ÍNDICE

CAPÍTULO I- GENERALIDADES 6
1.1-INTRODUÇÃO 6
1.2-Justificação do trabalho 7
1.3.2- Problema 7
1.3.3- Causas 7
1.3.4- Consequências 7
1.3.5- Solução 7
1.3.6- Objectivo Geral 7
1.3.7- Objctivos especificos 7
1.3.8- Delimitação de estudo 7
1.3.9- Metodologia 8
CAPÍTULO II- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 8
2.1- Unidades Escavo – Empurradoras 9
..... 9
Figura 1**:** Trator de esteira “bulldozer”; 10
Figura 2: Trator de rodas 824K; 10
2.2- Para se compreender esta máquina matriz de terraplenagem 10
2.3-Lamina dos tratores “bulldozer” 12
2.3.1- Tipos de laminas 12
Figura 4- Lamina semi-universal; 13
Figura 5: Lâmina Carry Dozer; 13
Figura 6: Lâmina “S”; 13
Figura 7: lâmina de Angulagem e Inclinação Hidráulica Variável (VPAT); 14
Figura 8: Lâminas Semi U de Raio Variável 14
Figura 9: Lâmina “A” ou Lâmina Angular 14
2.4- Escarificador ou “ripper” 15
Figura 12: escarificador (“Ripper”). 16
2.5- Marcas/Modelos dos Bulldozers 16
CAPÍTULO III- CASO DE ESTUDO 19
3.1- Mina de catoca 19
3.2. Estrutura Orgânica do Departamento de Exploração Mineira 20
3.2.1- Objectivos do Departamento de Mineração 20

3.2.2- Sistema de Mineração 21
3.2.3- Planeamento e operações 22
3.3- Softwares Usados para o Suporte das Atividades do Planeamento das Operações 23
3.4- Equipamentos Utilizados 23
CAPÍTULO IV- ANÁLISE TÉCNICA DOS TRATORES BULLDOZERS 25
4.1-Dimencionamento dos tratores Bulldozer D6T, D8T, D11T. 25
4.2-TRATORES BULLDOZER D6T 25
4.3- TRATORES BULLDOZER D8T 26
Figura 24 tratores de esteiras de médio porte. 26
4.4- TRATORES BULLDOZER D11T 27
4.5- PRODUTIVIDADE 28
4.5.1-Parâmetros de produtividade das Bulldozers 29
Disponibilidade do equipamento Bulldozer 29
Demonstração do cálculo da disponibilidade. 31
Demonstração do cálculo da disponibilidade física: 31
Utilização do equipamento 31
Manutenções dos equipamentos 33
Cálculo da Produtividade pelo Método da Caterpillar 34
Capacidade da lâmina 34
Tempo de ciclo 37
Demonstração do cálculo do tempo de carga: 39
Transporte do material 39
Demonstração do cálculo do tempo de transporte com um D6T: 40
Retorno da máquina sem carga 40
Demonstração dos cálculos do tempo variável: 41
CAPÍTULO V- ANÁLISE DE INVESTIMENTO NOS TRATORES BULLDOZERS. 42
5.1- Custo Uniforme Equivalente (CUE) 42
5.1.1-Custo Operacional 43
5.1.1.1- Custos de Mão- de-Obra 43
5.1.1.2-Custos de combustível 44
5.1.1.3-Custos de óleo lubrificante 44
CAPÍTULO VI- ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUÇÕES 45
6- RESULTADOS E DISCUSSÕES 45

6.1- Cálculo da Produtividade pelo Método da Caterpillar 45
Demonstração do cálculo da produtividade planeada**:** 45
Demonstração da estimativa dos cálculos da produtividade real: 46
6.2- Custos de Mão- de-Obra 46
6.3- Custos de combustível 48
6.4- Custo de capital 49
Fórmula para cálculos do custo de capital 50
Demonstração dos cálculos reais do custo de capital das bulldozers**:** 50
CAPÍTULO VII– IMPACTO AMBIENTAL 52
7.1. Avaliação Ambiental 52
CAPÍTULO VII- CONCLUÇÕES E RECOMENDAÇÕES 53
CONCLUSÕES 53
RECOMENDAÇÕES 54
BIBLIOGRAFIA 55

LISTA DAS FIGURAS

FIGURA 1- TRATOR DE ESTEIRA "BULLDOZER…… 10
Figura 2: Trator de rodas 824K…….. 10
Figura 3- lâmina universal…… 12
Figura 4- Lamina semi-universal……13
Figura 5: Lâmina Carry Dozer……13
Figura 6: Lâmina "S"……..13
Figura 7: lâmina de Angulagem e Inclinação Hidráulica Variável…….14
Figura 8: Lâminas Semi U de Raio Variável……..14
Figura 9: Lâmina "A" ou Lâmina Angular…….14
Figura 10: Lâmina c……..15
Figura 11: Lâmina de um trator de esteiras "bulldozer"……..……15
Figura 12: escarificador ("Ripper")……..…16
Figura 13- Tratores de esteira de pequeno porte……16
Figura 14; tratores de esteira de médio porte……..17
Figura 15 - Tratores de esteira de grande porte……..17
Figura 16 - Tratores de Rodas grande porte……....18
Figura 17-Localização geográfica de Catoca……..19
Figura 18: Organograma do Departamento de Exploração Mineira ……..20
Figura 19: Chaminé da Mina de Catoca ……22
Figura 20 : Ciclo de operações mineiras……..…22
Figura 23: tratores de esteiras de médio porte……..…25
Figura 24 tratores de esteiras de médio porte……..26
Figura 25: tratores de esteiras de grande porte……27
Figura 26: gráfico das disponibilidades mecânicas das bulldozers do 1º semestre 2023……32
Figura 27: gráfico das utilizações efectiva das bulldozers 1º semestre 2023……..…33
Figura 28; solo empolado……35
Figura 29: Estimativa do custo de Mão-de-Obra do 1º semestre 2023 por frota…….48
Figura 30: preço das bulldozers……...50
Figura 31: estimava dos custos de capitais por frota das bulldozers…….……..51

LISTA DAS TABELAS

Tabela 1 –Tabela comparativo tratores de esteira e pneus……..……..,.11

Tabela 2-Coordenadas Geográficas da Zona em Estudo……...20

Tabela 3: Lista dos Equipamentos Principais e Auxiliares utilizados na mina de Catoca …24

Tabela 4: velocidade do trator bulldozer de D8T……..26

Tabela 5: velocidade do trator bulldozer de D11T…….27

Tabela 6: especifições dos tratores D6T, D8T, e D11T……....28

Tabela 7: Horas trabalhadas com os bulldzers no 1º semestre de 2023…….30

Tabela 8: disponibilidade e utilização das bulldozers no 1º semestre de 2023……...32

Tabela 11: estimativa do custo de Mão-de-Obra do 1º semestre por frota…….47

Tabela 12: estimativa dos custos de combustível (Diesel) do 1º semestre 2023…….49

Tabela 13: estimativa dos preços das bulldozers…….49

Tabela 14: custos de investimento por frota das bulldozers……50

Tabela 15: custo uniforme equivalente…….....…….51

CAPÍTULO I- GENERALIDADES

1.1-INTRODUÇÃO

Sabe-se que em Angola até a data atual só é utilizado o método de lavra a céu aberto. Dentre as características desse método, que em geral é aplicado a minerais metálicos, os capeamentos extensos e a grande geração de estéreis e rejeitos fazem as atividades de auxiliares serem determinantes para o bom desenvolvimento da lavra.

Para Hartman e Mutmansky (2002) para lavra em bancadas, a estabilidade de taludes, controle de particulados, bombeamento e drenagem, disposição de rejeitos e manutenção de estradas são algumas operações auxiliares mais relevantes.

Estas atividades são comumente negligenciadas por não serem diretamente responsáveis por "gerar valor" para a empresa, Vieira (2013) salienta ainda a atividade suplementar chamada Infraestrutura de mina demonstrando sua importância como viabilizadora de condições operacionais para as demais operações unitárias.

Sabendo que a mineração é um sector da economia com alto risco e capital de investimento escasso, medir o desempenho operacional em cada etapa do processo produtivo é de suma importância, representa juntamente com a constante busca por aumento da produtividade e redução de custos um forte aporte de investimentos. Novas tecnologias de equipamentos de mineração foram desenvolvidas a partir da demanda dos recursos. Diversos programas e modelos que auxiliam a tomada de decisões na rotina dos trabalhos de dimensionamento e alocação de equipamentos facilitaram e melhoraram o desempenho dos processos na mineração mundial.

Costa (2015) diz que em todas as etapas ou estágios da vida de uma mina é essencial acompanhar o desempenho dos setores produtivos por meio de índices que medem a eficiência de um processo. Ferramentas como gráficos de controle monitoram a variabilidade e a estabilidade de um processo, avaliando se este está de acordo com o desempenho desejado.

O dimensionamento de equipamentos de lavra corresponde ao processo para a seleção e compatibilização de equipamentos de escavação, carga e transporte dentro de uma mina segundo uma estratégia previamente estabelecida. Essa etapa deve atender aos objetivos de curto, médio e longo prazo, maximizando o valor económico da empresa, mas muitas vezes afetado por restrições técnicas, operacionais e de segurança. Em função dessas restrições e condicionantes, dimensionamento de equipamentos e frotas deve ser revisado periodicamente. Entre os aspectos que devem ser sistematicamente verificados

estão: os tempos de ciclo, as condições operacionais, consumos de peças e combustível, vida útil dos equipamentos, os fatores mecânicos, a depreciação, dentre outros.

As etapas envolvidas são normalmente sequenciais e após a decisão sobre os tipos e o porte destes equipamentos a serem utilizados no empreendimento, compreendem a determinação do número (quantidade) e o custo destes, a criação de planos de produção, contendo as descrições das atividades específicas a serem executadas.

1.2-Justificação do trabalho

Pelas enumeras dificuldades que se tem havido em saber os tipos de equipamentos a atuar na mina e quando estes mesmos tipos devem atuar, logo, achou-se conveniente elaborar uma metodologia ou cálculo para o dimensionamento das bulldozes. Neste caso vai se utilizar cálculos para se dimensionar as maquinas Bulldozer em estudo, e fazer uma análise comparativa técnica e económica.

1.3.2- Problema

Dificuldade na escolha de melhor equipamento/máquina (tratores esteira bullduzer) para operação na mineração.

1.3.3- Causas

- ✓ Grande complexidade e variedades dos equipamentos Bulldozer;
- ✓ Elevados custos dos equipamentos inclusive com as mesmas características.

1.3.4- Consequências

- ✓ Pouca produtividade do equipamento;
- ✓ Baixo rendimento da mina;
- ✓ Difícil gestão de equipamento na mina.

1.3.5- Solução

Fazer análise comparativa dos equipamentos Bulldozers (modelos existentes), afim de se saber qual deles será/é melhor a investir para atuar na mina.

1.3.6- Objectivo Geral

Determinar a produtividade dos tratores de esteira (modelos D6T, D8T e D11T), na actividade mineira.

1.3.7- Objectivos específicos

Analisar a produtividade dos tratores esteira (de modelo D6T, D8T, D11T)

- ✓ Avaliar as relações entre os dimensionamentos desenvolvido.
- ✓ Escolher o melhor equipamento (trator de esteira) para investimento

1.3.8- Delimitação de estudo

Este trabalho está delimitado na comparação dos tratores esteira bulldozer de modelo D6T, D8T e D11T na mineração.

1.3.9- Metodologia

Para o cumprimento dos objectivos presente neste trabalho, tornou-se necessário consultar algumas obras científicas e alguns trabalhos já definidos e publicados que serviram de orientação metodológica, e permitiu-me uma maior organização e domínio dos conceitos relacionados ao tema.

