



**UNIVERSIDADE AGOSTINHO NETO
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS**



**TRABALHO DE FIM DE CURSO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE LICENCIATURA EM
ENGENHARIA DE MINAS**

DIMENSIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS DE REMOÇÃO DA MASSA MINEIRA NO JAZIGO ALUVIONAR

ESTUDO DE CASO: PROJECTO MINEIRO CACUILO

AUTOR : ABRAÃO DALA QUIHANGO

ESTUDANTE Nº 123030

Luanda

2024

**UNIVERSIDADE AGOSTINHO NETO
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS**

**DIMENSIONAMENTO DE EQUIPAMNTOS DE REMOÇÃO DA
MASSA MINEIRA NO JAZIGO ALUVIONAR**

AUTOR : ABRAÃO DALA QUIHANGO, N° 123030

Trabalho de Fim de Curso de Engenharia de Minas
apresentado à Faculdade de Engenharia da
Universidade Agostinho Neto, como parte dos
requisitos para obtenção do título de licenciado em
Engenharia de Minas.

Orientador: Prof.MSc. Francisco Chicangala

Co-orientador: Prof.MSc. João Cláudio Cabeia

Luanda

2024

III.DEDICATÓRIA

Dedico o presente trabalho aos meus queridos pais, Manuel Candala Quihango e Doroteia Manuel Dala, aos meus irmãos Wilson Manuel Quihango, Délcia Manuel Quihango, Adélia Manuel Candala, em especial a família Candala, a Elisabeth Candala, a Dona Ana Viagem, aos meus amigos e a minha querida madrinha Dr^a. Paula Evambi.

IV. AGRADECIMENTOS

Em primeira instância agradeço à Deus por conceder a oportunidade de concluir o presente trabalho de fim de curso.

Agradeço à Faculdade de Engenharia em especial o Departamento de Minas que durante o processo formativo, dispensou professores que foram úteis para obtenção dos melhores conhecimentos relacionados a mineração.

Agradeço o Chefe do Departamento Professor.MSc. Nlando Kinkela pela atenção e pela disponibilidade de poder partilhar conhecimentos científicos e o encorajamento para a conclusão do presente trabalho, agradeço o Professor.Dr. Emmanuel Saturnino pela atenção especial na partilha de conhecimentos científicos que muito contribui na estrutura do trabalho, agradeço à família, ao colega Sebastião Junqueira pelo suporte motivacional e a todos quanto contribuíram com alguma ideia útil para a concretização desta obra.

De forma particular e especial, agradeço ao meu orientador Professor.MSc.Francisco Chicangala e ao co-orientador Professor.MSc. João Cláudio Cabeia que de forma sábia partilharam conhecimentos científicos, orientação e direcção para a elaboração do presente trabalho.

Agradeço ao Camões - Instituto da Cooperação e da Língua, Portugal -Por me ter brindado com uma Bolsa de Estudo Interna, que muito sustentou a minha Formação Académica de Licenciatura na FE-UAN.

V. EPÍGRAFE

O ponto de partida para o dimensionamento é conhecer algumas informações mínimas sobre o planejamento de médio e longo prazo da mina que será objeto do estudo.

Autor: Luciano Lima

VI. RESUMO

Apesar da grande diversidade dos tipos de equipamentos de remoção da massa mineira no jazigo aluvionar, foram apenas selecionados e dimensionados os equipamentos que oferecem aplicações práticas e funcionais de acordo com as características do Projecto Mineiro Caculo, sendo relevante a sua geologia, topografia do terreno, o tipo de material, tipo de exploração e outros. Buscando por um quadro que apresenta a melhor performance dos equipamentos tendo em conta a sua produtividade e os seus custos de operação.

A falta de dimensionamento adequado dos equipamentos a operar numa mina, pode representar uma perda significativa de eficiência operacional e produtividade. Esse tipo de perda está relacionado ao desempenho subótimo das operações de mineração devido à inadequação dos equipamentos em termos de capacidade, alcance, velocidade ou outros fatores relevantes. Como consequências da falta de um dimensionamento temos, a Baixa produtividade, Aumento nos custos operacionais, Desgaste prematuro do equipamento, Impossibilidade no retorno do capital investido, Redução no valor de pagamentos de salários dos trabalhadores entre outras.

No presente trabalho é apresentado o dimensionamento de equipamentos de remoção da massa mineira no jazigo aluvionar e de transporte, de um depósito aluvionar diamantífero, pertencente a Sociedade Mineira do Caculo, localizado em Angola na província da Lunda Norte, implantado numa extensão de 3000 km², correspondente a 300.000 hectares, com uma área de exploração de 201.240 m², e conta com uma lavaria com a capacidade de tratamento do cascalho de 30 m³/h.

Realizou-se o dimensionamento dos seguintes equipamentos: Sonda Cat MD6250, Escavadeira Cat 349FL, Camião Cat 730, Pá-carregadeira Cat 963 K, Bulldozer Cat D8T e a Motoniveladora Cat 140K, onde obteve-se as respectivas Produções totais, 39.996.393,8m³/h = 4.342.648.493t/ano (1Sonda), 2.864.160t/ano (1Escavadeira), 2.177.280t/ano(4Camiões), 1.466.010t/ano(5Pá-carregadeiras), 236.293,2t/ano(3Bulldozers) e 14.513.412,56t/ano (1Motoniveladora), com um total de Custos de investimento de \$6.355.000 e um total de Custo operacional de \$4.592.095,61, que tornou o investimento viável com a diferença de 16% entre os dois valores.

Palavras chaves: Aluvião, Selecção, Dimensionamento e Equipamento.

VII. ABSTRACT

Despite the great diversity of types of equipment for removing the mining mass in the alluvial deposit, only equipment that offers practical and functional applications was selected and sized in accordance with the characteristics of the Caculo Mining Project, with relevance to its geology, topography of the land, the type of material, type of exploration and others. Searching for a framework that presents the best performance of the equipment taking into account its productivity and operating costs.

The lack of adequate sizing of equipment operating in a mine can represent a significant loss of operational efficiency and productivity. This type of loss is related to the suboptimal performance of mining operations due to the inadequacy of equipment in terms of capacity, range, speed or other relevant factors. As consequences of the lack of sizing we have, Low productivity, Increase in operating costs, Premature wear of equipment, Impossibility of returning the capital invested, Reduction in the value of workers' salary payments, among others.

In this work, the design of equipment for removing the mineral mass in the alluvial deposit and transportation of an alluvial diamond deposit, belonging to Sociedade Mineira do Caculo, located in Angola in the province of Lunda Norte, is presented. located on an area of 3000 km², corresponding to 300,000 hectares with an operating area of 201240m² and has a washing plant with a gravel treatment capacity of 30 m³/h.

The sizing of the following equipment was carried out: Cat MD6250 Sonde, Cat 349FL Excavator, Cat 730 Truck, Cat 963 K Wheel Loader, Cat D8T Bulldozer and Cat 140K Motor Grader, where the respective total productions were obtained, 39,996,393, 8m/h = 4,342,648,493t/year (1Sonde), 2,864,160t/year (1Excavator), 2,177,280t/year (4Trucks), 1,466,010t/year (5Wheel loaders), 236,293.2t/year (3Bulldozers) and 14,513,412.56t/year (1 Motor Grader), with a total investment cost of \$6,355,000 and a total operating cost of \$4,592,095.61, which made the investment viable with a difference of 16% between the two values.

Keywords: Alluvium, Selection, Sizing and Equipment.

VIII. SIGLAS E ABREVIATURAS

DNPM - Departamento Nacional de Pesquisa Mineral

NR - Norma reguladora

Artº - Artigo

°C - Grau celsius

Engº - Engenheiro

m² - Metros quadrados

m³ - Metros cúbicos

Km² - Quilometros quadrados

W - watts

KWh - quilo-watts hora

Kg - Quilograma

t - Toneladas

SM - Sociedade Mineira

US\$ - Dólar Americano

DMT - Distância Média de Transporte

PH - Potência do motor

Δt - variação do tempo

OEE - Overall Equipment Efficiency

DM - Disponiilidade mecânica

DF - Disponibilidade física

Ω - Factor de enchimento

Ph - Produção horária

(QIII,QIV, e K²) - Aluvionares terciário, quaternário e cretáceo superior

Aw - Tropical, savannah

Cwa - Temperae, dry winter,hot summer

IX. ÍNDICE DE TABELAS E GRÁFICOS

Tabela-1: Tipos de Mineerais e suas fórmulas químicas	9
Tabela-2: Minerais de elevada densidade ou dureza (segundo Escala de Mohs)	9
Tabela 3 : Fatores de enchimento para alguns materiais mais usuais	20
Tabela-4: Factor de empolamento	21
Tabela 5 : Dados gerais do projecto mineiro Caculo.....	43
Tabela 6 : Produção requerida do projecto mineiro Caculo	44
Tabela 7 : Classificação da mina quanto ao seu porte.....	45
Tabela 8 : Principais informações da Sonda Cat MD6250.....	46
Tabela 9 : Informações específicas da Escavadeira Cat 349FL	49
Tabela-10: Factores de rendimento de um camião basculante rodoviário, com base na topografia do terreno e condições climáticas na SM do Caculo.....	50
Tabela-11: Factores de rendimento de um camião basculante articulado, com base na topografia do terreno e condições climáticas na SM do Caculo.....	50
Tabela-12: factores de rendimento de um camião basculante rígido (Fora de estrada), com base na topografia do terreno e condições climáticas na SM do Caculo.....	50
Tabela 13 : Informações específicas do Camião articulado Cat 730.....	51
Tabela 14 : Tabela de resumo de resultados dos cálculos do dimensionamento da Escavadeira CAT349FL, Camião articulado CAT730 e Lavaria.....	56
Tabela 15 : Informações específicas da Pá-carregadeira CAT 963k.....	58
Tabela 16 : Informações específicas da Bulldozer Cat D8T.....	61
Tabela 17 : Tipos de laminas usadas na Bulldozer Cat D8T.....	62
Tabela 18 : Informações específicas da Motoniveladora Cat 140k.....	65
Tabela 19 : Velocidades da Motoniveladora Cat 140k	65
Tabela 20 : Velocidades de operação típica por aplicação da Motoniveladora.....	65
Tabela 21 : Produção total (horária, mensal e anual), em metros cúbicos (m³).....	68
Tabela 22 : Produção total (horária, mensal e anual), em toneladas (t).....	68
Tabela 23 : Custos de equipamentos	71
Tabela 24 : Custos de Seguro dos equipamentos.....	71
Tabela 25 : Custos de Depreciação dos equipamentos (DP).....	71
Tabela 26 : Custos de Combustível (CC).....	72

Tabela 27 : Custos de Lubrificantes e Graxas (LG).....	72
Tabela 28 : Custos de Pneus e Esteiras (PE).....	72
Tabela 29 : Custos de Manutenção e Reparos (MR).....	72
Tabela 30 : Custos de Mão de Obra Operacional dos equipamentos (MO/Tx).....	72
Tabela 31 : Custos Operacionais.....	73
Tabela-32: Tempo de parada, descarga e partida (T _{pdp}), tendo em conta o volume da caçamba camião.....	76
Tabela-33: Velocidades médias de trabalho de camiões basculantes.....	76
Tabela-34: factor de correção (η) , atendendo os tipos de material (solos).....	76
Tabela-35: Coeficientes de aderência de um equipamento, tendo em conta a superfície do terreno.....	77
Tabela-36: Velocidades da pá-carregadeira.....	77
Tabela-37: Valores típicos do factor de perfuração da rocha para diferentes resistências da rocha.....	77
Tabela-38: Fatores de resistências médias ao Rolamento (K _r)	77
Gráfico 1 : Produção requerida da SM do Caculo.....	44
Gráfico 2 : Representação da Produção requerida da SM mina em 3D.....	44
Gráfico 3 : Percentual de Produção Anual total dos equipamentos em (m ³ /ano).....	69
Gráfico 4: Percentual de Produção Anual total dos equipamentos em (t/ano).....	69
Gráfico 5: Representação da Produção Anual total dos equipamentos de operações principais da mina, em (t/ano).....	70
Gráfico 6 : Percentual de Produção Anual total de 3 Camiões e a produção Requerida da mina (t/ano).....	70
Gráfico 7 : Percentual de Produção Anual total de 4 Camiões e a produção Requerida da mina (t/ano).....	70
Gráfico 8 : Percentual dos custos de equipamentos tendo em conta as suas quantidades.....	71
Gráfico 9 : Percentual dos Custos Variáveis (diretos) e Fixos (indiretos).....	73
Gráfico 10 : Percentual dos Custos de Equipamentos e Operacionais.....	73
Gráfico 11 : Representação dos Custos de Equipamentos e Operacionais por coluna.....	73

X. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura-1: Granada Piropo.....	7
Figura-2: Diópsidio.....	7
Figura-3: Ilminita magnesiana.....	7
Figura 4: SM do Caculo.....	8
Figura 5: Pepita de Ouro bruto.....	8
Figura 6: Diamante.....	8
Figura 7: Cascalho.....	8
Figura 8: Formação geológica da SM do Caculo.....	10
Figura 9: Diagrama Sistemático da divisão da Prospecção Aluvionar.....	10
Figura 10: Bateia profissional.....	11
Figura 11: Peneira.....	11
Figura 12: Calha.....	11
Figura 13: Pá manual.....	11
Figura 14: Camião articulado, Volvo A45G (25,1m ³).....	11
Figura 15: Escavadeira Cat 325D (1,19 m ³).....	11
Figura 16: Depósito aluvionar da SM do Caculo.....	12
Figura 17: Perfuratriz XCMG-XRS1050.....	14
Figura18: Bulldozer sobre esteiras-Cat D10T2.....	14
Figura19: Bulldozer sobre rodas -Cat 824k.....	14
Figura 20: Moto scraper -Cat 631K (18,3 a 26 m ³).....	15
Figura 21 : Moto niveladora -Cat 12 K.....	15
Figura 22 : Shovel-Cat 6030/6030 FS.....	16
Figura 23: Escavadeira -Cat GC 336D2 (1,88 m ³).....	16
Figura 24 : Drag-line -Cat 8200 (24 a 34 m ³).....	17
Figura 25 : Pá-carregadeira sobre pneus - Deere 624 K (2,7 m ³).....	17
Figura 26 : Pá-carregadeira sobre esteiras, Cat 953D (1,85 m ³).....	17
Figura 27 : Camião basculante rodoviário, Volkswagen 17280 (10 a 15 m ³).....	18
Figura 28 : Camião basculante articulado, Cat 725C (24t).....	18

Figura 29 : Camião basculante rígido (Fora de estrada), Cat 789D (181t).....	19
Figura 30 : Correia transportadora.....	19
Figura 31 : Volume da Caçamba rasa (A) e Volume da Caçamba Coroada (A+b), b = acréscimo de volume.....	20
Figura 32: Esquema de tempo de ciclo para caminhões.....	23
Figura 33: Resistência ao rolamento.....	25
Figura 34: Resistência de Rampa.....	26
Figura 35: Aderência insuficiente (patinação).....	27
Figura36: Considerações para a seleção de Equipamentos e Fatores Sensíveis ao Dimensionamento dos equipamentos.....	30
Figura 37- Métodos de perfuração.....	31
Figura 38- Aplicabilidade dos métodos de perfuração.....	31
Figura 39: Poluição do rio Caculo pela actividade mineira.....	36
Figura 40: Mapa de localização da área de Concessão do Caculo.....	39
Figura 41: Correlação dos Depósitos Diamantíferos no Nordeste da Lunda.....	40
Figura 42 : Mapa de Vegetação de Angola - (Lunda Norte).....	41
Figura 43 : Mapa Hidrográfico de Angola.....	41
Figura 44 : Classificação climática de Angola, Köppen-Geiger (1980-2016).....	42
Figura 45 : Sonda Cat MD6250.....	46
Figura 46 : Escavadeira Cat 349FL	49
Figura 47 :Camião articulado Cat730.....	51
Figura 48 : Pá-carregadeira Cat 963K.....	58
Figura 49 : Bulldozer Cat D8T.....	61
Figura 50: Motoniveladora Cat 140k.....	64
Figura 51: Fluxo principal da planta de lavagem (Pré-Tratamento) de diamantes.....	78
Figura 52: Planta de Tratamento do Cascalho.....	78

XI. ÍNDICE

DEDICATÓRIA.....	III
AGRADECIMENTOS.....	IV
EPÍGRAFE.....	V
RESUMO.....	VI
ABSTRACT.....	VII
SIGLAS E ABREVIATURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABELAS E GRÁFICOS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
CAPÍTULO. I- GENERALIDADES.....	1
1.1- INTRODUÇÃO.....	1
1.2-PROBLEMÁTICA.....	2
1.2.1-PROBLEMA.....	2
1.2.2-CAUSA.....	2
1.2.3-CONSEQUÊNCIAS.....	2
1.3-OBEJECTO DE ESTUDO	2
1.4-OBJECTIVO GERAL.....	2
1.5-OBJECTIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.6 - JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA.....	3
1.7-HIPÓTESE DE SOLUÇÃO.....	3
1.8-METODOLOGIA.....	3
1.9- DELIMITAÇÕES.....	5
1.10- LIMITAÇÕES.....	5
1.11-DEFINIÇÃO DE TERMOS E CONCEITOS.....	5
CAPÍTULO.II - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	7
2.1 - Jazigos Aluvionares.....	8
2.1.1 - Tipos de minerais explorados em aluvião.....	8
2.1.2 - Jazigos aluvionares mineralizados.....	9
2.1.3 - Prospekção aluvionar.....	10
2.1.4 - Exploração de jazigo aluvionar.....	11
2.1.4.1- Exploração rudimentar (Manual).....	11
2.1.4.2 - Exploração mecanizada.....	11
2.1.5 - Zonas de exploração nos Jazigos aluvionares.....	12
2.2 - Equipamentos de remoção da massa mineira no Jazigo aluvionar.....	13
2.2.1-Função e aplicação dos equipamentos de remoção da massa mineira e transporte.....	14

2.3 - Produtividade de equipamentos.....	20
2.4 - Produção horária dos equipamentos.....	27
2.4.1 - Produção horária de equipamento escavador deslocador – Bulldozer.....	28
2.4.2 - Produção horária de equipamento escavador transportador - Moto scraper.....	28
2.4.3 - Produção horária de equipamento nivelador - Moto niveladora.....	28
2.4.4 - Produção horária de equipamento escavador elevador - “Shovel e Drag-lin”.....	28
2.4.5- Produção horária de equipamento escavador carregador - Pá-carregadeira.....	29
2.4.6- Produção horária de unidades de transporte – Camião.....	29
2.4.7 - Produção horária de Correia transportadora.....	29
2.5 - Seleção de equipamentos.....	29
2.6 - Programa de Manutenção dos equipamentos.....	32
2.7 - Manutenção dos Equipamentos.....	32
2.7.1 - Tipos de Manutenção dos Equipamentos.....	32
2.8 - Qualificações do operador de equipamentos.....	33
2.9 - Custos Operacionais.....	34
2.9.1 Custos indiretos.....	34
2.9.2 Custos diretos.....	34
2.9.3 - Custos gerais.....	35
2.9.4- Equações para cálculos de custos.....	35
2.10 - Impacto Ambiental.....	36
CAPÍTULO.III - ESTUDO DE CASO.....	38
3.1 - Caracterização do Projecto Mineiro Caculo.....	38
3.2 - Localização geográfica do Projecto Caculo.....	39
3.3 – Geomorfologia.....	40
3.4 - Ecologia, flora e fauna.....	40
3.5 – Hidrografia.....	41
3.6 - Clima e Relevô.....	42
3.7 - Vias de Acesso.....	42
CAPÍTULO.IV - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
4.1 - Informações gerais da mina.....	43
4.1.1 - Classificação da mina quanto ao seu porte.....	44
4.2 - Dimensionamento dos equipamentos.....	45
4.2.1 - Cálculos do dimensionamento da perfuratrize/Sonda.....	45
4.2.2 - Cálculos do dimensionamento da Escavadeira.....	48
4.2.3- Cálculos do dimensionamento dos camiões.....	53

4.2.4 – Cálculos do dimensionamento da Lavria.....	56
4.2.5 - Cálculos do dimensionamento da Pá-carregadeira.....	58
4.2.6 – Cálculos do dimensionamento da Bulldozer.....	61
4.2.7- Cálculos do dimensionamento da Motoniveladora.....	64
4.3 – Investimentos.....	71
CONCLUSÕES.....	74
RECOMENDAÇÕES.....	75
ANEXOS.....	76
BIBLIOGRAFIA.....	79

CAPÍTULO. I- GENERALIDADES

1.1- INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade econômica extrativa caracterizada pelo aproveitamento de recursos naturais e de outras substâncias acessórias nos mais diversos processos industriais e construtivos, fundamentalmente para a qualidade de vida e ao desenvolvimento sócio-econômico de Angola.

Segundo LUZ e LINS , citado por Domingos Martins André no seu trabalho no seu TFC,FE-UAN 2021, afirmam que a mineração existe desde épocas remotas, há aproximadamente 400 anos antes de Cristo, quando os egípcios usavam processos gravíticos na recuperação do ouro de depósitos aluvionares.

Sendo assim, a inovação do tratamento de minério teve início na revolução industrial no século XVIII. E acompanhando esse avanço, os métodos de pesquisa e extração de minérios evoluíram de formas empíricas e artesanais para procedimentos mais complexos, mecanizados, envolvendo tecnologias especializadas na detecção e caracterização das propriedades dos depósitos e de seus minérios, bem como nas operações de lavra e beneficiamento.

Tendo em conta a invergedura de um investimento mineiro, e risco no retorno do capital investido, as indústrias mineiras têm procurado melhorar as suas actividades, tentando reduzir o máximo de erros que podem ser cometidos em determinadas operações mineiras, buscando assim por metodologias e técnicas que possam garantir o melhor quadro de produção de um projecto mineiro com custos operacionais reduzidos, ou até mesmo um quadro equilibrado.

A incapacidade de remoção da massa mineira no jazigo aluvionar, constitui o problema do presente trabalho, assim a justificava do estudo deste tema parte de inumeras consequências que este problema apresenta num ambiente de mineração em Angola, que impacta negativamente nos resultados de produção esperada da mina. A solução deste problema é realizar o Dimensionamento de equipamentos de remoção da massa mineira no jazigo aluvional, sendo que a causa identificada está na falta de dimensionamento de equipamentos de remoção da massa mineira no jazigo aluvional.

Portanto a urgência na resolução deste problema é extremamente importante para o Gestor do Projecto, bem como para a entidade financiadora.

1.2-PROBLEMÁTICA

Tendo em conta a incapacidade de remoção da massa mineira no jazigo aluvionar que, é parte das problemáticas de mineração em Angola, esta anomalia impacta negativamente a produtividade nos jazigos aluvionares, toda via é necessário dimensionar corretamente os equipamentos a serem utilizadas no processo de remoção da massa mineira nos projectos aluvionares, nomeadamente o projecto mineiro Caculo. Caso não se dimensionar corretamente, teremos como consequências a baixa produtividade do projecto mineiro, alto custo em operação dos equipamentos de remoção da massa mineira no jazigo aluvionar, impossibilidade no retorno do capital investido e redução no valor de pagamentos de salários dos trabalhadores.

1.2.1-PROBLEMA

- Incapacidade de remoção da massa mineira no jazigo aluvionar.

1.2.2-CAUSA

- Falta de dimensionamento de equipamentos de remoção da massa minera no jazigo aluvionar.

1.2.3-CONSEQUÊNCIAS

- Baixa produtividade do projecto mineiro;
- Alto custo em operação dos equipamentos de remoção da massa mineira no jazigo aluvionar;
- Impossibilidade no retorno do capital investido;
- Redução no valor de pagamentos de salários dos trabalhadores.

1.3-OBJECTO DE ESTUDO

Projecto Mineiro Caculo

1.4-OBJECTIVO GERAL

Realizar o dimensionamento dos equipamentos de remoção da massa mineira no jazigo aluvionar

1.5-OBJECTIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar os equipamentos utilizados na remoção da massa mineira nos projectos de mineração aluvionar;
- Identificar as equações utilizadas no dimensionamento dos equipamentos;
- Registar os parâmetros e cálculos do dimensionamento dos equipamentos;

- Analisar os fatores de rendimento de um camião basculante rodoviário, articulado e rígido “Fora de estrada ” com base na topografia do terreno e condições climáticas;
- Avaliar os custos operacionais dos equipamentos de remoção da massa mineira;
- Selecionar os equipamntos de acordo as especificações do projecto em estudo;

1.6 - JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA

A justificativa da escolha do tema, resulta do problema de Incapacidade de remoção da massa mineira no jazigo aluvionar, que apresenta inúmeras consequências num ambiente de mineração em Angola, consequências essas como Baixa produtividade do Projecto mineiro, Alto custo em operação dos equipamentos de remoção da massa mineira no jazigo aluvionar e de transporte, impossibilidade no retorno do capital investido e Redução no valor de pagamentos de salários dos trabalhadores , que impactam negativamente nos resultados de produção esperada da mina. A solução deste problema está em realizar o Dimensionamento dos equipamentos de remoção da massa mineira no jazigo aluvional, sendo que a causa identificada está na falta de dimensionamento dos equipamentos de remoção da massa mineira no jazigo aluvionar.

Portanto a urgência na resolução deste problema é extremamente importante para o Gestor do Projecto, bem como para a entidade financiadora. Pois, a não realização do dimensionamento dos equipamentos de remoção da massa mineira no Jazigo aluvionar, implica perdas significativas e até mesmo irreparáveis.

1.7-HIPÓTESE DE SOLUÇÃO

- Dimensionamento dos equipamentos de remoção da massa mineira no jazigo aluvionar;

1.8-METODOLOGIA

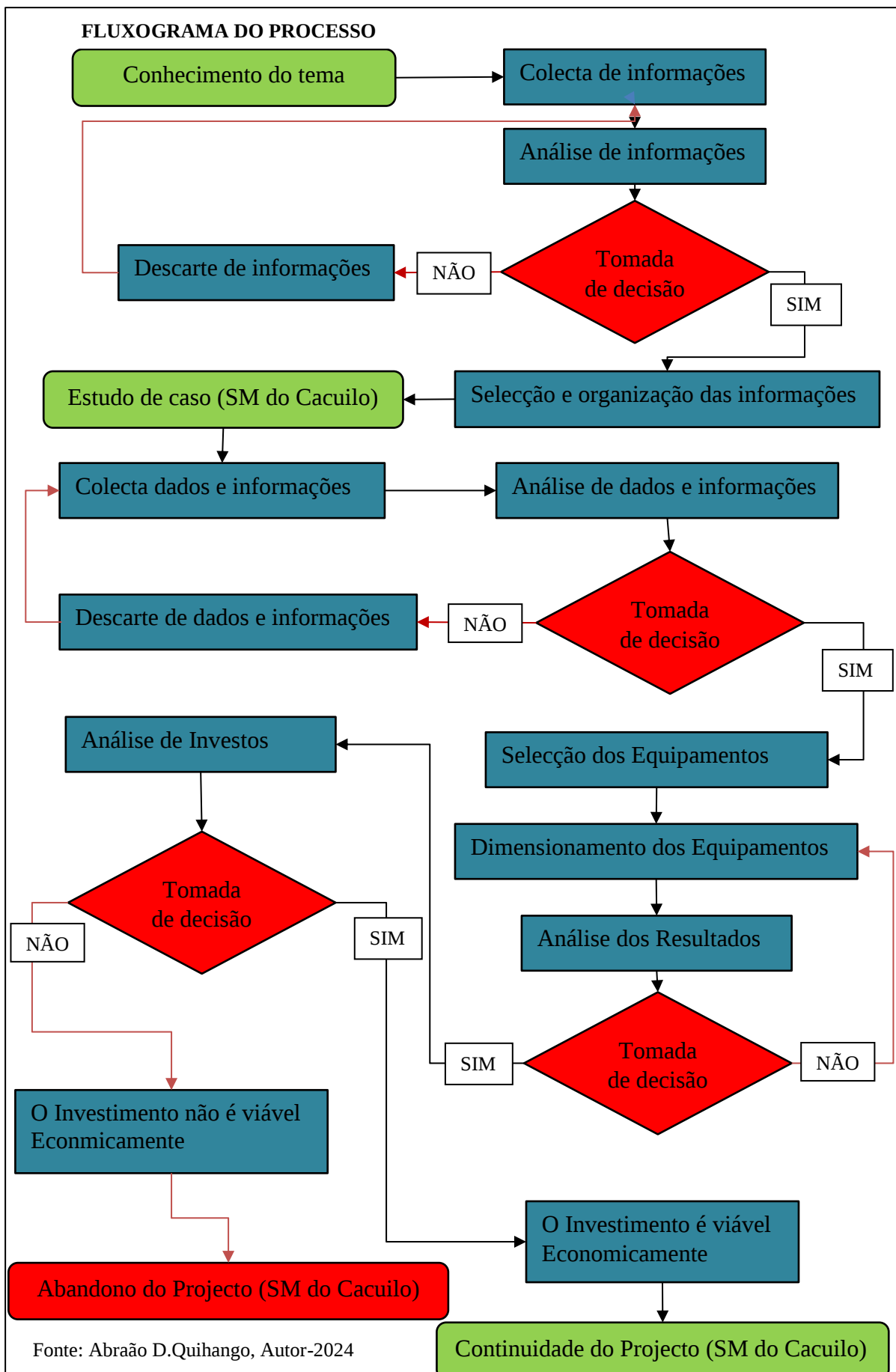
Para se alcançar os resultados pretendidos em uma pesquisa científica, requer definir bem as técnicas a serem utilizadas, pois elas influenciam muito nos objetivos pretendidos a serem alcançados.

