com o equipamento, pode-se alcançar melhores índices para a disponibilidade do caminhão. A Frota B por sua vez, limita sua disponibilidade física devido ao maior número de ocorrências de falhas que os caminhões sofrem.

Analisando como é o comportamento dos equipamentos em operação, o resultado dos indicadores apresentados pela Frota A foram melhores que os apresentados pela Frota B em quase todos os indicadores, considerando-o um caminhão mais ágil e com maior produtividade.

A frota diesel-elétrica vez valer o prometido pelo fabricante, os equipamentos da Frota A apresentaram uma maior velocidade média de transporte e um menor consumo de

combustível. Isso, está relacionado a sua configuração de trem de força e ao sistema de retardo dinâmico do caminhão que permite que o equipamento tenha uma velocidade maior de forma que o consumo seja mais eficiente, aproveitando melhor a energia durante a propulsão do equipamento.

Em contrapartida a Frota B de tração inteiramente mecânica sofre com as diversas perdas de potência através dos contatos mecânicos que o sistema possui, fazendo com que o consumo de combustível seja superior, e isso, não é bom já que a maior parte do custo de transporte é com combustível.

Apesar de não ser possível mostrar o gasto de operação realizado pelas frotas em espécie, devido restrições na divulgação dos dados, o indicador de custo de operação utilizado no trabalho foi importante para identificar o equipamento mais barato na operação. O indicador mostrou que os caminhões da Frota A, apresentam um custo para a movimentação de material menor que a Frota B.

Assim, conclui-se que através dos indicadores analisados das frotas de caminhões de tração mecânica e diesel-elétrica, os equipamentos da Frota A são aqueles que mais se adequam ao planejamento estratégico da empresa de uma produção mais eficiente com um menor custo.

É importante ressaltar que a frota apresenta uma boa oportunidade de evolução, caso a empresa capacite ainda mais os técnicos de manutenção e reveja procedimentos adotados pela área, desta forma, é muito provável que o tempo de manutenção na Frota A seja menor.

Por fim, vale destacar que ao longo dos anos da graduação percebe-se o emprego de muita teoria e pouca prática, mas a realização do estágio fez observar um cenário mais prático. Já na realização deste trabalho observou-se que o uso da teoria em um cenário prático é fundamental para ser um profissional competente, assim pode-se buscar o tão desejado egresso da Engenharia Mecânica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Igor Carneiro. **Projeto de melhoria de indicadores de caminhões fora de estrada**. 2017. 25 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

Al WEBER. **Key performance indicators: Measuring and managing the maintenance function**. ed. 1. Canada: Ivara. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.

BARBOSA, Lucas Bicalho. **Gestão da Manutenção: Diagnóstico do Planejamento da Manutenção para Laboratórios de uma Unidade de uma Instituição de Ensino Superior**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em ENGENHARIA DE PRODUÇÃO) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

BERNARDI, Héctor Adalberto. **Dimensionamento de equipamentos para as operações unitárias de lavra de mina a céu aberto**. 2015. 73 f. Trabalho Conclusão de Curso (Engenharia de Minas) – Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2015.

BORGES, Thiago Campos. **Análise dos custos operacionais de produção no dimensionamento de frotas de carregamento e transporte em mineração**. 2013. 116 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

BRANCO FILHO, Gil. **Indicadores e índices de manutenção**. 1 ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2006.

CAMPOS JUNIOR, C. *et al.* **Desenvolvimento de uma metodologia para redução do consumo específico de diesel em caminhões fora de estrada em uma empresa do setor de mineração**. In: SIMPÓSIO DE EXÉLENCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA. 10, Resende.

CANAL DA PEÇAS. **Conversor de torque: descubra esta tecnologia**. 2019. Disponível em: < <https://www.canaldapeca.com.br/blog/conversor-de-torque-descubra-tecnologia/>>. Acesso em: 27 fev. 2019.

CARDOSO, Douglas. **Avaliação do SAP/R3 como instrumento para a gestão financeira: um estudo de caso no setor siderúrgico brasileiro**. 2001. 227 f. Dissertação (Mestrando em Administração) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

CATERPILLAR. **Guia de serviços Caterpillar: 793D caminhão fora de estrada**. 2006.

CATERPILLAR. **Catálogo: caminhão de mineração 793F**. 2012. Disponível em: < <http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C10428053>>. Acesso em: 18 fev. 2019.

