

FACULDADE PITÁGORAS



JÚNIOR CÉSAR DA SILVA MUNIZ

**DIMENSIONAMENTO E OPERAÇÃO DE CAMINHÕES FORA
DE ESTRADA EM MINA DE CÉU ABERTO**

Belo Horizonte
2019

JÚNIOR CÉSAR DA SILVA MUNIZ

**DIMENSIONAMENTO E OPERAÇÃO DE CAMINHÕES FORA
DE ESTRADA EM MINA DE CÉU ABERTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Pitágoras, como requisito parcial para a obtenção do título de graduado em Engenharia de Minas.

Orientador: Especialista João Caetano Barbosa Duarte

JÚNIOR CÉSAR DA SILVA MUNIZ

**DIMENSIONAMENTO E OPERAÇÃO DE CAMINHÕES FORA
DE ESTRADA EM MINA DE CÉU ABERTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade Pitágoras, como requisito parcial
para a obtenção do título de graduado em
Engenharia de Minas.

Orientador: Especialista João Caetano Barbosa
Duarte

BANCA EXAMINADORA

Prof. Pós-graduado João Caetano Barbosa
Duarte

Prof. Pós-graduado Leandro Azevedo da Silva

Prof. Pós-graduado Túlio Viegas Bicalho
Resende

Belo Horizonte, 28 de Maio de 2019

MUNIZ, Júnior César da Silva. **Dimensionamento e operação de caminhões fora de estrada em mina de céu aberto**: 2019. 32 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Minas) – Faculdade Pitágoras, Belo Horizonte, 2019.

RESUMO

Esse estudo tem como objetivo reduzir o impacto que as paradas dos caminhões fora de estrada causam na produção em uma mina de céu aberto. Logo, com a implantação de melhoria na operação da mina, através de técnicas de análise óleos de fluído do caminhão, que seria uma manutenção preventiva. Assim como, as novas tecnologias de caminhões fora de estrada autônomos, sistema que tem apoio dos computadores que troca trabalho humano. Desse modo, entende-se que reduzindo horas paradas improdutivas do equipamento tem ganho no custo final na operação. Embora o trabalho seja uma pesquisa bibliográfica e possível analisar possíveis soluções para as causas das paradas. Portanto a pesquisa demonstrará, assim, melhorias por meio da utilização de cálculos e formulas encontrada na literatura.

Palavras-chave: fora de estrada; manutenção preventiva; caminhão autônomo;

MUNIZ, Júnior César da Silva. **Dimensioning and operation of off-road trucks in open pit mine**: 2019. 32 sheets. Course Completion Work (Undergraduate in Mining Engineering) - Pitágoras College, Belo Horizonte, 2019.

ABSTRACT

This study aims to reduce the impact of off-road truck crashes on production at an open pit mine. Soon, with the implementation of improvement in the operation of the mine, through techniques of analysis of oils flowing from the truck, which would be a preventive maintenance. So also with the new technologies of autonomous off-road trucks, a system that has the support of computers that exchange human labor. In this way it is understood that reducing unproductive downtime of the equipment has a gain in the final cost of the operation. Although the work is a bibliographical research and possible to analyze possible solutions to the causes of the stops. In this way the research will show, therefore, improvements through the use of calculations and formulas found in the literature.

Key-words: off road; preventive maintenance; autonomous truck;

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Caminhão fora de estrada 777G (TIER2).....	14
Figura 2 – Relação de compatibilidade de caminhões fora de estrada e escavadeiras hidráulicas frontais	15
Figura 3 – Relação compatibilidade de caminhões fora de estrada e retroescavadeira hidráulica	16
Figura 4 – Ciclo do caminhão fora de estrada	17
Figura 5 – Custo operacional em uma lavra de céu aberto	18
Figura 6 – Custo da operação da frente de lavra em céu aberto.....	18
Figura 7 – Evolução da linha tempo – Geração de Manutenção	22
Figura 8 – Curva da Banheira (CTMF)	23
Figura 9 – Caminhão fora de estrada autônomo	30
Figura 10 – Sensores do caminhão autônomo detecção de obstáculo	31
Figura 11 – Movimentação de massa pelo simulador	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DF	Disponibilidade Física
IU	Indicador Utilização
HC	Horas Calendário
HH	Horas Horizontes
HM	Horas de Manutenção
HNC	Horas não Controláveis
HP	Horas Produtivos
HR	Horas de Refeição
HT	Horas Trabalhadas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OPERAÇÃO FORA DE ESTRADA.....	13
2.1 CAMINHÕES FORA DE ESTRADA	13
2.2 OPERAÇÃO DE LAVRA EM MINA DE CÉU ABERTO	16
2.3 INDICADORES	18
3. POSSÍVEL PROBLEMA ATRAVÉS ANÁLISE DE FLUÍDO COMO MANUTENÇÃO PREVENTIVA.....	20
3.1 MANUTENÇÃO	20
3.2 MANUTENÇÃO CORRETIVA	22
3.2.1 <i>Manutenção Corretiva Não Planejada</i>	22
3.2.2 <i>Manutenção Corretiva Planejada</i>	22
3.3. MANUTENÇÃO PREVENTIVA	23
3.4. MANUTENÇÃO PRODUTIVO TOTAL	23
3.5. MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE.....	23
3.6 ANÁLISE DE FLUÍDO HIDRÁULICO	24
3.6.1 <i>Problema E Possível Causa</i>	25
4. NOVA TECNOLOGIA NA FROTA DE CAMINHÃO FORA DE ESTRADA.....	26
4.1 EQUIPAMENTO AUTÔNOMO	26
4.2 OPERAÇÃO SUSTENTÁVEL	26
4.3 SEGURANÇA DO CAMINHÃO FORA DE ESTRADA AUTÔNOMO	26
4.4 FORA DE ESTRADA AUTÔNOMO	26
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	31

1. INTRODUÇÃO

No cenário global atual, mineração cada dia necessita maior eficiência para suprir a demanda do mercado. Com isso a mineração e especialmente em uma mina de céu aberto está sempre evoluindo de novas técnicas e tecnologia, objetivando desse trabalho bibliográfico, apresentar a melhor performance no processo operacional de transporte do caminhão fora de estrada em uma mina de céu aberto. A operação de mina constitui atividade potencial de risco, de modo que, melhorar o processo produtivo gera ganhos consideráveis. Conhecendo a operação de uma mina, vendo sua complexidade e as diversas atividades dinâmicas. Pode fazer um planejamento estratégico para aplicar uma melhoria no indicador utilização (IU) dos caminhões fora de estrada.

Esse estudo se justifica por indicar o impacto que as paradas dos caminhões fora de estrada causam na produção em uma mina de céu aberto. A Manutenção dos equipamentos e a troca de turno dos operadores são alguns dos motivos para as paradas dos caminhões. Com isso esse estudo tem como objetivo de apresentar melhoria no equipamento fora de estrada em mina de céu aberto demonstrando através de novas técnicas e novas tecnologia que se encontra no mercado, fazendo melhor aproveitamento do equipamento fora de estrada, aumentando índice de utilização do equipamento na operação.

Com a exigência cada vez maior de aproveitamento e aperfeiçoamento na operação de uma mina. Tem essa necessidade de melhoria na programação dos caminhões que ficam parados. Então como pode ser feito para melhorar na operação de dimensionamento do fora de estrada na lavra de céu aberto?