CAPÍTULO II- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Quando se deu início a utilização de equipamentos mecanizados e mesmo depois, a movimentação de terras era feita pelo homem, utilizando ferramentas tradicionais, tais como: picareta utilizada para corte, a pá com finalidade de fazer o carregamento, carroças ou vagonetas com tração animal para o transporte. Dado o seu pequeno rendimento, as escavações manuais dependiam, sobretudo, da mão de obra abundante e barata, factor que o desenvolvimento tecnológico e social foi tornando cada vez mais escasso, e por consequência mais oneroso. Com o aparecimento dos equipamentos mecanizados, surgidos em consequência do desenvolvimento tecnológico, tornava-se competitivo o preço do movimento de terras, apesar do elevado custo de aquisição dessas máquinas. A alta eficiência mecânica dos equipamentos traduzia-se em uma grande produtividade, conduzindo por consequência a preços mais baixos, se comparados com os valores obtidos manualmente (RICARDO e CATALANI, 2007).

É fácil compreender que a mecanização das operações que envolvia o movimento de terras foi decisiva para a decadência da mão de obra abundante, tornando os equipamentos mecânicos o principal meio utilizado no ambiente da engenharia para a realização de obras de infraestrutura.

Segundo Ricardo e Catalani (2007) a mecanização pode ser caracterizada por alguns aspectos singulares.

- Requer grandes investimentos em equipamentos de alto custo;
- Exige serviços racionalmente planeados e executados, o que só pode ser conseguido através de empresas de alto padrão de eficiência;
- Reduz substancialmente a mão de obra empregada, contudo, provoca a especialização profissional;
- Permite a movimentação de grandes volumes de terra em prazos curtos, graças à eficiência de operação e, sobretudo, pela grande velocidade no transporte, o que leva a preços unitários extremamente baixos apesar do alto valor do equipamento.

Na elaboração de um projeto de lavra, faz-se necessário um estudo para o dimensionamento dos equipamentos e instalações que irão operar na mina, com base na produção determinada (QUEVEDO, 2009). Para a escolha do tipo e o dimensionamento dos equipamentos utilizados na mineração, levam-se em consideração diferentes fatores como a escala de produção, capacidade financeira do grupo minerador e as características da mina, testando-se as diversas alternativas disponíveis (PINTO, 1999 apud QUEVEDO, 2009). Segundo Quevedo (2009) para o dimensionamento dos equipamentos devem também ser considerados os indicadores de desempenho dos equipamentos, tais como índices de utilização, disponibilidade física e rendimentos médios.

Para efeito do estudo dos equipamentos empregados na mineração, Ricardo e Catalani (2007) os dividiu em sete categorias.

- Unidades Escavo - Empurradoras;
- Unidades Escavo - Transportadoras;
- Unidades Escavo - Carregadoras;
- Unidades Aplainadoras;
- Unidades de Transporte;
- Unidades Compactadoras;
- Unidades de Perfuração.

2.1- Unidades Escavo – Empurradoras

Unidades Escavo-Empurradoras é o objecto principal deste trabalho, eles são tratores de esteiras ou de pneus, que recebem a adaptação de um implemento que o transforma em uma unidade capaz de escavar e empurrar a terra, chamando-se, por isso, unidade escavo - empurradora. Este implemento é denominado lâmina e, o possuindo, o equipamento passa a chamar-se trator de lâmina ou “bulldozer” (RICARDO e CATALANI, 2007). As figuras 12 e 13 exemplificam as unidades escavo - empurradoras de esteira e pneus respectivamente.

FIGURA 2- TRATOR DE ESTEIRA “BULLDOZER
Fonte: (CATERPILLAR, 2013 b).

FIGURA 2: TRATOR DE RODAS 824K;
Fonte: Site Caterpillar, 2017.

2.2- Para se compreender esta máquina matriz de terraplenagem

Esforço trator: varia conforme o meio de locomoção do equipamento, podendo ser a força que o trator possui na barra de tração para tratores de esteiras ou a força nas rodas motrizes para tratores de pneus. Essa força é usada para executar funções como rebocar ou empurrar outros equipamentos ou implementos

Velocidade: é a velocidade de deslocamento da máquina que depende, sobretudo, do dispositivo de montagem, sobre esteiras ou rodas;

Aderência: capacidade do equipamento se locomover sobre diferentes superfícies sem que ocorra derrapagem.

Flutuação: característica do equipamento de se locomover em terrenos de baixa competência sem que ocorra o afundamento da esteira ou dos pneus.

Balanceamento: está diretamente ligado ao balanço de massas e ao centro de gravidade do equipamento, fazendo com que o mesmo tenha um bom equilíbrio em várias condições de trabalho.

TABELA 1 – COMPARAÇÃO TRATORES DE ESTEIRA E PNEUS

Caraterísticas	Trator de Esteiras	Trator de Rodas
Esforço Trator	Elevado	Elevado, Limitado a aderência
Aderência	Boa	Sofrível
Flutuação	Boa	Regular a má
Balanceamento	Bom	Bom
Velocidade	Baixa	(< 70km/h)

Fonte: RICARDO & CATALANI, 2007

Com diferentes características dos tratores devido sua parte rodante, tem-se diferentes campos de aplicação, com isso, a escolha do equipamento dependerá de fatores como a topografia local, a qualidade do solo, distância de deslocamento, etc. (RICARDO e CATALANI, 2007).

Dentre as características observadas, o trator de esteiras é limitado apenas no quesito velocidade sendo eficiente nas demais, contrário ao trator de pneus que alcança velocidades maiores, porém possui resistências em geral variando conforme a capacidade de suporte do terreno.

Os campos de aplicação são distintos para tratores de esteiras ou pneus devido às características peculiares de cada um. O ideal para os tratores de esteira são rampas de grande declividade devido a topografia acidentada ou que o solo é pouco competente, não dando assim o suporte necessário ao equipamento, desprezando o fator velocidade. No entanto, quando a topografia é favorável e as condições de suporte e aderência do solo são boas, os tratores de rodas podem fazer uso de sua maior vantagem que é desempenhar maiores velocidades, significando também maiores produções. (Ricardo e Catalani, 2007).

2.3-Lamina dos tratores “bulldozer”

A lâmina possui uma seção transversal curva para facilitar a operação de desmonte e na parte inferior recebe a ferramenta de corte, constituída de peça cortante, denominada faca da lâmina. Nas extremidades, temos duas peças menores que são os cantos da lâmina. As facas e os cantos são facilmente removíveis para substituição, quando desgastados pela abrasão resultante da operação de corte, ou quando sofrem fraturas pelo choque com obstáculos diversos: blocos de rocha, matacões, etc (RICARDO e CATALANI, 2007). A figura 14 mostra um trator de esteira “bulldozer” destacando a parte que constitui a sua lâmina.

2.3.1- Tipos de laminas

Lâmina “U” (Universal)- É a mais adequada para materiais mais leves ou relativamente fáceis de empurrar;

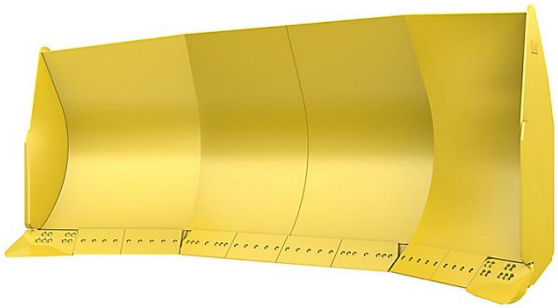

FIGURA3-LÂMINA UNIVERSAL

Fonte: Manual de desempenho caterpillar 2011

Lâmina "SU" – Semi-Universal é a mais adequada para materiais compactados;

Figura 4- Lamina semi-universal;
Fonte: Manual de desempenho caterpillar 2011.

Lâmina Carry Dozer "CD" – é adequada para materiais muito finos e bem fragmentados;

Figura 5: Lâmina Carry Dozer;
Fonte: Manual de desempenho caterpillar 2011.

Lâmina "S" – Recta ("straght blade"), usada em materiais resistentes por possuir elevada relação HP/m;

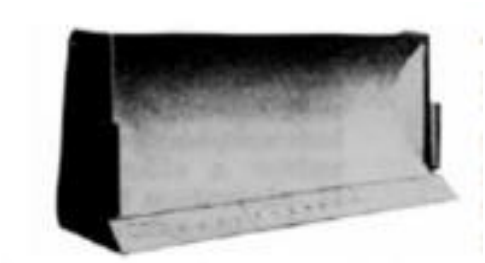

Figura 6: Lâmina "S";

Fonte: Manual de desempenho caterpillar 2011.

A lâmina de Angulagem e Inclinação Hidráulica Variável (VPAT)- é a lamina adequada para separação de material pegajoso e nivelamento de acabamento e melhor produtividade;

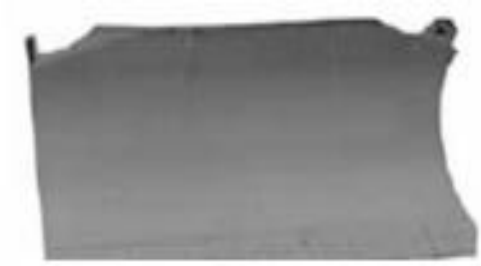

Figura 7: lâmina de Angulagem e Inclinação Hidráulica Variável (VPAT);

Fonte: Manual de desempenho caterpillar 2011.

Lâminas Semi U de Raio Variável- combinam a capacidade de penetração de uma Lâmina Semi-U com a retenção de carga e a alta capacidade de uma lâmina U;

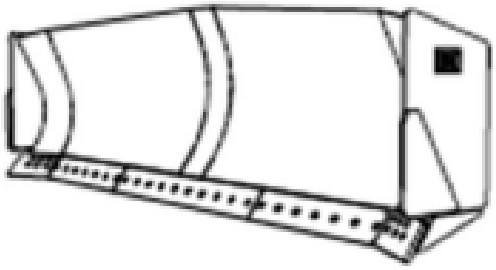

Figura 8: Lâminas Semi U de Raio Variável
Fonte: Manual de desempenho caterpillar 2011

Lâmina "A" ou Lâmina Angular, é lâmina projetada para descarregamento lateral e outras ferramentas semelhantes;

Figura 9: Lâmina "A" ou Lâmina Angular;

Fonte: Manual de desempenho caterpillar 2011.

Lâmina "C" - (cushion blade), adequada para a operação de empurrar (push).

Figura 10: Lâmina c

Fonte: Manual de desempenho caterpillar 2011

As lâminas podem ser encaixadas diretamente na estrutura ou em ângulo, às vezes usando cilindros de inclinação adicionais para variar o ângulo durante o movimento.

Figura 11: Lâmina de um trator de esteiras "bulldozer".

Fonte: (CATERPILLAR, 2013 d).

2.4- Escarificador ou "ripper"

Outro implemento do trator é o escarificador ou "ripper". Estes dispositivos constam de um ou mais dentes reforçados, providos de pontas cortantes, utilizados para romper os solos muito compactos, para depois serem transportados por uma lâmina comum (RICARDO e CATALANI, 2007). A figura 15 mostra um escarificador ou "ripper".

Figura 12: escarificador (“Ripper”).

Fonte: (CATERPILLAR, 2013 e).