CHAVES, Arthur Pinto. **Teoria e prática do tratamento de minérios**. 2 ed. São Paulo: Signus, 2002. v. 1

COSTA, Bruno, GANGA, Gilberto M. Devós. **Benefícios da implantação de um sistema de despacho: estudo de caso em uma empresa de mineração**. In: ENEGEP, 30, 2010, São Paulo.

COUTINHO, Heitor Lobo. **Melhoria contínua aplicada para carregamento e transporte na operação de mina a céu aberto**. 2017. 86 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Minas) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FELSCH JR., Walter Schmidt. **Análise do desempenho dos operadores de equipamentos de mina e simulação de cenários futuros de lavra: estudo de caso - Mina Casa de Pedra - Congonhas, MG**. 2012. 109 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.

HAIM, Diego. **Redução da inércia rotacional no projeto do trem de força**. 2011. 127 f. Trabalho Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

INSTITUTO MINERE. **Qual a importância da mineração para a economia do país?** 2017. Disponível em: < <https://institutominere.com.br/blog/qual-a-importancia-da-mineracao-para-a-economia>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

JAWORSKI, Tadeo. **Equipamentos para Escavação: compactação e transporte**. 1997. 124 f. Tese (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: função estratégica**. 2 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

KOLONJA, B, KALASKY, D. R., MUTMANSK, J. M.. **Optimization of dispatching criteria for open-pit truck haulage system design using multiple comparisons with the best and common random numbers**. In: CONFERÊNCIA DE SIMULAÇÃO DE INVERNO, 25, 1993, Los Angeles.

KOMATSU, America Corporation. **Manual de oficina: 830E-AC caminhão fora de estrada**. 2006.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

LOPES, José Raimundo. **Viabilização técnica e econômica da lavra contínua de minério de ferro com o uso de sistema de britagem móvel “in pit” auto-propelido**. 2010. 105 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mineral) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

MARTINS, Ana Patrícia Riberio de Almeida Pires **A Influência da Manutenção Industrial no Índice Global de Eficiência (OEE)**. 2012. 128 f. Dissertação (Engenharia e Gestão Industrial) - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.

MENEZES, Ivan Montenegro de, ALMEIDA, Magnus de Lellis. **Manual da manutenção industrial**: Cia Vale do Rio Doce. 2002. 1 ed. Itabira: Lettrográfica, 2002.

MICROSOFT. **O que é Power BI?**. Disponível em:< <https://powerbi.microsoft.com/pt-br/what-is-power-bi/>>. Acesso em 28 abr. 2019.

NUNES, Diego. **Dicas sobre seleção de equipamentos de lavra a céu aberto**. 2011. Disponível em:< <https://pt.scribd.com/doc/56410743/SELECAO-DE-EQUIPAMENTOS-DE-LAVRA-A-CEU-ABERTO>>. Acesso em: 12 jan. 2019.

OPERACTION. **Transmissões e acoplamentos**. 2019. Disponível em:<<http://www.operaction.com.br/transmissoes-e-acoplamentos>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

PINTO, Eduardo Barbosa. **Despacho de caminhões em mineração usando lógica nebulosa, visando ao atendimento simultâneo de políticas excludentes**. 2007. 108 f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

PRICE S.; **Iron Ore** - Investor Demands and Financial Markets. Azure Capital, 2014.

QUEVEDO, J. M. G., DIALLO, M., LUSTOSA, L. J. **Modelo de simulação para o sistema de carregamento e transporte em mina a céu aberto**. 2009. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Pontifícia Universidade Católica, 2009.

RIBEIRO, Fernando Ferreira Fernandes. **Manual de indicadores de desempenho**. 2017. São Paulo, 2017.

RICARDO, Hélio de Souza; CATALANI, Guilherme. **Manual prático de escavação: terraplanagem e escavação de rocha**. 3 ed. São Paulo: Pini, 2007.

RIZZOTTO, Robson. **O que são indicadores de desempenho e como usá-los em sua empresa**. 2017. Disponível em:< <https://www.foccoerp.com.br/gestao-de-empresas/o-que-sao-indicadores-de-desempenho/>>. Acesso em 02 nov. 2018.