Será demonstrado através desse estudo o dimensionamento na operação das frotas de caminhão fora de estrada, de modo a minimizar as paradas dos caminhões na mina, conseqüentemente aumentando o indicador utilização (IU) do equipamento de transporte. O propósito do trabalho será alcançado por meio dos seguintes objetivos específicos: conhecer a operação do caminhão fora de estrada em uma mina de céu aberto; identificar possíveis problemas através de análise de fluido como manutenção preventiva dos caminhões; mostrar a nova tecnologia na frota de caminhão fora de estrada, que seria caminhões autônomos.

Esse estudo é uma revisão bibliográfica. Nesse sentido, a intenção é mostrar métodos quantitativos, para gerar uma avaliação objetiva como parâmetros de estudo

e resultados da produção científica, por exemplos: veículos de publicação, autores citação e publicação. Logo, o trabalho foi realizado pesquisa através artigos científicos e publicação com menos de quinze anos, preocupando também métodos mais recentes que se encontra na área acadêmica. Foi realizado consultas em revista, citação, publicação, web sites e livros com base nessa pesquisa bibliográfica.

2. OPERAÇÃO FORA DE ESTRADA

2.1 CAMINHÕES FORA DE ESTRADA

Segundo Rapucci (2009 apud JÚNIOR et al; 2013, p. 3), na escolha de equipamento é uma parte muito importante no projeto de mineração em ligação com a operação de mina. Assim deve-se fazer uma avaliação e um somatório do projeto conhecendo a necessidade da mina. A escolha normalmente que são adotadas é o caminhões fora de estrada, correias transportadora, ou mesmo a junção dos dois. Em grandes projetos de mineração, a escolha do caminhão fora estrada é o comum, devido à ser fácil a sua locomoção a várias frentes de lavras em avanço. Além de sua capacidade de carga e de transporte ser muita alta, otimizando a mina e custo unitário de transporte do minério.

De acordo com Fonseca (2009 apud JÚNIOR et al; 2013, p. 3); destaca-se que a compra e manutenção dos caminhões fora de estrada é muito elevada, com isso fazendo ter maior atenção com manuseio do equipamento e com a manutenção. Também essas condições de aspectos a serem considerados. A condição das vias com bom tráfego, drenagem superficial e a dimensão adequada para o equipamento da mina. Além disso, é importante o cuidado do equipamento durante a operação, com isso colocar operadores qualificados com bom treinamento. E podem auxiliar na preservação do fora de estrada, que se tornam menos possíveis danos o equipamento ou falhas prematuras.

Ainda segundo Fonseca. (2009 apud JÚNIOR et al; 2013, p. 3); caminhões fora de estrada são empregados em minas de subterrâneas e de céu aberto, para carregamento de materiais maciços em média ou pequenas distâncias, além de vantagem de agilidade na sua utilização na mina. E ainda proporciona vida útil médio e longa do equipamento, ciclos mais rápidos. A desvantagens a manutenção onerosa, com isso maior investimento em programas de manutenção de preventiva, de modo a reduzir as paradas que acontece no processo de operação de uma mina.

Figura 1: Caminhão fora de estrada 777G (TIER2).



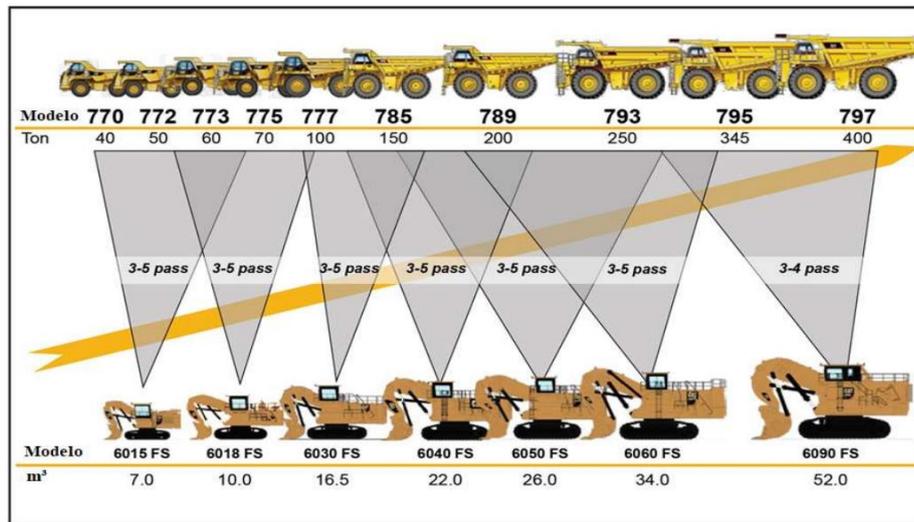
Fonte: Caterpillar (2019)

Segundo Coutinho (2017), a operação de transporte em uma mina de céu aberto, tem objetivo transportar um tipo material desmontado por explosivo ou mecânico da frente de lavra que seria minério (mineral com valor econômico) ou estéril (mineral sem valor econômico) até seu destino final, podendo ser levado para o britador para ser triturado até rocha chegar na granulometria que exigido pela operação. Outro destino seria pilha de estéril quando o mineral não desejado, exemplo: um mina ferro que o seu mineral e o ferro, sílica e o seu rejeito, também pode ser levado direto para siderurgia ou para outros fins específicos. A operação de transporte na lavra convencionalmente e utilizando por caminhões, mas também pode ser transportado por correias transportadora. Cada método tem características diferentes para serem analisadas, os caminhões, por exemplos precisam de condições como a largura, inclinação, qualidade da estrada e condições boas para trafego com segurança.

De acordo Racia (2016 apud LAGES; 2018, p. 19) nas últimas décadas com evolução e surgimentos significativos de novas tecnologias e modernização da mecanização. O tamanho e capacidade dos veículos de transportes da lavra têm sido ampliados, na atualidade o mercado da mineração conta amplas modelos de caminhões fora de estrada, com variados capacidade que seriam 10 toneladas até 500 toneladas que são encontrados no mercado, cada modelo de fora de estrada tem

um equipamento compatível com sua capacidade de carregamento como está mostrando na figura 2 e figura 3. Isso exige uma complexa operação e planejamento da lavra.

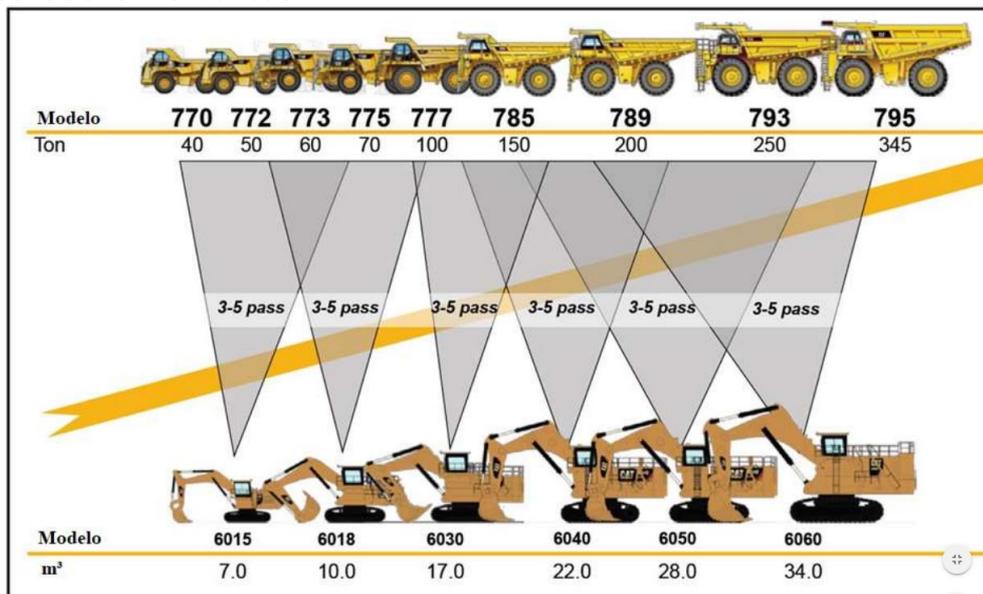
Figura 2: Relação de compatibilidade de caminhões fora de estrada e escavadeiras hidráulicas frontais.