Os procedimentos aplicados para a elaboração do presente trabalho, foi realizado em duas etapas:

1ª Etapa: Fundamentação teórica sobre o tema;

2ª Etapa: Estudo de caso (SM do Caculo).

Deste modo, este processo pode ser compreendido a partir do seguinte fluxograma:



Nota: Para a classificação da pesquisa, foi utilizada a Metodologia apresentada por VARGARA(1997), que classifica a pesquisa em relação a dois aspectos:

- 1- **Quanto aos fins** (Explicatória, Descritiva, Metodológica, Aplicada e Intervencionista);
- 2- **Quanto aos meios** (Bibliográfica, Documental, Experimental, Participante, Pesquisa de campo e Estudo de Caso).

Obs: Para o presente trabalho, quanto aos fins, a pesquisa é classificada como, Exploratória, Descritiva e Aplicada. E quanto aos meios a pesquisa é classificada como Bibliográfica, Documental e de Estudo de Caso.

1.9- DELIMITAÇÕES

O presente trabalho delimita-se no cálculo do dimensionamento de equipamentos de remoção da massa mineira no Jazigo aluvionar.

1.10- LIMITAÇÕES

Dificuldade na obtenção de alguns dados e informações relacionadas com Projecto Mineiro Cacuilo.

1.11-DEFINIÇÃO DE TERMOS E CONCEITOS

Engenharia de Minas: é o ramo da engenharia que se ocupa do aproveitamento dos recursos da terra, especialmente através de exploração de minas, utilizando os conhecimentos de diversos ramos da ciência, particularmente os da geologia, química e física.

Mina: mina é um espaço delimitado onde se executam actividades mineiras, com o objectivo de extrair os recursos minerais existentes no solo.

Mineração: consiste no agrupamento de processos, trabalho, ocupação e indústria, relacionadas e envolvidas na extração de minerais da terra.

Mineral: é toda substância sólida, homogénia de origem inorgânica que ocorre naturalmente na crosta terrestre com uma estrutura atómica bem ordenada e composição química bem definida.

Minério: é um agregado de mineral que apresenta viabilidade tecnológica e económica para o aproveitamento industrial.

Esteril (rocha de cobertura): agregados de minerais presentes numa mina, mas que não possui valor económico, embora muita das vezes precisa ser removido para permitir o acesso ao minério.

Reserva mineral: é a parte do recurso mineral para qual demonstra-se viabilidade técnica e económica para produção.

Método de lavra: conjunto de processos utilizados e de soluções adotadas para a remoção da substância útil ou mineral útil contida numa fracção de jazigo.

Exploração: conjunto de actividades que têm como finalidade o desmonte e a extração dos recursos minerais.

Exploração a céu aberto: quando as escavações e os acessos realizados para a exploração do minério estão em contacto com o ar livre. Como exemplo temos as minas a céu aberto e as pedreiras.

Método de desmonte: conjunto de processos utilizados para proceder ao arranque do minério ou do maciço.

Escavação ou desmonte: é o processo utilizado para romper a compacidade do solo ou rocha, por meio de ferramentas e processos convenientes, tornando possível a sua remoção.

Tamanho da mina: é a capacidade de produção que pode ser atingida pela mesma quando em um período de tempo normal, do ponto de vista técnico e económico.

Tecnologia de exploração mineira: conjunto de conhecimentos relativos aos métodos, sistemas, processos, maquinarias e instrumentos que permitem a extração da matéria-prima necessária para obtenção de produtos minerais.

aluvião ou Depósito aluvional : (do latim alluvius, de alluere, "lavar contra") é argila solta, lodo, areia ou cascalho que foi depositado por água corrente em um leito de rio, em uma planície de inundação, no mar, ou em configurações semelhantes.

Jazigos : São concentrações de substâncias minerais que, em função da sua quantidade e teores de componentes úteis, podem ser objecto de exploração.

Dimensionamento de equipamentos: é o ato de seleccionar equipamentos para realizar determinadas actividades de acordo com as especificações do projecto.

Produtividade do equipamento : refere-se a capacidade de produzir bens ou serviços em um determinado período de tempo.

Produção do equipamento: é o resultado do processo da produtividade. Ou seja, é a quantidade de bens ou serviços que o equipamento é capaz de gerar em um determinado período de tempo.

CAPÍTULO.II - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste trabalho de final do curso abordamos o tema que permitiu-nos conhecer a classificação de jazigos que passamos a descrever a baixo:

- Jazigos primários;
- Jazigos secundários.
 - **Jazigos primários**

Sabe-se que, os jazigos primários são formados no manto terrestre, a altas temperaturas e pressão, levada a superfície através de lava vulcânica, existe um processo de resfriamento onde se formam as rochas ígnias.

Segundo LARCERDA(2023), Jazigos primários são aqueles que conservam as suas características originais, se associam a Kimberlitos e Lampróitos, rochas de origem magmáticas que se encontram a profundidade de 150 à 200km e a temperatura de formação de 1100°C à 1500°C. Essas rochas constituem-se de matriz composta essencialmente de minerais de Olivina, Flogopita, Serpentina e Carbonato, tendo como os principais minerais acessórios, os chamados indicadores de diamantes ou KIMs (kimberlite indicator minerals) os seguintes: Granada Piropo, Diópsidio e Ilminita Magnesian



Figura-1: Granada Piropo.
Fonte: SM de cacuilo



Figura-2: Diópsidio.
Fonte: SM de Cacuilo



Figura-3: Ilminita magnesiana.
Fonte: SM de Cacuilo

- **Jazigos Secundários**

Os Jazigos secundários de diamantes, consiste em Aluviões e coluviões. Aluviões ou coluviões referem-se as formas que esses agentes foram transportados (cascalho, areia, o diamante). Sendo que Aluvião é quando o transporte é feito através de leitos de rios. E coluvião é quando o transporte é feito através da gravidade e deslizamento de solo.

As rochas sedimentares constituem os Jazigos secundários, sendo que resultam do transporte, acumulação e consolidação dos sedimentos, provenientes, quer da erosão de rochas preexistentes, quer da precipitação química de substâncias, quer de material correspondente a concha, esqueletos, (Engº JOÃO PENITO, em seu material de petrologia).

2.1 - Jazigos Aluvionares

Os Jazigos aluvionares são considerados de Jazigos secundários. Eles são definidos como detritos ou sedimentos de qualquer natureza, carregados e depositados pelos rios. Este material é retirado das margens e das vertentes, sendo levado em suspensão pelas as águas dos rios que acumulam em bancos, constituindo os depósitos aluvionares, (GUERRA,2003).

Segundo ROBERT CORREIA(2022), considera que os aluviões ou Jazigos aluvionares constituem uma área onde houve ou há acúmulo de sedimentos clásticos, ou seja, fragmentos de outras rochas. Estes podem ser, cascalho, areia ou lama, os quais, foram depositados por um sistema fluvial (rios a cursos de água) no leito ou nas margens das drenagens.



Figura 4: SM do Caculo

Fonte: Autor, 2024

2.1.1 - Tipos de minerais explorados em aluvião

Segundo PAULO NOGUEIRA, considera os tipos de minerais explorados em aluvião, os seguintes:

- Minerais Metálicos (Molibdenita, Cassiterita e Ouro);
- Minerais Geomológicos (Turmalina, Crisoberilo, Diamante e Topázio);
- Minerais industriais (Cascalho, Areia e Argilas).



Figura 5: Pepita de Ouro bruto.
Fonte: SM de Caculo



Figura 6: Diamante.
Fonte: SM de caculo



Figura 7: Cascalho.
Fonte: SM de caculo.

Tabela-1: Tipos de Minerais e suas fórmulas químicas

MINERAIS METÁLICOS	FÓRMULA QUÍMICA	MINERAIS GEOMOLÓGICOS	FÓRMULA QUÍMICA	MINERAIS INDUSTRIAIS
Molibdenita	MoS ₂	Turmalina	Na(Mg,Fe,Li,Mn,Al) _{3Al6} (BO ₃) ₃ Si ₆ O ₁₈ (OH,F) ₄	Cascalho
Cassiterita	SnO ₂	Crisoberilo	BeAl ₂ O ₄	Areia
Ouro	Au	Diamante	C	Argilas
Magnetita	Fe ₃ O ₄	Topázio	Al ₂ (F,OH) _{2SiO4}	
Hematita	Fe ₂ O ₃	Quartzo	SiO ₂	
		Olivina	(Mg,Fe) ₂ SiO ₄	
		Granada piropo	Mg ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₃	
		Cianite	Al ₂ SiO ₅	
		Diópsidio	CaMg(Si ₂ O ₆)	
		Rutilo	TiO ₂	

Fonte: Autor

Nota: Ainda assim é possível que os depósitos de aluvião sejam hospedeiros de outros tipos de recursos como urânio, carvão, petróleo, gás e água subterrânea. Mesmo que estes sejam menos comuns. Assim os minerais associados aos jazigos aluvionares são o quartzo, Ouro, Cianita, Rutilo, Magnetita, Hematita, Granada piropo, Diópsidio, Ilminita magnésiana e Diamante, sendo esses os mais resistentes.

Tabela-2: Minerais de elevada densidade ou dureza (segundo Escala de Mohs)

MINERAIS	DUREZA	DENSIDADE
Diamante	10	3,5 g/cm ³
Ouro	2,5	19,3 g/cm ³
Hematite	5,5 – 6,5	5,2g/cm ³
Pirite	6 – 6,5	5 g/cm ³
Quartzo	7	2,65g/cm ³

Fonte: Autor

2.1.2 - Jazigos aluvionares mineralizados

Quando os jazigos aluvionares dispõem de substâncias de uso útil economicamente, dizemos que este está mineralizado. Assim, os depósitos aluvionares mineralizados, são aqueles detentores de certos minerais de elevada densidade ou dureza, que foram liberados dos outros materiais que compunham a rocha fonte no processo de transporte fluvial. Vindo a se concentrar, enriquecendo à área de deposição com aquela substância.

2.1.3 - Prospecção aluvionar

A Prospecção aluvionar, tem como finalidade a busca ou determinação de depósitos economicamente interessantes, e seu método se assemelha a atividade garimpeira. Dessa forma o procedimento se baseia fundamentalmente na lavagem, peneiramento e batimento de sedimentos acumulado nas margens e leitos de rios. A partir dos concentrados de bateia, os minerais mais densos são separados e analisados segundos características mineralógicas, suas proporções relativas e a sua ocorrência em área. A perfuração de poços com perfuratrizes/sondas, bem como a abertura de trincheiras, sanjas, para execução de perfis verticais, também é um artifício que pode ser utilizado na prospecção aluvionar, com a finalidade de obter amostras geológicas dos minerais a serem prospectados (minérias de interesse).



Figura 8: Formação geológica da SM do Caculo.

Fonte: SM do Caculo, 2021.

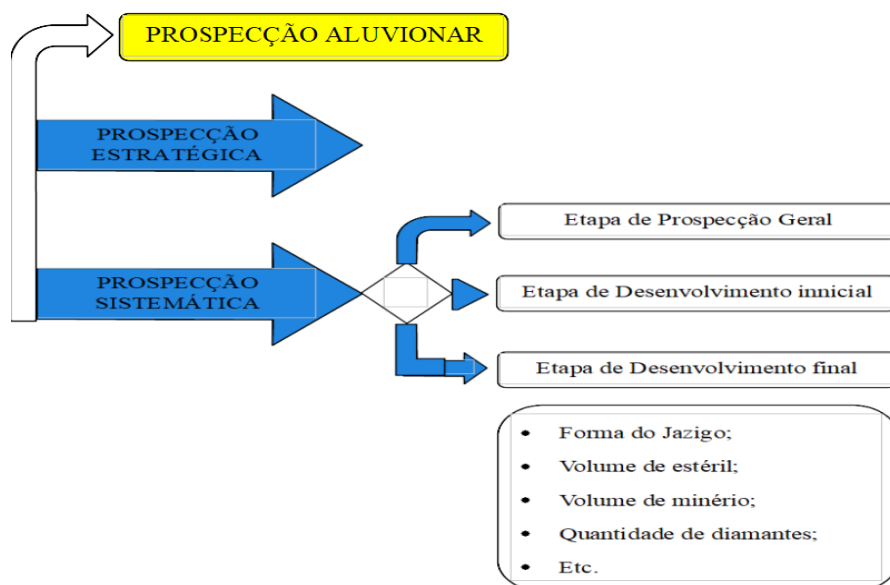


Figura 9: Diagrama Sistemático da divisão da Prospecção Aluvionar

Fonte: Autor, 2024.

2.1.4 - Exploração de jazigo aluvionar

A extração ou exploração mineral no aluvião ocorre a céu aberto, e pode ser executado em modelo de lavra rudimentar ou em graus variáveis de mecanização, ou seja, de forma manual ou mecanizada.

2.1.4.1- Exploração rudimentar (Manual)

A Exploração Rudimentar é o famoso garimpo artesanal em que o garimpeiro às margens do rio lava e separa manualmente o material aluvionar com auxílio de pás e bateias. Esse método é conhecido como faiscagem e possui baixo rendimento, aplicado comumente na busca por diamantes e ouro que possuem alto valor econômico. Dos materiais comumente utilizados nesse tipo de exploração destacam-se :



Figura 10: Bateia profissional.
Fonte:produto.mercadolivre.com.br



Figura 11: Peneira
Fonte: MLB-5-peneira



Figura 12: Calha
Fonte: construvolts.com.br



Figura 13: Pá manual.
Fonte: produtos.com.br

2.1.4.2 - Exploração mecanizada

A exploração mecanizada se baseia no uso de ferramentas e sistemas mecânicos para reduzir o trabalho físico do homem, como também auxiliar a realização de uma operação humana. É um método de alto rendimento. Portanto utiliza-se máquinas e equipamentos para realizar as atividades de extração e exploração de minérios e materiais em uma mina.



Figura 14: Camião articulado Volvo A45G,(25,1m³)
Fonte: comercialdiesel.com.br; 2020.



Figura 15: Escavadeira Cat 325D, (1,19m³)
Fonte: SM do Cacuilo, 2022

2.1.5 - Zonas de exploração nos Jazigos aluvionares

É de conhecimento que as zonas de exploração, são zonas onde ocorrem as maiores concentrações de determinadas espécies de mineral útil.

As zonas de exploração no jazigos aluvionares destacam-se as seguintes:

- Leito do rio; Lezíria; Terraço e Colina.



Figura 16: Depósito aluvionar da SM do Caculo.
Fonte: SM do Caculo, adaptado por Autor, 2024.

- **Depósitos de leito de rio**

Os depósitos de leito do rio são sedimentos que se acumulam no fundo dos rios. Estes depósitos são transportados pela correnteza e incluem uma variedade de materiais, como cascalho, areia, silte e argila. A composição e a distribuição desses sedimentos dependem da velocidade da corrente do rio, do volume de água, do tipo de material disponível na bacia hidrográfica e de outros fatores ambientais.

- **Depósitos de Lezíria**

Os depósitos de lezíria são formações sedimentares que se acumulam em áreas de várzea, geralmente ao longo de rios e estuários. Estes depósitos são compostos por sedimentos finos, como argila, silte e areia, que são transportados e depositados pelas águas fluviais durante os períodos de cheia. As lezírias são áreas planas e férteis, frequentemente inundadas, o que facilita a deposição de nutrientes ricos no solo, tornando-o altamente produtivo para a agricultura.

- **Depósitos de Terraço**

Os depósitos de terraço são formações sedimentares que se acumulam em terraços fluviais, que são superfícies planas ou suavemente inclinadas ao longo de um vale de rio, situadas acima do nível atual do leito do rio. Esses terraços se formam devido às mudanças no nível do rio ao longo do tempo, muitas vezes causadas por variações climáticas, tectônicas ou pelo próprio processo de erosão e deposição. Esses depósitos podem incluir uma variedade de materiais, como cascalho, areia, silte e argila, dependendo das condições ambientais e da fonte dos sedimentos.

- **Depósitos de Colina**

Os depósitos de colina são acumulados de sedimentos que se formam ao longo das encostas das colinas. Esses depósitos podem ser resultado de vários processos geológicos, incluindo a erosão, o deslizamento de terra e a acumulação de materiais transportados pela gravidade, vento ou água. Dependendo da origem e das condições ambientais, os depósitos de colina podem incluir uma variedade de materiais, como rochas fragmentadas, areia, argila e matéria orgânica.

2.2 - Equipamentos de remoção da massa mineira no Jazigo aluvionar

Segundo TADEO JAWORSKI(2011), os equipamentos de remoção de terra podem ser subdivididos nos seguintes grupos, em função do tipo de serviço de escavação a que se destinam:

- Equipamento escavador perfurador - Perfuradora (perfuratriz,sonda);
- Equipamento escavador deslocador - Buldozer;
- Equipamento escavador transportador - Moto scraper;
- Equipamento nivelador - Moto niveladora;
- Equipamento escavador elevador - (Shovel , Escavadeira; Drag-line)
- Equipamento escavador carregador - Pá-carregadeira.

Nota: Apesar de serem citados os equipamentos de remoção da massa mineira nos jazigos aluvionares, importa realçar que maior parte delas, complementam os 4 ciclos de operações básicas (extração,carregamento, transporte e descarga) com o auxílio das unidades de transporte, excepto a Buldozer. As unidades de transporte usados em operações mineiras são:

- **Camião** (Camião basculante Rodoviário ; Camião basculante articulado e Camião basculante rígido ‘‘fora de estrada’’);
- **Correia transportadora** (Fixa ; Móvel e Portátil).

2.2.1-Função e aplicação dos equipamentos de remoção da massa mineira e transporte

- **Equipamento escavador perfurador** -Perfuradora (perfuratriz, sonda). As perfuradoras ou sondas são utilizadas para realizar furos para fins de uso na mineração, quer seja para detonação do maciço rochoso, desmonte do maciço e colectas de amostras de solos.



Figura 17: Perfuratriz XCMG-XRS1050
Fonte: machmall.com,2020

- **Equipamento escavador deslocador** - Bulldozer

É um tipo de trator normalmente pesado que se locomove sobre esteiras ou rodas, equipada com uma lâmina de metal na frente para empurrar o material durante o trabalho de construção ou conversão. A Bulldozer é um equipamento que realiza as 4 operações básicas (extração ou corte, carregamento, transporte e descarga).O comprimento da lamina da Bulldozer varia de 1.80m à 6m. Sua finalidade é de servir para trabalhos pesados em áreas de difícil acesso e é usado principalmente para o desmatamento, Corte de material (solo) em linha reta, Empilhar material; Formação de aterro; Nivelamento do solo e Fazer rampa riscada em talude.



Figura18: Bulldozer sobre esteiras-Cat D10T2
Fonte: Barloworld Equipamentos,2024.



Figura19: Bulldozer sobre rodas -Cat 824k
Fonte: Barloworld Equipamentos,2024.

- **Equipamento escavador transportador - Motos scraper**

Os escreipers são equipamentos constituídos por uma caçamba, em cujo fundo, são fixadas lâminas cortantes responsáveis pela escavação do material e o enchimento (carregamento). Estes equipamentos realaizam as 4 operações básicas de uma só vez. São aplicáveis principalmente em operações de decapagem, construção e manutenção de estradas e eventualmente no transporte de pequenos fragmentos de minério.



Figura 20: Moto scraper -Cat 631K, (18,3 a 26 m³).

Fonte: Barloworld Equipamentos | Especificações (barloworld-equipment.com),2024.

- **Equipamento nivelador - Moto niveladora**

É um equipamento equipado com lâminas que possui variada movimentação, pois pode ser levantada ou abaixada, girar em torno de um eixo e ter o movimento de translação provocado pelo deslocamento do seu conjunto. São utilizados em operações de infraestrutura para nivelar terrenos, conformar talude, espalhar material, auxiliar na manutenção e construção de acessos, remoção de neve, abertura de valetas pouco profundas; Corte do terreno etc.



Figura 21 : Moto niveladora -Cat 12 K

Fonte: Barloworld Equipamentos | Especificações (barloworld-equipment.com),2024.

- **Equipamento escavador elevador - Com caçamba frontal (“shovel”)**

É um equipamento, provido de lança articulada com braço igualmente articulado, tendo na sua extremidade uma caçamba de fundo móvel, que permite escavar grandes quantidade de terra ou

minério. O movimento do corte do material é feito no sentido de baixo para cima. A escavadeira tipo “shovel” escava o material situado, de preferência, um pouco acima do nível de sua base e em certos casos, em um nível um pouco inferior. é utilizado em Escavação de taludes, carregamento e descarga de blocos de rocha, Carregamento de unidades de transporte, Carregamento de bocas de alimentação de correias transportadoras, extração de veios de depósitos aluvinares e para minas de flanco de encosta.



Figura 22 : Shovel-Cat 6030/6030 FS, (16,5m³)

Fonte: Barloworld Equipamentos | Especificações (barloworld-equipment.com),2024.

- **Com caçamba invertida (Escavadeira)**

Escavadeira é um equipamento equipado com implemento frontal, constituído de lança segmentada que articula na sua extremidade uma caçamba, em posição inversa à do “shovel”. Esse implemento tem sua maior eficiência quando escava em um nível inferior ao de apoio de sua base. Este equipamento executa a escavação e o carregamento de material, sem deslocarem-se. Podem escavar terrenos de alta dureza e, geralmente, descarregam o material em unidades de transporte.



Figura 23: Escavadeira -Cat GC 336D2, (1,88m³).

Fonte: Barloworld Equipamentos | Especificações (barloworld-equipment.com),2024.

- **Com caçamba de arrasto (“drag-line”)**

As escavadeiras do tipo “drag-line” são compostas por uma longa lança acoplada a polias e cabos de aço que realizam a escavação arrastando a caçamba sobre o material que está sendo escavado. Ela possui a característica de executar a escavação estacionada. A sua principal aplicação na mineração está na abertura de canais e na manipulação de solo abaixo a beira da água. As principais vantagens deste tipo de escavadeira é o elevado raio de escavação.



Figura 24 : Drag-line -Cat 8200, (24 a 34 m³).

Fonte: Barloworld Equipamentos | Especificações (barloworld-equipment.com),2024.

- **Equipamento escavador carregador - Pá-carregadeira**

É um trator montado sobre rodas ou esteiras equipado com caçamba frontal a qual é acionada através de um sistema de braços articulados. Ela é capaz de carregar materiais como areia, brita, minérios, entre outros. Na mineração é utilizada para carregar minérios, rochas e outros materiais na planta de beneficiamento, limpeza ou organização de praça. Suas principais funções são: Escavação, carregamento, transporte e descarga.

Nota: Dizer que a desvantagem de uma, representa a vantagem da outra e vice-versa.



Figura 25:Pá-carregadeira sobre pneus-Deere624K,(2,7m³)

Fonte: deltamquinas.com.br, 2024.



Figura 26:Pá-carregadeira sobre esteiras,Cat 953D,(1,85m³).

Fonte: www.shoppster.si/p/1330985, 2024.

- **Camião basculante rodoviário**

O camião basculante rodoviário é um veículo que têm maior flexibilidade, pois, devido ao menor porte, se locomove rapidamente de uma frente para outra e pode ser utilizados para trafegar em vias públicas. Ele tem a função de realizar o transporte de materias, tais como cascalhos, esteril, material rochoso em uma actividade mineira. Não é económico para operações com grande movimentação de material, uma vez que seria necessário utilizar vários deles para realizar a mesma operação.



Figura 27 : Camião basculante rodoviário, Volkswagen 17280,(10 a 15m³).
Fonte: etsequipamentos.com,2020.

- **Camião basculante articulado**

O camião articulado é um veículo que possui em sua parte traseira, uma articulação para auxiliar o transporte de cargas ou movimentações de terras, geralmente este equipamento é aplicado em mineração, obras de engenharia civil e pedreiras, para o transporte e descarga de materiais como, cascalho, esteril, material rochosos, etc. As principais características deste camião se apresentam em terrenos e condições mais exigentes, ou seja, que possuem deformidades no perímetro percorrido (T. ALMEIDA, 2016). Este camião pode ser utilizado em estradas mais estreitas, sinuosas e íngremes, bem como em condições climáticas extremas. Apresenta um ponto de “articulação” atrás da cabine onde se fixam a carroçaria do veículo. Este ponto torna o camião mais fácil de manobrar, graças à sua maior amplitude de movimento e flexibilidade de virar.



Figura 28 : Camião basculante articulado, Cat 725C, (24t).
Fonte: Barloworld Equipamentos | Especificações (barloworld-equipment.com),2024.

- **Camião basculante rígido (fora de estrada)**

O camião basculante rígido consiste numa cabine e num corpo basculante que assenta num chassi fixo, projetado para transportar materiais grandes e rochosos, por outro lado, cascalho e esteril. Ele é aplicado nas indústrias de construção e extração mineira. A sua utilização depende do tamanho da área, ou seja, o local na qual trabalhará e a distância que terá que percorrer, sendo ele adequado para longas distâncias e grandes áreas. São equipamentos de grande capacidade, força, resistência e tamanho.



Figura 29 : Camião basculante rígido (Fora de estrada), Cat 789D, (181t).
Fonte: Barloworld Equipamentos | Especificações (barloworld-equipment.com).

- **Correia transportadora**

Segundo Abeco,(2020), as Correias transportadoras são equipamentos para transporte ou movimentação de materiais a granel, ou em altos volumes, através de uma correia contínua (esteira transportadora), que se desloca sobre tambores e roletes. Consistem em dois ou mais tambores que movimentam uma superfície (esteira) para facilitar o transporte de determinados materiais (minério, cascalho e outros). A função de uma Correia transportadora é transportar um material de um ponto até outro, facilitando o fluxo contínuo do processo. São aplicadas no transporte horizontal, vertical ou inclinado.



Figura 30 : Correia transportadora
Fonte: pt.dreamstime.com., 2024.

2.3 - Produtividade de equipamentos

A produtividade é uma informação valiosa para operações de mina, portanto representa um papel fundamental na seleção de equipamentos e dimensionamento de frota. Segundo RAN a produtividade é considerada uma medida de eficácia da retirada de bens físicos, sendo entendida como uma relação entre entradas e saídas. No cálculo da produtividade são levados em conta:

- **Volume da Caçamba**

É dada em metros cúbicos, considerada como a capacidade operacional, podendo ser calculada para duas situações, rasa ou coroada.



Figura 31 : Volume da Caçamba rasa (A) e Volume da Caçamba Coroada (A+b), b = acréscimo de volume.

Fonte: Autor, 2024.