2.5- Marcas/Modelos dos Bulldozers

Com o vasto campo de aplicação dos tratores de laminas (Bulldozers), o mercado vem cada vez mais apresentando novos modelos com diferentes tamanhos e capacidades para a realização de serviços variados. O porte dos equipamentos varia de pequeno, médio e grande porte, tudo isso para se adequar a necessidade produtiva de cada empreendimento. Na Figura 25, temos os fabricantes e alguns modelos de pequeno porte disponíveis no mercado mundial:

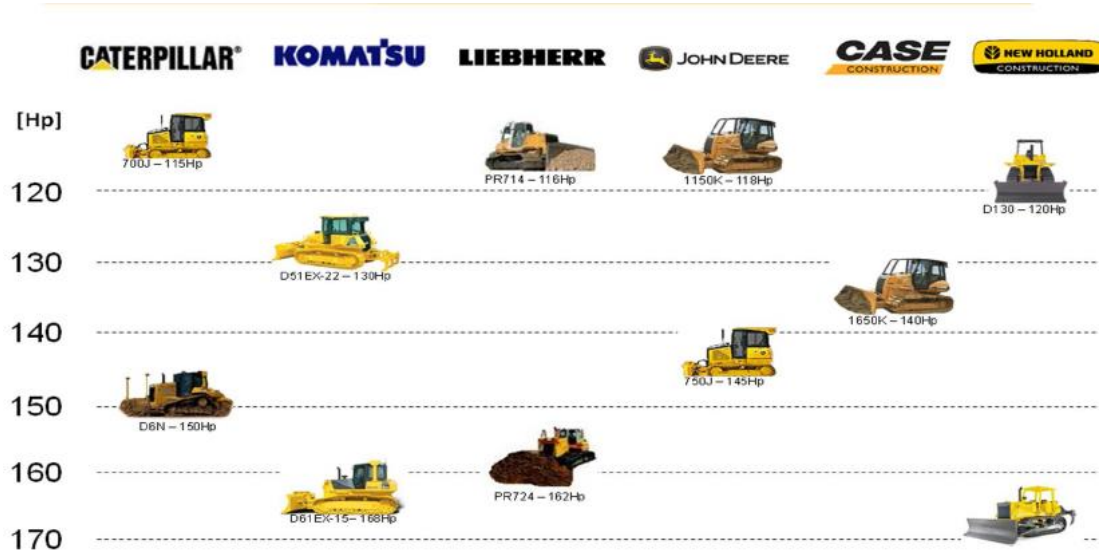

Figura 13- Tratores de esteira de pequeno porte

Fonte: Apresentação tratores de esteira- Sotreq/Caterpillar-Janeiro/2012

As dimensões e algumas características de desempenho variam de um fabricante para outro, nem sempre haverá o modelo exatamente correspondente. Nas Figuras 26 e 27 são apresentados os modelos de médio e grande porte.

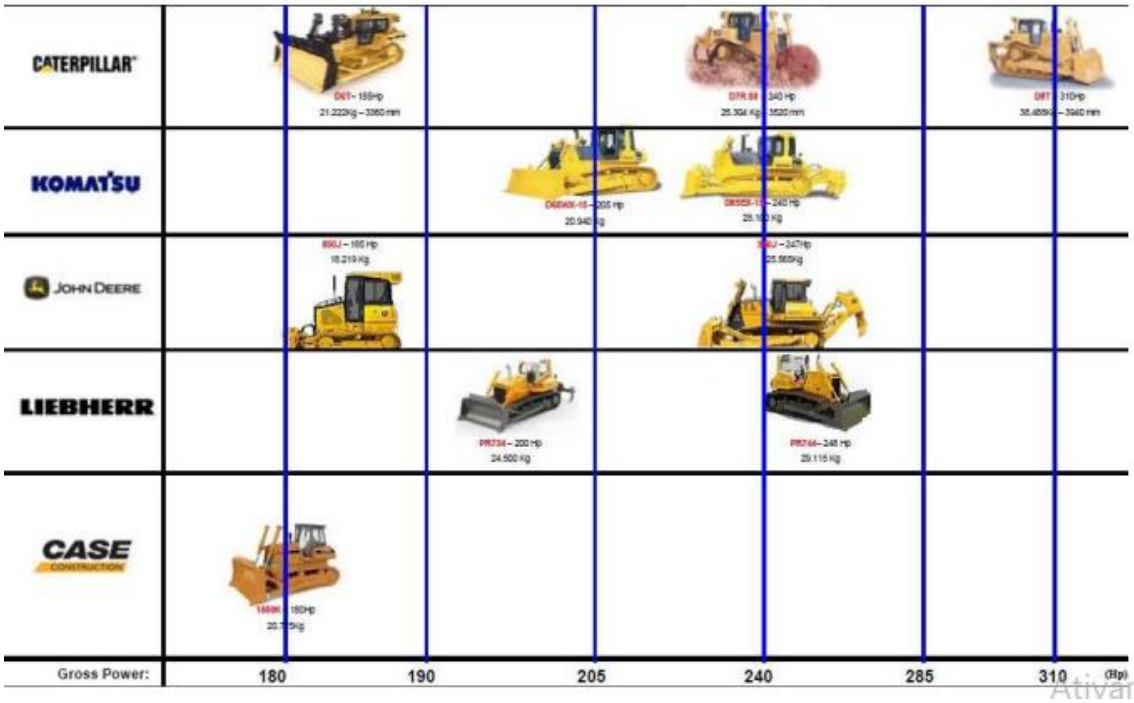

Figura 14; tratores de esteira de médio porte;

Fonte: Abreu, 2017 apud VIEIRA, 2013.

Figura 15 - Tratores de esteira de grande porte;

Fonte: Abreu, 2017 apud VIEIRA, 2013.

As marcas que dominam o mercado de Tratores de esteiras são basicamente as mesmas quando falamos em Motoniveladoras e Tratores de rodas. Em geral, as máquinas pesadas de uso na mineração possuem um mercado bem delimitado.

Atualmente, vê-se algumas montadoras de equipamentos agrícolas se aventurando no mercado de equipamentos para mineração. Na Figura 28, vê se um dos modelos de Trator de rodas de grande porte muito utilizado nas minerações, sendo duas fabricante muito renomadas nas minas, Komatsu e Caterpillar.

FIGURA 16 - TRATORES DE RODAS GRANDE PORTE.
Fonte: Adaptado de https://www.komatsu.com.br/source/catalogo.php?

CAPÍTULO III- CASO DE ESTUDO

3.1- Mina de catoca

O caso em estudo é uma mina de diamante à Céu Aberto, localizada na província da Lunda Sul. A exploração do kimberlito de Catoca teve início aos 11 de Fevereiro de 1997 com um tempo de vida inicialmente previsto para 40 anos até a profundidade de 400 m. A chaminé kimberlítica ocupa uma área de 64 hectares (990×915m), devendo a Mina atingir o seu limite final um diâmetro aproximado de 1650×1650m. A Mina de Catoca possui 639 mil metros quadrados de extensão. Emprega mais de 3.300 funcionários, e é a 4ª maior diamantífera do mundo.

Figura 17-Localização geográfica de Catoca.

Fonte: Endiama.

Tabela 2-Coordenadas Geográficas da Zona em Estudo.

Vértice	**Latiude**			**Longitude**		
A	09º	18´	25´´	20º	15´	00´´
B	09º	18´	25	20º	24´	05´´
C	09º	30´	05´´	20º	24´	04´´
D	09º	30´	04´´	20º	14´	58´´

Fonte: Endiama. EP

3.2. Estrutura Orgânica do Departamento de Exploração Mineira

O Departamento de Exploração Mineira agrega 4 Sectores, nomeadamente:

- ✓ Administração;
- ✓ Planeamento Minério e Análise;
- ✓ Trabalhos de Detonação;
- ✓ Trabalhos preparatórios.

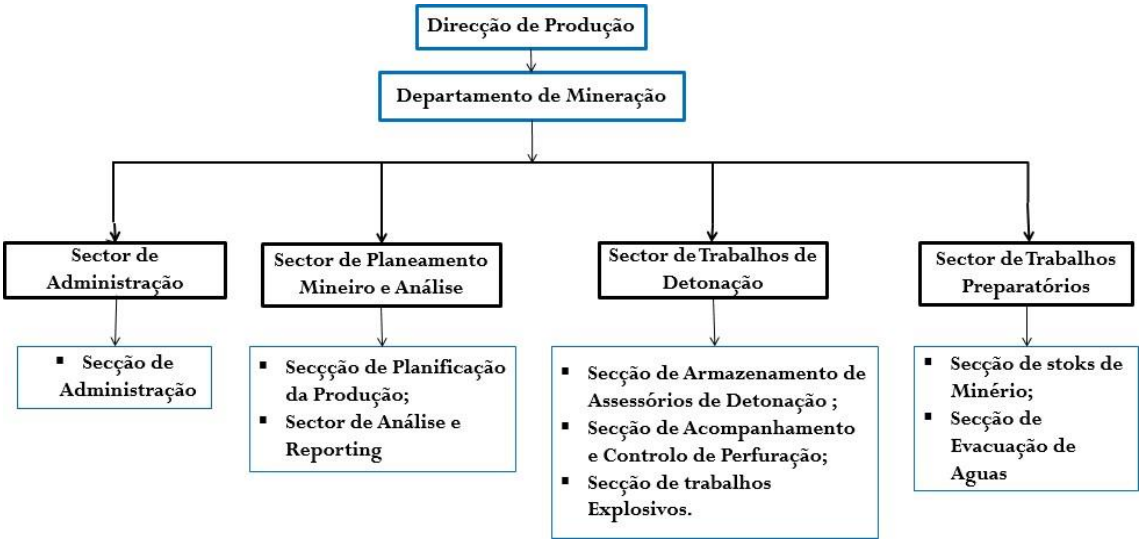

Figura 18: Organograma do Departamento de Exploração Mineira

Fonte**:** Catoca

3.2.1- Objectivos do Departamento de Mineração

O departamento de mineração é a estrutura na empresa focada no desenvolvimento das actividades de mineração, com base em regra e princípios específicos, para garantir a remoção do estéril e a extração racional e optimizada do

minério da chaminé kimberlítica e seu respectivo fornecimento as Centrais de Tratamento.

3.2.2- Sistema de Mineração

A chaminé kimberlitica de catoca é explorada a céu aberto, utilizando o sistema de mineração com escavação por avanço e transporte combinado (camiões/correias). O esquema tecnológico inclui o desmonte direto do maciço de estéril, com a particularidade das rochas duras serem submetidas ao desmonte com explosivos e posteriormente carregadas com escavadoras para as pilhas de estéril ou escombreiras. A extração do minério é feita mecanicamente com recursos a escavação direta precedida de escarificação com tratores de esteiras e bulldozers.

Para assegurar às estabilidades dos taludes e permitir que o desenvolvimento das operações de extração seja realizado de uma maneira sustentada, minimizando alguns riscos de acidentes e custos operacionais dos transportes, o sistema de mineração obedece aos seguintes parâmetros: (Zvonarev, 1999).

- A altura das bancadas de trabalho é de 5 – 10 m;
- A altura das bancadas inoperacional é de 10 – 30 m;
- A largura da frente de mineração é de 30 – 60 m;
- A largura das banquetas (bermas) é projetada entre 20 – 30 m;
- Ângulo dos Taludes (kimberlitos e areias) é de 30 – 45º
- Ângulo dos Taludes (gnaisse) é de 60 – 75º.

Figura 19: Chaminé da Mina de Catoca
Fonte: relatório SMC (2018)

3.2.3- Planeamento e operações

O design e o planeamento da sequência das operações mineiras, a monitorização em tempo real, assim como o estudo e análise dos principais indicadores da Mina é assegurado pelo **Sector de Planeamento Mineiro**, que mantém uma forte interação com os demais Sectores do **Departamento Minério**.

FIGURA 20 : CICLO DE OPERAÇÕES MINEIRAS
Fonte: Relatório SMC

3.3- Softwares Usados para o Suporte das Atividades do Planeamento das Operações

O *design* e o planeamento são feitos com recurso ao *software* "*Wenco*". O sistema *Wenco* foi concebido para automatizar a frota da mina. Este sistema permite saber a localização dos equipamentos em tempo real, os seus tempos dos ciclos, condição do equipamento, trajeto do equipamento de transporte e outras informações, ou seja, este sistema permite uma gestão integral e em tempo real dos processos de carga e transporte da massa mineira, de forma a se poder controlar a eficiência das operações e o nível de produtividade.