Fonte: CAT Field Guide (2014)

Na figura 3 mostra capacidade de carregamento do caminhão fora de estrada com dimensionado do equipamento com a capacidade compatível para cada modelo de retroescavadeira. (COUTINHO, 2017).

Figura 3: Ralação compatibilidade de caminhões fora de estrada e retroescavadeira hidráulicas.



Fonte: CAT Field Guide (2014)

2.2 OPERAÇÃO DE LAVRA EM MINA DE CÉU ABERTO

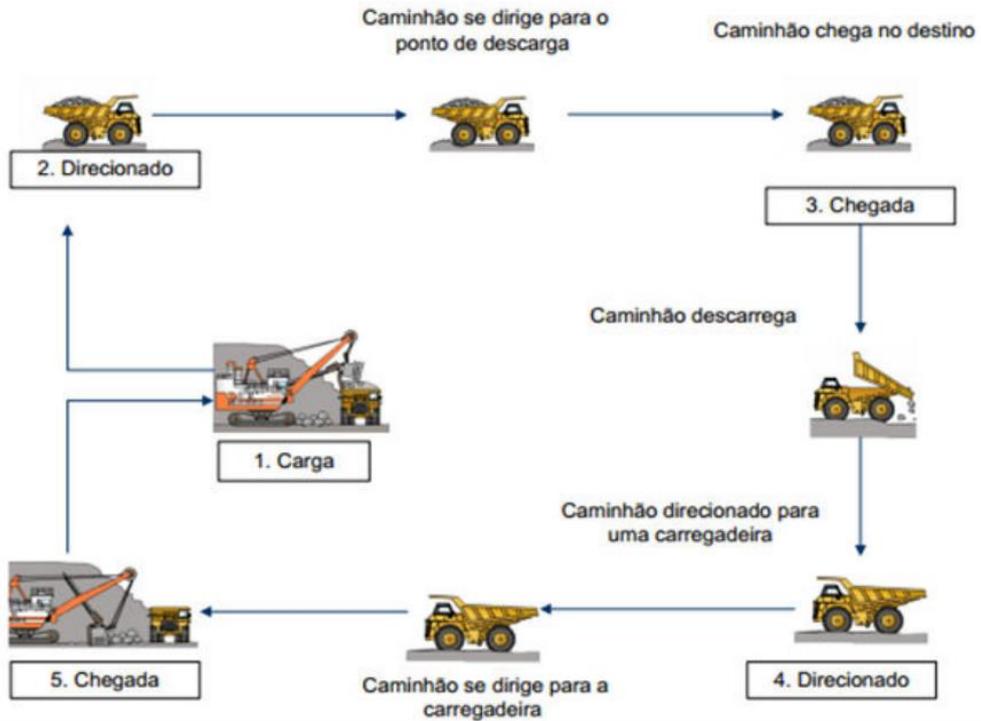
De acordo Hartman e Mutmansky (2002 apud LAGES; 2018, p. 13) as operações de lavras e separados em várias atividades que são classificadas em ciclos, com isso, abranger várias ações que visam desmontar e transportar os elementos da lavra. A operação de lavra que é mais comum em uma mina de céu aberto são: perfuração, desmonte, carregamento e transporte. A sucessão dessa etapa de operação, objetivo de melhora o aproveitamento econômico da sua jazida, conhecimento como ciclo operacional produtivo. Os ciclos podem sofrer alterações dependendo da escolha do equipamento ou método de lavra. Em mina de céu aberto que tem mineiros mais friáveis pode-se trabalhar sem utilização de explosivos para fragmentação da rocha, por causa da dureza na rocha ser baixa com isso pode fazer desmonte mecânico (com próprio equipamento de carregamento). Além disso, com a evolução da tecnologia, há uma constante melhoria do processo de operação e mecanização da atividade mineraria e automação da mina.

Cada passe é considerado como um ciclo de carregamento, incluindo as etapas: avanço até a pilha de material; recuo com caçamba carregada; avanço até o caminhão; descarga; retorno. O tempo de ciclo ideal para cada carregamento está dentro do intervalo de 28 a 42 segundos. Algumas boas práticas são essenciais para que o ciclo de carregamento esteja com o tempo ideal alcançando boa produtividade. (COUTINHO, 2017, p. 19).

De acordo com Coutinho (2017, p. 19) o ciclo da produção dos caminhões fora de estrada é uma atividade dinâmica, cujo objetivo é buscar a otimização de produção: “buscando-se uma otimização de produção através de algoritmos computacionais ou pode ser feita manualmente buscando a fixação da frota em determinada frente de lavra.”

O caminhão fora de estrada desloca vazio até a frente de lavra para ser carregado, se inicia ao ciclo operação do caminhão fora de estrada, depois de ser carregado material desloca para o seu destino final podendo ser o britador, no caso ser for minério, ou pilha de estéril ser for o estéril. Quando chega ao seu destino final o caminhão báscula e depois volta à frente da lavra para ser carregado de novo, encerrado assim o seu completo ciclo, como mostra na figura 4. (COUTINHO, 2017)

Figura 4: Ciclo do caminhão fora de estrada



Fonte: Quevedo (2009)

No mercado tem vários equipamentos de transporte em uma mina de céu aberto. Os mais utilizados são por caminhões e correias transportadoras. A figura 5 mostra a porcentagem dos custos operacionais em lavra de céu aberto (LAGES, 2018).