A equação seguinte expressa o volume da caçamba: $Vca = \frac{Cmax}{\gamma_s}$ Eq. (1)

Onde: Vca = volume da caçamba; Cmax = carga máxima admissível na caçamba; Pesp = peso específico do material solto.

- **Fator de Enchimento (Fill Factor)**

Fator de enchimento (Ω), pode ser entendido como um conjunto de fatores relacionados ao tipo de material, que apresentam indícios de como ocorrerá a aglomeração do material no interior na caçamba.

Tabela 3 : Fatores de enchimento para alguns materiais mais usuais.

FACTOR DE ENCHIMENTO		
Tipo de material		valor (%)
Rocha	Factor de enchimento da caçamba na rocha	80 -100
Agregados	Material britado/triturado	85 -100
Areia e Cascalho	Factor de enchimento na aria e cascalho	90-100
Argila ou Terra	O factor de enchimento no materia com argila ou terra	100-110 ou mais

Fonte: SDLG Latin America, 2011.

- **Empolamento**

Um material in situ, quando desagregado aumenta seu volume, esse aumento aparente é conhecido

como empolamento. O entendimento desse fator é de suma importância, uma vez que diz respeito ao volume de material que será de fato transportado. Assim temos: $\gamma_s < \gamma_c$, pois $V_s > V_c$.

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma_c} < 1 \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde: e = Fator de empolamento; γ_s = Massa específica do material solto; γ_c = Massa específica do material no corte ou natural. Sendo que : $\gamma_s = (m/V_s)$ e $\gamma_c = (m/V_c) \rightarrow (m_c = m_s = m)$

$$\text{Assim: } e = (m/V_s) / (m/V_c) \rightarrow f = \frac{(V_s - V_c)}{V_c} \times 100 \quad \text{Eq.(3)}$$

Onde: V_c = Volume do material no corte ou no estado natural; V_s = Volume de material no estado solto; m_c = Massa de material no corte ou no estado natural; m_s = Massa de material no estado solto.

Podemos encontrar o empolamento através da percentagem de empolamento (f) com a seguinte equação: $f = \frac{1}{e-1} \times 100 \quad \text{Eq.(4)}$

$$\text{Percentagem de Empolamento (f): } f = \left[\frac{V_s}{V_c} - 1 \right] \times 100 \quad \text{Eq.(5)} \quad \text{ou} \quad e = \left[\frac{V_s}{V_c} \right] \quad \text{Eq.(6)}$$

Tabela-4: Factor de empolamento

Tipo	Esteril	Cascalho	Zona de Exploração
Seco	1.4	1.4	Teraço...
úmido	1.4	1.3	Lezíria ...

Fonte: F. Chicangala, Msc,2023. Adaptado por autor (2024).

O factor de empolamento (e), como um factor de conversão de volume.

$$e \times V_s = V_c \quad \text{Eq. (7)} \quad ; \quad \left[\frac{V_c}{e} \right] = V_s \quad \text{Eq. (8)}$$

- **Carga de Tombamento (Tipping-Load)**

Levando em consideração o porte do equipamento é a carga que faz com que a escavadeira tombe.

- **Carga Útil (Pay-Load)**

É a carga que não ultrapassa 80% do “tipping-load” (fator de segurança de $100/80 = 25\%$).

- **Fator de Disponibilidade do equipamento**

Pode ser considerado como o tempo que o equipamento está disponível para uso, essencial para cálculos de rendimento de longo prazo, podendo ser afetado por fatores como má organização da

mina, más condições de trabalhos, operações em muitos turnos, ou ainda por manutenções mal programadas, dividindo-se em disponibilidade mecânica e física.

Disponibilidade Mecânica: Refere-se a capacidade do equipamento estar em pleno funcionamento e pronto para ser utilizado, sem interrupções devido a falhas ou problemas mecânicos. É uma medida de confiabilidade e eficiência do equipamnto.

$$DM = \frac{H - (MP + MC + TP)}{HT} \times 100\% \quad \text{Eq.(9)}$$

Onde: DM = disponibilidade mecânica; HT = corresponde às horas teóricas disponíveis por ano; MP = manutenção preventiva; MC = manutenção corretiva e TP = tempo de paradas.

Disponibilidade Física: corresponde a quantidade de horas programadas em que o equipamento está hábil para operar, isto é, não está na manutenção. Pode ser expresso pela equação (10):

$$DF = \frac{HP - HM}{HP} \times 100\% \quad \text{Eq.(10)}$$

Onde: DF = disponibilidade física, que representa a percentagem do tempo em que o equipamento fica à disposição do órgão operacional para a operação; HP = horas calculadas por ano, na base dos turnos previstos, já levando em conta a disponibilidade mecânica; HM = horas de reparo na oficina ou no campo, incluindo a falta de peças no estoque ou falta de equipamentos auxiliares.

- **Fator de Utilização**

Este factor é também dado em porcentagem, entendido como o tempo em que o equipamento é utilizado dentro das horas disponíveis, ou seja, parcela que o equipamento está em operação.

$$U = \frac{HT}{HP - HM} \times 100\% \quad \text{Eq. (11)}$$

Onde: U = factor de utilização; HT = total de horas efetivamente trabalhadas;

HP = horas calculadas por ano, na base dos turnos previstos, já levando em conta a disponibilidade mecânica; HM = horas de reparo na oficina ou no campo, incluindo a falta de peças no estoque ou falta de equipamentos auxiliares.

- **Rendimento**

O rendimento pode ser obtido através da multiplicação da disponibilidade física pela utilização, relacionando as horas disponíveis com as horas efetivamente trabalhadas.

$$R = DF \times U \quad \text{Eq. (12)}$$

Onde: R = rendimento da máquina (%); DF = disponibilidade física e UT = factor de utilização.

- **Tempo de Ciclo**

Tempo de ciclo como o conjunto de operações realizadas por um equipamento até que o mesmo volte ao estado inicial, dentro de um período de tempo. Segundo Silva, o ciclo produtivo pode ser dividido em seis componentes: carregamento, transporte, descarga, retorno, posicionamento e atraso. Podemos observar na figura seguinte.

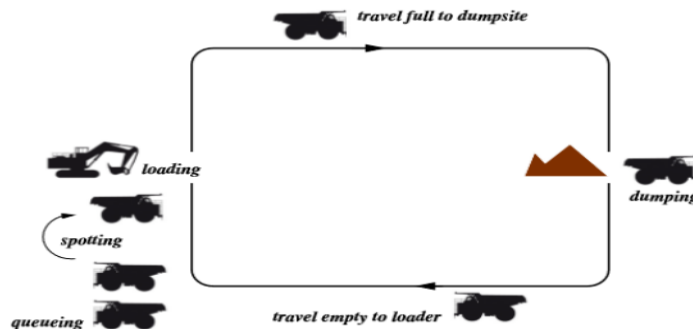


Figura 32: Esquema de tempo de ciclo para caminhões.
Fonte: Adaptado de Burt e Caccetta, 2013.

Nota: Numa operação mineira o tempo de ciclo representa a soma de um conjunto dos tempos elementares, que são os tempos fixos e tempos variados. Este tempo de ciclo é denominado de tempo de ciclo mínimo.

Tempo de ciclo mínimo: é a somatória de todos os tempos elementares, de que resulte o menor tempo de ciclo, em que a tarefa pode ser executada : **$T_{cmin} = \Sigma T_f + \Sigma T_v$ Eq. (13).**

Onde: T_{cmin} = Tempo de ciclo mínimo; ΣT_f = somatório dos tempos fixos (carga, manobra, descarga, manobra); ΣT_v = Somatória de tempos variados (tempo de transporte carregado e vazio, ou seja, de ida e volta). Os tempos fixos podem ser obtidos de tabelas fornecidas pelos fabricantes de equipamentos.

$$T_v = \Sigma \frac{D_v}{V_v} \quad Eq. (14)$$

Onde: T_v = Tempo de ciclo variado (de ida e volta) em horas ; D_v = Distância percorrida (ida e volta) em km; V_v = Velocidade (ida e volta) em km/h.

Nota: Se pretendemos, apresentarmos os valores dos tempos em minutos, devemos multiplicar toda expressão do numerador por 60. E se desejamos apresentar os valores das distâncias em metros, devemos dividir por 1000. Assim teremos as seguintes fórmulas para o tempo de ciclo variado.

$$T_v = \sum 60 \times \left(\frac{D_{id}}{V_{id}} + \frac{D_{volt}}{V_{volt}} \right) \quad Eq. (15); \quad T_v = \sum \frac{D_v}{V_v \times 1000} \quad Eq. (16)$$

$$T_v = \sum 0,06 \times \frac{D_v}{V_v} \quad Eq. (17)$$

Tempo de ciclo efetivo: é aquele gasto realizado pelo equipamento para executar o ciclo de operação, computados os tempos de paradas (T_p) que ocorrem necessariamente no decurso de muitos ciclo.

$$T_{cef} = T_{cmin} + \sum T_p \quad Eq. (18)$$

Onde: T_{cef} - Tempo de ciclo efetivo; T_{cmin} - Tempo de ciclo mínimo; T_p – tempos perdidos.

Para as unidades de transporte, na determinação do tempo de ciclo, devem ser consideradas duas novas parcelas no tempo fixo: o tempo de carregamento e o tempo gasto de parada, descarga e partida. De acordo com a fórmula geral, tem-se : $T = T_f + T_v$. Assim temos:

$$T_{cmin} = T_c + T_{pdp} + T_v \quad Eq. (19)$$

Onde: T_{cmin} = Tempo de ciclo mínimo do caminhão; T_c = Tempo de carregamento do caminhão; T_{pdp} = tempo de parada, descarga e partida; T_v = Tempo variado.

Nota: No tempo de ciclo é melhor o caminhão esperar a escavadeira do que a escavadeira esperar o caminhão, o que pode custar muito caro, isto porque a hora da escavadeira é muito cara. O (T_{pdp}) varia com o volume da caçamba do caminhão e pode ser extraído, diretamente da Tabela-32.

• Eficiência de Operação

Entende-se por, percentual das horas realmente trabalhadas em relação às horas programadas. Se não houvesse perda de tempo na jornada diária de trabalho, a eficiência seria de cem por cento (100 %) e o valor do fator E, alcançaria a unidade (1).

$$E = \frac{T_{cmin}}{T_{cef}} = \frac{T_{cmin}}{T_{cmin} + \sum T_p} = \frac{1}{1 + \frac{\sum T_p}{T_{cmin}}} \quad Eq. (20)$$

$$\text{Se } \sum t_p = 0 \rightarrow E = 1 \text{ ou } E = 100\%; \text{ Se } \sum P \neq 0 \rightarrow E < 1 \text{ ou } E < 100\%$$

Onde: E = Eficiência da operação ou de trabalho (%); T_{cmin} = tempo de ciclo mínimo;

T_{cef} = tempo de ciclo efetivo; T_p = tempo perdido.

Nota: de modo geral uma eficiência de operação ideal é aquela que maximiza a produção de minério ou material desejado, minimizando o consumo de energia e recursos.

• Eficiência Geral do Equipamento -OEE – Overall Equipment Efficiency

É o indicador utilizado para expressar a eficiência do equipamento, segundo Choudhary (2015) a

OEE auxilia no entendimento das principais perdas de eficiência do equipamento, uma vez que pode ser obtida pelo produto da disponibilidade física, utilização e eficiência.

$$E_{ge} = DF \times U \times E \quad Eq. (20)$$

Onde: E_{ge} = Eficiência geral do equipamento; DF = Disponibilidade física; U = Factor de utilização; E = Eficiência de operação ou de trabalho, (todos em %).

- **Resistência ao Rolamento:** é a força paralela ao terreno que se opõe ao rolamento das rodas de um equipamento, sobre a superfície de um terreno ou pavimento. Essa resistência é consequência dos atritos internos, associada a flexão dos pneus e a penetração dos pneus no solo.



Figura 33: Resistência ao rolamento
Fonte: TADEO JAWORSKI, 2011, adaptado por Autor ,2024.

$$R_{ro} = PBV \times K_r \quad Eq. (21)$$

Onde: R_{ro} = resistência ao rolamento; PBV = peso bruto do veículo (kgf) e K_r = Factor de resistência ao rolamento (kgf/t).

Nota: A resistência ao rolamento não é aplicada aos tratores de esteiras.

- **Resistência de Rampa**

Segundo JAWORSKI, (2021), a Resistência de rampa é a força paralela ao terreno que se opõe a locomoção dos veículos e equipamentos nos aclives. Essa resistência deve ser considerada para os equipamentos de rodas e de esteiras. Nos declives essa força se soma a força de tração e é denominada de assistência de rampa. A resistência de rampa pode ser designada pela sigla R_{ra} .

$$R_{ra} = P_e \times Tg\alpha \quad Eq. (22)$$

Onde: R_{ra} = Resistência de rampa , P_e = Peso do equipamento, α = Ângulo de inclinação da rampa. Porém a tangente do ângulo de inclinação da rampa (α) é expressa da seguinte forma:

$Tg\alpha = \frac{I}{C}$, sendo $I = \frac{H}{C} \times 100\%$. Assim, sabe-se que a $Tg\alpha = \frac{I}{C}$, substituindo a expressão na Eq. (22), temos: $R_{ra} = P_e \times \frac{I}{C}$ **Eq. (23)**. Onde: I = Inclinação da rampa ou precentagem de inclinação da rampa (%); H = Altura da rampa (m); C = Comprimento da rampa (m).

Nota: No caso do o equipamento estar carregado de material, no cálculo deve-se considerar o peso total (Pt), que resulta da soma do peso do equipamento (Pe) e o peso do material (Pm).

$$P_t = P_e + P_m \quad Eq. (24)$$

Nota: Na figura seguinte é ilustrada a Resistência de rampa com os seu componentes.

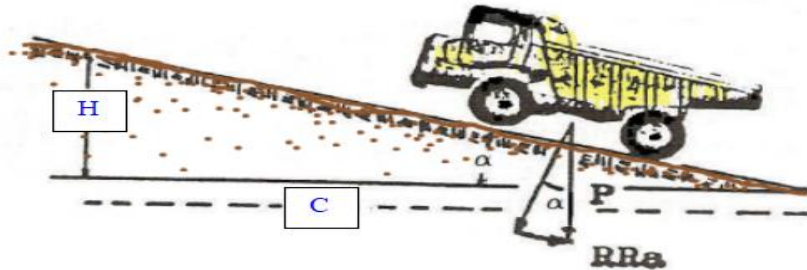


Figura 34: Resistência de Rampa.
Fonte: TADEO JAWORSKI, 2011, adaptado por Autor ,2024.

Nota: Para se obter a força Resistência de rampa (Rra ou RRa) em kgf usando o valor de Peso (P) em toneladas, deve-se multiplicar o numerador da equação (23) por 1 000,0 kgf, resultando em :

$$Rra = \frac{(P_e \times 1 \times 1000)}{C} \quad Eq. (25)$$

Sendo que : 1 tonelada -força (Tnf) equivale a 1000Kgf (Kilogram - força).

Nota: A soma da Resistência ao rolamento (Rro), com a Resistência de rampa (Rra), resulta na Resistência total ao movimento do equipamento (Rtme).

$$Rtme = Rro + Rra \quad Eq. (26)$$

Onde: Rtme = Resistência total ao movimento do equipamento (Kgf).

• Influência da Altitude

Com o aumento da altitude, poderá ocorrer uma queima incompleta de combustível, face à falta de oxigênio no interior do motor e como consequência, haverá uma perda de potência que . Essa perda de potência se refletirá no desempenho do equipamento se comparado, o trabalho ao nível do mar.

A literatura técnica sobre o assunto, indica que se deve considerar uma perda de potência da ordem de 3%, para cada 1 000 pés de altitude e somente ser considerada após os primeiros 1 000 pés. A influência de altitude pode ser designada pela sigla (Ia). Seja (Alp) a altitude do local em pés.

Considerando a perda de potência indicada anteriormente, se tem: $Ia = \frac{(Alm - 300)}{1000} \quad Eq. (27)$

Considerando que 1 000 pés = 305 metros $\approx$ 300 m, pode-se obter a influência da altitude do local, em metros (Alm). $Ia = \frac{(Alp - 100) \times 3}{1000}$ Eq. (28)

Motores de 4 tempos $\rightarrow Ia = \frac{(Alm - 300)}{1000}$ Eq. (27); 2 tempos $\rightarrow Ia = \frac{(Alm - 300)}{300}$ Eq. (29)

Nota: Para os motores de dois tempos a perda é de 1%, em cada 300 metros, não sendo considerados os primeiros 300 metros.

- **Aderência**

A aderência é a capacidade que tem as rodas motrizes (ou esteiras) de um equipamento de aderirem ao terreno. A aderência varia de acordo com: O peso aplicado pelas rodas motoras (ou esteiras); Pelo desenho e da forma da banda de rodagem (forma e dimensões das garras da esteira), Tipo e condições da superfície do terreno. Assim quando as rodas ou esteiras giram em falso (patinam) a aderência é insuficiente.

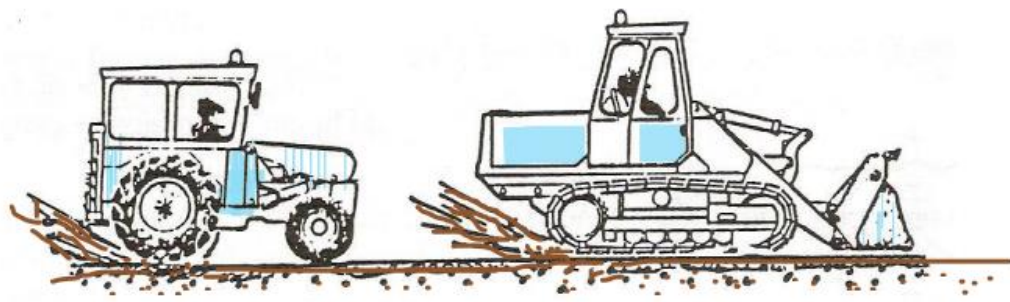


Figura 35: Aderência insuficiente (patinação).

Fonte: TADEO JAWORSKI, 2011, adaptado por Autor ,2024.

2.4 - Produção horária dos equipamentos

A produção horária de um equipamento de escavação, na maioria dos casos é a simples relação entre o volume de material (m^3) que ele movimenta em uma hora de trabalho. Teoricamente pode ser por : $Ph = C \times nc$ Eq. (30)

Sendo que nc de 1 hora (minutos) sera: $nc = \frac{60}{T}$ Eq. (31). Assim, substituindo a Eq. (31) na

(30), a Produção horária assume a seguinte expressão: $Ph = \frac{60 \times C}{T}$ Eq. (32)

Onde: Ph = Produção horária do equipamento (m^3/h); C = Capacidade volumétrica do equipamento (m^3); T = Tempo de ciclo do equipamento; nc = Número de ciclos.

Nota: No cálculo da produção horária de cada equipamento de escavação, a equação da produção horária teórica recebe novos fatores corretivos que propiciam resultados mais exatos,

proporcionando assim a obtenção de fórmulas próprias para cada equipamento.

Os fatores corretivos que podem ser considerados no cálculo da produção horária de cada equipamento de escavação, tem se: Factor de empolamento (e); Fator de eficiência do equipamento (E); Factor de enchimento (Ω); Componentes do tempo de ciclo (T) e Factores de disponibilidades; Fator de eficiência da caçamba (K) e Fator de correção(η).

Sendo assim, são apresentadas as equações para o cálculo da produção horária de cada equipanto de escavação, bem como para as unidades de transporte.

2.4.1- Produção horária de equipamento escavador deslocador – Bulldozer

$$Ph = \frac{60 \times C \times E \times e \times \eta}{T} \quad Eq. (33)$$

Onde: Ph = Produção horária, em (m³/ h); C = Capacidade de corte da lâmina (m³); e = Fator de empolamento (Tabela-4); E = Eficiência de operação ou de trabalho; η = Fator de correção atendendo o tipo de material ; T = tempo de ciclo, em minutos (min).

2.4.2 - Produção horária de equipamento escavador transportador - Moto scraper

$$Ph = \frac{60 \times C \times E \times \Omega}{T} \quad Eq. (34)$$

Onde: Ph = Produção horária em m³ , de material escavado; C = Capacidade nominal do escreiper, m³; E = Eficiência de operação ou do trabalho; Ω = Fator de enchimento da caçamba(%).

2.4.3 - Produção horária de equipamento nivelador - Moto niveladora

$$P_{V/h} = L_m \times V_{Trab} \times P_{Profundidade} \times E \quad Eq. (35)$$

Onde: P_{V/h} – Produção volumétrica da Motoniveladora (m³/h); P_{Profundidade} – Profundidade média de corte do material a ser removido (mm); V – Velocidade de trabalho(km/h ou m/s); E- eficiência de operação (%).

2.4.4 - Produção horária de equipamento escavador elevador - “Shovel e Drag-lin”

$$\text{Quando T (Segundos)} \rightarrow Ph = \frac{3600 \times C \times E \times e \times k}{T} \quad Eq. (36)$$

$$\text{Quando T (minutos)} \rightarrow Ph = \frac{60 \times C \times E \times e \times k}{T} \quad Eq. (37)$$

Onde: Ph = Produção horária,(m³/h); C = capacidade rasa da caçamba, m³; E = Eficiência de trabalho (%); e = Fator de empolamento (Tab-4); K = fator de eficiência da caçamba ; T = tempo de ciclo(min ou seg.).

Com caçamba invertida (Escavadeira): $Ph = \frac{60 \times C \times E \times e}{T}$ **Eq. (38)**

Onde: Ph = Produção horária (m³/h); C = capacidade da caçamba (m³); E = Eficiência de trabalho(%); e = Fator de empolamento (Tabela- 4); T = tempo de ciclo.

2.4.5- Produção horária de equipamento escavador carregador - Pá-carregadeira

A produção horária de uma pá-carregadeira é expressa por: $Ph = \frac{60 \times C \times E \times e}{T}$ **Eq. (38)**

Onde: Ph = Produção horária no corte ou jazida (m³) ; C = Capacidade coroada da caçamba(m³) ; E = Eficiência de trabalho(%) e= Fator de correção devido ao empolamento ou factor de empolamento, (Tabela-4); T = Tempo de ciclo (min).

2.4.6- Produção horária de unidades de transporte – Camião: $Ph = \frac{60 \times C \times E \times e}{T}$ **Eq. (38).**

Onde: Ph = Produção horária do camião(m³/h) ; C = Capacidade coroada da caçamba, (m³) ; E = Eficiência de trabalho; e = factor de empolamento (Tabela-4); T = Tempo de ciclo do camião , (Tt = tc + tdp + tv). Sendo tc (o tempo de carregamento do camião).

2.4.7 - Produção horária de Correia transportadora: $Ph = \frac{P}{Ht \times DF \times Em}$ **Eq. (39)**

Onde: Ph-Produção horária efectiva ; P- Produção anual requerida ; Ht- Horas teóricas por ano ; DF - Disponibilidade física (%) e Em -Eficiência da Mina (Em = 85%).

2.5 - Seleção de equipamentos

Essa etapa do processo de projeto da mina é de grande importância e requer muita atenção devido aos altos investimentos necessários para compra dos equipamentos ou aluguer. Uma escolha acertada dos equipamentos, acarreta uma minimização dos custos de operação e reduz o tempo de retorno do capital investido. Os equipamentos de carregamento e transporte são tipicamente selecionados para corresponder às condições da mina, em termos de capacidade necessária, às condições climáticas, exigências de mobilidade e número de frentes de lavra ao mesmo tempo.

Para SILVA (2009), as principais considerações na seleção primária dos equipamentos são: Geologia do depósito; Metas de produção; Vida útil do projeto; Disponibilidade de capital; Custo de operação; Parâmetros geotécnicos; Retorno de investimentos; Interferências com o meio ambiente. Porém, para uma escolha acertada na seleção de equipamentos de carregamento e transporte, esses devem ser selecionados de forma integrada, a fim de aumentar a compatibilidade entre estes, otimizando a produtividade e principalmente minimizando os custos de produção. Além das contribuições válidas para a selecção de equipamentos de carregamentos e Transportes

a cima citados, importa referir que, os indicadores de produtividades dos equipamento, não estão isentos quando o assunto é a selecção dos respectivos equipamentos. Dentre eles destacam-se os seguintes: Volume da Caçamba; Disponibilidade mecânica; Disponibilidade física; Factor de Utilização; Rendimento; Tempo de ciclo; Eficiência da caçamba (corte); Resistência ao rolamento.

Nota: Sendo que a Indústria mineira visa em reduzir os custos e maximizar os seus lucros consequentemente, aumentando a sua produção, na seleção dos equipamentos, este princípio não esta de fora, a ideia é seleccionar um equipamento que apresenta o menor custo de operação e máxima produtividade, ou até mesmo um cenário equilibrado.



Figura 36- Considerações para a seleção de Equipamentos e Factores Sensíveis ao Dimensionamento dos equipamentos.

Fonte: BOZORGEBRAHIMI, HALL and BLACKWELL, 2003 – Adaptado por autor, 2024.

No caso das perfuratrizes ou sondas, a seleção destes equipamentos, deve levar em conta os métodos de perfuração (Perfuração rotativa, rotopercussiva de superfície-Top hammer e rotopercussiva de fundo de furo-Down the hole).

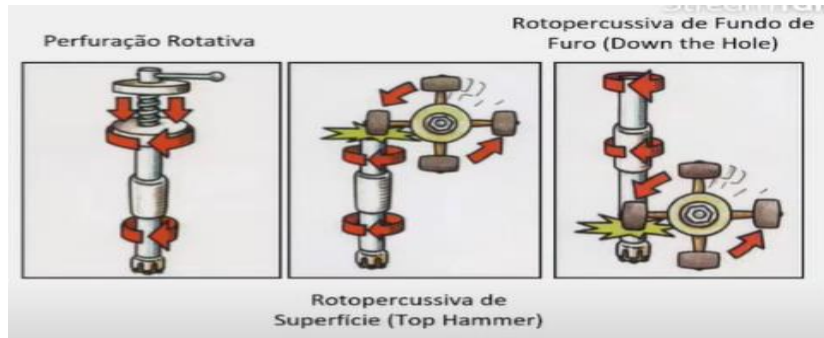


Figura 37- Métodos de perfuração
 Fonte: Suarez Lopes de Morais.MScPhD,2023.

A aplicabilidade dos métodos de perfuração, tem haver com a faixa de diâmetro, bem como consequentemente a escala de produção da mina (Porte da mina), sendo eles de Pequenos diâmetros, Médios diâmetros e Grandes diâmetros, conforme se expressam na figura 38. De igual modo é apresentados os tipos de perfuradora.

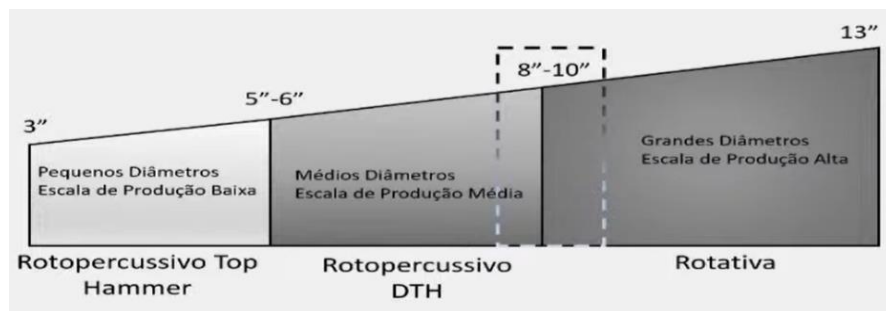


Figura 38- Aplicabilidade dos métodos de perfuração
 Fonte: Youtube-Suarez Lopes de Morais.MScPhD, 2023

• **Características das perfuratrizes, com base na disposição da figura 38.**

- Perfuratrizes hidráulicas;
- Equipamentos a diesel e Sobre esteira;
- Sistema de ar comprimido para limpeza do furo;
- Sistema eletrônico de automação e

- Perfuratrizes hidráulicas;
- Equipamentos a diesel, locomoção sobre esteiras ou pneus;
- Compressor de alta pressão (**300 a 350psi**);
- Sistema eletrônico embarcado, podem ser remotas/autônomas.