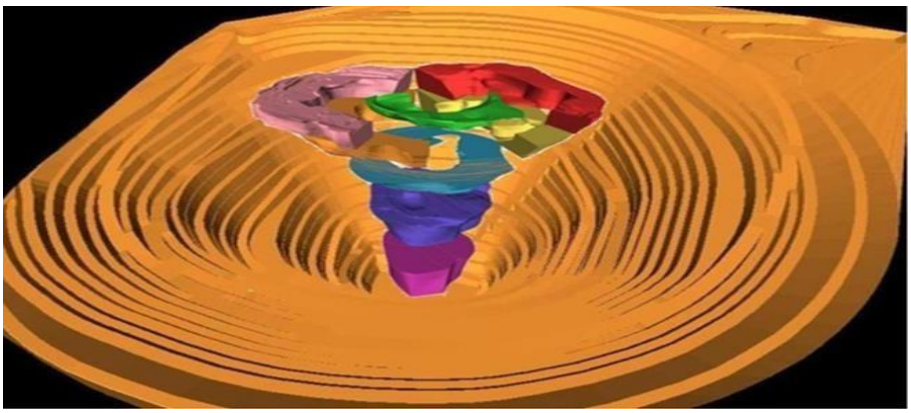

Figura 21: Projecção da mina Catoca

Fonte; relatório

3.4- Equipamentos Utilizados

Os equipamentos utilizados na mina caso de estudo, são classificados como:

Equipamentos principais - são aqueles indispensáveis para a realização dos trabalhos de carga e transporte do mineral.

Equipamentos auxiliares - são aqueles que auxiliam para a realização dos trabalhos dos equipamentos principais, e o saneamento da mina. Como listado na tabela abaixo.

Tabela 3: Lista dos Equipamentos Principais e Auxiliares utilizados na mina de Catoca

Equipamentos	Modelos	Capacidade	Unidades/frota
Camiões	Rígidos Belaz 75139	136 Toneladas	18
	Rígidos Caterpiller 777	100 Toneladas	5
	Rígidos Komatsu HD 785	100 Toneladas	25
	Articulados Volvo A40	40 Toneladas	17
Escavadeiras	Caterpiller 385/390	14-16 m^3	1
	Komatsu PC 3000	12-14 m^3	3
	Liebher 984	5-7 m^3	5
	Liebher 9250/9350	9-13 m^3	1
	Caterpiller 6040	18-22 m^3	3
Pás Carregadeiras	Komatsu WA600/700	47 m^3	9
	Caterpiller 992/986/980	4,5-5m^3	4
Auxiliares		……	20
Correias Transp	……	2,1km/3,5km	Fase 1/Fase 2

Fonte: Relatório (SMC – 2017)

Figura 22: Equipamentos utilizados;
Fonte: O autor

CAPÍTULO IV- ANÁLISE TÉCNICA DOS TRATORES BULLDOZERS

4.1-Dimencionamento dos tratores Bulldozer D6T, D8T, D11T.

Os tratores Bulldozer D6T, D8T, D11T, também connhecido como equipamentos auxialiar, são modelos populares fabricados pela Caterpillar, uma das principais empresas de equipamentos de construção e mineração do mundo. Esses tractores são amplamente utilizados em uma variedade de aplicações, incluindo construção pesada, terraplanagem, mineração e agricultura.

4.2-TRATORES BULLDOZER D6T

Figura 23: tratores de esteiras de médio porte.

Fonte: livro do caterpillar, Trator de Esteiras D6T.

O DT6 é um trator de esteiras de médio porte, projetado para oferecer desempenho confiável em uma ampla gama de condições de trabalho. Ele possui uma lamina frontal robusta para empurrar o solo, além de uma estrutura de esteiras durável que proporciona excelente tracção e estabilidade. O D6T também pode ser equipado com acessórios opcionais, como ripper trazeiro para escavação e nivelamento.

Tipos de Lâminas adequada para trator bulldozer D6T:

- ✓ Lâmina 6SU;
- ✓ Lâmina 6S;
- ✓ Lâmina 6A;
- ✓ Lâmina para Aterro Sanitário;
- ✓ Lâmina 6SU.

4.3- TRATORES BULLDOZER D8T

Figura 24 tratores de esteiras de médio porte.
Fonte: livro do caterpillar, Trator de Esteiras D8T.

O D8T é um trator de esteiras de médio porte, conhecido por sua potência e versatilidade. Ele é usada principalmente em projectos de construção pesada e mineração, onde a capacidade de empurrar grandes volumes de solo é essencial. O D8T possui recursos avançados, como controle electrônico de tracção, cabine confortável e sistemas de gerenciamento de dados para melhorar a eficiência operacional.

Tipos de Lâminas adequada para tratores bulldozer D8T:

- ✓ Lâmina Semi U
- ✓ Lâmina U

Tabela 4: velocidade do trator bulldozer de D11T;

Velocidade		
1ª Frente	3,4 k/h	1ª Ré 4,5 k/h
2ª Frente	6,1 k/h	2ª Ré 8 k/h
3ª Frente	10,6 k/h	3ª Ré 14,2 k/h

Fonte: livro do caterpillar, trator de esteiras D8T

4.4- TRATORES BULLDOZER D11T

Figura 25: tratores de esteiras de grande porte;
Fonte: livro do caterpillar, trator de esteiras D11T.

O D11T é um dos maiores tratores bulldozer produzidos pela Caterpillar. Ele é projectado para lidar com as tarefas mais exigentes em grandes projectos de mineração e construção. O D11T possui uma lâmina frontal de alta capacidade e uma estrutura de esteiras robustas que permite operar em terrenos difícies. Além disso, ele é equipado com um motor potente e tecnologias avançadas para aumentar a produtividade da mina e a eficiência.

Tipos de Lâminas adequada para tratores bulldozer D8T

- ✓ Lâmina Universal de Alta Capacidade;
- ✓ Lâmina Semi Universal;
- ✓ Inclinação Dupla;
- ✓ Bordas Cortantes e Cantos da Lâmina;
- ✓ Lâminas especiais (lâminas de carvão e lâminas de recuperação).

Tabela 5: velocidade do trator bulldozer de D11T;

Velocidade			
1ª Frente	3,9 k/h	1ª Ré	4,7 k/h
2ª Frente	6,8 k/h	2ª Ré	8,2k/h
3ª Frente	11,8 k/h	3ª Ré	14k/h

Fonte: livro da caterpillar, Trator de Esteiras D11T.

Tabela 6: especificação dos tratores

Especificção	D6T	D8T	D11T
Energia do Volante do Motor	166 kW	231 kW	695 kW
Peso de Operação	20.679 kg	39 051 kg	104.236kg
Largura da Sapata de Esteira	2, 664 m	3,61 m	4, 444 m
Pressão sobre o Solo	0,614 kg/cm2		
Área de contacto com o Solo			
Comprimento com a Lâmina		6, 434 m	8, 641m
Altura da Lâmina	1, 412 m	1, 740 m	2 828m
Largura da Lâmina	3, 260 m	4,267 m	6,335m
Velocidade Máxima			
Capacidade do Tanque	446 L	643 L	1.609 L

Fonte: livro da caterpillar, Trator de Esteiras D11T.

4.5- PRODUTIVIDADE

No mundo de hoje a competição entre as empresas tem sido cada vez mais acirrada. É notória a busca por melhora continua, tanto do produto quanto do processo como um todo. Para tal, desde Frederick Taylor, a ideia de que se deve haver uma gestão para buscar prosperidade e aumento da produtividade tem se desenvolvido dentro das empresas (Ritzman e Krajewski, 2003).

Neste sentido, a administração da produção cresce, buscando reunir as atividades de planeamento, gerenciamento e controle da parte operacional para enfim chegar ao melhor desempenho dos recursos produtivos da empresa (Schermer, 2021).

Um dos conceitos mais importantes dentro da administração da produção está ligado ao aumento da produtividade. Segundo Ritzman e Krajewski (2003) a produtividade é o principal fator determinante da lucratividade e está completamente ligada a variedade de habilidades e tecnologia, ou seja, quanto mais avançada é a máquina e quanto mais habilidoso é o operador, maior será o lucro da empresa.

Ainda segundo Ritzman e Krajewski (2003), a produtividade é o valor dos resultados dividido pelos insumos, podendo assim admitir diversas variáveis. Mas de uma maneira geral, é admitido que produtividade se refere quantidade produzida pelo tempo gasto.

Contudo quando se fala de produtividade de equipamentos auxiliares na mineração, é incomum que se tenha um controle. Para esse grupo de equipamentos, é prestada a atenção em sua maioria nas horas trabalhadas, pois é uma área como um todo que não gera lucro a empresa, apenas custos. Porém há a necessidade de entender que mesmo não gerando produtos (minério), são equipamentos de suma importância e demandam muitos custos. Então é salutar pensar que no caso desses equipamentos, trabalhar de maneira

mais eficiente, ou seja, aumentando sua produtividade, é algo interessante para que se aumente os lucros da empresa.

Segundo Ricardo e Catalani (2007), para os tratores de esteira, essa produtividade é intrinsecamente ligada ao tempo de ciclo. Sendo esse, também proporcional a capacidade e tamanho de cada equipamento.

Segundo Ricardo e Catalani (2007), para se calcular a produção de qualquer equipamento, é de extrema importância se determinar o tempo de ciclo, sendo que o mesmo depende das velocidades desenvolvidas nos trechos do trajecto.

4.5.1-Parâmetros de produtividade das Bulldozers

Segundo Hartman e Mutmansky (2002), antes de se analisar a produtividade de um sistema, se faz necessário definir alguns termos fundamentais que são utilizados quando se trata de produtividade de equipamentos de mineração.

Os termos são os seguintes (HARTMAN e MUTMANSKY, 2002):

Disponibilidade física;

Produtividade;

Eficiência;

Capacidade;

Fator de empolamento;

Disponibilidade do equipamento Bulldozer

Quantidade de horas disponíveis existentes para utilizar o equipamento durante um determinado período. Factores tais como, má organização da mina, condições de trabalhos adversas, operações em vários turnos e manutenção preventiva e corretiva inadequadas poderão reduzir a disponibilidade do equipamento. A disponibilidade pode ser:

Disponibilidade Mecânica: que considera as horas possíveis de serem trabalhadas menos as horas de manutenção (preventiva, corretiva e preditiva);

$$DM = \frac{HC-(MP+MC+TP)}{HC} x100\% \quad (3)$$

Onde:

DM= Disponibilidade Mecânica;

HC= Horas teóricas (horas calendário), disponíveis em um semestre;

MP= manutenção preventiva, compreendendo conservação e inspeção dos equipamentos;

MC = manutenção corretiva;

TP (AO)= tempo perdido (atrasos operacionais), compreende a paralisação da maquina (almoço, café, troca de turno do operador, entre outros).