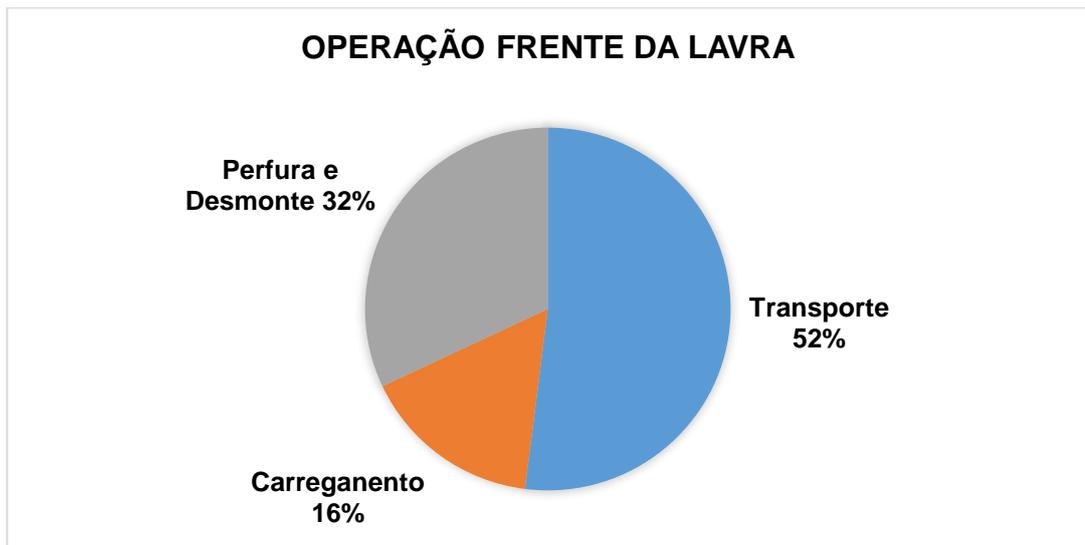
Figura 5: Custo operacional em uma lavra de céu aberto



Fonte: adequação de (LAGES, 2018)

Com alto custo da operação que representa mais de 80% do custo total da lavra de céu aberto. A maior parte do custo vai para transporte que e demonstrado na figura 6, com isso, importância e a preocupação na redução das paradas ociosas e decorrência disso melhorando índices de desempenho do equipamento. (COUTINHO, 2017)

Figura 6: Custo da operação frete de lavra em uma mina de céu aberto.



Fonte: adequação de (COUTINHO, 2017)

2.3 INDICADORES

Segundo Santos e Cruz (2016), os indicadores são o gerenciamento de controle de desempenho do equipamento ou produção e tem o controle significativo da empresa, com esses indicadores pode aplicar melhoria no desempenho operacional. Os indicadores podem ser direcionados para monitoramento do resultado da empresa servindo como referência de tomada decisão ou planejamento estratégico. E pode ser avaliada pelos índices que adquire pelas formulas seguir. Equação. 1

$$HP = HC - HR - HNC \quad (1)$$

HP = Horas Produtivos

HC = Horas Calendário

HR = Horas de Refeição

HNC = Horas não controláveis

Para determinação da disponibilidade física, gasta na manutenção do equipamento. Equação. 2

$$HM = MP * (1 - DF\%) \quad (2)$$

HM = Horas em Manutenção

HP = Horas Produtivas

DF = Disponibilidade Física

Mede o desempenho do equipamento na operação ou na instalação que esteja operando em relação ao tempo que a manutenção lhe permitiu opera. (ABREU, 2017). Equação. 3

$$IU = HT / (HR - HM) \quad (3)$$

IU = Índice Utilização

HT = Horas Trabalhadas

HM = Horas Manutenção

HR = Horas Reserva

Mede o desempenho da operação mostrando o percentual do tempo que o equipamento ou instalação esteve disponível e liberado pela manutenção. (ABREU, 2017). Equação. 4

$$DF = (HH - HM) / HH \quad (4)$$

DF = Horas Disponibilidade Física

HH = Horas Horizontes

HM = Horas Manutenção

Assim, foi mencionado que “o gerenciamento de indicadores é uma maneira de melhorar e controlar a performance operacional.” (ABREU, 2017, p. 8).

3. POSSÍVEL PROBLEMA ATRAVÉS ANÁLISE DE FLUIDO COMO MANUTENÇÃO PREVENTIVA

3.1 MANUTENÇÃO

Manutenção é definida no conceito industrial que a atividade de manutenção e fazer que o patrimônio físico do empreendimento seja conservado de forma assegurando o funcionamento e utilidade operacional. (TROJAN, MARÇAL e BARAN, 2013).

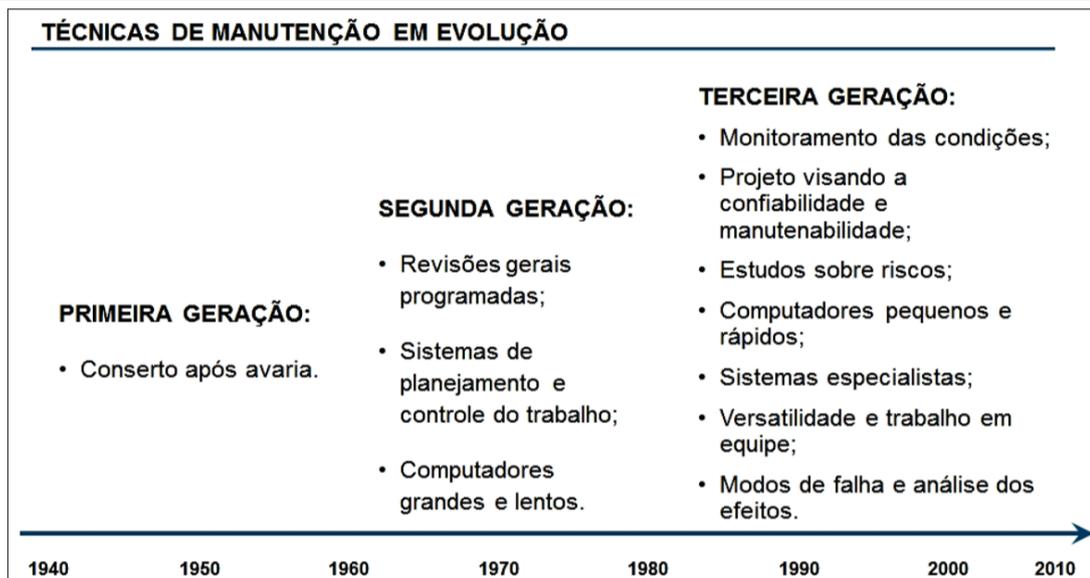
De acordo com a NBR 5462 (ABNT, 1981), Manutenção é o grupo de ações destinarem a manter ou repor algum elemento em um estado que posso executar atividade requerida.

Segundo Pereira (2006 apud VIANA, 2002, p. 14) evolução da manutenção acompanha desenvolvimento Industrial, com mecanização das fabricas, teve a necessidade dos primeiros reparos nas máquinas. E com instalação da produção em série, por Heniy Ford, às indústrias começaram a estabelecer programa e equipe de manutenção dos equipamentos.

De acordo com Pereira (2006 apud FILHO, 2006, p. 14) em função da Segunda Guerra Mundial, teve a necessidade de que a produção seja mais rápida, com essa exigência a administração industrial teve que preocupa, mas com reparo e falha na produção, também preocupado com medidas para evitar aparecimento de parada das maquinas. Com isso foi criando uma nova estrutura, que seu foco e a prevenção de avarias. Essa manutenção era baseada no tempo, e após um período pré-estabelecido pela administração o equipamento e parado para ser realização de uma revisão geral, que era planejada pelo mantenedor e as recomendações dos fabricantes.

Na figura 7 pode ser ter melhor entendimento da evolução da manutenção durante o período de tempo.