- Perfuratrizes hidráulicas;
- A diesel ou elétricas;
- Locomoção sobre esteiras;
- Pull down: 90.000 a 140.000lb;
- Compressor de baixa pressão (100 a 110psi);
- Vazão na faixa de 2.000 a 3.800CFM;
- Sistema eletrônico embarcado, podem ser remotas /autônomas.

2.6 - Programa de Manutenção dos equipamentos

Para se garantir uma produção estável da mina, de médio ou longo prazo, deve existir um programa de manutenção dos equipamentos. O Programa de manutenção é definido como sendo um conjunto de actividades planeadas e executadas para garantir o funcionamento adequado e prolongar a vida útil dos equipamentos. Assim o grande desafio do Programa ou Plano de Manutenção dos Equipamentos é fazer com que os equipamentos tenham melhor desempenho e isto significa: trabalhar mais, com mais qualidade, mais produtividade e com mais segurança, com custos adequados.

Obs: O programa de manutenção dos equipamentos deve ser elaborado respeitando as normas reguladoras de manutenção, bem como as informações de uso dos equipamentos, contidas nos catálogos.

2.7 - Manutenção dos Equipamentos

A manutenção pode ser definida como o conjunto de processos utilizados com a finalidade de obter dos equipamentos condições de funcionamento que resultam na sua produtividade máxima e, ao mesmo tempo, buscar o prolongamento de sua vida útil, permitindo a operação econômica em maiores prazos, (RICARDO, CATALANI). As falhas nos equipamentos é um dos principais motivos de paradas dos equipamentos, e portanto o fator de redução do desempenho. À medida que o equipamento envelhece, devido ao desgaste natural que sofre em sua utilização, a probabilidade de falhas aumentam consideravelmente, ocasionando paralisação frequente para os reparos mecânicos, significando duplo prejuízo, porque, além de deixar de produzir, ela passa a ter despesas de manutenção, o que reduz de forma sensível a sua rentabilidade.

2.7.1 - Tipos de Manutenção dos Equipamentos

De modo geral, um programa ou plano de manutenção deve ter os seguintes tipos de manutenção: Manutenção preventiva; Manutenção correctiva e Manutenção preditiva.

Manutenção preventiva: Realizada seguindo um planejamento montado de acordo as decisões técnicas, ou seguindo as orientações do fabricante. Sendo assim, é um bom formato a fim de impedir falhas e defeitos, e para colaborar com o melhor desempenho do equipamento. Ela se estrutura através de paradas programadas dos equipamentos, no qual não afetará a produtividade do empreendimento,(NR 12). Esta manutenção é baseada no tempo de vida útil dos componentes. Dessa forma, é criada uma espécie de calendário de manutenção que tem como alvo a troca periódica dessas peças, sempre respeitando o tempo de utilização indicado pelo fabricante.

Manutenção Correctiva: Acontece quando se identifica falhas, quebras, defeitos ou necessidade de ajustes. Seu objetivo é de devolver as funções originais do equipamento. Contudo é muito onerosa, pois os danos dificilmente são isolados, ou seja, afeta outras peças do equipamento.

Segundo RAQUEL SALES (2022) , a manutenção correctiva pode ser de dois tipos:

- **Manutenção correctiva não planejada**

Este tipo de manutenção se dá quando não ocorre uma programação de parada do equipamento para que haja a substituição de alguma peça cujo problema não foi previamente identificado. Ela é caracterizada, como o tipo de manutenção mais cara que existe, pelo facto de a sua ocorrência não ser programada. Por outro lado podemos entender que este tipo de manutenção inviabiliza a produção, provocando perdas de tempo, baixa produção e menos benefício.

- **Manutenção correctiva planejada**

Este tipo de manutenção se dá quando ocorre uma programação de parada do equipamento para que haja a substituição de alguma peça cujo problema foi previamente identificado. Então, antes que seja deflagrado um problema ainda maior, o funcionamento de um determinado equipamento é interrompido para que se faça a intervenção. Este tipo de manutenção é menos cara com relação a manutenção anterior, e se constitui como uma boa prática, visto que também tem a característica de antever um problema.

Manutenção preditiva: Esta manutenção proporciona maior qualidade e controle dos procedimentos de conservação do equipamento. Consiste num sistema analítico capaz de identificar um mau funcionamento antes de prejudicar o equipamento. Também usa um cronograma de ações, porém, foca nos possíveis defeitos e falhas nas quais podem ocorrer. Sendo assim, trata-se do tipo de manutenção de equipamentos mais completo, (NR 12). Neste tipo de manutenção faz-se : Análise da vibração, Análise acústica, Análise por infravermelhos, Análise de circuitos do motor, Termografia, Monitoramento ultrassônico, Radiografia, Laser interferometria, Medições elétricas e eletromagnéticas. O objetivo da manutenção preditiva é otimizar o uso de seus recursos de manutenção.

2.8 - Qualificações do operador de equipamentos

Um operador de equipamento é um profissional responsável por operar e manter diversos tipos de equipamentos em diferentes sectores da indústria. Seu principal objectivo é garantir o funcionamento eficiente e seguro desses equipamentos, contribuindo para a produção e o bom desempenho das actividades industriais. As responsabilidades de um operador de equipamentos

podem variar dependendo do tipo de equipamento que ele opera. Durante a operação dos equipamentos, o operador deve estar atento a qualquer sinal de mau funcionamento ou anomalias. Ele monitora o desempenho do equipamento, ajusta as configurações conforme necessário e realiza manutenções preventivas básicas. O operador deve ter habilidades de comunicação, trabalho em equipe e capacidade de seguir instruções precisas. Ele precisa estar ciente das normas de segurança e de qualidade, bem como ter um bom conhecimento dos procedimentos operacionais. Na indústria de mineração, os operadores de equipamentos, operam equipamentos especializados, como escavadeiras, caminhões basculantes, perfuratrizes, pás carregadeiras e outros. Eles são responsáveis por extrair minerais, mover materiais e ajudar no processo de escavação em minas e pedreiras.

2.9 - Custos Operacionais

O custo de operação é um termo amplamente utilizado no campo da engenharia e se refere aos gastos necessários para manter um equipamento, sistema ou processo em funcionamento. É uma métrica essencial para empresas e indústrias, pois permite avaliar a viabilidade econômica de uma operação e tomar decisões estratégicas com base nos custos envolvidos. O custo de operação também é utilizado para calcular o preço de venda de produtos e serviços, garantindo a lucratividade do negócio.

Segundo JUNIOR (2012), citado por DOMINGOS ANDRÉ, no seu TFC(2021), os Custos operacionais são custos que normalmente estão ligados as operações de funcionamento de lavra, sendo divididos em três categorias: Os custos indiretos, custos directos e custos gerais.

2.9.1 Custos indiretos

São custos considerados independentes da produção, porém, podem variar de acordo com a produção planejada, entretanto não é uma relação inversa ou direta com a produção obtida. Estes custos também podem ser considerados de custos fixos. Seus componentes principais são:

- Taxas, juros, seguros, etc; Despesas com escritório; Trabalho de pesquisa e gerais de preparação; Mão-de-obra: Escritórios, almoxarifado, serviços administrativos, de vigilância.

2.9.2 Custos diretos

Os custos diretos ou variáveis são considerados como os custos primários de uma operação ou realização de trabalho.

- Materiais: consumíveis (água, lubrificantes, energia, combustível, explosivos, corpos moedores, reagentes químicos para o tratamento), peças de reposição;

- Mão-de-obra: pessoas empregadas na operação e manutenção, isto é, quantidade de pessoas necessárias, para produção e trabalhos associados.

2.9.3 - Custos gerais

Os custos gerais, não são considerados gastos de operação, mas sim um determinado processo ou operação a nível corporativo de um ciclo completo de produção. Nesses custos são incluídos:

- Serviços financeiros; Escritórios de projeto; Pesquisa e desenvolvimento; Despesas com comercialização; Serviços administrativo da central.

2.9.4- Equações para cálculos de custos

- **Custos indiretos / fixos (CF)**

Seguro : $SE = (Va \times Pe) / hf$ **Eq. (40)**

Onde: SE = Custo de Seguro (US\$/h); Va = Valor inicial do equipamento (US\$);Pe = Percentual do valor de seguro sobre o valor inicial do equipamento (decimal) e hf = horas efetivas de trabalho por ano (em média /h).

Depreciação: $DP = (Va - Vr) / Vu$ **Eq. (41)**

Onde: DP = depreciação (US\$/h); Va= Valor inicial do equipamento(US\$); Vr = valor residual do equipamento (em média US\$) e Vu= vida útil do equipamento (em anos).

- **Custos diretos / Variáveis (CV)**

Combustível: $CC = (PH \times Fc \times Pc) / E$ **Eq. (42)**

Onde: CC = Custo de combustível (óleo diesel) em US\$/h; PH=Potência líquida do equipamento(Kw); Fc = Factor de consumo (L/Kwh) e Pc = Preço de óleo diesel (US\$/L); E- eficiência operacional ou de trabalho (%).

Obs: No caso para se saber o Custo de combustível por ano (US\$/Ano), deve multiplicar-se o custo de combustível em horas (US\$) pelas horas trabalhadas do equipamento(hf ou Ht).

Lubrificantes e graxas : $LG = CL \times Pl$ **Eq. (43)**

Onde: LG = Custo com lubrificantes e graxas (US\$/h); CL= Consumo de lubrificantes e graxas por hora efetiva de trabalho (em média L/h) e Pl = Preço de um litro de lubrificantes e graxas (US\$/L).

$$\text{Pneus/esteiras : PE} = [(N_p \times V_p) + (N_c \times V_c)] / H_u \quad \text{Eq. (44)}$$

Onde: P_e = Custo de pneus/esteiras (US\$/h); N_p = número de pneus/esteira substituídos (em média); V_p = Valor resultante da soma do valor de troca de um pneu/esteira por novo e reconstrução do mesmo (em média US\$/unidade); N_c = Número de câmaras de ar/elos da esteira substituídas (em média); V_c = Valor unitário da câmara de ar/ elos da esteira (em média US\$ /unidade) e H_u = horas efetivas de trabalho do pneu/esteira (h/unidade).

$$\text{Manutenção e Reparos: MR} = (S_e + P_e) / h_f \quad \text{Eq. (45)}$$

Onde: M_R = Custo de manutenção e reparos (US\$/h); S_e = Custo de serviço (em média US\$) P_e = Custo com peças (em média US\$) e h_f = horas efetivas de trabalho por ano (em média /h).

$$\text{Custos da mão-de-obra operacional: MO} = N^{\circ} \text{ Oper.} \times S_l \quad \text{Eq. (46)}$$

Onde: M_O = Custos da mão-de-obra (US\$/mês); $N^{\circ} \text{ Oper.}$ = Número de operadores; S_l = Salário do Operador (em média US\$/mês).

- **Custo operacional do equipamento**

$$CO = \Sigma (CF + CV) \quad \text{Eq. (47)}$$

Onde: CO = Custo operacional do Equipamento (US\$/h); CF = Custos fixos (US\$/h) e CV = Custos variáveis (US\$/h).

2.10 - Impacto ambiental

Como qualquer outro empreendimento da atividade mineira, a exploração de aluviões também causa danos ambientais. Principalmente aos corpos hídricos, já que a atividade pode se dar próximo ou sobre eles. Além disso danos aos aquíferos também são possíveis. Assim sendo alguns problemas possíveis do manejo indevido em aluviões, são: A possibilidade de alteração da forma do rio, quanto ao seu curso e leito; Erosão do solo; Destruição de habitats aquáticos; Desmatamento nas margens; Aumento da turbidez da água; Contaminação por químicos usados no beneficiamento (em especial o mercúrio utilizado no garimpo) e Intensificação do processo de erosão das margens.



Figura 39: Poluição do rio Cacuilo pela actividade mineira.

Fonte: Autor, 2024

A autarquia do Departamento Nacional de Pesquisa Mineral (DNPM), determina diretrizes e condições mínimas exigíveis para a implantação, operação e controle destas atividades nas Normas Reguladoras de Mineração. Sobretudo na utilização dos métodos de dragagem, desmonte hidráulico e lavra garimpeira. Visando o controle da poluição e preservação do meio ambiente, por meio de prevenção e mitigação de impactos. Segundo o código mineiro, aprovado pela Lei n.31.2011 pela Assembleia Nacional de Angola, no seu artigo 69º (Proteção da flora e da fauna), refere que, sempre que seja desenvolvida actividade mineira numa área de comprovado potencial vegetal ou animal, os operadores mineiros devem realizar estudos que prevejam a preservação desse potencial e desenvolver uma base de dados com informação organizada e de fácil consulta sobre a biodiversidade local, podendo obter o concurso e a parceria de instituições especializadas públicas ou privadas.

No seu artigo 70º (Proteção dos recursos hídricos), refere que durante o processo de exploração mineira, os operadores mineiros devem tomar as seguintes medidas de proteção dos recursos hídricos:

- a) Criar bacias de decantação para sedimentos retirados durante a fase de tratamento do minério, evitando deste modo a poluição e/ ou assoreamento dos rios e lagoas;
- b) Criar circuitos de reciclagem de água, de modo a permitir o reaproveitamento da mesma nas várias fases da produção mineira;
- c) Analisar regularmente a água em diversos pontos dos rios dentro da Concessão, de modo a permitir o controlo da qualidade da mesma;
- d) Manter registos actualizados com informação relativa as alíneas a) ,b) e c) deste diário.

Portanto é importante a Auto-regulação e responsabilidade dos operadores, que na verdade os operadores mineiros devem adoptar regras internas de conduta em matéria ambiental que sejam de acordo com a legislação em vigor. Os operadores devem criar condições para que os trabalhadores , a todos os níveis, reconheçam a sua responsabilidade na gestão ambiental, bem como assegurar que sejam disponibilizados recursos, pessoal e formação adequados para implementar os planos ambientais.

CAPÍTULO.III - ESTUDO DE CASO

3.1 - Caracterização do Projecto Mineiro Caculo

O estudo de caso foi realizado em um depósito aluvionar diamantífero, pertencente ao Projecto mineiro Caculo, implantado numa extensão de 3000 km², correspondente a 300.000 hectares, com uma área de exploração de 201.240 m².

A mina do Caculo, revela um enorme potencial diamantífero, sendo que tem como vizinha, a mina do Lulo, de onde recorrentemente, têm-se extraídos alguns dos mais extraordinários diamantes do mundo (aluviões a montante do vale do rio Caculo). A concentração do cascalho é feita por Jiga, com capacidade de 30m³/h (lavaria). No Projecto mineiro Caculo, a exploração dá-se na Léziria. E seguiu-se com os primeiros trabalhos de prospecção no Terraço.

Os dados históricos dos Trabalhos desenvolvidos Pelas Empresas MATIKARA LIMITADA & SDM no Projecto Caculo, dos estudos já efectuados neste projecto são refletidos em etapas que se seguem:

1ª. Durante a década de 70 foram executados trabalhos de pesquisa com amostragem em aluviões na bacia do rio Lulo, exclusivamente em fontes secundárias de diamantes.

2ª. Posteriormente, durante o ano de 70 até 1974, foram feitas prospecções diamantíferas pela ENDIAMA/ De Beers em depósitos primários e secundários e com maior destaque de amostragem de grandes volumes em rochas kimberlíticas. Foram reportadas a ocorrência de três kimberlitos resultado desta prospecção, nomeadamente: Sequeje-1, Sequeje-2 e Lucussa-1, localizados no SE da concessão, da margem direita do rio Caculo.

3ª. Em 2004 e 2005 foram desenvolvidos trabalhos de avaliação de depósitos diamantíferos secundários pela Empresa Matikara Limitada, com a implantação de uma lavaria de tratamento de minério com resultados satisfatórios.

4ª Em 2008 a SDM assumiu um contrato com a ENDIAMA parceiros nacionais para a prospecção e exploração dos recursos de diamante. Os trabalhos foram desenvolvidos na base de um programa sistemático de trincheiras com provável uso de escavadoras. De acordo com o relatório produzido os trabalhos foram interrompidos devido a crise mundial financeira. Todavia os trabalhos tiveram a duração de cerca de seis (6) meses e consequentemente a devolução da concessão a ENDIAMA.

Em 2021 a Empresa do Sector mineiro Rio Branco, concebeu a concessão do Projecto mineiro Caculo, que é considerado como uma das minas mais promissoras de Angola, com reservas estimadas de vários milhões de Kilates.

3.2 - Localização geográfica do Projecto Caculo

A Área de Concessão do Projecto Caculo, (ocupa uma superfície de 3000km², correspondente a 300.000 hectares), localizada na Província da Lunda- Norte entre os municípios do Capenda e de Lubalo, Propriamente em Xamequelengue, a uma distância de 177km a Oeste da cidade de Saurimo e a 77 km a Leste da localidade do Cuango. Tendo as coordenadas geográficas de 9°19'13''S e 18°41'41''E.

A Lunda Norte é uma das 18 províncias de Angola, localizada no nordeste do país. A capital é a cidade de Dundo-Chitato, no município de Chitato. A província conta com uma população de 972 183 habitantes, segundo as projeções populacionais de 2018 elaboradas pelo Instituto Nacional de Estatística, numa área territorial de 103760 km². A Província é constituída pelos municípios de Cambulo, Capenda, Camulemba, Caungula, Chitato, Cuango, Cuílo, Lubalo, Lucapa, Lóvua e Xá-Muteba, subdivididos em 26 comunas.

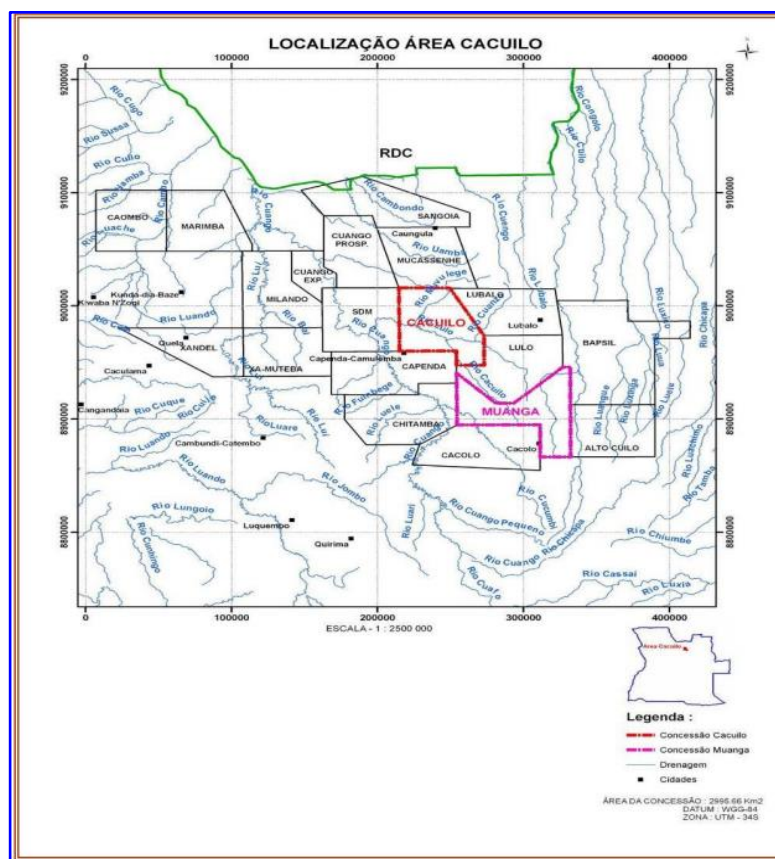


Figura 40: Mapa de localização da área de Concessão do Caculo.

Fonte: SM do Caculo.

3.3 - Geomorfologia

A concessão do Projecto Caculo tem a caracterização geológica não muito complexa, mas exige uma prudência. Litologicamente comporta as seguintes unidades: Kalahari , aluvionares terciário, quaternário e cretáceo superior (QIII,QIV, e K²) e Congo Ocidental ainda com espessura de estéril média de cerca de 4metros e de cascalho de formação Calonda/Cuango com espessura media, de 0,81metros, o minério tem o teor de diamantes satisfatório, baseado nos resultados obtidos nas pesquisas dos anos anteriores.

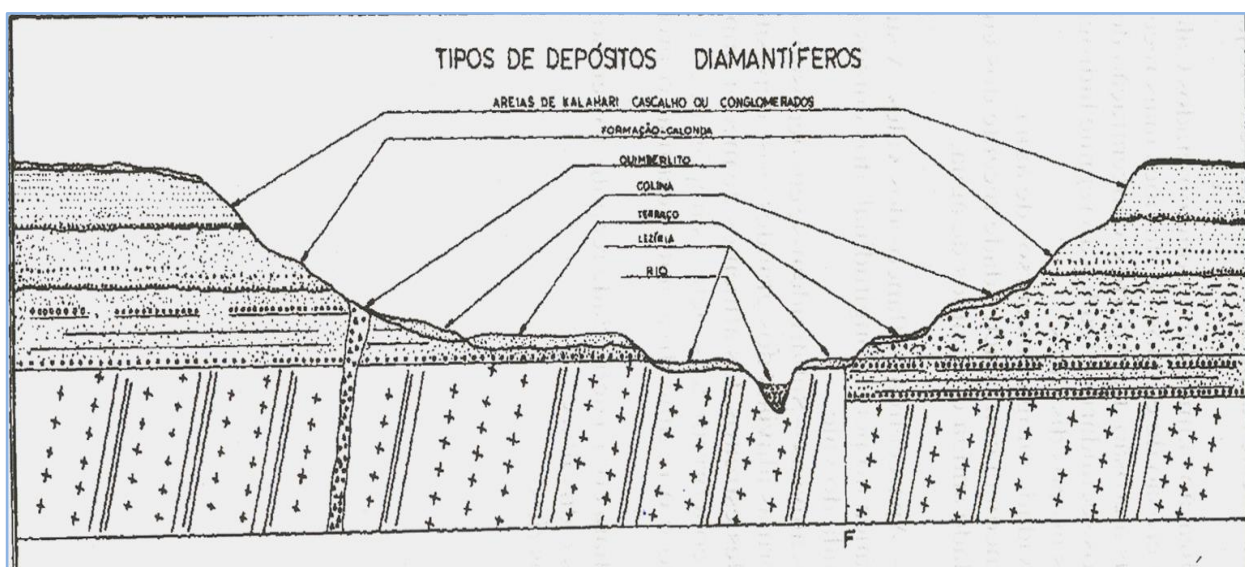


Figura 41: Correlação dos Depósitos Diamantíferos no Nordeste da Lunda

Fonte: Material de Prospecção, Prof. NLANDO KINKELA, 2019.

3.4 - Ecologia, flora e fauna

Ao norte e leste da província domina o "mosaico floresta-savana do sul da bacia do Congo", uma ecorregião composta de florestas, savanas e pastagens. Já ao oeste e sudoeste, a paisagem é dominada pela ecorregião das "florestas de miombo angolanas", com flora de savana de folha larga e floresta com domínio de miombo, além de pastagens abertas. A moldura verde das matas e da grande floresta equatorial é mais expressiva junto dos braços dos grandes rios.

A Lunda Norte é, em síntese, uma região de savana pouco arborizada. Todavia, a região possui alguns recursos florestais localizados fundamentalmente nos Municípios de Cambulo e Capenda-Camulemba. A diversidade da fauna compreende mamíferos de grande porte, aves diversas, répteis, batráquios, peixes e numeroso grupo de vertebrados (antópolos, coleópteros, fauna do solo, entre outros).

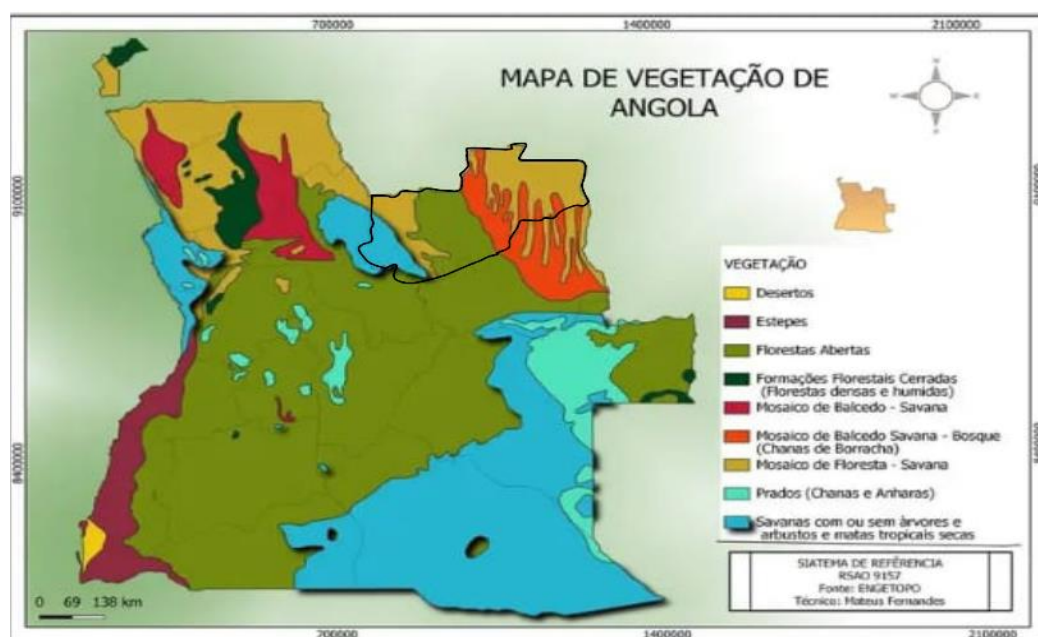


Figura 42 : Mapa de Vegetação de Angola - (Lunda Norte).

Fonte: lahistoriaconmapas.com,2016. Adaptado por autor, 2024

3.5 - Hidrografia

Na Província da Lunda Norte, importantes rios cortam terras norte-lundenses, com destaque para o Cassai, Luachimo, Chiumbe-Luateche e o Cuango. Outros rios relevantes são o Luangue, Chicapa, Lui, Cuilo, o Luembe, Lóvua, Lubalo, Cacuilu e o Cuango (os quatro últimos com nascente na província). Todos os rios citados são tributários do Cassai que, por sua vez, é um dos maiores tributários da Bacia do Congo.

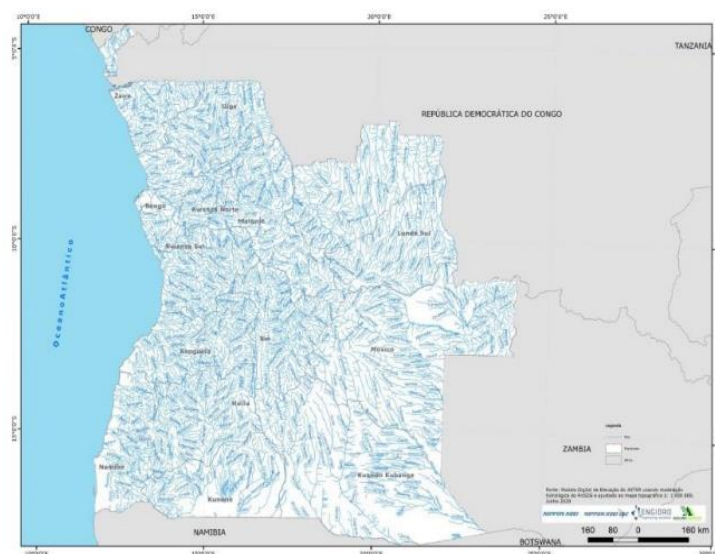


Figura 43 : Mapa Hidrográfico de Angola

Fonte: TFC, FE-UAN, H. M. Balão,2023.

3.6 - Clima e Relevo

A área geográfica da Lunda Norte, segundo a Classificação climática de Köppen e Geiger predomina, na maior parte da província, o Clima tropical de savana (Aw), com uma temperatura média de 27°C por ano e o regime de chuvas pode ser até torrencial. A média das chuvas é de 1.400 mm, sendo que a quantidade máxima é de 1.500 mm e a mínima de 1.200 mm.

Na faixa Sudeste da Lunda Norte predomina o clima subtropical úmido (Cwa). Os verões são muito mais chuvoso do que os invernos em Lunda Norte.