Disponibilidade Física: corresponde a quantidade de horas programadas em que o equipamento está hábil para operar, isto é, não está na manutenção;

$$DF = \frac{HP-HO}{HP} x100\% \ (4)$$

Onde:

DF = disponibilidade física: representa o percentual de tempo que o equipamento fica à disposição para a produção;

HP(HT) = horas calculadas por semestre (horas trabalhadas): com base na quantidade de turnos, levando em consideração a disponibilidade mecânica e/ou elétrica;

HO (PO)= horas de consertos de equipamentos na oficina ou no campo (paradas operacionais);

Tabela 7: Horas trabalhadas com os bulldzers no 1º semestre de 2023

Tipos de Equipamentos	Horas							
F10-CATD11T	**HC**	**HF**	**AO**	**MC**	**MP**	**PO**	**HEF**	**HT**
CATD11-37	4.344	936	17,1	2.270,0	172,3	362,6	1.522,1	1.539,2
CATD11-40	4.344	936	25,5	2.391,1	158,2	318,6	1.450,7	1.476,1
CATD11-41	4.344	936	23,7	1.460,6	801,1	376,3	1.681,6	1.705,3
TOTAL D11	**13.032**	**2808**	**66,3**	**6.121,7**	**1.131,6**	**1.057,5**	**4.654,4**	**4720,6**
F48-CATD6T	HC	HF	AO	MC	MP	PO	HEF	HT
CATD6-18	4.344	936	0,0	825,5	26,5		1.256,5	1.256,5
CATD6-19	4.344	936	0,0	534,2	464,8		1.147,1	1.147,1
C ATD6-20	4.344	936	0,0	581,2	46,4		1.863,4	1.863,4
CATD6-22	4.344	936	0,0	64,1	3,5	868,5	0,0	0,0
CATD6-23	4.344	936	0,0	81,7	12,7	346,8	494,9	494,9
TOTAL D6	**21.720**	**4.680**	**0,0**		**553,9**		**4.761,8**	**4.761,8**
F65- CATD8T	HC	HF	AO	MC	MP	PO	HEF	HT
CATD8-2	4.344	9 36	19,2	97,6	90,8		2.569,4	2.588,6
TOTAL D8	**4.344**	936	**19,2**	**97,6**	**90,8**		**2.569,4**	**2.588,6**

Fonte: mina de Catoca.

Demonstração do cálculo da disponibilidade.

Cálculo da disponibilidade mecânica:

$$\mathrm{DM11T} = \frac{4.344{,}0-(172{,}3+2.270+\ 17{,}1)}{4.344{,}0}\mathrm{x}100\% \quad (1)$$

$$\mathrm{DM} = 0{,}434\mathrm{x}100\%$$

$$\mathrm{DM} = 43{,}4\%$$

Demonstração do cálculo da disponibilidade física:

$$\mathrm{DF11T} = \frac{1448-17{,}1}{1448}\mathrm{x}100\% \quad (2)$$

$$\mathrm{DF11T} = \frac{1430{,}9}{1448}\mathrm{x}100\%$$

$$\mathrm{DF} = 0{,}988\mathrm{x}100\%$$

$$\mathrm{DF11T} = 98{,}8$$

Utilização do equipamento

Quantidade de horas que o equipamento se encontra disponível, isto é, as horas que o equipamento está produzindo. Existem factores que interferem na utilização de um equipamento como:

- Preparação de frente de lavra;
- Perfuração e detonação da rocha na mina;
- Falta de eficiência do operador;
- Carência de mão-de-obra;
- Paralisação de outros equipamentos;
- Fatores climáticos que interferem na operação;
- Quantidade de unidades ou dimensões inadequadas.

$$\mathrm{U} = \frac{\mathrm{HEF}}{\mathrm{HT-HO}}\mathrm{x}100\% \quad (3)$$

Tabela 8: disponibilidade e utilização das bulldozers no 1º semestre de 2023;

Tipos de equipamentos	Disponibilidade e Utilização					
F10-CATD11T	**DM (%)**	**DF (%)**	**UI (%)**	**UF (%)**	**UEF(%)**	**Ef (%)**
CATD11-37	43,78%	0,44	35,04%	0,35	80,04%	98,89%
CATD11-40	41,31%	0,41	33,40%	0,33	80,83%	98,28%
CATD11-41	47,93%	0,48	38,72%	0,39	80,78%	98,61%
TOTAL D11	**44,34%**	**1,33**	**35,72%**	**1,07**	**80,55%**	**98,60%**
F48-CATD6T	**DM (%)**	**DF (#)**	**UI (%)**	**UF (#)**	**UEF (%)**	**Ef (%)**
CATD6-18	80,39%	0,80	28,92%	0,29	35,98%	100,00%
CATD6-19	77,00%	0,77	26,41%	0,26	34,29%	100,00%
CATD6-20	85,55%	0,86	42,90%	0,43	50,14%	100,00%
CATD6-22	92,78%	0,20	0.00%	0,00	0.00%	0.00%
CATD6-23	89,92%	0,19	52,87%	0,11	58,80%	100,00%
TOTAL CATD6T	**82,28%**	**2,82**	**31,95%**	**1,10**	**38,83%**	**100,00%**
F65-CATD8T	**DM (%)**	**DF (#)**	**UI (%)**	**UF (#)**	**UEF (%)**	**Ef (%)**
CATD8	95,66%	0,96	59,15%	0,59	61,83%	99,26%
TOTAL CATD8	**95,66%**	**0,96**	**59,15%**	**0,59**	**61,83%**	**99,26%**

Fonte: mina de catoca

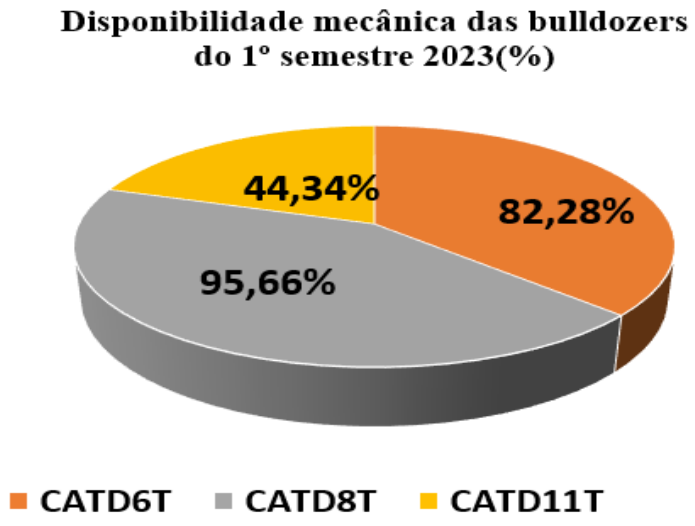

Figura 26: gráfico das disponibilidades mecânicas das bulldozers do 1º semestre 2023;

Fonte: Autor.

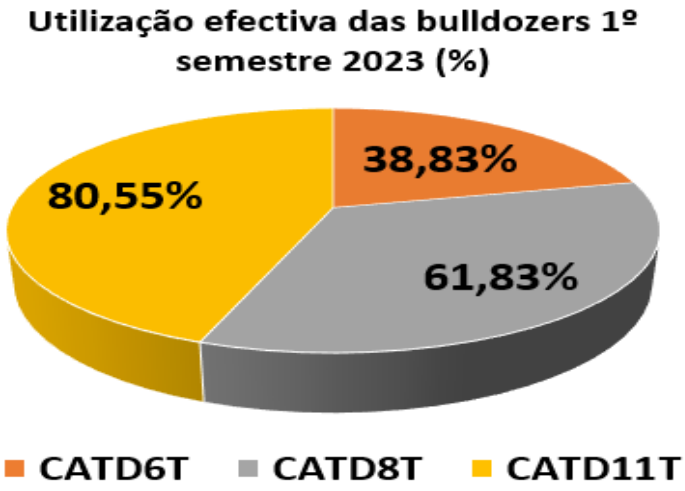

Figura 27: gráfico das utilizações efectiva das bulldozers 1º semestre 2023;
Fonte: Autor.

Manutenções dos equipamentos

A manutenção pode ser definida como a técnica de conservar os equipamentos e componentes em serviço durante o maior prazo possível e máximo rendimento.

Na opinião de Ricardo e Catalani (2007), a manutenção mecânica é uma despesa operacional, que está diretamente relacionada ao processo de desgaste progressivo das peças, em virtude da utilização do equipamento.

De um modo geral a manutenção tem como objectivo: manter os equipamentos e máquinas em condições de pleno funcionamento para garantir a produção normal, qualidade do equipamento prevenindo assim as falhas ou quebras dos elementos das maquinas e prevenir os acidentes. A busca pela qualidade do processo e do produto passa pela qualidade da manutenção. Basicamente temos três principais tipos de manutenção, apresentadas nas subseções a seguir:

A Manutenção Preventiva: visa evitar as paradas de produção não planejadas, por falha ou desgastes nos equipamentos. Ela, também, busca prevenir acidentes e a degradação das linhas de produção.

A Manutenção Preditiva: atua na preservação e disponibilidade física do equipamento pois atua na prevenção de falhas, defeitos ou para evitar queda no desempenho, mas diferentemente da preventiva, só há intervenção quando algo é percebido por técnicas de análise, o que aumenta a probabilidade de defeito no equipamento.

A Manutenção Corretiva: é a mais comum dentre os tipos de manutenção. Este tipo de manutenção é a que lida com as falhas dos equipamentos e peças, realizando o conserto pontual de cada uma delas. Para que a manutenção corretiva seja evitada, é necessário que os outros tipos de manutenção sejam realizados adequadamente.

Os custos horários de manutenção geralmente seguem uma escala ascendente. Enquanto o equipamento é novo, o risco de defeitos mecânicos é pequeno e a produtividade do equipamento elevada. Com o passar do tempo aumenta a incidência de reparos mecânicos, com longas paradas, afetando negativamente a produção.

Deve-se considerar que as condições em que um equipamento é aplicado afetam seu desempenho mecânico e que a manutenção preventiva, correta lubrificação e a operação racional influenciam no aumento da vida útil, reduzindo desgastes e retardando o envelhecimento do equipamento.

Cálculo da Produtividade pelo Método da Caterpillar

Segundo Ricardo e Catalani (2007), de maneira geral, a estimativa de produção desses equipamentos pode ser calculada a partir da equação seguinte;

$$Q\,max = Cmax\ \frac{1}{tmin}$$

$$Qef = \frac{C\ x\lambda\ xEx60}{tc}$$

Onde:

Qef = produção efetiva, medida no corte (m^3/h);

C = capacidade da lamina, em volume solto (m^3);

ʎ = fator de empolamento ou de conversão de volumes;

Tc = tempo de ciclo (horas ou minutos ou segundos);

E = coeficiente de rendimento da operação ou factor de eficiência.

Capacidade da lâmina

Capacidade da lâmina é o volume de material solto que se acumula na sua frente após o corte. É evidente que para conseguir maior produção, haverá necessidade do enchimento total da lâmina e tipo de lâmina, desde que a carga total não ultrapasse a carga máxima prevista pelo fabricante.

A capacidade da lâmina pode ser calculada através de suas dimensões, tais como largura e altura e o tipo de material ao qual será posta à prova. Sendo que materiais arenosos irão seguir a seguinte equação

$$C = 0{,}86xH^2XL$$

Já os argilosos irão seguir a seguinte equação:

$$C = 0{,}6xH^2XL$$

Sendo que o material é frágil então consideramos a seguinte equação;

$$C = 0{,}86xH^2XL$$

Para D6T:

$$C = 0{,}86x(1,412)^2X(3,260)$$

$$C = 5,59\ m^3$$

Para D8T;

$$C = 0{,}86x(1{,}740)^2X(4{,}267)$$

$$C = 11,11\ m^3$$

Para D11T;

$$C = 0{,}86x(2{,}828)^2X(6.335)$$

$$C = 43{,}57\ m^3$$

Empolamento (e)

É o aumento aparente de volume em relação ao estado natural que se encontrava, ou seja, quando uma rocha é fragmentada ela aumenta o seu volume devido aos vazios encontrados dentro das partículas.