Figura 7: Evolução da linha tempo – Geração de Manutenção

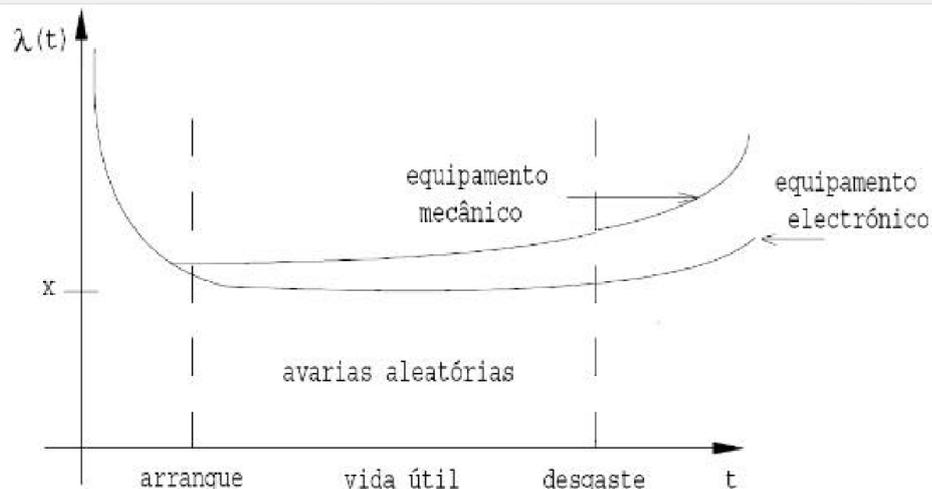


Fonte: (TROJAN, MARÇAL e BARAN, 2013)

Segundo Pereira (2006 apud FILHO, 2006, p. 14) a pós-guerra, por volta de 1950, as indústrias tiveram que ser desenvolvida para atender a necessidade das indústrias aeronáuticas. Percebeu-se que gastava muito tempo em análise de falhas, era muito que o tempo gasto em reparo. Então teve surgimento de nova assistência que ficou conhecido como engenharia de manutenção, com objetivo de planejar e controlar a manutenção preventiva e analisar as causas e efeitos da ocorrência.

Na figura 8 mostra programa de gerenciamento de manutenção preventiva que se baseia no tempo gasto ou hora operacional. A curva do tempo médio para falha (CTMF) ou outro nome curva de banheira (CHAVES, 2016).

Figura 8: curva da banheira (CTMF)



Fonte: (CHAVES, 2016)

3.2 MANUTENÇÃO CORRETIVA

A manutenção corretiva é quando um equipamento após uma análise e detecção de uma perda ou falha do equipamento faz uma correção. Segundo Pinto e Xavier (1999 apud TROJAN, MARÇAL e BARAN, 2013, p. 3), existe dois tipos de manutenção corretiva não planeja, quando equipamento para de funciona aleatoriamente com isso não é preparação dos componentes e nem planejamento na troca. E também tem manutenção corretiva planejada e quando desempenho do equipamento for menor que o desejado ou falha, podendo depender da decisão gerencial para correção.

3.2.1 Manutenção Corretiva Não Planejada

Segundo Pinto e Xavier (1999 apud TROJAN, MARÇAL e BARAN, 2013, p. 3), esse tipo de manutenção pode acontecer depois de uma falha ou perda de desempenho de equipamento. Assim pode causa grande problema de perdas e parada não desejadas na produção. Apesar dos transtornos esse tipo de manutenção é muito utilizado atualmente.

3.2.2 Manutenção Corretiva Planejada

De acordo com Pinto e Xavier (1999 apud TROJAN, MARÇAL e BARAN, 2013, p. 3), uma manutenção de correção antes que uma falha ou perde desempenho do equipamento aconteça, mas este tipo de manutenção só é possível quando identificado um problema que no futuro pode virar uma falha. E com acompanhamento preditivo ou uma toma de decisão de funcionar até a quebra do equipamento. Nessa manutenção corretiva planejada pode ser negociada com a equipe de operação essa parada, tem maior segurança e possibilita o planejamento ter os recursos para a intervenção e garantindo as ferramentas e peças para o equipamento uma vez que esperado essa parada.

3.3. MANUTENÇÃO PREVENTIVA

De acordo com Santos, Gomes e Fernandes, (2004), manutenção é baseado no estado do equipamento. É a base em identificar possíveis indicadores de problemas futuros. Através de coletas de dados ao longo do tempo por técnicas específicas, verificando e analisando a aptidão a fatores do equipamento. Essas coletas e por meio de medição como temperatura, análise de fluido de óleo, vibração, ensaios por ultrassom e termografia, esses dados coletados não da identificação precisa; por isso, trabalha-se com a avaliação probabilística matemática. Essa manutenção preventiva é para evitar parada não desejada na produção ou reposição de ativos ou em peças.

3.4. MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL

A manutenção produtiva total ou TPM (*Total Productive Maintenance*), essa filosofia surgiu no Japão no período da Segunda Guerra Mundial, que trabalha com essa filosofia em toda a empresa. Isso significa promover uma revolução conjunta com a linha de produção, através da implantação “Quebra Zero”, “Defeito Zero” e “Acidente Zero”. Com essa filosofia que surgiu o conceito da manutenção autônoma, que os próprios operadores com treinamento aplicavam pequenas revisões e ações de manutenção no equipamento que operavam. Formando o significado da TPM como uma manutenção preventiva, com ampla base finalística econômica vitalícia dos equipamentos. (TROJAN, MARÇAL e BARAN, 2013)

3.5 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

A origem da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) está relacionada com processos tecnológicos e sociais decorrentes da segunda guerra. Os benefícios da MCC foram percebidos e a metodologia rapidamente aplicada em diversos setores: submarinos nucleares, indústria elétrica, construção civil, indústria química, siderurgia, etc. (TROJAN, MARÇAL e BARAN, 2013 p. 346)

Segundo Pintor e Xavier (1999, apud. PEREIRA, 2006, p. 15) a definição do conceito confiabilidade é como sendo a probabilidade de um tempo pré-estabelecido, possa executar a sua atividade de acordo com um padrão da operação.

3.6 ANÁLISE DE FLUÍDO HIDRÁULICO

Conforme a empresa Parker Hannifin Ind. e Com. Ltda. A análise do fluido é essencial para qualquer programa de manutenção, ela assegura que o fluido esteja de acordo com as especificações do fabricante e determina o nível de contaminação, desgaste e a composição do fluido.

Segundo a empresa Supreme Lubrificantes, a esfoliação é o tipo de desgaste mais comum, ela pode ser gerada sem o contato metálico, apenas pela transmissão de força tangencial entre duas peças separadas por apenas um filme de lubrificantes. Outro desgaste comum ocorre por abrasão as partículas semelhantes a cavacos de torno com dimensões de duas micras, a principal causa é a contaminação por areia.

A corrosão de acordo com Atkins e Jones (2012) é a oxidação indesejada de um metal que causa diminuição da vida útil de compostos de aço através de um processo eletroquímico, onde a água como o principal causador desse desgaste, podendo ser impedida colocando um metal com maior potencial de oxidação junto a essa superfície de metal.

De acordo Chaves (2016) a amostra de óleo lubrificante é retirado do equipamento na oficina ou na própria na produção (sem tira o equipamento do seu trabalho). Com profissional qualificados, o laboratório sempre utilizando tecnologia que visam a prevenção de falha de desempenho ou parada não desejada, reduzindo o custo na manutenção do equipamento. Com a análise de fluído tem interpretação precisa dos dados coletados, com foco na prevenção no equipamento com criações técnicas capazes de garantir a melhor eficiência da operacional.