Quanto ao relevo a média relativa a nível do mar na província é de cerca de 900m, sendo que cerca de 1100m no interior e de 700m nas fronteiras. Em alguns locais, como o centro da província, a altitude pode alcançar cerca de 1200m, nas serras da Sucumuna, do Muhondo e de Capenda-Cuilo, todas extensões do grande Planalto da Lunda Norte, que domina o relevo provincial.

Do nordeste para o sudeste a altitude pode diminuir até 700m, porém chega a cerca de 1000m no Monte Muriá. Ao sudoeste o destaque é a Serra de Tala Mungongo (ou Planalto de Malanje), enquanto que ao noroeste as extensões do Planalto do Cuango.

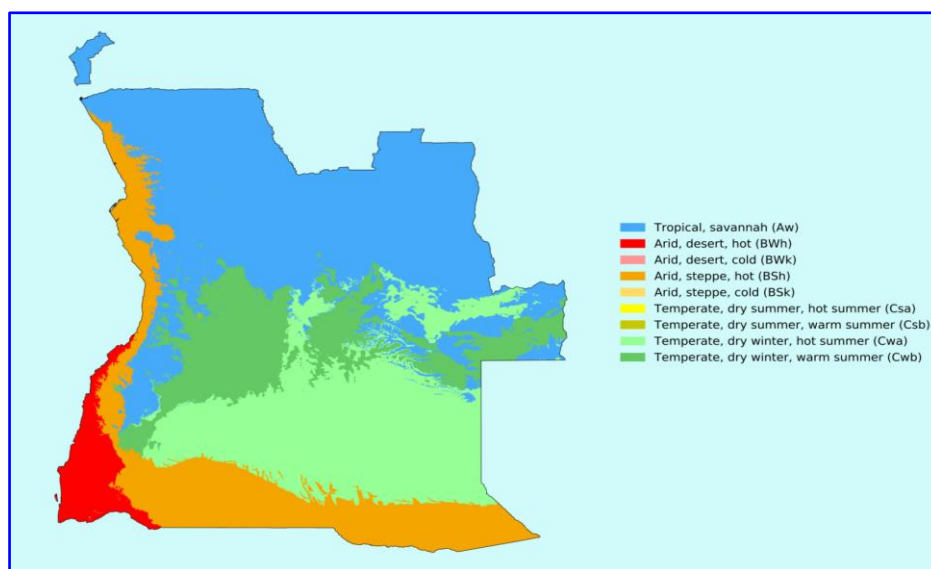


Figura 44 : Classificação climática de Angola, Köppen-Geiger (1980-2016).

Fonte: andrewgloe.com, 2019.

3.7 - Vias de Acesso

O acesso à região pode ser feito tanto por via aérea como terrestre. Por via aérea, utilizam-se aviões de pequeno e grande porte que aterram no aeroporto Camaquenzo (Lunda Norte), e pale via terrestre utilizam-se as companhias rodoviárias e ferroviárias MACON e Caminho de ferro de Luanda.

CAPÍTULO.IV - RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 - Informações gerais da mina

O projecto mineiro Cacuilu, compõe das seguintes informações gerais: Reserva de minério, volume de esteril e cascalho insito, densidade do material, número de turnos, horas de trabalho por ano e horas de calendário.

O ritmo de produção ou capacidade produtiva é um parâmetro que influi de maneira determinante no estudo de viabilidade da mina. Isto é, toneladas em minérios a produzir por ano.

Assim sendo, a capacidade produtiva e a vida útil da mina, serão calculadas segundo a equação de Taylor.

$$P(\text{Mt/ano}) = 0,15 \times R^{0,75} \times (1 \pm 2) \quad \text{Eq. (48)}$$

P = Ritmo de produção ou capacidade produtiva em milhões de toneladas por ano (Mt/ano);

R = Reserva provada em toneladas (t).

Sendo a **Vida útil** (Vútil) expressa pela seguinte equação: **Vútil = R/P** Eq. (49)

Assim sendo, com a reserva de minério de 18.150.966,5t ou seja 18,150Mt, o ritmo de produção anual é calculada pela seguinte expressão:

$$P = 0,15 \times R^{(0,75)} \rightarrow P = 0,15 \times (18,150)^{(0,75)} \rightarrow \mathbf{Pa = 1,32Mt/ano}$$

$$\therefore \text{Vida útil (Vútil)} = R/P \rightarrow \text{Vútil} = 18,150\text{Mt}/1,32(\text{Mt/ano}) \rightarrow \mathbf{Vútil = 13,75 \approx 14 \text{ anos.}}$$

Tabela 5 : Dados gerais do projecto mineiro Cacuilu.

Reserva (t)	18.150.966,5
Vida útil (anos)	14
Volume de Esteril insito (m3)	2.938.543
Volume de Cascalho insito (m3)	180.369,3
Densidade do Cascalho (t/m3)	1,6
Número de Turno	3
Horas de Trabalho por Turno(h/turno)	8
Horas de Calendário (h)	8760
Quilates	54.376.000
Teor	0,16

Fonte: Autor, 2024.

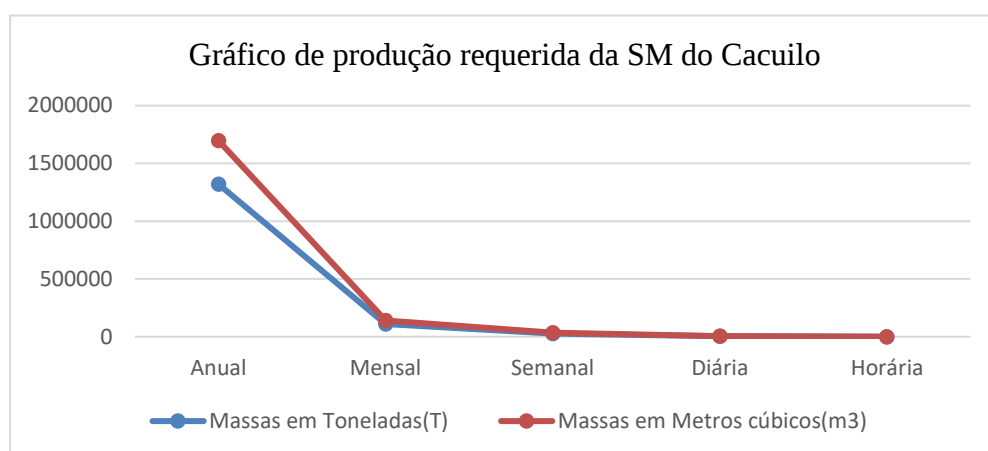
$$\therefore P = 1,32\text{Mt/ano} = 1.320.000\text{t/ano.}$$

Tabela 6 : Produção requerida do projecto mineiro Caculo

Produção	Massas em Toneladas(T)	Massas em Metros cúbicos(m3)
Anual	1.320.000	377.142,82
Mensal	110.000	31.428,57
Semanal	27.500	7.857,14
Diária	3.928,7	1.122,45
Horária	163,69	46,77

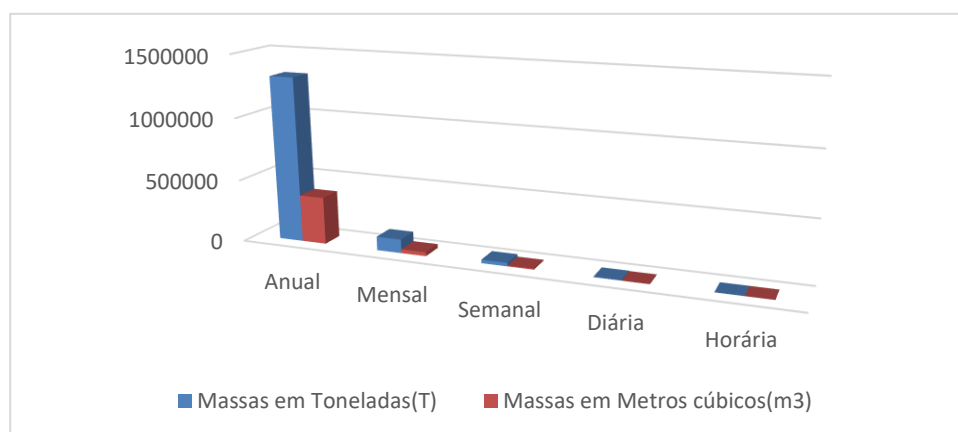
Fonte: Autor, 2024.

Gráfico 1 : Produção requerida da SM do Caculo



Fonte: Autor, 2024.

Gráfico 2 : Representação da Produção requerida da SM mina em 3D



Fonte: Autor, 2024.

4.1.1 - Classificação da mina quanto ao seu porte

O projecto mineiro Caculo, com base na sua produção de **1.320.000t/ano** é classificada como uma mina de porte Médio (sendo que o valor de produção é maior que 1.000.000 e menor que 5.000.000), conforme o intervalo é ilustrado na tabela 7, que se segue.

Tabela 7 : Classificação da mina quanto ao seu porte.

Tamanho da Mina/Porte	Exploração a céu aberto
Produção	Toneladas por ano (t/ano)
Pequeno	< 1.000.000
Médio	>1.000.000; < 5.000.000
Normal	>5.000.000; < 25.000.000
Grande	> 25.000.000 ; < 100.000.000
Gigante	> 100.000.000

Fonte: Autor, 2024.

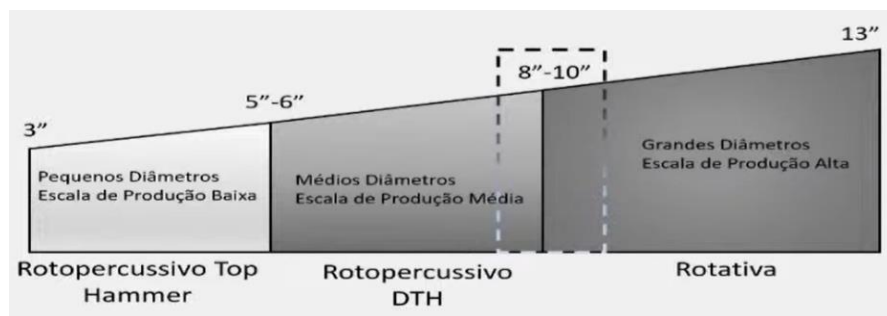
4.2 - Dimensionamento dos equipamentos

O dimensionamento dos equipamentos é uma das actividades mais importantes do Planejamento de Mina. Sua importância está em estabelecer a capacidade de movimentação da mina em uma associação aos custos unitários, a qual será sua estimativa de gasto.

No dimensionamento, envolve o cálculo da capacidade de carga, o tempo de ciclo e outros parâmetros relevantes para garantir que o equipamento atenda às necessidades específicas do projecto.

4.2.1 - Cálculos do dimensionamento da perfuratriz/Sonda

No dimensionamento da frota de perfuração o diâmetro é o parâmetro técnico preponderante, sendo que a escala de produção depende do mesmo, conforme se ilustra na figura 38.



Sabe-se que Caculo é uma mina que tem a escala de produção média, o que implica o uso de perfuratrizes/sondas com diâmetros, variando de 6" a 10"(polegadas),sendo o método rotopercussivo de fundo de furo-Down the hole, com uso de perfuratrizes/sondas do tipo rotopercussiva-DTH. As características que os representam este método são as seguintes: Perfuratrizes/sondas hidráulicas; Equipamentos a diesel, locomoção sobre esteiras ou pneus; Compressor de alta pressão (300 a 350psi);Sistema eletrônico embarcado e podendo ser remotas/autônomas. No caso, por se tratar de uma mina aluvionar, as perfuratrizes/sondas

selecionadas são montadas sobre esteiras, isto pelo facto de proporcionar maior estabilidade, aderência e consequentemente maior produtividade devido ao tipo de topografia apresentada.

Sendo assim, com base nos parâmetros técnicos mais relevantes, tais como o diâmetro e a pressão do compressor, foi selecionada a Sonda: **CAT- MD6250**. com especificações apresentadas na tabela 8.



Figura 45 : Sonda Cat MD6250

Fonte: Barloworld Equipamentos | Especificações (barloworld-equipment.com),2024.

Tabela 8 : Principais informações da Sonda Cat- MD6250

Modelo do Motor	C27 ACERT @1.800RPM
Potência Líquia	652 Kw
Perfuração DTH - 150cfm/350psi	42,2m3/min (1500pés/min)@24,1bar(350psi)
Torque	11700 N.m
Velocidade de Rotação	0-150rpm
Carga de bits	Até 32.666kg (Até 71.993 lb)
Diâmetro do furo	Até 152-250mm(Até 6-9,8 Polegadas)
Faixa de profundidade do furo- Profundidade Multipasse	Até 37,9m(Até 124,6pés
Mastro de 13,6m (44,6 pés) - Capacidade de pulldown	Até 22113kgf (Até 48.750 lbf)

Fonte: Barloworld Equipamentos | Especificações (barloworld-equipment.com, adaptado por Autor,2024.

• **Cálculo da Taxa de perfuração**

$$Tp = FR - 28lg(Sc) \times (W/Df) \times (RPM/300) \quad Eq. (50)$$

Sendo: Tp -Taxa de perfuração ; FR - Factor da rocha, tabela-37 em anexo; Sc -Resistência a compressão uniaxial em milhares psi (lbf/in²) ,tabela -37 em anexo; (W/Df) - Carga de avanço por diâmetro da broca, em milhares (lbf/in) e RMP - Rotação por minutos (rpm).

Dados: RF = 135 RF ; Sc = 34; W = 48,750 lbf ; Df = 9,8 in; RPM = 135 rpm; Tp = ?

$$T_p = 135 - 28 \lg(34) \times (48,750 / 9,8) \times (135 / 300) \rightarrow T_p = 302,2 \text{ ft/h} = 92,1 \text{ m/h.}$$

- **Cálculo da Velocidade requerida de retorno dos fragmentos da perfuração**

$$U_m = 264 \times \sqrt{\gamma} \times \sqrt{d} \quad \text{Eq. (51)}$$

Onde: U_m - velocidade requerida de retorno dos fragmentos da perfuração, (ft/min ou m/min);

γ - densidade média, (lb/ft³ ou g/cm³); d - diâmetro do fragmento, (polegadas ou mm).

Dados : $\gamma = 156,07 \text{ lb/ft}^3$; $d = 1,40$ polegadas ; $U_m = ? \rightarrow U_m = 264 \times \sqrt{156,07} \times \sqrt{1,40}$

$$U_m = 4.033,94 \text{ ft/min}$$

- **Cálculo da Velocidade de Ar fornecida pelo compressor**

$$V = 183,3 \times Q / \sqrt{(D_f^2 - D_h^2)} \quad \text{Eq. (52)}$$

Onde : V - velocidade de Ar fornecida pelo compressor (ft/min); Q -Vazão ou fluxo (Cfm);

D_f - diâmetro do furo,(in); e D_h - diâmetro da haste (in).

Dados: $Q = 1500 \text{ cfm}$; $D_f = 9,8 \text{ in}$; $D_h = 8,6 \text{ in}$; $V = ? \rightarrow V = 183,3 \times 1500 / \sqrt{(9,8^2 - 8,6^2)}$

$$V = 12.452,45 \text{ ft/min}$$

Obs: O compressor da Sonda para uma boa limpeza do furo, deve fornecer uma velocidade de Ar ($V > 2,5 \times U_m$). Assim temos: $12.452,45 \text{ ft/min} > 2,5 \times 4.033,94 \text{ ft/min}$

$$12.452,45 \text{ ft/min} > 10.084,85 \text{ ft/min}$$

Logo, com o valor da Velocidade de Ar fornecida pelo compressor de **12.452,45 ft/min**, implica uma boa limpeza do furo.

- **Cálculo da Produção horária**

$$P_h = (60 \times n \times H) / T \quad \text{Eq. (53)}$$

Onde: n : número de ciclos de minutos efectivamente trabalhados por hora, (geralmente 50);

H : Extensão ou profundidade do furo em metros (m);

T : Tempo de ciclo total; $T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4$

T_1 - Alinhar a broca e embocar o furo (tempo fixo); T_2 - Perfuração (tempo variável com profundidade, tipo de rocha, velocidade de avanço da perfuratriz); T_3 - Manuseio e colocação de hastes (Tempo fixo para extensão); T_4 - Retirada das hastes (tempo fixo para cada haste retirada).

Dados: $n = 50$; $H = 37,9 \text{ m}$; $T = 17,5 \text{ min}$; $P_h = ? \rightarrow P_h = (60 \times 50 \times 37,9) / 40 = 6.497,14 \text{ m/h}$

$$P_h/\text{Ano} = P_h \times H_t = 6.497,14 \times 6156 = 39.996.393,84 \text{ m/ano.}$$

Nota: O tempo de ciclo da perfuratriz da Sonda, geralmente varia de 15-20 minutos, sendo o tempo médio de 17,5 minutos.

- **Cálculo do número de Sonda**

$$N_s = V / (T_p \times D \times N^o t) \quad \text{Eq. (54)} ; \quad \text{Sendo: } V = T_p \times D \times E \times F \quad \text{Eq. (55)}$$

Onde: N_s – Número de Sondas necessárias; V -volume total linear de perfuração(m); T_p -Taxa de perfuração em (m/dia); D - Dias disponíveis para concluir o projecto (dias); $N^o t$ – número de turnos por dia; E - eficiência operacional ou de trabalho (%), F -factor de correcção do tempo de transporte (adimensional).

Obs: Na SM do Caculo, a contagem do tempo é ajustada para 22horas por dia, levando em consideração as paradas obrigatórias, como a mudança de turno e o tempo destinado às refeições.

Sendo:

$$E = 0,95; F = 1,5 ; T_p = (92,1\text{m/h}) \times 22\text{h/dia} = 2026,2 \text{ m/dia}; D = H_p / (22\text{h/dia}) = 7200 / 22 = 327\text{dias}$$

$$V = (2026,2 \times 327 \times 0,95 \times 1,5) = 944.158,545\text{m} ; N^o t = 3 \text{ turnos}; H_p - \text{horas programadas/ano.}$$

$$N_s = 944.158,545 / (2026,2 \times 327 \times 3) = 0,5 \approx 1\text{Sonda} \quad \therefore N_s = 1\text{Sonda}$$

Rendimento da Sonda Eq. (12): $R = D F \times U = 0,95 \times 0,9 = 0,86$ (86%).

Obs : Para o cálculo da área do furo, usa-se a expressão: $A = \Pi \times D_f^2 / 4$, Sendo D_f - diâmetro do furo (in), A - área do furo (m^2).

$$A = 3,14 \times 9,8^2 / 4 = 75,4\text{m}^2 ; A = 75,4\text{m}^2$$

Assim, multiplicando a Produção volumétrica linear por hora (m/h) pela área do furo(m^2), tem-se a Produção volumétrica, de metros cúbicos por hora (m^3/h).

4.2.2 - Cálculos do dimensionamento da Escavadeira

Sendo a SM do Caculo uma mina de médio porte com base na sua produção , a capacidade do balde da escavadeira a utilizar deve variar de 2,5 - 4 m^3 .

Nota: Com base nesta informação, para SM de Caculo selecionou-se a Escavadeira **Cat 349FL**, com capacidade de 2,5 m^3 .

Na figura seguinte é apresentada a Escavadeira Cat 349FL.



Figura 46 : Escavadeira Cat 349FL XE

Fonte: Barloworld Equipamentos | Especificações (barloworld-equipment.com),2024.

Tabela 9 : Informações específicas da Escavadeira Cat- 349FL

Modelo do motor	Gato ® C13 ACERT
Potência Líquida-SAEJ1349	311Kw
Velocidade Máxima de Viagem	4,7km/h -4,9km/h
Tração máxima da barra de tração	335KN -75.300lbf
Peso Mínimo e Máximo	48.650kg ;53.300kg
Capacidade da concha	2,5 m3
Capacidade do tanque de Combustível	651L

Fonte: Caterpillar.

- **Cálculo da capacidade real do balde da Escavadeira em toneladas**

$$C_{\text{resc}} = C_{\text{esc}} \times \Omega \times \gamma \quad \text{Eq. (56)}$$

Onde: C_{resc} - Capacidade real do balde da escavadeira (t); C_{esc} - Capacidade do balde da escavadeira (m^3) ; Ω - factor de enchimento (%) ; γ - Densidade do material (Cascalho), t/m^3 .

Dados: $C_{\text{esc}} = 2,5 \text{ m}^3$; $\Omega = 0,9$; $\gamma = 1,6 \text{ t}/\text{m}^3$; $C_{\text{resc}} = ? \text{ (t)}$ $\rightarrow C_{\text{resc}} = 2,5 \times 0,9 \times 1,6 \approx 4\text{t}$

- **Cálculo do número de passes da Escavadeira**

$$N_p = C_{\text{cam}} / C_{\text{resc}} \quad \text{Eq. (57)}$$

Onde: N_p - Número de passes da escavadeira ; C_{cam} - Capacidade real da caçamba do camião(t); C_{resc} - Capacidade real do balde da escavadeira (t).

Obs: Para o cálculo do número de passes da escavadeira, precisamos do valor da Capacidade real da caçamba do camião(t), para tal, é necessário seleccionar o tipo de camião a operar de acordo com as especificações do projecto mineiro Cacuilu.

Com base no projecto mineiro Cacuilu, foram analisados os factores de rendimento de um camião basculante rodoviário, camião basculante articulado e camião basculante rígido (Fora de estrada), tendo em conta a topografia do terreno e as condições climáticas.

Nota: As tabelas seguintes, apresentam os níveis de rendimento dos tipos de camiões citados a cima no projecto mineiro Cacuilu.

Tabela-10: Factores de rendimento de um camião basculante rodoviário, com base na topografia do terreno e condições climáticas na SM do Cacuilu.

TOPOGRAFIA	RENDIMENTO
Terra firme e plana	Alto rendimento
Terra não firme	Baixo rendimento
Terra acidentada	Baixo rendimento
Terra Lamacentá	Baixo rendimento
CLIMAS	
Tempo chuvoso	Baixo rendimento
Tempo seco- inverno	Alto rendimento

Fonte: Autor, 2024.

Tabela-11: Factores de rendimento de um camião basculante articulado, com base na topografia do terreno e condições climáticas na SM do Cacuilu.

TOPOGRAFIA	RENDIMENTO
Terra firme e plana	Alto rendimento
Terra não firme	Alto rendimento
Terra acidentada	Alto rendimento
Terra Lamacentá	Alto rendimento
CLIMAS	
Tempo chuvoso	Alto rendimento
Tempo seco- inverno	Alto rendimento

Fonte: Autor, 2024.

Tabela-12: factores de rendimento de um camião basculante rígido (Fora de estrada), com base na topografia do terreno e condições climáticas na SM do Cacuilu.

TOPOGRAFIA	RENDIMENTO
Terra firme e plana	Alto rendimento
Terra não firme	Baixo rendimento
Terra acidentada	Alto rendimento
Terra Lamacentá	Alto rendimento
CLIMAS	
Tempo chuvoso	Alto rendimento
Tempo seco- inverno	Alto rendimento

Fonte: Autor, 2024.

Nota: Observados os factores de rendimento nas tabelas 10, 11 e 12 dos diferentes tipos de camião no projecto mineiro Caculo, o Camião basculante articulado, apresenta o melhor nível de rendimento. Sendo assim é tipo de camião ideal para operar na SM do Caculo.

Obs: O Np da escavadeira para encher a caçamba do camião deve ser de **3-5 passes**. Com base nesta informação é seleccionado o Camião basculante articulado de porte médio **Cat 730**, com a capacidade da Caçamba de 18t. Assim a capacidade real da caçamba do camião (Cr_{cam}) é igual a 18toneladas.



Figura 47 :Camião articulado Cat730

Fonte: Barloworld Equipamentos | Especificações (barloworld-equipment.com), 2024.

Tabela 13 : Informações específicas do Camião articulado Cat 730

Camião articulado : Cat 730	
Modelo do motor	C13
Potência Líquida do Motor	250 - 300Kw / 340 - 400hp
Velocidade Máxima de Viagem	50km/h - 60km/h /31 a 37mph
Sistema de transmissão	Automática com múltiplas marchas à frente e marchas ré.
Peso do veículo	30 - 35toneladas
Capacidade da caçamba	18t
Tanque de combustível	400-500 litros

Fonte: Caterpillar.

Nota: Tendo o valor da capacidade real da caçamba do camião (Cr_{cam}), estamos em condições de calcular o número de passes da escavadeira (N_p).

Logo: $N_p = Cr_{cam} / Cr_{esc} \rightarrow N_p = 18t/4t = 4,5 \approx 5 \text{ passes}$

∴ O número de passes da escavadeira necessários para encher a caçamba do camião é de 5passes.

- **Cálculo da Produção horária da Escavadeira Cat 349FL**

Com base na equação 43 é calculada a produção horária da escavadeira Cat349FL

$$P_{hesc} = (60 \times C_{esc} \times E_{esc} \times e) / T_{esc} \quad Eq. (38)$$

Sendo: C_{esc} - Capacidade do balde da escavadeira (m^3) ; E_{esc} - Eficiência do trabalho da

escavadeira (%); e- factor de empolamento (%).

Dados: $C_{esc} = 2,5m^3$; $E_{esc} = 0,8$; $e = 1,3$ (cascalho na lezíria); $T_{esc} = 0,4$ min; $P_{hesc} = ?(m^3/h)$

$$P_{hesc} = (60 \times 2,5 \times 0,8 \times 1,3) / 0,4 \rightarrow P_{hesc} = 390 m^3/h$$

$$\text{Para toneladas: } C_{resc} = 4t \rightarrow P_{hesc} = (60 \times 4 \times 0,8 \times 1,3) / 0,4 \rightarrow P_{hesc} = 624 t/h$$

Obs: Para a exploração no terraço o valor do factor de empolamento do cascalho é igual a 1,4.

Assim a produção horária da escavadeira no terraço será:

$$P_{hesc} = (60 \times 2,5 \times 0,8 \times 1,4) / 0,4 \rightarrow P_{hesc} = 420 m^3/h$$

$$P_{hesc} = (60 \times 2,5 \times 0,8 \times 1,3) / 0,4 \rightarrow P_{hesc} = 672 t/h$$

- **Cálculo de horas programadas por ano ($H_{p/Ano}$)**

$$H_{p/Ano} = (365 - \text{Day off}) \times 24h \quad Eq. (58)$$

Obs: Os **Day off** referem-se aos dias fora de produção (esses fazem menção a manutenção e total de feriados em um ano).

Para a SM do Caculo, os domingos de cada semana são reservados para a manutenção dos equipamentos. Assim, em um (1) ano comum, temos um total de 52 domingos. E como trata-se de uma mina pertencente ao território angolano, o número de feriados actualmente é um total de 13 feriados em um ano. Assim os Dias off pode ser obtido da seguinte forma: **Dias off** = (52+13) = 65 dias.

$$\text{Logo: } H_{p/Ano} = (365 - \text{Dias off}) \times 24 \rightarrow H_{p/Ano} = (365 - 65) \times 24 = 300 \times 24 = 7200 h/ano.$$

- **Cálculo de horas trabalhadas da Escavadeira Cat 349FL**

$$H_{t_{esc}} = DF \times UT \times H_{p/Ano} \quad Eq. (59)$$

Onde: DF_{esc} - disponibilidade física da escavadeira (%); U_{esc} - factor de utilização da escavadeira (%); $H_{t_{esc}}$ - horas trabalhadas da escavadeira (h/ano).

$$\text{Dados: } DF_{esc} = 0,85; U_{esc} = 0,8; H_{t_{esc}} = ? \rightarrow H_{t_{esc}} = 0,85 \times 0,75 \times 7200 = 4590 h/ano$$

$$\text{Rendimento da Cat 349FL, Eq. (12) } R_{esc} = 0,85 \times 0,75 \rightarrow R_{esc} = 0,64 = 64$$

- **Cálculo do número de Escavadeiras**

$$N_{esc} = (P/H_{t_{esc}}) \times (1/P_{h_{esc}}) \quad Eq. (60)$$

Onde: N_{esc} - Número de escavadeiras; $H_{t_{esc}}$ - horas trabalhadas da escavadeira (h/ano);

P - Produção anual, ou capacidade produtiva anual (t/ano).