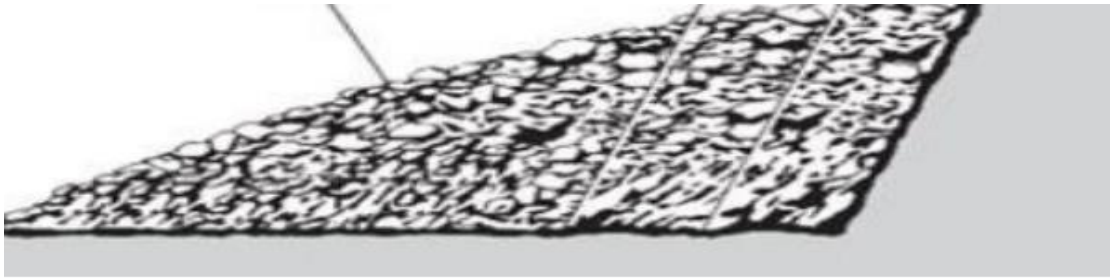

Figura 28; solo empolado;

Fonte: desconhecida.

e= (ʎ-1) ou e= (ʎ-1) x100 (1)

Sabendo que:

$\lambda = \frac{\gamma c}{\gamma s}$ e $vs = vc\ \frac{\gamma c}{\gamma s}$ (2)

Onde:

λ é o fator de empolamento;

γc é o peso específico do material no corte;

γs é o peso específico do material empolado ou solto;

vc é o volume originalmente no corte ou in situ;

vs é o volume do material rochoso após a fragmentação.

Tabela 9: pesos específicos, fator de conversão e empolamento de materiais;

A tabela 9 expõe valores que podem ser utilizados na hora de executar os cálculos:

Material	Solto(γs) kgf/m^3	Corte(γc)kgf/m^3	Factor de emp.(λ)	Emp.(e%)
Argila natural	1 661	2 017	1,21	21
Argila seca	1 483	1 839	1,24	24
Argila molhada	1 661	2 076	1,25	25
Terra húmida	1 602	2 017	1,30	30
Terra seca	1 513	1 899	1,26	26
Arenito	1 513	2 522	1,77	77
Areia seca solta	1 424	1 602	1,23	23
Areia molhada	1 839	2 077	1,13	13
Pedra brita	1 602	2 670	1,67	67
Terra húmida 50% rocha 50%	1 721	2 284	1,33	33
Pedras soltas até 20 c m Φ	1 340	2 670	2,00	100

Fonte: Jaworski (1997).

Coeficiente de rendimento ou factor de eficiência (E): este é o parâmetro da fórmula geral de produção, que pode ser afectado de forma mais directa pelo supervisor da obra, no sentido de aumento da produção, ao contrário do que ocorre nos dois factores citados anteriormente, nos quais a influência daqueles é menos expressiva.

Coeficiente de rendimento ou factor de eficiência exprime, em última análise, a relação entre o número de horas efetivamente trabalhadas e o número de horas que o equipamento ficará à disposição da obra para execução de uma tarefa, ou seja, o turno de trabalho admitido.

$$E = \frac{nº\ de\ horas\ de\ trabalho\ efetivo\ do\ equipamento}{nº\ de\ horas\ disponiveis\ do\ equipamento}$$

Sabe-se que uma máquina poderá executar certo número de ciclos, durante algumas horas, sem que haja paradas. Entretanto, com o decorrer do tempo, haverá forçosamente o aparecimento de paradas provenientes de causas as mais diversas, de maneira que, na realidade e desde que o número de horas de observação seja grande, teremos sempre E<1.

Trata-se evidentemente de factores totalmente aleatórios que exercem individualmente influência negativa no desempenho dos equipamentos, mas que só podem ser levados em conta de forma global. Para condições normais, com esses factores adversos, admite-se que, para máquinas de esteiras, em cada 60 minutos do equipamento à disposição temos 50 minutos de trabalho efectivo, ou seja:

$E = \frac{50}{60}$= 0,83

Das considerações até agora feitas, resulta que o factor de eficiência de operação é factor de suma importância na produção dos equipamentos e, por consequência, no custo dos serviços. Assim, a rentabilidade financeira de uma empresa que se dedica à terraplanagem mecanizada está ligada inteiramente a esse factor.

Essa perda de 10 minutos por hora corresponde a tempo de parada consideradas inevitáveis, causado por diversos factores:

a) Paradas devidas ao operador do equipamento;
b) Espera por outros equipamentos em ciclos combinados;
c) Manobras indisponíveis (posicionamento);
d) Movimentação dentro da obra;
e) Troca de turno, execução de verificações de routina;
f) Aguardo (espera) para inicio da operação ou aguardando ordens.

Tempo de ciclo

O tempo de ciclo é definido como o intervalo de tempo necessário para que uma unidade dê uma volta completa, partindo de um determinado ponto e voltando ao mesmo após executar todos os movimentos que lhe são atinentes no serviço em execução. Para facilidade de manejo e de cálculo, pode ser dividido em dois componentes: o tempo fixo e o tempo variável.

O tempo variável é aquele gasto no transporte propriamente dito, compreendendo ida e volta, este tempo é chamado variável porque depende da distância a ser per corrida e da velocidade de transporte. Representada pela fórmula abaixo:

Fórmula do tempo variável:

$$\Sigma tv = \frac{dcarga}{v1^{a}} + \frac{d - dcarga}{Vtransp} + \frac{d}{Vr} \quad (11)$$

$$\Sigma tv = tcarga + ttransp + tret \quad (12)$$

Todo tempo gasto em operações além destas citadas acima, constitui o tempo fixo. O tempo fixo por sua vez depende dos seguintes factores:

a) tempo de carregamento;
b) aceleração, mudanças de marcha, desaceleração e frenagem;
c) voltas;
d) derrame ou espalhamento.

O tempo de carregamento depende do tipo de material, da capacidade da máquina, da eficiência do (pusher), da prática do operador, etc.

Toda volta em geral consome um tempo adicional aquele que seria gasto para o mesmo percurso em reta. O tempo gasto no espalhamento ou derrame depende da capacidade da unidade, como se pode observar o tempo fixo depende da máquina e das condições de trabalho, podendo ser fixado e mantido mais ou menos constante para certas condições ideais de determinadas máquinas, dentro de um critério económico.

Para tratores de transmissão mecânica, adopta-se $\Sigma tf = 0{,}03 min$ para tratores de transmissão power shift adopta-se $\Sigma tf = 0{,}05 min$.

Para a determinação do tempo de ciclo devemos, pois, somar o tempo fixo ao variável;

$$Tc = \sum Tf + \sum Tv \quad (13)$$

Segundo (RICARDO e CATALANI, 2007), Para o cálculo do tempo de ciclo admite-se uma distância média de percurso, representada pela distância entre o centro de massa do corte e o do aterro com a rampa média. Os tempos variáveis de ida e volta serão calculados levando em consideração a distância média D. Sabe-se, porém que os esforços empregados durante o ciclo de tratores de esteira são desiguais, com isso, o ciclo pode ser dividido em três partes, sendo elas;

Escavação ou corte

As resistências oferecidas são provenientes do corte da terra pela lâmina do equipamento e do atrito entre máquina e solo. Com isso, de acordo com a equação 5, é possível obter o esforço máximo que pode ser aplicado a esteira.

$$Emáx \leq f.\ Pm \quad (14)$$

Onde:

f = coeficiente de aderência entre os sapatos da esteira e o solo

Pm = peso aderente = Pt = peso total da máquina

Emáx = esforço máximo aplicado sem patinamento.

O valor do f pode ser variado de acordo com o material, como por exemplo, para solo solto f admite um valor de 0,60, para solo natural, ainda não escavado, o valor de f adotado é de 0,90. Assim, uma média usualmente adotada é de f = 0,70.

Pode-se então determinar Emáx e, com esse valor, indicar a velocidade de escavação pelo diagrama tracção x força velocidade. A distância percorrida pelo trator para escavar e carregar a lâmina é em média 15m, o que permite calcular o tempo de carga. Normalmente usa-se a 1ª marcha, que produz os esforços tratores elevados, compatíveis com as altas resistências presentes durante o corte.

$$\text{tcarga} = \frac{\text{dcarga}}{\text{v1}^{\text{a}}} \quad (15)$$

Onde:

tcarga = tempo de carga (min);

dcarga= distância média da carga (15m);

v1ª= velocidade da 1ª marcha (km/h). Demonstração do cálculo do tempo de carregamento de um D6T:

Demonstração do cálculo do tempo de carga:

$$\text{tcarga} = \frac{\text{dcarga}}{\text{v1}^{\text{a}}} \quad (16)$$

$$\text{tcarga} = \frac{15\text{m}}{1{,}06\text{m/s}}$$

$$\text{tcarga} = 14{,}15\text{s}$$

Transporte do material

Já concluída a escavação, o material fica solto e a lamina apenas rasante em relação ao solo, com isso, a resistência reduz significativamente, reduzindo o atrito de escorregamento da massa bem como o atrito interno da massa em movimento. Esse valor é calculado de acordo com a equação abaixo:

$C \cdot \gamma s \cdot \mu = Pt \times f$ (17)

$$\mu = \frac{Pt \times F}{C \cdot \gamma s} \quad (18)$$

Onde:

C = capacidade da lâmina em volume solto;

γs = massa específica do solo solto;

μ = coeficiente de atrito de carga;

Pt = peso total da máquina;

f = coeficiente de aderência;

k= coeficiente de rolamento.

Em termos práticos, é avaliado em 1,3t/t e a resistência oferecida no transporte será:

$$\Sigma r = C \cdot \gamma s \cdot \mu + k.Pt \quad (19)$$

A velocidade da máquina ao empurrar o material (transporte) será também determinada pelo diagrama esforço x velocidade e o tempo de transporte será:

$$ttransp = \frac{d - dcarga}{Vtransp}$$

Onde:

ttransp= tempo de transporte;

d = distância média de transporte;

$Vtransp$= velocidade de transporte.

Demonstração do cálculo do tempo de transporte com um D6T:

$$ttransp = \frac{60m - 15m}{1{,}83 m/s}$$

$$ttransp = \frac{45m}{1{,}83 m/s}$$

$ttransp = 24{,}59 s$

Retorno da máquina sem carga

As resistências opostas ao movimento na volta do trator são expressas pela Equação:

$$\Sigma R = Pt\,(K + 10i) = Er$$

Onde:

K = coeficiente de rolamento do trator;
Pt = peso total do trator;
i = rampa (aclive).

A velocidade retorno (vr), será calculada pelo diagra tração x força e o tempo gasto;

$tr = \frac{d}{Vr}$ (22)

Onde:

tr = tempo retorno;

d = distância média de transporte;

$Vr =$ velocidade retorno (km/h).

Demonstração do cálculo do tempo de retorno de um D6T:

$$t_r = \frac{60m}{4{,}06m/s}$$

$t_r = 14{,}78s$

Assim os tempos varáveis totais serão:

$$\Sigma t_v = t_{carga} + t_{transp} + t_{ret}$$

O tempo de ciclo, somando-se os tempos fixos, será:

$$\Sigma t_{cmin} = \Sigma t_f + t_{carga} + t_{trasnsp} + t_{retorno} \quad (24)$$

Demonstração dos cálculos do tempo variável:

Logo; $\Sigma tf = 3s$

$\Sigma t_v = 14{,}15s + 24{,}59s + 14{,}78s$

$\Sigma tv = 53{,}52\ s$

$\Sigma t_{cmin} = \Sigma t_f + \Sigma t_v$

$\Sigma tcmin = 3s + 53{,}52\ s$

$\Sigma tcmin = 56{,}52s$

CAPÍTULO V- ANÁLISE DE INVESTIMENTO DE TRATORES BULLDOZERS

Segundo Samanez (2006), o valor de um projeto está em sua capacidade de gerar fluxos de caixa futuro, ou seja, de gerar renda econômica. Para tal, todo gasto, seja ele qual for, tem que ser bem calculado e viável. Assim, a análise de investimento é uma ferramenta muito útil, não apenas em grandes projetos com grandes aquisições, mas também nos mais diversos e pequenos investimentos cotidianos que uma empresa irá realizar.