A análise dos óleos é feita por meio de técnicas laboratoriais que envolvem vidrarias, reagentes, instrumentos e equipamentos. Entre os instrumentos e equipamentos utilizados temos viscosímetros, centrífugas, fotômetros de chama, peagômetros, espectrômetros, microscópios etc. O laboratorista, usando técnicas adequadas, determina as propriedades dos óleos e o grau de contaminantes neles presentes. As principais propriedades dos óleos que interessam em uma análise são: índice de viscosidade; índice de acidez; índice de alcalinidade; ponto de fulgor; ponto de congelamento. Em termos de contaminação dos óleos, interessa saber quanto existe de: resíduos de carbono; partículas metálicas; água. Existem duas formas de se encarar as informações obtidas a partir de uma análise de óleo. (CHAVES, 2016).

3.6.1 Problema E Possível Causa

A formação borras, locas e vernizes entrado no motor pode ser significa que óleo tenho muito tempo de uso sem uma troca ou baixa qualidade do óleo. Com isso a recomendação que depois de uma especifica quilometragem estipulado pela equipe de manutenção ou pelo fornecedor do equipamento seja trocado. Mas quando ser observa alta temperatura, superaquecimento, contaminação por combustível/água, fluindo refrigerante ou poeira, anéis com mal condições e filtragem de óleo pode ser fazer troca independente da quilometragem do equipamento. (MALPICA, 2007)

Através da análise de fluído ser capaz observa algumas falhas no equipamento, por exemplos: água no óleo pode ser de trinca no cabeçote, defeito ou queima de junta de cabeçote, vazamento no radiador de óleo com trinca, porosidade no bloco ou cabeçote, alto uso de macha lenta, contaminação externa e aperto cabeçote com toque inadequado. A diminuição da viscosidade poder ser decorrência a mistura de combustível ou complementação com óleo de menor viscosidade. Quando óleo tem aumento na viscosidade pode ser a causa por muito tempo entre a troca, operação em superaquecimento, sobrecarga, anéis mal estado, contaminação por fuligem ou por água, baixa qualidade do óleo, mal funcionamento do filtro do ar e complementação de óleo com viscosidade maior.

Com analise de lubrificante também pode ser encontrado na amostra partículas metálicas de desgaste ou substancias parecidas. Isso pode significa que uma peça dentro do moto está mais desgastada ou já está desgasta precisando fazer uma revisão do equipamento e pode ser trocando a peça desgasta.

4. NOVA TECNOLOGIA NA FROTA DE CAMINHÃO FORA DE ESTRADA.

4.1 EQUIPAMENTO AUTÔNOMO

Segundo Jung, et al. (2005); a automação e qualquer sistema que tenha apoio computadores que troca trabalho humano. Com maior segurança, qualidade na produção, maior velocidade e menor custo operacional. Assim aprimorarão o processo produtivo.

4.2 OPERAÇÃO SUSTENTÁVEL

A pressão atualmente da sociedade por maior sustentabilidade e socioambiental obrigou que a área mineração e metais uma agenda de transformação continua, com processos mais eficientes que promovam mínimo risco e impacto ambiental. Fazendo que caminhões autônomos seja o futuro do setor de mineração. (CARVALHO, MESQUITA, ORGANDO, 2016)

4.3 SEGURANÇA DO CAMINHÃO FORA DE ESTRADA AUTÔNOMO

A mineração tem sido um do ambiente mais perigoso para trabalhar ao redor do mundo. Com inúmeras lesões fatais e não-fatais especialmente aquelas que ocupam posição em torno caminhões e nos próprios caminhões. (OLIVEIRA,2018)

De acordo com empresa Vale (2018) com menos pessoas presente nessas atividades de operação de lavra, onde há maior quantidade de movimentação de veículos pesados e grandes volumes de carga, pode ser diminuir à exposição dos trabalhadores a esse tipo de risco de acidentes, com sistema automação. Essa tecnologia que utilizada nos caminhões fora de estrada consegue identificar obstáculos e mudanças que não estava previsto na trajetória programada pela centra de controle. O sistema de segurança do caminhão autônomo e capaz de detectar tanto uma grande rocha ou caminhão e até seres humanos que estejam próximo a vias.

4.4 FORA DE ESTRADA AUTÔNOMO

De acordo com fabricante de equipamentos Caterpillar o sistema autônomo de transporte vai trazer melhoria na produção. Um caminhão fora de estrada autônomo não precisa fazer paradas para almoço, trocas de turnos ou necessidade fisiologia do operador. Ele sempre vai trabalhar nos parâmetros operacional já programado, diminuindo custo na operação e melhorando a disponibilidade do equipamento. E se acontecer uma falha, avisara o departamento operacional da mina imediatamente.

Segundo Agra (2014), para evolução da operação das minas, faz que as mineradoras cada vez mais próxima desses tipos tecnologia. Nesse contexto, tipo equipamento que trabalho de forma independente na operação, apresentam as melhores performances nas minas.

A operação autônoma vem se tornando cada vez utilizada na produção mineral, sejam caminhões autônomo perfuratrizes e carregadeira LHD (*Load-Haul-Dump*) com operação de controle remoto. A operação em uma mina vem crescendo com essa necessidade em busca de novas tecnologia para melhor eficiência na operação, usando esses tipos de equipamento focando uma melhoria nos indicadores de desempenho e segurança. Um outro problema que automação veio para ajuda seria a busca em a trair ou segura trabalhadores com alto nível de capacitação para trabalhar em áreas frequentemente remotas com falta de mão de obra qualificada. (FREITAS, 2015)

O futuro da mina e cada vez e a utilização operação autônomo, que as suas operações unitárias com funcionamento sob o gerenciamento de um sistema de controle central. Os caminhões autônomos serão guiados por via satélite utilizando GPS (*Global Positioning System*) todos os índices operacionais serão controlados e monitorados, garantindo maior performance na produtividade do equipamento, baixo custo de acidentes envolvendo as fora de estrada. (FREITAS, 2015)

Na figura 9 mostra caminhão fora de estrada autônomo (sem operador) trabalhando no mina de Brucutu da empresa Vale, sendo controlado apenas sistema de computadores GPS (VALE, 2018)

Figura 9: Caminhão fora de estrada autônomo



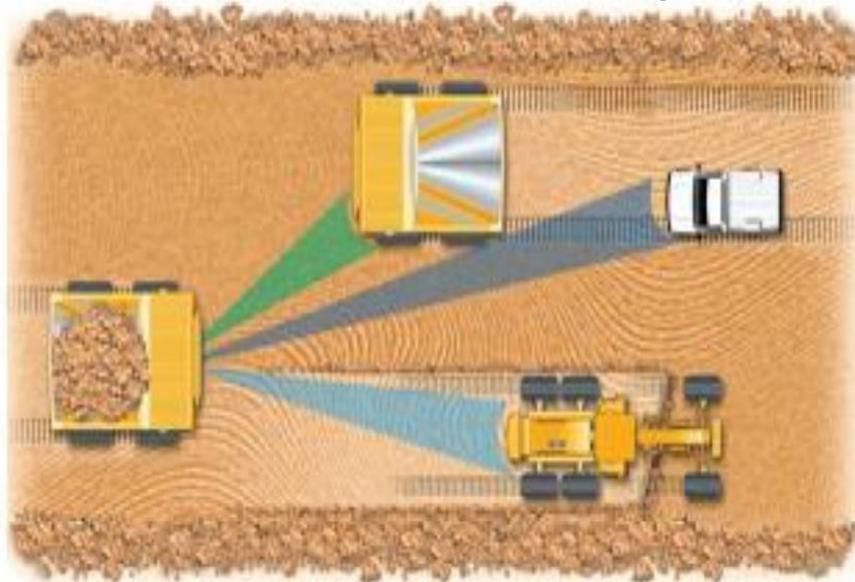
Fonte: Vale (2018)

Segundo a empresa Vale (2018) a relação ao modelo convencional de transporte para o sistema de operação autônomo tem um ganho expressivo na produtividade dos caminhões fora de estrada. A operação autônoma também aumenta a vida útil do equipamento, tem menor desgaste de peças e redução, diminuição do custo da manutenção.