Dados : $P = 1.320.000$ t/ano; $H_{\text{esc}} = 4608$ h/ano; $P_{\text{h}_{\text{esc}}} = 624$ t/h ; $N_{\text{esc}} = ?$

$$N_{\text{esc}} = (1.320.000/4590) \times (1/624) \rightarrow N_{\text{esc}} = \mathbf{1 \text{ escavadeira.}}$$

- **Cálculo da produção horária da Escavadeira por turno**

$$P_{\text{h}_{\text{esc}}/\text{turno}} = N^{\circ}\text{turno} \times P_{\text{h}_{\text{cam}}} \quad \text{Eq. (61)}$$

Dados: $N^{\circ}\text{turno} = 3$; $P_{\text{h}_{\text{esc}}} = 624$ t/h ; $P_{\text{h}_{\text{esc}}/\text{turno}} = ? \rightarrow P_{\text{h}_{\text{esc}}/\text{turno}} = 3 \times 624$ t/h = **1.872 t/h**

Obs: No caso, para **Produção mensal** da escavadeira Eq. (62), ($P_{\text{h}_{\text{esc}}/\text{mês}}$), tem-se:

$$(P_{\text{h}_{\text{esc}}/\text{mês}}) = 26 \text{ dias} \times P_{\text{h}_{\text{esc}}} = 26 \times 624 = \mathbf{16.224 \text{ t/mês}}$$

- **Cálculo da produção anual da Escavadeira**

$$P_{\text{esc}} = P_{\text{h}_{\text{esc}}} \times H_{\text{esc}} \quad \text{Eq. (63)}$$

Onde: P_{esc} - Produção anual da escavadeira (t/ano) ; $P_{\text{h}_{\text{esc}}}$ - Produção horária da escavadeira (t/h);
 H_{esc} - horas trabalhadas da escavadeira por ano (h/ano).

Dados: $P_{\text{h}_{\text{esc}}} = 624$ t/h; $H_{\text{esc}} = 4032$ h/ano; $P_{\text{esc}} = ? \rightarrow P_{\text{esc}} = 624 \text{ t/h} \times 4590 \text{ h/ano} = \mathbf{2.864.160 \text{ t/ano}}$

$P_{\text{esc}}(\text{total}) = P_{\text{esc}} \times N_{\text{esc}} \quad \text{Eq. (64)} \rightarrow P_{\text{esc}}(\text{total}) = 2.864.160 \text{ t/ano} \times 1 = \mathbf{2.864.160 \text{ t/ano}}$

4.2.3 - Cálculos do dimensionamento dos Camiões

- **Cálculo do tempo de carregamento do Camião (Tc)**

$$T_c = N_p \times T_{\text{esc}} \quad \text{Eq. (61)}$$

Sendo: $N_p = 5$; $T_{\text{esc}} = 0,4 \text{ min}$ $\therefore T_c = 5 \times 0,4 = 2 \text{ min.}$

- **Cálculo do tempo de ciclo variável**

$$T_v = \sum [60 \times ((D_{\text{id}} / V_{\text{id}}) + (D_{\text{volt}} / V_{\text{volt}}))] \quad \text{Eq. (15)}$$

Onde: T_v = Tempo de ciclo variado (de ida e volta) do camião, em min; D_{id} = Distância percorrida de ida (Cheio), km ; V_{id} = Velocidade de ida, em km/h; D_{volt} = Distância percorrida de volta (vazio), km ; V_{volt} = Velocidade volta, em km/h.

Dados: $D_{\text{id}} = 1,5 \text{ km}$; $V_{\text{id}} = 50 \text{ km/h}$; $V_{\text{volt}} = 1,5 \text{ km}$; $D_{\text{volt}} = 60 \text{ km/h}$; $T_v = ?$

$$T_v = \sum [60 \times ((1,5 / 50) + (1,5 / 60))] \rightarrow T_v = \mathbf{3,3 \text{ min}}$$

Obs: Quanto maior a distância de transporte, mais longos serão os tempos variáveis, maiores serão os tempos de ciclos e inversamente menor será a produção. Logo, os custos serão cada vez maiores.

Estes factores, todos eles, dependem das condições da estrada, do tipo de material e do peso do veículo.

- **Cálculo do tempo de ciclo mínimo do Camião Cat 730**

$$T_{cmin} = T_c + T_{pdp} + T_v \quad Eq. (19)$$

Onde: T_{cmin} - tempo de ciclo mínimo do camião, min; T_{pdp} - tempo de parada, descarga e partida, min; T_v - tempo de ciclo variável (ida e volta), min. Obs: os valores de T_{pdp} tabela-32 em enexo.

Dados: $T_c = 2\text{min}$; $T_v = 3,3\text{min}$; $T_{cmin} = ?$; T_{pdp} (de $12,5\text{m}^3$) = $(2,4+2,6)/2=2,5\text{min}$

$$T_{cmin} = 2 + 2,5 + 3,3 \rightarrow T_{cmin} = 7,8 \text{ min}$$

- **Cálculo do número de viagens por hora do Camião Cat 730**

$$N_{viag/h} = (60/T_{cmin}) \times R_{cam} \quad Eq. (65)$$

Onde: $N_{viag/h}$ - número de viagens por hora; T_{cmin} - tempo de ciclo mínimo do camião; R_{cam} - Rendimento do camião (%).

Dados: $T_{cmin} = 7,8\text{min}$; $R_{cam} = D F_{cam} \times U_{cam} = (0,8 \times 0,7) = 0,56 = 56\%$; $N_{viag/h} = ?$

$$N_{viag/h} = (60 / 7,8) \times 0,56 \rightarrow N_{viag/h} = 4 \text{ viagens/h}$$

- **Cálculo da Produção horária do Camião Cat 730**

$$P_{hcam} = (60 \times C_{cam} \times E_{cam} \times e) / T_{cmin} \quad Eq. (38)$$

Onde: P_{hcam} - Produção horária do camião Cat730 (m^3/h ou t/h); C_{cam} - Capacidade da caçamba do camião (m^3 ou t); e - factor de empolamento do cascalho; T_{cmin} - tempo de ciclo mínimo do camião Cat730.

Dados: $C_{cam} = 12,5\text{m}^3$; $E_{cam} = 0,75$; $e = 1,3$ (cascalho na lezíria); $T_{cmin} = 7,8\text{min}$; $P_{hcam} = ?$ (m^3/h)

$$P_{hcam} = (60 \times 12,5 \times 0,75 \times 1,3) / 7,8 \rightarrow P_{hcam} = 93,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para toneladas: $C_{cam}=18\text{t} \rightarrow P_{hcam} = (60 \times 18 \times 0,75 \times 1,3) / 7,8 \rightarrow P_{hcam} = 135 \text{ t/h}$

Obs: Para a exploração no terraço o valor do factor de empolamento do cascalho é igual a 1,4.

Assim a produção horária do camião no terraço será:

$$P_{hcam} = (60 \times 2,5 \times 0,75 \times 1,4) / 0,4 \rightarrow P_{hcam} = 20,2\text{m}^3/\text{h}$$

$$P_{hcam} = (60 \times 2,5 \times 0,8 \times 1,3) / 0,4 \rightarrow P_{hcam} = 145,4 \text{ t/h}$$

- **Cálculo de horas trabalhadas do Camião Cat 730**

$$H_{tcam} = DF_{cam} \times U_{cam} \times H_{p/Ano} \quad Eq. (59)$$

Onde: DF_{cam} - disponibilidade física do Camião (%); U_{cam} - factor de utilização do Camião (%); H_{tcam} - horas trabalhadas do camião (h/ano).

Dados: $DF_{cam} = 0,8$; $U_{cam} = 0,7$; $H_{tcam} = ?$; $\rightarrow H_{tcam} = 0,8 \times 0,7 \times 7200 = 4032 \text{ h/ano}$

- **Cálculo do número de Camiões**

$$N_{cam} = T_{cmin} / T_c \quad Eq. (66)$$

Onde: N_{cam} - Número de Camiões; T_{cmin} - tempo de ciclo mínimo do camião (min); T_c - tempo de carregamento do Camião (min).

Dados: $T_{cmin} = 7,8 \text{ min}$; $T_c = 2 \text{ min}$; $N_{cam} = ? \rightarrow N_{cam} = 7,8 / 2 \rightarrow N_{cam} = 3,9 \approx 4 \text{ camiões}$

Obs: Serão necessários 4 camiões para o serviço contínuo da escavadeira.

- **Cálculo da produção horária total dos camiões**

$$Ph_{cam} (total) = N_{cam} \times Ph_{cam} \quad Eq. (64)$$

Dados: $N_{cam} = 4$; $Ph_{cam} = 135 \text{ t/h}$; $Ph_{cam} (total) = ? \rightarrow Ph_{cam} (total) = 4 \times 135 \text{ t/h} = 540 \text{ t/h}$

- **Cálculo da produção horária dos Camiões por turno**

$$Ph_{cam/turno} = N^{\circ}_{turno} \times Ph_{cam} \quad Eq. (61)$$

Dados: $N^{\circ}_{turno} = 3$; $Ph_{cam} = 135 \text{ t/h}$; $Ph_{cam/turno} = ? \rightarrow Ph_{cam/turno} = 3 \times 135 \text{ t/h} = 405 \text{ t/h}$

$Ph_{cam/turno} (total) = N^{\circ}_{turno} \times Ph_{cam} (total) \quad Eq. (61) \rightarrow Ph_{cam/turno} (total) = 3 \times 540 \text{ t/h} = 1620 \text{ t/h}$

Obs: No caso, para **Produção mensal** do camião $Eq. (62)$, ($Ph_{cam/mes}$), tem-se :

$Ph_{cam/mês} = 26 \text{ dias} \times Ph_{cam} = 26 \times 135 = 3510 \text{ t/mês}$, para $Ph_{cam/mês}(total) = 3510 \times 4 = 14.040 \text{ t/mês}$

- **Cálculo da produção anual do camião**

$$P_{cam} = Ph_{cam} \times H_{tcam} \quad Eq. (63)$$

Onde: P_{cam} - Produção anual do camião (t/ano) ; Ph_{cam} - Produção horária do camião (t/h); H_{tcam} - horas trabalhadas do camião por ano (h/ano).

Dados: $Ph_{cam} = 135 \text{ t/h}$; $H_{tcam} = 4032 \text{ h/ano}$; $P_{cam} = ? \rightarrow P_{cam} = 135 \text{ t/h} \times 4032 \text{ h/ano} = 544.320 \text{ t/ano}$

$P_{cam} (total) = P_{cam} \times N_{cam} \quad Eq. (64) \rightarrow P_{cam} (total) = 544.320 \text{ t/ano} \times 4 = 2.177.280 \text{ t/ano}$

4.2.4 – Cálculos do dimensionamento da Lavria

A SM do Cacuiço conta com uma lavaria, com a capacidade de 30m³/h para tratar o cascalho com o uso de uma Jiga para concentrar o cascalho. Assim a **Eq. (67)** equação seguinte expressa:

$$Q_{lav} = (30 \times 22 \times DM \times U) / 1,6 = (30 \times 22 \times 0,9 \times 0,9) / 1,6 = 334 \text{ m}^3/\text{h}$$

Obs: Para toneladas temos: $Q_{lav} = 334 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,6 \text{ t/m}^3 = 534,4 \text{ t/h}$

Para mensal, tem-se: $26 \text{ dias} \times 334 = 8.684 \text{ m}^3 / \text{mes}$

Obs: Para toneladas temos: $Q_{lav} = 8.684 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,6 \text{ t/m}^3 = 13.894,4 \text{ t/h}$

Para o turno, temos : $334 \text{ m}^3/\text{h} \times 3 = 1002 \text{ m}^3/\text{h}$

Obs: Para toneladas temos: $Q_{lav} = 1002 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,6 \text{ t/m}^3 = 1603,2 \text{ t/h}$

Para anos, temos: $Q_{lav} = 334 \text{ m}^3/\text{h} \times H_{t\text{lavaria}} = 334 \times (0,9 \times 0,9 \times 7200) = 1.947.888 \text{ m}^3/\text{ano}$

Obs: Para toneladas temos: $Q_{lav} = 1.947.888 \text{ m}^3/\text{ano} \times 1,6 \text{ t/m}^3 = 3.116.620,8 \text{ t/ano}$

Tabela 14 : Tabela de resumo de resultados dos cálculos do dimensionamento da Escavadeira CAT349FL , Camião articulado CAT730 e Lavaria.

DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	ESCAVADEIRA CAT349FL	CAMIÃO ARTICULADO CAT730
Capacidade (C)	2,5m ³ ; 4T	18T
Horas programadas/Ano	7200h/ano	7200h/ano
Horas trabalhas por Ano	4590h/ano	4032h/ano
Disponibilidade física	85%	80%
Factor de utilização	75% (0,75)	70% (0,70)
Remdimento	64%	56%
Eficiência de trabalho	80%	75%
Tempo de ciclo (minutos)	0,4 min	7,8 min
Nº de passes	5passes	---
Tempo de carregamnto	---	2min
Produção horária na Lzíria	390m ³ /h ; 624t/h	93,8m ³ /h ; 135 t/h
Nº de equipamentos	1	4
Nº de viagens/ hora	---	4 viagens/h
Produção horária por turno	1.872t/h	405 t/h ; Total =1.620t/h
Produção mensal	16.224t/mês	3.510t/mês ;Total=14.040t/mês
Produção anual	2.864.160 t/ano	544.320 t/ano ;Total= 2.177.280 t/ano
DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS		LAVARIA
Capacidade		30m ³ /h
Horas programadas por ano		7200h/ano
Horas trabalhadas		5.832h/ano
Disponibilidade Mecnânica		90% (0,9)
Factor de Utilização		90% (0,9)
Tratamento do cascalho por hora		334m ³ /h ; 534,4t/h
Tratamento do cascalho por turno		1002 m ³ /h ; 1.603,2 t/h

Tratamento do cascalho por mês	8.684 m ³ /h ; 13.894,4 t/h
Tratamento do cascalho por Ano	1.947.888 m ³ /ano ; 3.116.620,8 t/ano
Produção requerida da SM do Caculo	1.320.000 t/ano

Fonte : Autor, 2024.

Obs: Como o resultado da Produção total anual dos equipamentos de transporte é de 2.177.280t/ano (para o total de 4 camiões) e a Produção anual requerida da SM do Caculo é de 1.320.000 t/ano, o que representa uma diferença considerável (capacidade ociosa) de 857.280 t/ano.

Esta capacidade ociosa de 857.280 t/ano nos equipamentos de transporte, em relação à produção requerida da SM do Caculo, pode representar uma oportunidade para aumentar a produção da mina ou otimizar o uso de equipamentos de transporte. Deste modo tem-se os seguintes cenários:

- 1- Se a SM do Caculo manter o valor da produção requerida.

Significa que a capacidade ociosa de 857.280 t/ano , nos equipamentos de transporte, resulta em custos variados não aproveitados (o que representa gastos desnecessários ou mesmo perdas). Para mudar este quadro, deve-se ajustar a produção dos equipamentos de transporte para atender exatamente (ou aproximar significativamente) a produção requerida da mina, evitando assim a capacidade ociosa. Assim tem-se as seguintes hipóteses de solução:

- a) Reduzir o número de equipamentos de transporte;
- b) Pequena melhoria em qualquer dos indicadores, seja na Disponibilidade, Utilização ou na Eficiência.

Nota: Se for considerado no primeiro ano um total de 3 camiões a trabalhar, em vez de 4 camiões, obtem-se uma produção anual de **1.632.960t/ano**, o que fica próximo da produção requerida da mina de **1.320.000 t/ano**, apresentado assim uma capacidade ociosa de 312.960t/ano. Este valor da capacidade ociosa de **312.960t/ano**, é menor do que o valor de produção anual de um camião (**544.320 t/ano**). Deste modo pequena melhoria em qualquer dos indicadores, seja na Disponibilidade, Utilização ou na Eficiência, a produção dos equipamentos de transporte atenderá exatamente a produção requerida da SM do Caculo.

- 2- Se a SM do Caculo deseja aumentar o valor da produção requerida ou planificada da mina para **2.177.280t/ano**. Isto significa que não existirá a capacidade ociosa, porque o mesmo valor representa a produção total anual dos 4 equipamentos de transporte. Neste caso os custos variados serão bem aproveitados (o que não representará gastos desnecessários ou

mesmo perdas).

Obs: No caso da lavaria, para que exista a quantidade (total de massa) ideal de cascalho a tratar por ano, ajustada à produção requerida da SM do Caculo, deverá fazer-se pequena melhoria em qualquer dos indicadores, seja na Disponibilidade, Utilização ou na Eficiência, esta melhoria resultará na redução destes indicadores e consequentemente reduzirá a quantidade (total de massa) de cascalho a tratar por ano, deixando de ser de **3.116.620,8 t/ano**.

4.2.5 - Cálculos do dimensionamento da Pá-carregadeira

Os procedimentos do Dimensionamento da Pá-carregadeira assemelha-se ao dimensionamento da Escavadeira (Retroescavadeira), sendo este equipamento muita das vezes usados para o carregamento dos equipamentos de transporte (camiões).

Por se tratar de uma mina aluvionar, e atendendo as condições climáticas e topográficas da mesma, a Pá-carregadeira à selecionar deve ser montada sobre esteiras, o que proporcionará maior aderência e máxima produtividade.

Assim, atendendo os factores climáticos, topográficos e a compatibilidade com os equipamentos de transpote, seleccionou-se a Pá-carregadeira **CAT 963K**.



Figura 48 : Pá-carregadeira Cat 963K.

Fonte: Barloworld Equipamentos | Especificações (barloworld-equipment.com), 2024.

Tabela 15 : Informações específicas da Pá-carregadeira CAT 963k

Modelo do motor	Gato C7.1ACERT
Potência do volante/ Líquida	144kw
Capacidade	2,5m ³
Peso operacional	20021kg
Profundidade de escavação	138milímetros
Tanque de combustível	320 litros

Fonte : Barloworld Equipamentos | Especificações (barloworld-equipment.com), 2024.

- **Cálculo da capacidade real do balde da Pá-carregadeira em toneladas**

$$C_{\text{Pá-carreg}} = C \times \Omega \times \gamma \quad \text{Eq. (56)}$$

Onde: $C_{\text{pá-carreg}}$ - Capacidade real do balde da carregadeira (t); $C_{\text{pá-carreg}}$ - Capacidade do balde da escavadeira (m^3); Ω - factor de enchimento (%); γ - Densidade do material (Cascalho), t/m^3 .

Dados: $C_{\text{pá-carreg}} = 2,5 \text{ m}^3$; $\Omega = 0,9$; $\gamma = 1,6 \text{ t}/\text{m}^3$; $C_{\text{resc}} = ?$ (t) $\rightarrow C_{\text{r pá-carreg}} = 2,5 \times 0,9 \times 1,6 \approx 4\text{t}$.

- **Cálculo do número de passes da Pá-carregadeira ou carregadeira**

$$N_p = C_{\text{rcam}} / C_{\text{r pá-carreg}} \quad \text{Eq. (57)}$$

$$N_p = 18\text{t} / 4\text{t} = 4,5 \approx 5\text{passes}$$

- **Cálculo da Produção horária da Pá-carregadeira Cat 963k**

Com base na equação 44 é calculada a produção horária da Pá-carregadeira Cat963k.

$$P_{\text{h pá-carreg}} = (60 \times C_{\text{pá-carreg}} \times E_{\text{pá-carreg}} \times e) / T_{\text{pá-carreg}} \quad \text{Eq. (38)}$$

Sendo: $C_{\text{pá-carreg}}$ - Capacidade do balde da Pá-carregadeira (m^3); E_{esc} - Eficiência do trabalho da Pá-carregadeira (%); e - factor de empolamento (%); $T_{\text{pá-carreg}}$ - Tempo de ciclo da Pá-carregadeira.

Obs: Nas minas, a pá-carregadeira não é tido como equipamento específico para o carregamento dos camiões, por conta do tempo de ciclo demorado em comparação com o tempo de ciclo de uma escavadeira, que apresenta maior eficiência em trabalhar em pequenos espaços e com uma rotação de 360° que torna o seu tempo de ciclo otimizado. Deste modo, a Pá-carregadeira é grandemente aplicada na organização de pilhas, bem como no transporte de materiais (cascalhos) estocado até a alimentação da lavaria. Assim para o cálculo do tempo de ciclo deste equipamento deve considera-se a distância de transporte, geralmente pequenas 100m a 500m. No caso, para a SM do Caculo considera-se uma distância de 100 m, que equivale a 0,1km. Com base na seguinte equação **Eq. (13)** é determinado o tempo de ciclo da Pá-carregadeira.

$$T_{\text{cmin}} = \Sigma T_f + \Sigma T_v \quad \text{Eq. (13)}$$

$$\text{Sendo, que } \Sigma T_v = 60 \times \left(\frac{D_{\text{id}}}{V_{\text{id}}} + \frac{D_{\text{vlt}}}{V_{\text{vlt}}} \right) \quad \text{Eq. (15)}$$

Onde: T_{cmin} = Tempo de ciclo mínimo;

ΣT_f = somatório dos tempos fixos (carga, manobra, descarga, manoba), (adota-se 0,94 min);

ΣT_v = Somatória de tempos variados (tempo de transporte carregado e vazio, ou seja, de ida e volta).

$T_v = 60 \times \left(\frac{0,1}{6} + \frac{0,1}{11} \right) = 1,5 \text{ min}$; **Obs:** Os valores das velocidades foram obtidas na tabela 36 em anexo, que de igual modo coencide com a velocidade do equipamento contida no catálogo. Logo: $T_{\text{pá-carreg}} = T_{\text{cmin}} = 0,94 + 1,5 = 2,44 \text{ min}$.

Dados: $C_{\text{pá-carreg}} = 2,5 \text{ m}^3$; $E_{\text{pá-carreg}} = 0,7$; $e = 1,3$ (cascalho na lezíria); $T_{\text{pá-carreg}} = 2,44 \text{ min}$; $Ph_{\text{pá-carreg}} = ?$

$$Ph_{\text{pá-carreg}} = (60 \times 2,5 \times 0,7 \times 1,3) / 2,44 \rightarrow Ph_{\text{pá-carreg}} = 55,9 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para toneladas: $Cr_{\text{carreg}} = 4 \text{ t} \rightarrow Ph_{\text{carreg}} = (60 \times 4 \times 0,7 \times 1,3) / 2,44 \rightarrow Ph_{\text{pá-carreg}} = 89,5 \text{ t/h}$

- **Cálculo de horas programadas por ano ($H_{\text{p/Ano}}$)**

$H_{\text{p/Ano}} = (365 - \text{Day off}) \times 24 \text{ h}$; *Eq. (58)*, **Obs:** Este valor é conhecido por **7200 t/ano**.

- **Cálculo de horas trabalhadas da Pá-carregadeira Cat 963k**

$$H_{\text{tPá-carreg}} = DF \times UT \times H_{\text{p/Ano}} \quad \text{Eq. (59)}$$

Onde: $DF_{\text{pá-carreg}}$ - disponibilidade física da Pá-carregadeira (%); U_{esc} - factor de utilização da Pá-carregadeira (%); $H_{\text{tPá-carreg}}$ - horas trabalhadas da Pá-carregadeira (h/ano).

Dados: $DF_{\text{Pá-carreg}} = 0,7$; $U = 0,65$; $H_{\text{tPá-carreg}} = ?$; $\rightarrow H_{\text{tPá-carreg}} = 0,7 \times 0,65 \times 7200 = 3276 \text{ h/ano}$

O **Rendimento da Pá-carregadeira Cat 963k**, *Eq. (12)*, $(R_{\text{Pá-carreg}}) = DF_{\text{pá-carreg}} \times U_{\text{pá-carreg}}$

$$R_{\text{Pá-carreg}} = 0,7 \times 0,65 \rightarrow R_{\text{Pá-carreg}} = 0,5 = 50\%$$

- **Cálculo do número de Pá-carregadeiras**

$$N_{\text{Pá-carreg}} = (P / H_{\text{tPá-carreg}}) \times (1 / Ph_{\text{pá-carreg}}) \quad \text{Eq. (60)}$$

Onde: $N_{\text{pá-carreg}}$ - Número de Pá-carregadeira; $H_{\text{tPá-carreg}}$ - horas trabalhadas da Pá-carregadeira (h/ano); P - Produção anual, ou capacidade produtiva anual (t/ano).

Dados: $P = 1.320.000 \text{ t/ano}$; $H_{\text{tPá-carreg}} = 3276 \text{ h/ano}$; $Ph_{\text{pá-carreg}} = 89,5 \text{ t/h}$; $N_{\text{Pá-carreg}} = ?$

$$N_{\text{Pá-carreg}} = (1.320.000 / 3276) \times (1 / 89,5) \rightarrow N_{\text{Pá-carreg}} = 4,5 \approx 5 \text{ pá-carregadeiras.}$$

- **Cálculo da produção horária da Pá-carregadeira por turno**

$$Ph_{\text{pá-carreg/turno}} = N^{\circ}_{\text{turno}} \times Ph_{\text{pá-carreg}} \quad \text{Eq. (61)}$$

Dados: $N^{\circ}_{\text{turno}} = 3$; $Ph_{\text{pá-carreg}} = 89,5 \text{ t/h}$; $Ph_{\text{pá-carreg/turno}} = ? \rightarrow Ph_{\text{pá-carreg/turno}} = 3 \times 89,5 \text{ t/h} = 268,5 \text{ t/h}$

Obs: No caso, para **Produção mensal** da Pá-carregadeira ($Ph_{\text{pá-carreg/mês}}$) *Eq. (62)*, tem -se:

$$(Ph_{\text{pá-carreg/mês}}) = 26 \text{ dias} \times Ph_{\text{pá-carreg}} = 26 \times 89,5 = 2.327 \text{ t/mês.}$$

- **Cálculo da produção anual da Pá-carregadeira Cat 963k**

$$P_{\text{pá-carreg}} = Ph_{\text{pá-carreg}} \times Ht_{\text{pá-carreg}} \quad \text{Eq. (63)}$$

Onde: $P_{\text{pá-carreg}}$ - Produção anual da Pá-carregadeira (t/ano) ; $Ph_{\text{pá-carreg}}$ -Produção horária da Pá-carregadeira (t/h); $Ht_{\text{pá-carreg}}$ - horas trabalhadas da Pá-carregadeira por ano (h/ano).

Dados: $Ph_{\text{pá-carreg}} = 624 \text{ t/h}$; $Ht_{\text{pá-carreg}} = 4032 \text{ h/ano}$; $P_{\text{esc}} = ? \rightarrow P_{\text{pá-carreg}} = 89,5 \times 3276 = 293.202 \text{ t/ano}$

$P_{\text{pá-carreg}} (\text{total}) = P_{\text{pá-carreg}} \times N_{\text{pá-carreg}}$, **Eq. (64)** $\rightarrow P_{\text{esc}} (\text{total}) = 293.202 \text{ t/ano} \times 5 = 1.466.010 \text{ t/ano}$

4.2.6 – Cálculos do dimensionamento da Bulldozer

Para o dimensionamento da Bulldozer, são relevantes as questões climáticas, topográficas e as características do material (tipo de solo) da mina, bem como os tipos de tarefa a realizar. No caso, trata-se da SM do Cacuilo, sendo esta uma mina aluvionar, deste modo, o equipamento a selecionar deve ser montado sobre esteiras.

Assim, tendo em conta os factores mencionados a cima e o porte da mina, é selecionado a **Bulldozer Cat-D8T** de médio porte, sendo este equipamento, conhecido pela sua eficiência e versatilidade, capaz de lidar com uma variedade de tarefas, desde o nivelamento de terrenos, desmatamento, limpeza da praça até as escavações mais pesadas.



Figura 49 : Bulldozer Cat D8T

Fonte: Barloworld Equipamentos | Especificações (barloworld-equipment.com), 2024.