De uma maneira geral, as minas não consideram os serviços dos tratores de esteiras como geradores de renda, sendo esses, equipamentos auxiliares para o real propósito da empresa que é a extração e beneficiamento de minério. Por tanto, tais equipamentos, apesar de serem muito importante, não geram receitas para empresa, apenas custos. Por tanto um bom método para análise de investimento de tais equipamentos é o Custo Uniforme Equivalente (CUE).

5.1- Custo Uniforme Equivalente (CUE)

Custo Uniforme Equivalente (CUE), em alguns investimentos é difícil quantificar as receitas, entretanto, os custos são facilmente quantificados (SAMANEZ, 2006). Existindo algumas alternativas interessantes para realizar uma boa análise de investimento a partir da diferença de custos de investimentos alternativos, já que para uma análise incremental, ou seja, dividindo os recursos em pequenos incrementos, a receita final seria a mesma, só que utilizando menos recursos.

Para tal, o método do Custo Uniforme Equivalente (CUE) se torna atrativo, já que ele se trata basicamente de um rateio uniforme dos custos, tanto de investimento quanto operacionais de um projeto (SAMANEZ, 2006). Consistindo em achar uma série uniforme de custos à uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA), sendo o melhor projeto aquele que apresentar os menores custos (CASAROTTO FILHO E KOPITTKE, 2020).

O CUE pode ser obtido através da soma do custo equivalente de capital e do custo equivalente de operação.

$$\mathrm{CUE} = \mathrm{CEA} + \mathrm{CEO}$$

5.1.1-Custo Operacional

São custos que ocorrem, quando o equipamento é operado para realizar alguns trabalhos e guardam certa proporcionalidade com as horas do uso do equipamento. Por esta razão são também denominadas de custo variáveis. Podem-se citar como as principais despesas operacionais das máquinas: combustíveis, lubrificantes, graxa lubrificante, filtros, mão-de-obra, esteira e manutenção mecânica. (RICARDO; CATALANI, 2007).

5.1.1.1-Custo com a mão-de-obra

A determinação dos custos da mão-de-obra do operador depende do número de tratores a serem usados e também da oferta salarial de cada operador. A mão-de-obra é a única despesa operacional que ocorre mesmo quando a máquina está parada ou à disposição.

Para continuar com o dimensionamento é importante entender quantos operadores serão necessários para realizar a quantidade de horas trabalhadas em um mês. De acordo com os dados fornecidos na mina de catoca, informa-nos que a mina divide 24 horas em 3 turnos, isto é, 8 horas para cada turno e que, durante o 1º semestre de 2023 trabalharam 5 tratores bulldozer D6T, 1 trator bulldozer D8T e 3 tratores bulldozer D11T numa frente.

Para tratores bulldozer D6T;

$O = T \times q$

Onde:

O – Quantidade de operadores;

T- Nº de turnos;

q- Quantidade de tratores bulldozer.

Demonstração:

$O = 3 \times 5$

O = 15 operadores.

Para D8T:

$O = 3 \times 1$

O = 3 operadores

Para D11T:

O = 3 x 3

O = 9 operadores

$Cpessoal = CMO \times O$

Cpessoal = Custo com pessoal

CMO = Custo Mensal por Operador

5.1.1.2-Custos de combustível

Outro importante factor que influencia nos custos é o combustível gasto. Cada modelo tem um consumo específico diferente. No caso do modelo D6T, o fabricante sugere um consumo médio de 25 litros por hora, para o modelo D8T o fabricante sugere um consumo médio de 39,5 litros por hora, já para o modelo D11T esse valor sobe para 61,25 litros por hora. Considerando um preço médio estimado do diesel de 135 kwanzas por litro que corresponde a 0,162 USD, além das horas trabalhadas em cada um dos três cenários, temos os seguintes valores.

$L = c \times HEF$

Ou

$L = c \times HC$

Onde:

L = Litros;

c = Consumo específico;

HEF = Horas Efectivas Trabalhadas por semestre (para consumo real);

HC = Horas Calendário por semestre (para consumo planeado).

5.1.1.3-Custos de óleo lubrificante

Estudo nos Estados Unidos demonstram que os custos com os lubrificantes são aproximadamente 15% do custo dos combustíveis. Então uma vez calculada os custos dos combustíveis, se pode calcular o custo dos lubrificantes como sendo 15% desse valor.

CAPÍTULO VI- ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUÇÕES

6- RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o suceder deste estudo foi possível chegar a valores confiáveis de produtividade para tratores de esteira e com eles, completar um dimensionamento correto desse grupo de equipamentos para uso em uma operação específica, tanto de um ponto de vista operacional quanto econômico. Podendo também ser usado como base para outras operações, mudando apenas as variáveis de cada processo.

6.1- Cálculo da Produtividade pelo Método da Caterpillar

Uma grande dificuldade que se tem na mineração é calcular a produtividade dos equipamentos auxiliares, tais como tratores de esteiras, moto-niveladores e caminhões pipa. Isso se deve ao facto de que eles não carregam material, impossibilitando sua pesagem ou até mesmo uma medição por números de passes, como no caso de escavadeiras e carregadeiras. Tal facto gera uma incerteza muito grande, podendo levar a um descontrole da frota e uma consequente tomada de decisão errada por parte da chefia; Segundo Ricardo e Catalani (2007), de maneira geral, a estimativa de produção desses equipamentos pode ser calculada a partir da equação seguinte;

$$\text{Qef} = \frac{\text{C x}\lambda\text{ x}Ex60}{tc}$$

Nota: por se estar a falar de cálculo de produtividade semestral duma bulldozer logo, deixamos de considerar t=1h ou 60min que equivale à 3600s, passa-se a considerar o tempo de trabalho efectivo das bulldozers, logo teremos:

Demonstração do cálculo da produtividade planeada:

$$\text{Q} = \frac{\text{C x}\lambda\text{ x}ExHCT}{tc}$$

Para D6T:

$$\text{Q} = \frac{5{,}61\text{ x}1{,}30\text{ x}0{,}83x21720}{0{,}016}$$

$$\text{Q} = 8.187.910{,}58\ \ \text{m}^3/\text{Semestre}$$

Para D8T:

$Q = 3.254.657{,}84\ m^3/Semestre$

Para D11T:

$Q = 38.291.298{,}44\ m^3/Semestre$

Demonstração da estimativa dos cálculos da produtividade real:

Para D6T:

$$Qef = \frac{C\ x\lambda\ x Ex HEF}{tc}$$

$$Qef = \frac{5{,}59x1{,}30\ x0{,}83x4761{,}8}{0{,}016}$$

$Qef = 1.795.082,53\ m^3/Semestre$

Para D8T:

$Qef = 1.925.073{,}17\ m^3/Semestre$

Para D11T:

$Qef = 13.675.799{,}53\ m^3/Semestre.$

Na tabela abaixo está os resultados da estimativa da produção planeada e produção real das bulldozers em estudo, durante o 1º semestre de 2023 na mina de Catoca.

Tabela 10: Estimativa da produtividade planeada/real das bulldozers, 1º semestre 2023;

Modelos de Bulldozer	Produção planeada ($m^3/Semestre$)	Produção realizada ($m^3/Semestre$)	Ganho/Perda de produtividade
CATD6T	8.187.910,58	1.795.082,53	- 21,92%
CATD8T	3.254.657,84	1.925.073,17	-59,15%
CATD11T	38.291.298,44	13.675.799,53	-35,72%

Fonte: Autor.

6.2- Custos de Mão- de-Obra

A determinação dos custos da mão-de-obra do operador depende do número de tratores a serem usados e também da oferta salarial de cada operador. A mão-de-obra é a

única despesa operacional que ocorre mesmo quando a máquina está parada ou à disposição.

Custo mensal por operador, para tratores D6T de 1.000,00 USD:

$$CpessoalD6T = CMO \text{ x } O$$

$$CpessoalD6T = 1000 \text{ x } 15$$

$$CpessoalD6T = 15.000,\text{USD/mês}$$

Logo o custo semestral será:

$$CpessoalD6T = CpessoalD6T \text{ x } 6$$

$$CpessoalD6T = 15000 \text{ x } 6$$

$$CpessoalD6T = 15000 \text{ x } 6$$

$$CpessoalD6T = 90.000,00\text{USD/semestre.}$$

Para tratores D8T teremos um custo mensal por operador de 1.200,00 USD.

Desta feita teremos:

$$CpessoalD8T = 3600,00\text{USD/mês.}$$

$$CpessoalD8T = 21.600,00\text{USD/semestre.}$$

Para tratores D11T teremos um custo mensal por operador de 1.500,00 USD.

Desta feita teremos:

$$CpessoalD11T = 13.500,00\text{USD/mês;}$$

$$CpessoalD11T = 81.000,00\text{USD/semestre.}$$

Tabela 11: estimativa do custo de Mão-de-Obra do 1º semestre por frota;

Modelos dos tratores	Custo semestral por frota
D6T	90.000,00
D8T	21.600,00
D11T	81.000,00

Fonte: Autor.

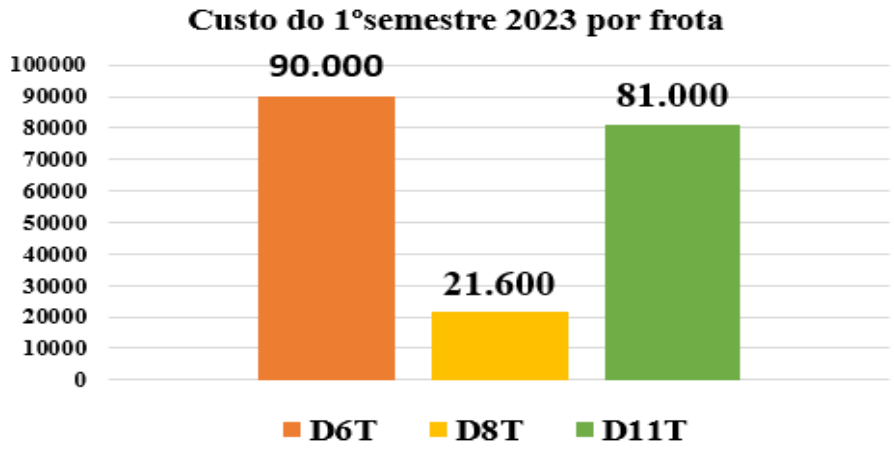

Figura 329: Estimativa do custo de Mão-de-Obra do 1º semestre 2023 por frota;

Fonte: Autor.

6.3- Custos de combustível

Para o cálculo planeado temos.

Para o D6T temos:

$LD6T = c \times HC$

$LD6T = 25 \times 21720$

$LD6T = 543.000 \text{ litros/semestre}$

Para o D8T temos:

$LD8T = 39{,}5 \times 4344$

$LD8T = 171.588 \text{ litros/semestre}$

Para o D11T temos:

$LD11T = 61{,}25 \times 13032$

$LD11T = 798.210 \text{ litros/semestre}$

Para o cálculo real temos.

Para o D6T temos:

$LD6T = c \times HEF$

$LD6T = 25 \times 4761{,}8$

$LD6T = 119.045 \text{ litros/semestre}$

Para o D8T temos:

$LD8T = 39{,}5 \text{ x } 2569{,}4$

$LD8T = 101.491{,}3 \text{ litros/semestre.}$

Para o D11T temos:

$LD11T = 61{,}25 \text{ x } 4654{,}4$

$LD11T = 285.082 \text{ litros/semestre.}$

Tabela 12: estimativa dos custos de combustível (Diesel) do 1º semestre 2023;

Modelos de Bulldozer	Custos planeado de combustível (litros/semestre)	Custos Reais de combustível (litros/semestre)	Ganho/Perda de combustível
CATD6T	543.000,00	119.045,00	21,92%
CATD8T	171.588,00	101.491,30	59,15%
CATD11T	798.210,00	285.082,00	35,72%

Fonte: Autor.