De acordo com a Vale (2018), com base em dados do mercado tecnológico, vai ter um aumento da vida útil do equipamento da ordem 15%. E também vai ter uma redução no gasto de combustível e na manutenção cerca de 10% e um aumento da velocidade média do caminhão fora de estrada, aumentando ganhos considerável na produção final.

Segundo Rivera (2014, apud. OLIVEIRA, 2018, p. 19) na figura 10 podemos ver sensores de detecção de obstáculo, permitindo fazer leitura de presença de equipamento ou pessoas trabalhando ao seu redor, qualquer caso deverá reduzir a velocidade ou para completo.

Figura 10: Sensores do caminhão autônomo detecção de obstáculo



Fonte: Oliveira (2014)

De acordo com empresa Komatsu (2018), mostra com custo unitário de carregamento e transporte caíram 15% e a vida útil dos pneus dos caminhões fora de estrada autônomo aumentou 40% em comparação com equipamento convencional de transporte utilizando em uma mina de céu aberto.

Segundo Pereira (2013, apud. OLIVEIRA, 2018. p. 21) ponto importante para fazer alteração de caminhão convencional para sistema operação autônomo, para isso acontecer alguns componentes são necessários, são eles:

- Um sistema de rede de comunicação sem fio (wireless);
- Sensores para fornecer informações relacionadas à navegação e prevenção de colisão com objetos;
- Computador de bordo em cada caminhão para processar informações dos sensores é controlar elementos do equipamento (acelerador, direção e freio);
- Dispositivos de controle para regular cada elemento do equipamento;
- Um sistema de processamento central para coordenar toda a comunicação entre as diferentes partes dos equipamentos e fornecer a supervisão do equipamento;
- Um sistema de GPS com precisão de <math><10\text{ cm}</math> para fornecer localização em tempo real do equipamento em qualquer lugar da mina;
- Um sistema de softwares capazes de controlar e supervisionar o equipamento.

De acordo Oliveira (2018) no primeiro momento, foi importante a avaliar através do simulado computacional no modelo Software Dsim. A partir foram feitos movimentação da massa real simulado, fazendo vários cenários que vão ser obtido na figura 11, abaixo:

Figura 11: Movimentação de massa pelo simulador

Cenário	Média da massa movimentada (kT)	Intervalo de confiança (kT)	Ut. Média dos caminhões (%)
Real	240	-	-
Simulado	235	± 1,52	70
Cenário A	250	± 1,72	77
Cenário B	269	± 1,76	73
Cenário C	238	± 1,22	78,4

Fonte: OLIVEIRA (2018)

Segundo Oliveira (2018) o intervalo de confiança dessa realizam da simulação foi estabelecido com nível de 95%. A média obtida no simulado foi de 235.000 toneladas, ou seja, mostrou 98% da massa real, mostrando que modelo computacional deve desvio de 2% inferior ao desvio máximo estipulado que seria de 5%. Após avaliação dos cenários futuros com caminhão autônomo. Pose ser ver o cenário teve o aumento de 6.4% de massa convencional no simulado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os empreendimentos de mineração tiveram grandes transformações ao longo dos tempos, com essa nova realidade através de novas técnicas e tecnologia, acima de tudo, crescimento da produtividade e redução de custo. Logo esse trabalho teve como objetivo instruir a redução de possíveis paradas dos caminhões fora de estrada em uma mina de céu aberto. Foi possível conhecer a operação dos caminhões fora de estrada, observado os ciclos e o desempenho pelos os indicadores. Assim, através de técnicas de manutenção preventiva e de tecnologia caminhões autônomos e conseqüentemente apresentando melhor performance na operação dos caminhões fora de estrada. E com indicadores fazer melhor análise e planejamento estratégico para melhoria do indicador utilização (IU) do equipamento.

O transporte tem 80% do custo da operação de frente de lavra, através dessa informação a equipe da operação tem como objetivo de melhora o índice utilização (IU) do equipamento preocupando com a parada ociosa. Desse modo, com a manutenção preventiva através de técnica de análise de fluído de óleo determinando as propriedades dos óleos e o grau de contaminantes neles presentes. Com análise de fluído tem interpretação precisa dos dados coletados, desse modo pode ser fazer melhor planejamento e assim envidando paradas do equipamento melhorando a disponibilidade física (DF) garantindo melhor eficiência da operacional.

Com as tecnologias dos caminhões fora de estrada autônomo na operação mineral teve melhoria no índice desempenho e segurança. Um aumento da vida útil do equipamento da ordem de 15%. E uma redução no gasto de combustível e manutenção aproximando de 10% e um aumento na velocidade média dos caminhões. E também aumento 40% utilização dos pneus comparado com equipamento tradicional. Dessa forma, melhoria do índice utilização (IU) do equipamento e aumento na produtividade do empreendimento mineral.

O trabalho em questão foi levado em consideração às técnicas de análise de fluído e tecnologia de caminhões autônomo para minimizar paradas dos caminhões fora estrada na operação de lavra em mina de céu aberto. Sugere-se que futuros trabalhos possam apresentar dados mais detalhados no trabalho realizado, considerando outros custos na operação e realizar simulação dinâmica, identificando possíveis paradas na operação para que estudo seja mais completo, ativo e confiável.

REFERÊNCIAS

ABNT (1981), Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade, Rio de Janeiro.

ABREU, Igor Carneiro. **Projeto de melhoria de indicadores de caminhões fora de estrada**. 2017. 37 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

AGRA, Richardson Viana, **Aplicação do modelo PDCA 90-10 na gestão de ativos de minas a céu aberto**. 2014, f. 112. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

ATKINS, P. W. JONES, Loretta. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 5ª Edição, Porto Alegre: Bookman, 2012 Pag. 548.

CARVALHO, Pedro Sérgio Landim de Carvalho, ORGANDO, Laura Durante, MESQUITA, Pedro Paulo Dias, **Desenvolvimento e inovação em mineração e metais**, 2016, 37 folhas. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/9577/2/BS%2043%20Desenvolvimento%20e%20inova%C3%A7%C3%A3o%20em%20minera%C3%A7%C3%A3o%20e%20metais.%20_P_BD.pdf>. Acessado em: 05 maio 2019.

CATERPILLAR. **Transporte autônomo: como tornar a mineração mais segura e mais produtiva**. Disponível em: <https://www.cat.com/pt_BR/support/operations/technology/cat-minestar/minestar-in-action/autonomous-haulagesafetyandproductivity.html>. Acessado em: 23 out. 2018.