Tabela 16 : Informações específicas da Bulldozer Cat D8T

Modelo do Motor	Cat C15ACERT
Capacidade da Lâmina (SAE J1265)	4,7 m ³
Potência do Motor	SAE J1995 (BRUTA) – 273 KW; Líquida -231KW
Peso Operacional do Motor - Padrão	38.351 Kg
Pressão à terra (ISSO 16754)	86,4Kpa
Capacidade do Tanque de Combustível	600 L
	1ª Avanço - 3,4km/h ; 1ª Ré -4,5km/h

Velocidades	2ª Avanço – 6,1km/h ; 2ª Ré – 8km/h 3ª Avanço – 10km/h ; 3ª Ré – 14,2 km/h
-------------	---

Fonte : Barloworld Equipamentos | Especificações (barloworld-equipment.com)/ Manual cat D8T.

Tabela 17 : Tipos de laminas usadas na Bulldozer Cat D8T

Lâmina	Capacidade (SAE J1265)	Largura (sobre os cantos da lâmina)
8SU	10m ³	4041 mm
8U	11,7 m ³	4267 mm
8 A (angular)	4,7 m ³	4990 mm
8SU LGP	9,9 m ³	4542 mm

Fonte : Barloworld Equipamentos | Especificações (barloworld-equipment.com)/ Manual cat D8T.

Obs: Cada lâmina é projectada para otimizar o desempenho em diferentes condições operacionais, garantindo eficiência e produtividade nas respectivas aplicações.

Nota: No caso para a SM do Cacuilo, numa primeira fase é usada a **lâmina 8A** (angular), de capacidade volumétrica de 4,7 m³ .

- **Cálculo da capacidade real da lâmina da Bulldozer Cat D8T em toneladas**

$$C_{RD8T} = C_{D8T} \times \Omega \times \gamma \quad Eq. (56)$$

Onde: C_{RD8T} - Capacidade real da lâmina da Bulldozer (t); C_{D8T} - Capacidade da lâmina da bulldozer D8T (m³) ; Ω - factor de enchimento (%) ; γ - Densidade do material (Cascalho), t/m³.

Dados: $C_{D8T} = 4,7m^3$; $\Omega = 0,9$; $\gamma = 1,6 \text{ t/m}^3$; $C_{RD8T} = ? \text{ (t)}$ → $C_{RD8T} = 4,7 \times 0,9 \times 1,6 = \mathbf{6,8t}$

- **Cálculo da Produção horária da Bulldozer Cat D8T**

$$P_{hD8T} = (60 \times C_{D8T} \times E_{D8T} \times e \times \eta) / T_{D8T} \quad Eq. (33)$$

Onde: P_{hD8T} - Produção horária da bulldozer Cat D8T, em (m³/ h); C_{D8T} - Capacidade de corte da lâmina da Bulldozer, em m³ ; e - Fator de empolamento (Tabela-4); E_{D8T} = Eficiência de operação ou de trabalho da bulldozer ; η = Fator de correção, atendendo o tipo de material (Tabela-34, em anexo); T_{D8T} = tempo de ciclo da Bulldozer Cat D8T, em minutos (min).

Obs: Como referido anteriormente a Bulldozer D8T, é um equipamento que realiza uma variedade de tarefas, e para o cálculo do dimensionamento, alguns factores variam dependendo da aplicação de cada tarefa, ou seja, do tipo de tarefa a ser executada. Estes factores podem ser a Eficiência, Utilização, Disponibilidade física e o Tempo de ciclo.

Nota: No caso, para SM do Cacuilo, a Bulldozer Cat D8T , numa primeira fase (na primeira tarefa), é usada no nivelamento da via, com um comprimento de 1,5km. Considerando que está a ser feito um nivelamento médio, tendo em conta a topografia e o porte do equipamento, então para as

velocidades, são consideradas as segundas marchas (2ª marchas), obtidas na Tabela-16.

Obs: Para terrenos suaves, as Bulldozers de médio porte podem ser suficientes, mesmo em aplicações de nivelamento pesado (o que seria necessário o uso da 1ª marcha para o nivelamento pesado).

Com base na seguinte equação **Eq. (13)** é determinado o tempo de ciclo da Bulldozer Cat D8T.

$$\mathbf{T_{cmin} = \Sigma T_f + \Sigma T_v \quad Eq. (13)}$$

$$\text{Sendo, que: } \Sigma T_v = 60 \times \left(\frac{D_{id}}{V_{id}} + \frac{D_{volt}}{V_{volt}} \right) \quad Eq. (15)$$

Onde: T_{cmin} = Tempo de ciclo mínimo;

ΣT_f = somatório dos tempos fixos (carga, manobra, descarga, manoba), (adota-se 1,2 min);

ΣT_v = Somatória de tempos variados (tempo de ida e volta).

$$\mathbf{T_v = 60 \times \left(\frac{1,5}{6,1} + \frac{1,5}{8} \right) = 26 \text{ min. Logo: } T_{D8T} = T_{cmin} = 1,2 + 26 = 27,2 \text{ min.}$$

Dados: $C_{D8T} = 4,7 \text{ m}^3$; $E_{D8T} = 0,85$; $e = 1,4$ (esteril na lezíria); $\eta = 0,8$; $T_{D8T} = 27,2 \text{ min}$; $Ph_{D8T} = ? (\text{m}^3/\text{h})$

$$\mathbf{Ph_{D8T} = (60 \times 4,7 \times 0,85 \times 1,4 \times 0,8) / 27,2 \rightarrow Ph_{cam} = 9,9 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$\text{Para toneladas: } C_{D8T} = 6,8 \text{ t} \rightarrow Ph_{D8T} = (60 \times 6,8 \times 0,85 \times 1,4 \times 0,8) / 27,2 \rightarrow \mathbf{Ph_{D8T} = 14,3 \text{ t/h}}$$

Obs: As horas programadas por ano (H_p/Ano) é de 7200 t/ano.

- **Cálculo de horas trabalhadas da Bulldozer Cat D8T**

$$\mathbf{H_{tD8T} = D_{FD8T} \times U_{D8T} \times H_{p/Ano} \quad Eq. (59)}$$

Onde: H_{tD8T} - horas trabalhadas da Bulldozer Cat D8T (h/ano); D_{FD8T} - disponibilidade física da Bulldozer Cat D8T (%); U_{D8T} - factor de utilização da Bulldozer D8T (%);

$$\text{Dados: } D_{FD8T} = 0,9; U_{D8T} = 0,85; H_{tD8T} = ? \rightarrow H_{tD8T} = 0,9 \times 0,85 \times 7200 = \mathbf{5508 \text{ h/ano}},$$

$$\begin{aligned} \text{O Rendimento da Bulldozer Cat D8T, Eq. (12), } (R_{D8T}) &= D_{FD8T} \times U_{D8T} \rightarrow R_{D8T} = 0,9 \times 0,85 \\ &\rightarrow \mathbf{R_{D8T} = 0,77 = 77\%} \end{aligned}$$

- **Cálculo do número de Bulldozers Cat D8T**

$$\mathbf{N_{D8T} = (V_t \times \eta) / (Ph_{D8T} \times E_{D8T} \times D_{FD8T}) \quad Eq. (68)}$$

Onde: N_{D8T} - Número de Bulldozers; V_t - volume de trabalho(quantidade de terra a ser movida,nivelada ou manipulada no projecto), m^3 ; η - Fator de correção, atendendo o tipo de material (Tabela-35, em anexo); Ph_{D8T} – Produção horária da Bulldozer D8T, m^3/h ; E_{D8T} -

eficiência operacional ou de trabalho(%) e DF_{D8T} – Disponibilidade física (%).

Sendo: $V_t = 35\text{m}^3$ (adotado) ; $\eta = 0,8$; $Ph_{D8T} = 9,9\text{ m}^3/\text{h}$; $E_{D8T} = 0,85$ e $DF_{D8T} = 0,9$; $N_{D8T} = ?$

$$N_{D8T} = (35 \times 0,8) / (9,9 \times 0,85 \times 0,9) \rightarrow N_{D8T} = 3 \text{ bulldozers Cat D8t}$$

- **Cálculo da produção horária da Bulldozer Cat D8T por turno**

$$Ph_{D8T/\text{turno}} = N^{\circ}_{\text{turno}} \times Ph_{D8T} \quad \text{Eq. (61)}$$

Sendo: $N^{\circ}_{\text{turno}} = 3$; $Ph_{D8T} = 14,3\text{ t/h}$, assim tem-se: $Ph_{D8T/\text{turno}} = 3 \times 14,3\text{ t/h} = 42,9\text{ t/h}$

Obs: No caso, para **Produção horária mensal** da Bulldozer- Eq. (62), $(Ph_{D8T/\text{mês}})$, tem -se:

$$(Ph_{D8T/\text{mês}}) = 26 \text{ dias} \times Ph_{D8T} = 26 \times 14,3 = 371,8\text{ t/mês}$$

- **Cálculo da produção anual da Bulldozer Cat D8T**

$$P_{D8T} = Ph_{D8T} \times H_{tD8T} \quad \text{Eq. (63)}$$

Onde: P_{D8T} - Produção anual da Bulldozer (t/ano) ; Ph_{D8T} - Produção horária da Bulldozer(t/h);
 H_{tD8T} - horas trabalhadas da Bulldozer por ano (h/ano).

Dados: $Ph_{D8T} = 14,3\text{ t/h}$; $H_{tD8T} = 5508\text{ h/ano}$; $P_{D8T} = ? \rightarrow P_{D8T} = 14,3 \times 5508 = 78.764,4\text{t/ano}$

$P_{D8T}(\text{total}) = Ph_{D8T} \times N_{D8T}$ Eq. (64) $\rightarrow P_{D8T}(\text{total}) = 78.764,4\text{ t/ano} \times 3 = 236.293,2\text{ t/ano}$

4.2.7- Cálculos do dimensionamento da Motoniveladora

A motoniveladora é um equipamento versátil e essencial em depósitos aluvionares, proporciona a precisão e o controle necessário para transformar terrenos irregulares em superfícies utilizáveis e preparadas para uma variedade de usos. A moto niveladora usa sua lâmina para cortar, espalhar e nivelar o solo. As marchas mais baixas são utilizadas para maior precisão, especialmente em trabalhos de acabamento. No caso, para a SM do Cacuilo é selecionada a motoniveladora de médio porte **Cat 140k**, para os serviços de nivelamento e acabamento de estradas.



Figura 50: Motoniveladora Cat 140k

Fonte: Barloworld Equipamentos | Especificações (barloworld-equipment.com),2024.

Tabela 18 : Informações específicas da Motoniveladora Cat 140k

Modelo do motor	Cat C7 ACERT
Potência base (1ª marcha)-líquida	128 kw
Torque máximo	996 N.m
Largura da lâmina	3,7 m
Profundidade máxima de corte	735 mm
Exixo frontal – Oscilação total por lado	32°
Peso Bruto do Veículo – normalmente equipado	17271 kg
Capacidade do Tanque de Combustível	305L

Fonte: Barloworld Equipamentos | Especificações (barloworld-equipment.com),2024.

Tabela 19 : Velocidades da Motoniveladora Cat 140k

Velocidades de Avanço	1ª 3,9km/h; 2ª 5,2 km/h; 3ª 7,4 km/h; 4ª10,2 km/h; 5ª 14,2 km/h; 6ª 19,4 km/h; 7ª 26,5 km/h; 8ª 39,3 km/h
Velocidades de Ré	1ª 5,3 km/h; 2ª 10,2 km/h; 3ª 26,5 km/h.

Fonte: Fonte: Barloworld Equipamentos | Especificações (barloworld-equipment.com),2024.

Tabela 20 : Velocidades de operação típica por aplicação da Motoniveladora

Nivelamento de Acabamento	0-4km/h
Nivelamento Pesado	0-9km/h
Reparo de Valetas	0-5km/h
Escarificação	0-5km/h
Manutenção de Rodovias	5-16km/h
Manutenção de Caminhos de Transporte	5-16km/h
Movimento de Neve	7-21km/h
Remoção de Neve com Asas	15-28km/h

Fonte: Manual de produção Caterpillar,2000.

Nota: Na SM do Caculo, numa primeira fase a Motoniveladora Cat140k, é usada para o nivelamento de acabamento da via de 1,5km, após os primeiros trabalhos de nivelamento da via, realizados pela Bulldozer Cat D8T.

- **Cálculo da largura efectiva de um passe único**

$$L_{ef} = L_m \times (1 - S_p) \times E \quad Eq. (69)$$

Onde: L_m - largura da lamina (m); S_p – Sobreposição , E- eficiência (%); L_{ef} –Largura efectiva de um passe único (m).

Nota: A sobreposição em um depósito aluvionar varia de 20% a 25%.

Sendo que: $L_m = 3,7m$; $S_p = 0,20 = 20\%$; $E = 0,95$. Logo: $L_{ef} = 3,7 \times (1 - 0,20) \times 0,95 = 2,8 m$

- **Cálculo do número de passe da Motoniveladora Cat 140k**

$$N_{p_{mot}} = L_v / L_{ef} \quad Eq. (70)$$

Onde: $N_{p_{mot}}$ - Número de passes da Motoniveladora cat140k; L_v -Largura da via a ser nivelada

(m); L_{ef} – Largura efectiva de um passe único (m).

Obs: A largura da via a ser nivelada (L_v) é duas vezes, a largura do maior equipamento da mina, neste caso é o Camião Cat 730, de largura de 3,4 m. Assim $L_v = 2 \times 3,4 \text{ m} = 6,8 \text{ m}$.

Sendo que: $L_v = 6,8 \text{ m}$; $L_{ef} = 2,8 \text{ m}$. Assim tem-se: $N_{p_{mot}} = 6,8 \text{ m} / 2,8 \text{ m} = \mathbf{2 \text{ passes}}$.

- **Cálculo do comprimento total de trabalho**

$$C_{prim (total)} = N_{p_{mot}} \times C_{via} \quad Eq. (71)$$

Onde: $C_{prim(Total)}$ – Comprimento total de trabalho(m); $N_{p_{mot}}$ – número de passes da motoniveladora; C_v - comprimento da via (m).

Sendo que: $N_{p_{mot}} = 2 \text{ passes}$; $C_{via} = 1500 \text{ m} = 1,5 \text{ km}$. $\therefore C_{prim (total)} = 2 \times 1500 \text{ m} = \mathbf{3.000 \text{ m} = 3 \text{ km}}$

Nota: No entanto a motoniveladora precisa precorrer um total de 3.000 m ou 3km para nivelar a via completa.

- **Cálculo do tempo de um passe completo**

$$T_{passe} = C_{via} / (V_{Trab} \times E) \quad Eq. (72)$$

Onde: T_{passe} – Tempo de passe um passe completo; V_{Trab} – velocidade de trabalho da motoniveladora; E- eficiência de operação ou de trabalho;

Sendo que : $C_{via} = 1,5 \text{ km}$; $V_{Trab} 3,9 \text{ km/h}$; $E = 0,95$. $\therefore T_{passe} = 1,5 \text{ km} / (3,9 \times 0,95) = \mathbf{0,4h = 24 \text{ min}}$.

- **Cálculo do tempo de manobra da Motoniveladora cat 140k**

$$T_m = T_{virada} + T_a \quad Eq. (73)$$

Onde: T_m – tempo de manobra da Motoniveladora cat 140k; T_v –Tempo de virada ; T_a - tempo de aceleração de aceleração e desaceleração.

Sendo que: $T_{virada} = 4 \text{ min}$ (adotado); $T_a = 3 \text{ min}$ (adotado) . $\therefore T_m = 4 \text{ min} + 3 \text{ min} = 6 \text{ min}$

O total de tempo de trabalho de um passe incluindo a monobra é $T_t = T_{passe} + T_m = 24 + 6 = 30 \text{ min}$.

- **Cálculo do tempo total de operação da Motoniveladora cat 140k para nivelar toda extensão da via**

$$T_{Total \text{ de op.}} = N_{passe} \times T_t \quad Eq. (74)$$

Sendo que: $N_{passe} = 2$; $T_t = 30 \text{ min}$. $\therefore T_{Total \text{ de op.}} = 2 \times 30 \text{ min} = 60 \text{ min} = 1 \text{ h}$.

- **Cálculo da área total de operação**

$$A_{Total \text{ de op.}} = L_v \times C_v \quad Eq. (75)$$

Onde: $A_{\text{Total de op.}}$ – Área total de operação (m^2); L_v - largura da via (m); C_{via} – Comprimento da via.

Sendo que: $L_v = 6,8 \text{ m}$; $C_{\text{via}} = 1500 \text{ m}$. $\therefore A_{\text{Total de op.}} = 6,8 \text{ m} \times 1500 \text{ m} = \mathbf{10.200 \text{ m}^2}$.

Obs: Para o cálculo da **Área de operação por passe**, Eq. (76) ($A_{\text{Op./passe}}$), multiplica-se a largura da lâmina (L_m) pelo comprimento da via (C_{via}). $A_{\text{Op./passe}} = 3,7 \text{ m} \times 1500 \text{ m} = \mathbf{5550 \text{ m}^2}$.

- **Cálculo da Produção volumétrica horária da Motoniveladora Cat 140k**

$$P_{V_{\text{Cat140k/h}}} = L_m \times V_{\text{Trab}} \times P_{\text{Profundidade}} \times E \quad \text{Eq. (35)}$$

Onde: $P_{V_{\text{Cat140k}}}$ – Produção volumétrica da Motoniveladora Cat 140k (m^3/h); $P_{\text{Profundidade}}$ – Profundidade média de corte do material a ser removido (mm); V – Velocidade de trabalho (km/h ou m/s); E - eficiência de operação (%).

Dados: $L_m = 6,8 \text{ m}$; $V_{\text{Trab}} = 3,9 \text{ km/h} = 3900 \text{ m/h}$; $P_{\text{Profundidade}} = 150 \text{ mm} = 0,15 \text{ m}$; $E = 0,95$; $P_{V_{\text{Cat140k/h}}} = ?$

$$P_{V_{\text{Cat140k/h}}} = 3,7 \text{ m} \times 3900 \text{ m/h} \times 0,15 \text{ m} \times 0,95 \rightarrow P_{V_{\text{Cat140k/h}}} = \mathbf{2056,3 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Se a $E = 0,60$ tem-se: $P_{V_{\text{Cat140k/h}}} = \mathbf{1298,7 \text{ m}^3/\text{h}}$.

- **Cálculo da Produção volumétrica por dia da Motoniveladora Cat 140k**

$$P_{V_{\text{Cat140k/dia}}} = P_{V_{\text{Cat140k/h}}} \times H_d \quad \text{Eq. (76)}$$

Onde: $P_{V_{\text{Cat140k/h}}}$ - Produção volumétrica horária da Motoniveladora Cat140k (m^3/h); H_d - horas disponíveis por dia para execução do projecto (h/dia).

Dados: $P_{V_{\text{Cat140k/h}}} = 2056,6 \text{ m}^3/\text{h}$; $H_d = 2 \text{ h}/\text{dia}$; $P_{V_{\text{Cat140k/dia}}} = ? \rightarrow P_{V_{\text{Cat140k/dia}}} = 2056,3 \text{ m}^3/\text{h} \times 2 \text{ h}/\text{dia}$

$$P_{V_{\text{Cat140k/dia}}} = \mathbf{4112,6 \text{ m}^3/\text{dia}} ; \text{ Se } E = 0,60 \rightarrow P_{V_{\text{Cat140k/dia}}} = 1298,7 \text{ m}^3/\text{h} \times 2 \text{ h}/\text{dia} = \mathbf{2.597,4 \text{ m}^3/\text{dia}}$$

Obs: Se for considerado os imprevistos, a menor eficiência de operação a 0,60 ou 60%, bem como o máximo de horas disponíveis para execução desta tarefa 2 horas e número de dias disponíveis para a execução da tarefa ($N^\circ \text{ dia} = 1 \text{ dia}$). Com estas informações, procede-se o cálculo do número de motoniveladoras a operar nesta via.

Nota: no caso, para o **cálculo da Produção anual** da motoniveladora Cat 140k, multiplica-se a Produção horária ($P_{V_{\text{Cat140k/h}}}$) pelas horas trabalhadas por ano (H_t).

$$P_{V_{\text{Cat140k/ano}}} = 2056,3 \text{ m}^3/\text{h} \times 4896 \text{ h/ano} = \mathbf{10.067.644,8 \text{ m}^3/\text{ano}}.$$

No caso, **para toneladas** por horas, multiplicamos pela densidade do material, tendo em conta o tipo de serviço (t/m^3) e pelo factor de enchimento.

$$10.067.644,8 \text{ m}^3/\text{ano} \times 1,6 \text{ t}/\text{m}^3 = \mathbf{16.108.231,68 \text{ t/ano}}.$$

- **Cálculo do número de Motoniveladora Cat 140k**

$$N_{\text{moto}} = \text{Volume total} / (P_{V_{\text{Cat140k/dia}}} \times N^{\circ} \text{ dia}) \quad \text{Eq. (77)}$$

$$\text{Volume total} = A_{\text{Total de op.}} \times P_{\text{Profundidade}} \quad \text{Eq. (78)}$$

$$\text{Assim: } N_{\text{moto}} = (A_{\text{Total de op.}} \times P_{\text{Profundidade}}) / (P_{V_{\text{Cat140k/dia}}} \times N^{\circ} \text{ dia})$$

$$N_{\text{moto}} = (10.200 \text{ m}^2 \times 0,15\text{m}) / (2.597,4 \text{ m}^3/\text{dia} \times 1\text{dia}) = 0,6 \approx 1 \text{ Equipamento.}$$

- **Cálculo da Resistência ao Rolamento (Rro) do Camião Cat730**

$$R_{ro} = P_{BV} \times K_r \quad \text{Eq. (21)} \rightarrow R_{ro} = 30\text{t} \times 50\text{Kgf/t} = 1500\text{Kgf}$$

Onde: P_{bv}- peso bruto do equipamento(Kgf ou t) ou peso do equipamento; K_r-Factor de Resistência média ao rolamento(kgf/t).

- **Cálculo da Resistência da Rampa (Rra)**

$$R_{ra} = P_e \times T_{ga} \quad \text{Eq. (22)} \rightarrow R_{ra} = P_e \times T_{ga} = 30\text{t} \times T_g(10^{\circ}) = 5,3\text{t} = 5.300\text{Kgf}$$

Onde: P_e- peso do camião cat 730 (t ouKgf); α- ângulo de inclinação da rampa.

Para o Peso Total (Pt) tem-se: Pt = P_e + P_m **Eq. (22)**, Sendo P_m-peso do material(Cascalho).

$$P_t = 30\text{t} + 18\text{t} = 48\text{t}$$

$$\text{Assim: } R_{ra} = P_t \times T_{ga} = 48\text{t} \times T_g(10^{\circ}) = 8,5\text{t} = 8.500\text{Kgf.}$$

- **Cálculo da Resistência Total ao movimento do equipamento (Rtme)**

$$R_{tme} = R_{ro} + R_{ra} \quad \text{Eq. (26)} \rightarrow R_{tme} = 1500\text{Kgf} + 8.500\text{Kgf} = 10.000\text{Kgf}$$

- **Resumo dos resultados do dimensionamento dos equipamentos**

Tabela 21 : Produção total (horária, mensal e anual), em metros cúbicos (m³)

ITEM	DESIGNAÇÃO	Q.DADE	Produção horária	Produção horária (Total)	Produção mensal (Total)	Produção anual (Total)
1	Sonda Cat MD6250, Aluguer	1	489884,4	489884,4	12736994,4	3015728366,4
2	Escavadeira Cat 349FL	1	390,0	390,0	10140,0	1790100,0
3	Camião Cat 730	3	93,8	281,4	7316,4	1134604,8
4	Pá-carregadeira Cat 963K	5	55,9	279,5	7267,0	915642,0
5	Bulldozer Cat D8T	3	9,9	29,7	772,2	163587,6
6	Motoniveladora Cat 140K	1	2056,0	2056,0	53456,0	10066176,0
7	Total	14	492490,0	492921,0	12815946,0	3029798476,8

Fonte: Autor,2024.

Tabela 22 : Produção total (horária, mensal e anual), em toneladas (t)

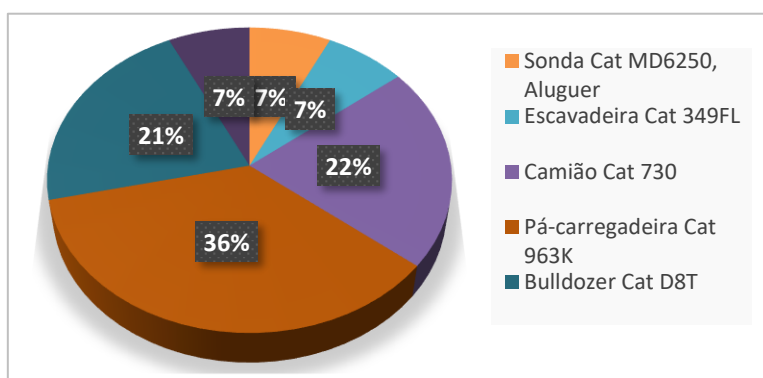
ITEM	DESIGNAÇÃO	Q.DADE	Produção horária	Produção horária (Total)	Produção mensal (Total)	Produção anual (Total)
1	Sonda Cat MD6250, Aluguer	1	705433,5	705433,5	18341271,0	4342648626,0
2	Escavadeira Cat 349FL	1	624,0	624,0	16224,0	2864160,0
3	Camião Cat 730	3	135,0	405,0	10530,0	1632960,0
4	Pá-carregadeira Cat 963K	5	89,5	447,5	11635,0	1466010,0
5	Bulldozer Cat D8T	3	14,3	42,9	1115,4	236293,2
6	Motoniveladora Cat 140K	1	2964,3	2964,3	77071,8	14513212,8
7	Total	14	709260,6	709917,2	18457847,2	4363361262,0

Fonte: Autor,2024.

Obs: No caso das Sondas, geralmente as produções são dadas em metros por hora, visto que trata-se de perfurações de poços, em que as medidas são lineares, quer seja na vertical ou inclinada. Deste modo, para passar-se em metros cúbicos por hora, multiplicamos pela área do furo. No caso dos valores apresentados na tabela 21. Assim, para a tabela 22, no caso da Sonda MD6250 e a Motoniveladora 140k, as produções em toneladas por hora, foram obtidas a partir da multiplicação da produção volumétrica, pelo factor de enchimento e pela densidade do material, tendo em conta o tipo de serviço a realizar.

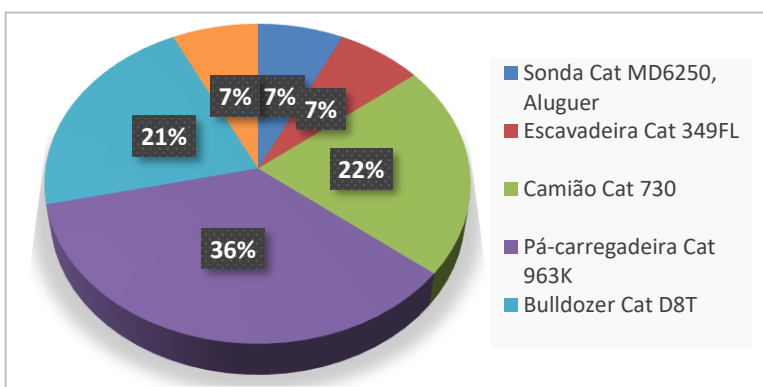
Para Sonda MD6250, usa-se a densidade do cascalho ($1,6t/m^3$). Já para o Motoniveladora 140k, usa-se a densidade de material solto (terra úmida), igual a $1602kgf/m^3$ que dividido por 1000, acha-se o valor em toneladas igual a $1,602t/m^3$, sendo os factores de enchimento iguais para os dois equipamentos de 0,9 (90%).