ROCHA, Luciano G. M., CHAVES, Sisley M. de Freitas. Estudo da influência do carregamento e transporte através do dimensionamento de frota. **Revista Pensar**. Belo Horizonte, v. 2, n. 1, jan. 2015. Disponível em:<http://revistapensar.com.br/engenharia/pasta_upload/artigos/a181.pdf>. Acesso em: out. 2018.

SANTOS, Eduardo. **5 principais indicadores de manutenção com MTBF e MTTR**. 2017. Disponível em:< <https://fieldcontrol.com.br/blog/processos/indicadores-de-manutencao/>>. Acesso em: 07 out. 2018.

SOLFTTEK. **Treinamento SAP R/3**. 2011. Disponível em:<https://essel.com.br/cursos/material/02/plano_manut/PM_Treinamento.ppt>. Acesso em: 15 dez. 2018.

SOTREQ. **Treino básico**: trem de força Caterpillar. 2004. Disponível em:< <https://www.ebah.com.br/content/ABAAABfQgAA/apostila-power-train-caterpillar>>. Acesso em 02 fev. 2019.

SOUSA JUNIOR, Wilson Ribeiro. **Seleção de caminhões rodoviários para mineração utilizando a metodologia de auxílio multicritério a decisão, estudo de caso**: mineração de bauxita. 2012. 160 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mineral) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.

SUEHIRO, Kikou. **Eliminating Minor Stoppages on Automated Lines**. New York: Productivity Press, 1992.

TAKASHINA, N. T.; FLORES, M. C. X. **Indicadores da qualidade e do desempenho**. Rio de Janeiro: QualyMark, 1996.

TEIXEIRA, Lucas Augusto da Costa. **Caracterização de payloads via telemetria**. 2016. 83 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

TOMI, Giorgio de. **Sistema de despacho**: controle de operação de lavra. 2017. Disponível em:< https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3232922/mod_resource/content/1/PMI-3213-5%20Sistemas%20de%20Despacho_01.pdf >. Acesso em: 13 dez. 2018.

VALE. **Curso de mineração básico**: modulo II geologia de mina e operações de lavra. 2017. Disponível em:< http://portaldamineracao.com.br/wpcontent/uploads/2017/07/apo_cbm_modulo_2.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2018.

VALE. **Qual a importância da mineração para a economia do país?**. 2017. Disponível em:< <http://www.vale.com/brasil/pt/aboutvale/news/paginas/qual-a-importancia-da-mineracao-para-a-economia-do-pais.aspx>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

VALE. **Manual de indicadores Vale**: Procedimento Operacional PRO-005172, Rio de Janeiro, 2012.

VIEIRA, Clério, SOUZA, Igor. **The life cycle cost applied into mining equipment**: replace or rebuild it?. In: WORLD MINING CONGRESS. 24, 2016, Rio de Janeiro.

VIEIRA, Evair Daniel. **Sistema ERP SAP**: integrações entre sistemas. 2014. 83 f. Trabalho Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação) – Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, Assis, 2014.

XENOS, H. G. P. **Gerenciando a manutenção produtiva**: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade. 1. ed. Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004.

YOSHITAKE, M. **Gestão de custos do ciclo de vida de um ativo**. Em: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CUSTOS, 2., 1995, Campinas. Anais... São Leopoldo: Associação Brasileira de Custos, 1995.

APÊNDICE A - Roteiro de pesquisa documental

O QUE	FONTE	DESCRIÇÃO
Índice de manutenção de equipamentos	TOP	Relatório de índices de manutenção de equipamentos das frotas de caminhões A e B - Relatório 58.
Movimentação de carga	TOP	Relatório de movimentação de carga das frotas de caminhões A e B – Relatório 162.
Abastecimento detalhado	TOP	Relatório de abastecimento detalhado das frotas de caminhões A e B – Relatório 37.
Controle de componentes	PCM e GADAS	Planilha de controle de componentes realizado pelo setor de Planejamento e Controle de Manutenção e da Oficina de Reforma de Componentes.
Gasto de peças	SAP	Custo de peças para realização das manutenções dos caminhões da frota A e B retirado do Módulo PM - Transações IW39, ME5A e ME2N.
Horímetro equipamento	SAP	Horímetro atual da frota de caminhões A e B retirado do Módulo PM - Transação IL03 ou IK06.
LCC	Fabricantes	Arquivos de LCC cedidos pelos fabricantes mostrando o custo de manutenção projetado para os caminhões da frota A e B.

Fonte - Autoria própria (2019)