CHAVES, Bruno Costa, Eficiência Energética: Otimizando o Amanhã. Anais do VI COEN - Congresso de Engenharias, **Manutenção preditiva do conjunto diferencial de um veículo pesado através da análise de óleo**. 2016, f. 15. Disponível em: <https://www.academia.edu/35422663/manuten%C3%87%C3%83o_preditiva_do_conjunto_diferencial_de_um_ve%C3%8dculo_pesado_atrav%C3%89s_da_an%C3%81lise_de_%C3%93leo> Acessado em: 29 abril 2019.

COSTA, Felipe Pereira. **Aplicações de técnicas de otimização a problemas de planejamento operacional de lavra em minas a céu aberto**. 2005. 128 f. Dissertação (Pós-Graduação Engenharia Mineral) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

COUTINHO, Heitor Lobo. **Melhoria contínua aplicada para carregamento e transporte na operação de mina a céu aberto.** 2017. 94 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mineral) - Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

FREITAS, Sandro Bernardo Moreira. **Planejamento estocástico de lavra metodologia de simulação, otimização e gestão de risco para a mina do futuro.** 2015. 179 f. Dissertação (Pós-Graduação Engenharia Mineral) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

FONSECA, A. G. **Proposta de Sistema de Detecção de Irregularidades Em Estradas Para Caminhões Fora de Estrada Via Acelerômetro.** 2009, Dissertação - Universidade Federal de Ouro Preto - Ouro Preto/MG. 2009.

HARTMAN, Howard L., MUTMANSKY, **Introductory Engineering John.** Wiley & Sons, 2002.

JUNG, Cláudio Rosito, OSÓRIO, Fernandes Santos, KELLBER, Roberto e HEINEN, Farlei José. **Computação Embarcada: Projeto e Implementação de Veículos Autônomos Inteligentes.** **Researchgate.** Rio Grande do Sul, junho 2005. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/242092725_Computacao_Embarcada_Projeto_e_Implementacao_de_Veiculos_Autonomos_Inteligentes>. Acessado em: 23 out. 2018.

JÚNIOR, Carlos Roberto Campos, ZENHA, Taiana Moreira, RECLA, Thayla Aparecida Rigo, SILVA, Washington Luis Vieira. **Desenvolvimento de uma metodologia para redução do consumo específico de diesel em caminhões fora de estrada em uma empresa do setor de mineração.** **Aedb.** Ouro Preto, outubro 2013. Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos13/51618595.pdf>>. Acessado em: 19 out. 2018.

KOMATSU. **Komatsu Celebrates 10th Anniversary of Commercial Deployment of AHS.** Disponível em: <[http://www.komatsu.com.au/AboutKomatsu/NewsAndPublications/News/Pages/Komatsu-celebrates-10th-anniversary-of-commercial-deployment-of-AutonomousHaulage-System-\(AHS\).aspx](http://www.komatsu.com.au/AboutKomatsu/NewsAndPublications/News/Pages/Komatsu-celebrates-10th-anniversary-of-commercial-deployment-of-AutonomousHaulage-System-(AHS).aspx)>. Acesso em: 05 maio 2019.

LAGES, Augusto Ribeiro. **Estudo preliminar da influência do porte de veículos de carregamento e transporte nos custos operacionais de minas a céu aberto.** 2018 74 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

LUBRITEC Ind. Ltda. disponível em: <www.supremelub.com.br> Acesso em: 23 Out. 2018.

MALPICA, Luís Gustavo Torquato, **Manutenção preditiva de motores de combustão interna, à gasolina, através da técnica de análise de lubrificantes.** 2007, 111 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista – UNESP. Ilha Solteira – SP, 2007.

Parker Hannifin Ind. Com. Ltda. **Fluido e Filtro Hidráulicos.** São Paulo, v 15. Disponível em” <https://www.parker.com/literature/Brazil/M2001_2_P_06.pdf> Acesso em: 23 out. 2018.

PEREIRA, Lívia Daniella, **Planejamento de demanda de um componente controlado numa empresa de serviços do ramo de mineração.** 2006, 30 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora - MG, 2006.

PINTOR, Alan Kardec e XAVIER, Júlio Nascif, **Manutenção Função Estratégica,** 1º Edição, Rio Janeiro, Qualitymar Editora Ltda, 1999. 410 p.

OLIVEIRA, André Felipe Ferreira, **Análise comparativa (para tomada de decisão entre sistemas de transporte convencionais vs autônomos.** 2018. 56 f. Dissertação (Graduação em Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto – MG, 2018.

QUEVEDO, Johanna Mirelle Gómes. **Modelo de simulação para o sistema de gerenciamento e transporte em mina a céu aberto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-RIO, Rio de Janeiro, 2009.

RACIA, Ismael Momade. **Desenvolvimento de um modelo de dimensionamento de equipamento de escavação e de transporte em mineração.** Dissertação (Pós-graduação em Engenharia de Minas) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS – Porto Alegre/RS, 2016.

RAPUCCI, G. A. P. **Estudo de Otimização de Pilha Pulmão na Praça de Britador.** 2008 – Dissertação - Universidade Federal do Pará. Marabá/PA, 2008.

RIVERA, J. R. M. **Efectos de la Incorporación de Tecnologías Autònomas em el Diseño y la Planificación Minera.** 2014, 690 p. Faculdade de Ciências Físicas e

Matemáticas, Departamento de Engenharia de Minas, Universidade do Chile, Santiago de Chile, 2014

SANTOS, Fellipe Rogério T. Carvalho, CRUZ, Santiago Henrique. Aplicação das ferramentas da qualidade em uma frota de caminhões transportadores de minério. **Sienpro UFG**. Goiás, v. 10, agosto 2016. Disponível em: <https://sienpro.catalao.ufg.br/up/1012/o/Fellipe_Rog%C3%A9rio_Tavares_Carvalho_Santos.pdf> Acesso em: 19 out. 2018.

SOUZA, Alien Vlganô, GOMES, Jonas Canesin, FERNANDES, Rodrigo Sorbo. Manutenção e lubrificação de equipamentos. **Feb UNESP**. São Paulo, v. 9, 2004 Disponível em: <http://www.feb.unesp.br/icandido/manutencao/Grupo_5.pdf> Acesso em: 23 Out. 2018.

TROJAN, Flavio, MARÇAL, Rui Francisco Martins, BARAN Leandro Roberto. Classificação dos tipos de manutenção pelo método de análise multicritério electre tri. **Din UEM**. Rio Grande do Norte, v. 15, setembro 2013. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2013/pdf/arq0338.pdf>> Acesso em 22 out. 2018.

VALE. **Vale terá a primeira mina operando somente com caminhões autônomos no Brasil.** Disponível em: <http://saladeimprensa.vale.com/Paginas/Releases.aspx?r=Vale_tera_a_primeira_min_a_operando_somente_com_caminhoes_autonomos_no_Brasil&s=Inovacao_e_Tecnologia&rID=2191&sID=4> Acessado em: 05 Maio 2019.

Boa noite,
Chegamos ao término de mais uma etapa nessa importante caminhada e estou muito feliz com o seu desenvolvimento!
Percebi que realizou todas as correções conforme indicado no feedback anterior. Parabéns pelo seu desempenho!!
Além disso, fiz alguns ajustes já direto no texto e algumas correções indicadas nos comentários do trabalho.
Sucesso na banca, Junior!
Fico à disposição no canal de mensagens para qualquer dúvida.
Atenciosamente,
Bruna
Tutora de Engenharia