6.4- Custo de capital

Para se ter a ideia da quantia gasto em cada frota das bulldozers é necessário que se saiba primeiro o custo de aquisição de cada, e a quantidade existente em cada frota.

Tabela 13: estimativa dos preços das bulldozers;

Tipos de Bulldozer	Custo Unitário (USD)
CATD6T	195.700,00
CATD8T	949.000,00
CATD11T	2.466.000,00

Fonte: Google

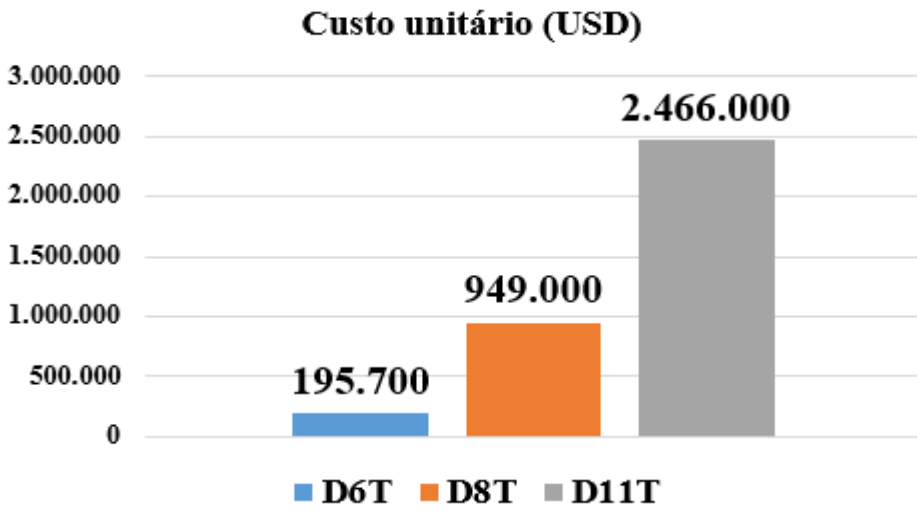

Figura 30: preço das bulldozers;

Fonte: google.

Fórmula para cálculos do custo de capital

Custo de capital= (Nef)x(custo unitário) (27)

Onde:

Nef = quantidade de bulldozer em cada frota;

Demonstração dos cálculos reais do custo de capital das bulldozers:

Custo de capital D6T= (5) x (195.700,00 USD)

Custo de capital D6T= 978.500,00 USD

Custo de capital D8T= 1 x 949.000,00 USD

Custo de capital D8T= 949.000,00 USD

Custo de capital D11T= (3) x (2.466.000,00 USD)

Custo de capital D11T= 7.398.000,00 USD

Tabela 14: custos de investimento por frota das bulldozers

Tipos de Bulldozer	Custo de Capital (USD)
CATD6T	978.500,00
CATD8T	949.000,00
CATD11T	7.398.000,00

Fonte: Autor

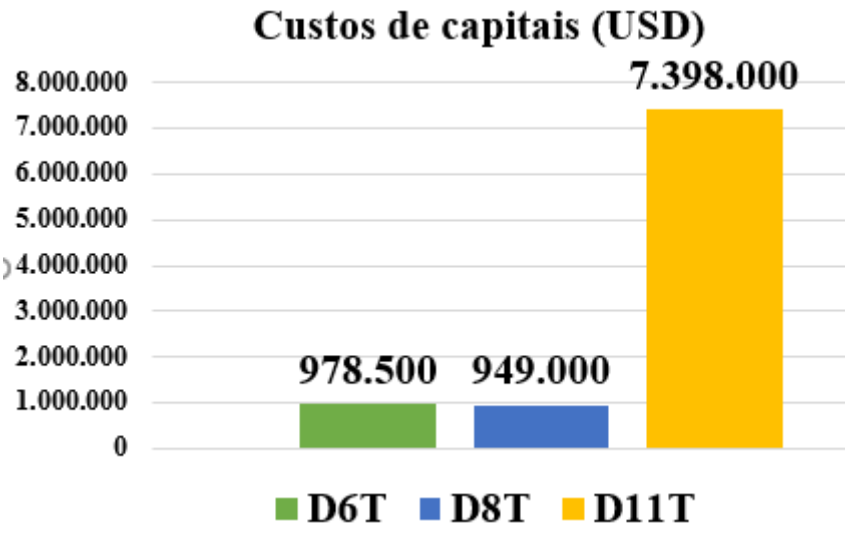

Figura 31: estimava dos custos de capitais por frota das bulldozers;
Fonte: Autor.

Tabela 15: custo uniforme equivalente;

Modelo	D6T	D8T	D11T
Custo de capital (USD)	978.500,00	949.000,00	7.398.000,00
Custo de combustível (USD)	119.045,00	101.491,30	285.082,00
Custo do óleo lubrificante (USD)	17.856,75	15.223,70	42.762,30
Custo de Mão-de-Obra(USD)	90.000,00	21.600,00	81.000,00
Custo de Desgaste (USD)	97.850,00	94.900,00	739.800,00
CUE (USD)	1.303.251,75	1.182.665	8.546.644,30

Fonte: Autor.

Como visto na tabela 15, de 1 de janeiro à 1 de julho de 2023, o modelo D6T teve um custo de 1.303.251,75 USD, o modelo D8T teve um custo 1.182665,00 USD, já o modelo D11T teve um custo de 8.546.644,30 USD.

CAPÍTULO VII– IMPACTO AMBIENTAL

7.1. Avaliação Ambiental

O compromisso com a preservação do meio ambiente é um fator fundamental na estratégia de sustentabilidade das empresas mineiras. Nos dias de hoje, elas buscam um equilíbrio entre o desenvolvimento socioeconômico dos territórios onde as empresas atuam, mantendo a qualidade dos recursos naturais, da biodiversidade e da vida.

O CO2 é o gás que tem maior contribuição para o aquecimento global. O dióxido de carbono emitido pelos pelas bulldozers permanece na atmosfera por um longo período de tempo. Redução do número das bulldozers, contribuirá na redução da emissão de CO2.

Sendo assim, a busca em mitigar impactos e realizar uma utilização mais eficiente dos recursos está totalmente ligada a aumentar a produtividade da atividade proposta.

Quanto a questão ambiental, a Mina de Catoca reduziu significativamente os impactos causados pela exploração, isso deve-se a extração em profundidade atualmente conduzida pela mina. E para mitigar os impactos causados é usado os equipamentos de proteção individuais.

CAPÍTULO VII- CONCLUÇÕES E RECOMENDAÇÕES

CONCLUSÕES

A maioria dos empreendimentos necessita de um planeamento bem-feito e de controle para que se tenha sucesso. Poucos são aqueles que conseguem prosperar sem que haja essas duas ferramentas administrativas. Na mineração não é diferente, existe a necessidade constante que se saiba onde e como os recursos estão sendo alocados. Por outro lado, existe ainda, uma escassez muito grande de informações sobre a gestão dos equipamentos auxiliares de uma mina. Geralmente buscando apenas quantificar suas horas trabalhadas, sem saber se elas estão sendo gerenciadas de maneira eficiente.

De acordo a análise do custo de investimento das bulldozers, houve mais investimentos de capitais nas bulldozers CATD11T que é, aproximadamente 13 vezes mais cara que a bulldozer CATD6T e aproximadamente 3 vezes mais cara que as CATD8T, logo pelo gráfico dos custos de capitais que corresponde aos gastos de investimento na quantidade das bulldozers à cada frota vê-se que, a frota da bulldozer D11T, trabalhou três equipamentos, a frota da bulldozer D6T trabalhou 5 equipamentos e a frota D8T trabalhou 1 equipamento.

Consoante os dados dos resultados das produções das bulldozers no 1º semestre de 2023, concluiu-se que as CATD11T foi a mais produtiva com grande margem de diferença, a CATD8T encontra-se em segundo lugar com pequena margem de diferença. Logo, conclui-se que a bulldozer CATD11T foi a melhor maquina a ser investido por ter maior aproveitamento.

RECOMENDAÇÕES

Depois dos resultados e conclusões obtidas com as análises feita dos equipamentos bulldozers na mina de Catoca, recomenda-se:

A comunidade científica, em particular os Engenheiros de minas a realizarem mais pesquisas sobre o tema em abordagem, tendo em conta a sua complexidade, e a importância no sector mineiro.

Para os trabalhos vindouros fazer os cálculos e a representação dos mesmos das produções diária, semanal e mensal.

A procurar fazer mais pesquizas e estudo de outras marcas de bulldozer, e fazer análise comparativa das mesmas tanto para produção quanto para investimento.

BIBLIOGRAFIA

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

CALHAU, F. E. C, Apoio à Decisão na Seleção de Equipamentos de Escavação, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Instituto Técnico de Lisboa, 2013. Pg. 28-44

CATERPILLAR Inc. Manual de Desempenho (PHB). 42ª edição, Peoria, Illinois, EUA. USA, 2012. Pg. 260-792. CLARKE, M.P. DENBY, B. SCHOFIELD, D. Decision making tools for surface mine equipment selection. Mining Science and Technology, n.10. 1990. Pg 323-335.

Brown, G. M, Ebacher, B. J. and Koellner, W.G. increasedd produtivity with ACdrivers for mining excavators and haul trucks. Surface Mining. Trans tech publications, Nº 1, p. 45-54, Clausthal-Zellerfeld, Germany.

LIMA, Walter da Costa; SALLES, Jose Antonio Arantes. Manutenção Preditiva: Caminho para a Excelência e Vantagem Competitiva. 2006. Disponível em: . Acesso em: 30 ago. 2015.

JESUS, Leandro de. Dimensionamento de equipamento e custo operacional. São Paulo: Baraúna, 2013. 92p. JAWORSKI, Tadeo. EQUIPAMENTOS PARA ESCAVAÇÃO – COMPACTAÇÃO E TRANSPORTE. 1997. 124 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Paraná, Curitiba, 1997. Disponível em: . Acesso em: 29 ago. 2015.

CATERPILLAR. Manual de Produção. 36ª edição, Caterpillar inc.

USA, 2004 CATERPILLAR - Catálogo: “Track-Type Tractor” - D9T, disponível em Caterpillar Brasil: http://brasil.cat.com/. Acesso em 24 de Julho de 2013 b. CATERPILLAR - Catálogo: “Wheel Dozer” - 854K, disponível em Caterpillar Brasil: http://brasil.cat.com/. Acesso em 24 de Julho de 2013 c.

CATERPILLAR - Catálogo: Lâmina (Trator de Esteiras - D8T), disponível em Caterpillar Brasil: http://brasil.cat.com/. Acesso em 24 de Julho de 2013 d. 113 CATERPILLAR - Catálogo: Escarificador ou “Ripper” (“Track-Type Tractor” - D10T), disponível em Caterpillar Brasil: http://brasil.cat.com/. Acesso em 24 de Julho de 2013 e

HARTMAN, H. L.; MUTMANSKY, J. M. Introductory Mining Engineering. 2ª. ed. New Jersey: Jonh Wilwy & Sons Inc., 2002.

SILVA, É. L. Análise da produtividade do trator de esteira D11 em função do ângulo de corte com software DOZSIM durante o decapeamento da camada de estéril da mina de bauxita da Mineração Paragominas S. A. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. Marabá, p. 67. 2014.