Gráfico 3 : Percentual de Produção Anual total dos equipamentos em (m^3 /ano)



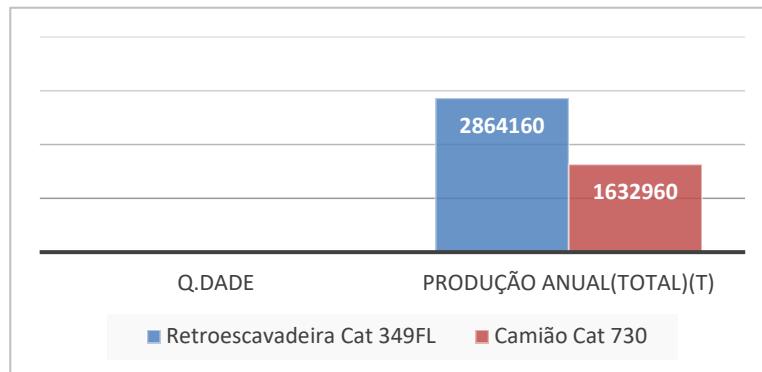
Fonte: Autor,2024.

Gráfico 4: Percentual de Produção Anual total dos equipamentos em (t/ano)



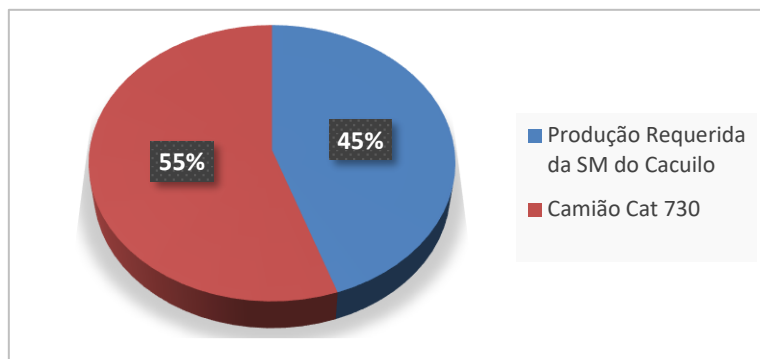
Fonte: Autor,2024.

Gráfico 5: Representação da Produção Anual total dos equipamentos de operações principais da mina, em (t/ano)



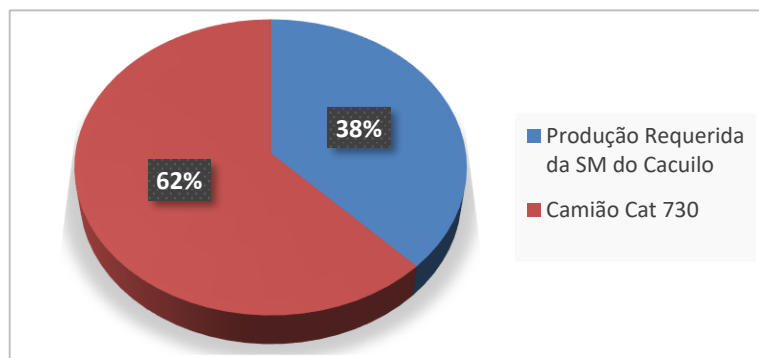
Fonte: Autor,2024.

Gráfico 6 : Percentual de Produção Anual total de 3 Camiões e a Produção Requerida da mina (t/ano)



Fonte: Autor,2024.

Gráfico 7 : Percentual de Produção Anual total de 4 Camiões e a Produção Requerida da mina (t/ano)



Fonte: Autor,2024.

Obs: No gráfico 6, para um total de 3ª camiões a operar, tem-se uma capacidade ociosa de 10% , e já para o gráfico 7 , para um total de 4 camiões a operar, tem-se uma capacidade ociosa de 24%.

Nota: Como anteriormente referido, esta capacidade ociosa pode representar oportunidades de aumento na demanda de Produção da mina ou prejuízos (gastos desnecessários).

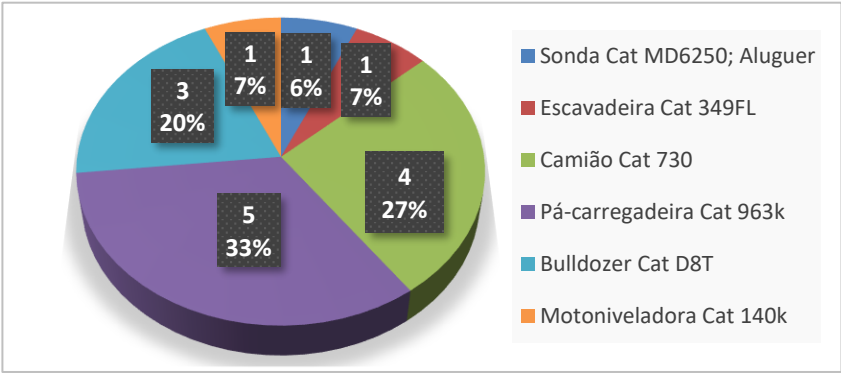
4.3 – Investimentos

Tabela 23 : Custos de equipamentos

ITEM	DESIGNAÇÃO	Q.DADE	PREÇO/UN. (US\$)	VALOR TOTAL(US\$)
1	Sonda Cat MD6250; Aluguer	1	30000	30000
2	Escavadeira Cat 349FL	1	440000	440000
3	Camião Cat 730	4	350000	1400000
4	Pá-carregadeira Cat 963k	5	400000	2000000
5	Bulldozer Cat D8T	3	750000	2250000
6	Motoniveladora Cat 140k	1	235000	235000
7	Total	15		6355000

Fonte: Autor,2024.

Gráfico 8 : Percentual dos custos de equipamentos tendo em conta as suas quantidades



Fonte: Autor,2024.

- Custos Operacionais

Tabela 24 : Custos de Seguro dos equipamentos

ITEM	DESIGNAÇÃO	Q.DADE	PREÇO/UN. (US\$)-Va	VALOR TOTAL(US\$)	PE(%)	PE, MEDIA(%)	hf ou Ht-horas trab.(h/ano)	CUSTO-SE(US\$)
1	Sonda Cat MD6250; Aluguer	1	30000	30000	1,5 A 3	2,25	6156	10,96
2	Escavadeira Cat 349FL	1	440000	440000	1 A 2,5	1,75	4590	167,76
3	Camião Cat 730	4	350000	1400000	1 A 2,5	1,75	4032	607,64
4	Pá-carregadeira Cat 963k	5	400000	2000000	1 A 2,5	1,75	3276	1068,38
5	Bulldozer Cat D8T	3	750000	2250000	1,5 A 3	2,25	5508	919,12
6	Motoniveladora Cat 140k	1	235000	235000	1 A 2,5	1,75	4896	84,00
		15		6355000				2857,85

Fonte: Autor,2024.

Tabela 25 : Custos de Depreciação dos equipamentos (DP)

ITEM	DESIGNAÇÃO	Q.DADE	PREÇO/UN. (US\$)-Va	VALOR TOTAL(US\$)-Va	VAL. RES.(Vr)/UN. US\$	VIDA ÚTILMÁX (Vu)/ANOS	Depreciação(DP) US\$
1	Sonda Cat MD6250; Aluguer	1	30000	30000	13500	13	1269,23
2	Escavadeira Cat 349FL	1	440000	440000	176000	15	17600,00
3	Camião Cat 730	4	350000	1400000	157500	13	14807,69
4	Pá-carregadeira Cat 963k	5	400000	2000000	160000	10	24000,00
5	Bulldozer cat D8T	3	750000	2250000	337500	10	41250,00
6	Motoniveladora cat 140k	1	235000	235000	94000	10	14100,00
				6355000			113026,92

Fonte: Autor,2024.

Tabela 26 : Custos de Combustível (CC)

ITEM	DESIGNAÇÃO	Q.DADE	PH, líquida (KW)	FACT. CONSUMO(L/Kw×h)	Pc-PREÇO (KZ)	E (%)	CC,Custo de Comb.(kz)	CC(US\$/h)	CC(US\$/ANO)
1	Sonda Cat MD6250; Aluguer	1	652	0,15	200	0,95	20589,47	24,00	147739,69
2	Escavadeira Cat 349FL	1	311	0,15	200	0,8	11662,50	13,59	62396,00
3	Camião Cat 730	3	234	0,15	200	0,75	28080,00	32,73	131968,57
4	Pá-carregadeira Cat 963k	5	144	0,15	200	0,7	30857,14	35,97	117829,20
5	Bulldozer cat D8T	3	231	0,15	200	0,85	24458,82	28,51	157029,78
6	Motoniveladora cat 140k	1	128	0,15	200	0,95	4042,11	4,71	23067,60
7	TOTAL	14					119690,05	139,51	640030,84

Fonte: Autor,2024.

Tabela 27 : Custos de Lubrificantes e Graxas (LG)

ITEM	DESIGNAÇÃO	Q.DADE	CUSTOS DE (LG)/UNLMÊS, US\$	CUSTOS DE (LG), TOTAL/ANO, US\$
1	Sonda Cat MD6250; Aluguer	1	550,00	6600,00
2	Escavadeira Cat 349FL	1	340,00	340,00
3	Camião Cat 730	3	405,00	1215,00
4	Pá-carregadeira Cat 963k	5	295,00	1475,00
5	Bulldozer cat D8T	3	420,00	1260,00
6	Motoniveladora cat 140k	1	330,00	330,00
7	Total	14	2340,00	11220,00

Fonte: Autor,2024.

Tabela 28 : Custos de Pneus e Esteiras (PE)

ITEM	DESIGNAÇÃO	Q.DADE	CUSTO DE PE, US\$/UN.	CUSTO TOTAL DE PE, US\$/ANO
1	Sonda Cat MD6250; Aluguer	1	60000,00	60000,00
2	Escavadeira Cat 349FL	1	36000,00	36000,00
3	Camião Cat 730	3	51840,00	155520,00
4	Pá-carregadeira Cat 963k	5	36000,00	180000,00
5	Bulldozer cat D8T	3	48000,00	144000,00
6	Motoniveladora cat 140k	1	51840,00	51840,00
7	Total	14	283680,00	627360,00

Fonte: Autor,2024.

Tabela 29 : Custos de Manutenção e Reparos (MR)

ITEM	DESIGNAÇÃO	Q.DADE	CUSTO DE MR,US\$/UN.	CUSTO DE MR,TOTAL-US\$/ANO
1	Sonda Cat MD6250; Aluguer	1	50000	50000
2	Escavadeira Cat 349FL	1	25000	25000
3	Camião Cat 730	3	35000	105000
4	Pá-carregadeira Cat 963K	5	30000	150000
5	Bulldozer Cat D8T	3	45000	135000
6	Motoniveladora Cat 140K	1	20000	20000
7	Total	14	205000	485000

Fonte: Autor,2024.

Tabela 30 : Custos de Mão de Obra Operacional dos equipamentos (MO/Tx)

ITEM	DESIGNAÇÃO	Q.DADE	NÚM. OPER.	SALÁRIO/MÊS -(US\$)	CUSTO TOTAL(US\$/ANO,MO/TX)
1	Sonda Cat MD6250; Aluguer	1	2	1500,00	36000,00
2	Escavadeira Cat 349FL	1	6	1150,00	82800,00
3	Camião Cat 730	3	11	1050,00	138600,00
4	Pá-carregadeira Cat 963K	5	6	1000,00	72000,00
5	Bulldozer Cat D8T	3	5	1150,00	69000,00
6	Motoniveladora Cat 140K	1	3	1000,00	36000,00
		14	33	6850,00	2712600,00

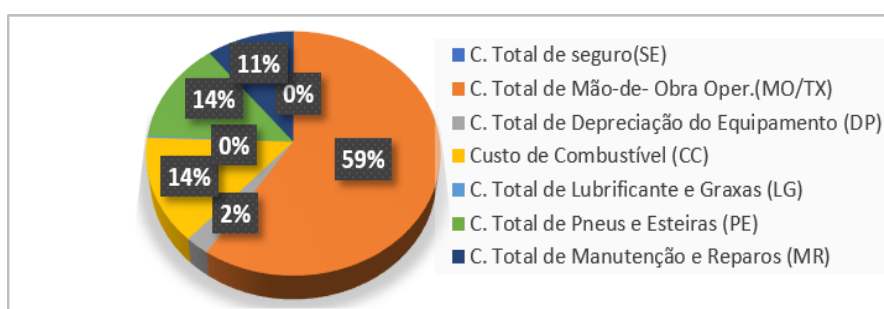
Fonte: Autor,2024.

Tabela 31 : Custos Operacionais

CUSTOS VARIÁVEIS(DIRETOS) E CUSTOS FIXOS(INDIRETOS)	CUSTOS (US\$)
Custo Total de Seguro (SE)	2857,85
Custo Total de Mão-de-Obra Operacional (MO /TX)	2712600
Custo Total de Depreciação do Equipamento (DP)	113026,92
Custo Total de Combustível (CC)	640030,84
Custo Total de Lubrificantes e Graxas (LG)	11220
Custo Total de Pneus e Esteiras (PE)	627360
Custo Total de Manutenção e Reparos (MR)	485000
CUSTO TOTAL OPERACIONAL (CO) = $\Sigma(CV+CF)$	4592095,61

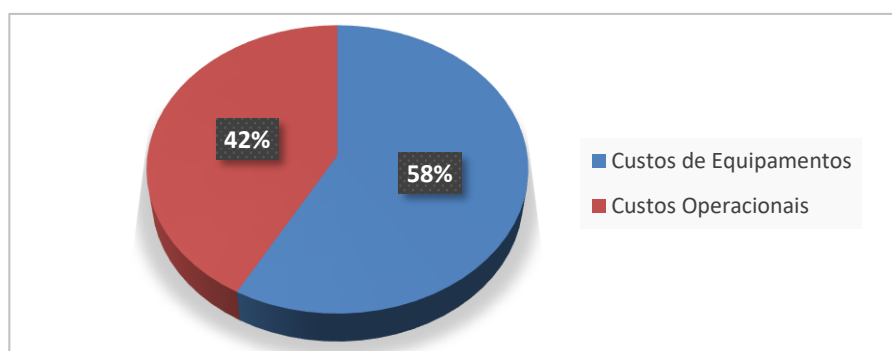
Fonte: Autor,2024.

Gráfico 9 : Percentual dos Custos Variáveis (diretos) e Fixos (indiretos).



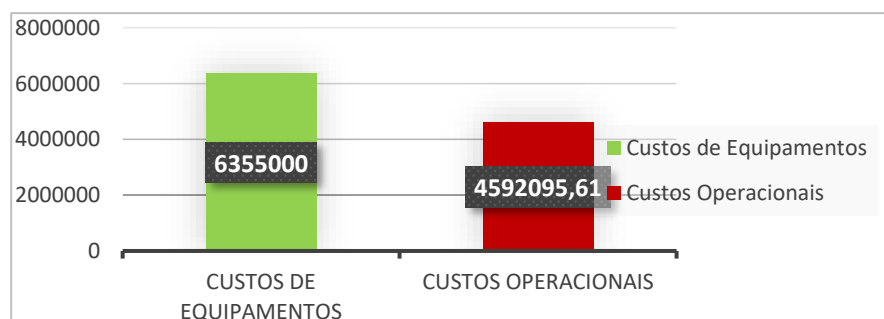
Fonte: Autor,2024.

Gráfico 10 : Percentual dos Custos de Equipamentos e Operacionais



Fonte: Autor,2024.

Gráfico 11 : Representação dos Custos de Equipamentos e Operacionais por coluna



Fonte: Autor,2024.

Obs: Com o valor dos Custos de Equipamentos de \$6.355.000, maior que o valor dos Custos Operacionais de \$4.592.095,61, o investimento toran-se viável, representando uma diferença de 16% entre os dois valores.

CONCLUSÕES

Portanto, a falta de dimensionamento adequado dos equipamentos em uma mina pode representar uma perda significativa de eficiência operacional, impactando diretamente a rentabilidade e viabilidade do empreendimento.

Com base nos resultados dos cálculos do dimensionamento dos equipamentos de remoção da massa mineira no Jazigo aluvionar e de transporte, tem-se as seguintes conclusões:

- Com 3 caminhões, temos uma capacidade ociosa de 10%, que pode representar uma oportunidade de melhoria de trabalho ou prejuízo (despesas). Melhoria no caso de haver aumento na demanda de Produção planejada da SM do Caculo, na ordem de 10%, ou ainda, pequenos ajustes (redução) nos indicadores de Eficiência, Disponibilidade e Utilização, evitando a capacidade ociosa. Apesar deste equilíbrio haverá necessidade de redimensionar a capacidade da lavaria, sendo que ela tem a capacidade de tratar um total de 3.116.620,8t/ano, comparando com a produção total de 3 caminhões de 1.632.960t/ano, o que deixaria a lavaria por várias horas, sem a alimentação do Cascalho;
- Com 4 Camhões, tem-se uma produção total de 2.177.280t/ano, a sua diferença com a Produção planejada da SM do Caculo de 1.320.000t/ano, representa uma capacidade ociosa de 24%;
- Com o indicador de viabilidade econômica do investimento de 16%, este indicador pode ser usado no auxílio de tomadas de decisões sobre os custos operacionais envolvidos e os futuros, bem como a necessidade de melhorar este indicador de 16%, isto é, aumentando o valor deste indicador, que implica a redução dos custos operacionais;
- Para otimizar a produção, é essencial aumentar a demanda da Produção planejada da SM do Caculo, para se alinhar melhor, com a capacidade de tratamento do cascalho da lavaria. Mas esta abordagem tem implicações de custos e benefícios que devem ser cuidadosamente avaliadas.

O aumento da produção, exploração de novas áreas, processamento de material de terceiros e melhorias logísticas são todas estratégias viáveis para aproveitar ao máximo a capacidade da lavaria;

- A capacidade ociosa pode representar uma oportunidade para aumentar a produção da mina e otimizar o uso de equipamentos de transporte.

RECOMENDAÇÕES

As recomendações apresentadas em um projecto mineiro, visam proporcionar benefícios e trazer soluções com pequenas margens de erro. Sendo assim são as apresentadas as seguintes recomendações:

- Para a SM do caculo, numa primeira fase , caso se permaneça com a valor da Produção planifica de 1.320.000t/ano, é preferível avançar o projecto com 3 camiões no primeiro ano e um (1) na reserva. Sendo que, com 3 Camiões tem-se uma capacidade ociosa de 10% (despesas ou gastos desnecessários). Ao passo que com 4 Camiões, tem-se 24% de capacidade ociosa;
- Recomenda-se que na operação de carregamento da caçamba do camião, o ângulo de giro do equipamento de carregamento (Escavadeira Cat 349FL), não pode ser superior a 90°, pois isso ocasiona o aumento do tempo de ciclo da Escavadeira;
- Recomenda-se as Empresas do sector mineiro, em apostarem fortemente na manutenção Preditiva dos equipamentos e máquinas de mineração, sendo que este tipo de manutenção reduz significativamente os custos de manutenção que podem ser gastos na manutenção correctiva;
- Recomenda-se ao Departamento de Engenharia de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade Agostinho Neto, o uso de Softwares de planeamento e gerenciamento de lavra.
- Recomenda-se a camada estudantil, o desenvolvimento do presente trabalho com uso de Software de mercado, tais como: TALPACK, DATAMINE, RAJAMINE, Software de planeamento e gerenciamento de lavra, para se aferir os resultados;
- Recomenda-se o desenvolvimento de mais mais trabalhos, relacionados com as problemáticas ocorrentes em depósitos secundários.

ANEXOS

Tabela-32: Tempo de parada, descarga e partida (Tdpd), tendo em conta o volume da caçamba camião.

VOLUME DA CAÇAMBA DO CAMIÃO (m3)	Tdpd (Minutos)
4.0	0.8
5.0	1.0
6.0	1.2
7.0	1.4
8.0	1.6
9.0	1.8
10.0	2.0
11.0	2.2
12.0	2.4
13.0	2.6
14.0	2.8
15.0	3.0
16.0	3.2
17.0	3.4
18.0	3.6
19.0	3.8
20.0	4

Fonte: TADEO JOWORSK,2021.Adaptado por autor, 2024.

Obs: Nos casos em que o valor do volume da caçamba do camião não se encontra directamente na tabela, calculamos a média somando o valor anterior e posterior, dividido por dois (2), para se encontrar o valor do **Tdpd**, em minutos.

Exemplo: Para calcular o Tdpd de um camião com a capacidade da caçamba de 5,5m³. faz-se o seguinte: $Tdpd = (1.0+1.2)/2 = 1,1min$.

Tabela-33: Velocidades médias de trabalho de camiões basculantes.

TIPO DE PAVIMENTO	Vid (Km/h)	Vvolt (Km/h)
Estrada de terra	30.0	39.0
Estrada arenosa	35.0	45.5
Estrada asfaltada	40.0	52.0

Fonte: TADEO JOWORSK,2021.Adaptado por autor, 2024.

Tabela-34: factor de correção (η) , atendendo os tipos de material (solos).

TIPO DE MATERIAL (SOLO)	η
Terra comum, argila seca solta	1.0
Areia, cascalho, terra molhada ou úmida	0.8
Rocha escarificada ou dinamitada	0.6

Fonte: TADEO JOWORSK,2021.Adaptado por autor, 2024.

Tabela-35: Coeficientes de aderência de um equipamento, tendo em conta a superfície do terreno.

TERRENO(SUPERFÍCIE)	PNEU (%)	ESTEIRA(%)
Concreto	90	45
Terreno argiloso seco-terra firme	55	90
Terra argiloso molhado	45	70
Argila - estrada mal conservada	40	70
Areia solta	30	30
Pedra	65	65
Estrada de cascalho	36	50
Terra solta	45	60

Fonte: TADEO JOWORSK,2021.Adaptado por autor, 2024.

Tabela-36: Velocidades da pá-carregadeira

MARCHA	V (Km/h)-RODAS	V (Km/h)-ESTEIRAS
1ª	6.0	3.0
2ª	12.0	6.0
3ª	20.0	11.0

Fonte: TADEO JOWORSK,2021.Adaptado por autor, 2024.

Nota: As velocidades máximas, em km/h de pás carregadeiras, usualmente se situam em torno dos valores presentes na Tabela-36. Deste modo considera-se a máxima velocidade de ida (carregado) os valores da 2ª marcha e máxima velocidade de volta (vazio), os valores da 3ª marcha.

Tabela-37: Valores típicos do factor de Perfuração da rocha para diferentes resistências da rocha.

Descrição da rocha	Resistência à compressão Uniaxial, Psi	Resistência à compressão Uniaxial, MPa	Factor de penetração da rocha, RF
Muito dura	>30.000	> 207	61
Dura	15.000 - 30.000	103 - 207	80
Moderada	10.000 - 15.000	69 - 103	100
Macia	5.000 - 10.000	34 - 69	135
Muito Macia	1.000 - 5.000	7 - 34	200
Extremamente Macia	< 1.000	< 7	300

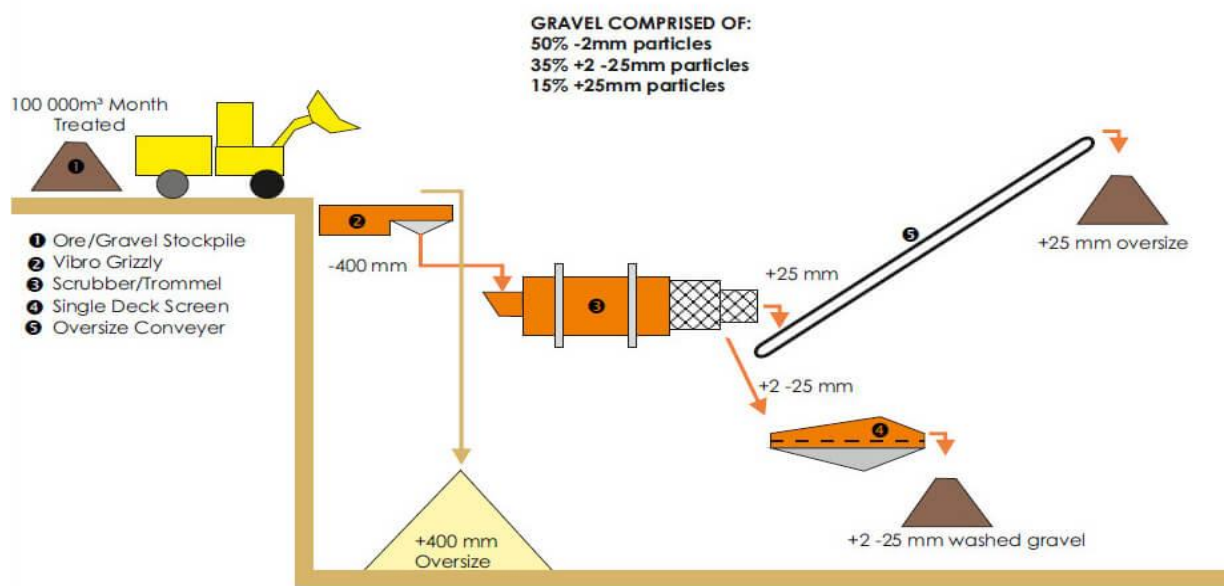
Autor, 2024.

Tabela-38: Factores de resistências médias ao Rolamento (Kr)

TIPOS DE SOLOS	Kr- (Kgf/t)
Estrada compacta(dura), pavimento de concreto ou macadame betuminoso	20
Estrada em macadame hidráulico (Piso sob o peso do pneu cede levemente)	30
Estrada de terra estabilizada (Penetração dos pneus de 2 a 3 cm	50
Estrada de terra não estabilizada (penetração dos pnes de 10 a 15 cm)	75
Estrada de terra solta, barrenta ou arenosa	150

Fonte: TADEO JOWORSK,2021.Adaptado por autor, 2024.

Figura 51: Fluxo principal da planta de lavagem (Pré-Tratamento) de diamantes



Fonte: Prof. MSc.F. CHICANGALA, 2024.

Figura 52: Planta de tratamento do Cascalho



Fonte: Prof. MSc.F. CHICANGALA, 2024.

BIBLIOGRAFIA

H.S. RICARDO, G. CATALANI. **Manual prático de Escavação Terraplanagem e Escavção de Rocha, 3ª Edição.**

J.M.F. ESCOVAL, TFC,FE-UAN-2015.**Proposta para o dimensionamento de um sistema de pesquisa mineral nos depósitos auríferos do chipindo com base na técnica de prospecção aluvional.**

INSTALE TECNOLOGIA-Aumento de produtividade em seu processo de mineração.

W. ARAÚJO, 2020, Artgº . **Custos na mineração.**

R. SALES, (2021) Artgº. blog.acoplastbrasil.com.br/gestao-manutencao-beneficios.

J. E. PACCOLA,(2022)Linkdin, Artgº .**Manutenção e Operação de Equipamentos Móveis;**

T. JAWORSKI,(1997) Engº. Civil. **Equipamentos para Escavação - Compactação e Transporte.** Revidado por Prof. C. B. NETO, MS.C.Engº. CIVIL (2011).

T. C. BORGES-TRABLHO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO (2013) - **Análise dos Custos Operacionais de Produção no Dimensi onamento de frotas de Carregamento e Transporte em mineração.**

D.M. ANDRÉ,TFC,FE-UAN (2021). **Dimensionamento de Máquinas de Carregamento e Transporte de uma Mina a céu Aberto.**

Y. B.S. TORRES, TFC,UFOP (2022). **Dimensionamento da Produtividade e Análise de Investimento de Tratores D6T e D8T (Estudo de caso-JMN Mineração), Brasil.**

L.M. ALMEIDA, TFC,UFP(2009). **Estudo do Dimensionamento de Equipamentos de Carregamento e Transporte Utilizados na Mineração a Céu Aberto (Estudo de Caso – Município de Canaã dos Carajás-PA), Brasil.**

P. TUNGA.TFC,FE-UAN,(2023). **Análise Comparativa dos Equipamentos de transporte da Massa Mineira,(Caso de Estudo-Mina de Catoca), Angola.**

D.G. ALFREDO, TFC,FE-UAN,(2024). **Dimensionamento da Produtividade e Análise de Investimento dos Tratores D6T, D8T e D11T,(Caso de Estudo – Mina de Catoca), Angola.**

R. CORREIA ,Artº public.(2021) . **Blog de Minas Gerais-Brasil.**

A. PINTO, (2021) - [Dimensionamento de equipamentos na mineração \(institutominere.com.br\)](http://institutominere.com.br)

CRISTAL JR. (2022),Artgº public.Blog de Minas Gerais-Brasil -**Tipos De Depósitos Secundários.**

J. PENITO,Engº. **Material de Petrologia,(2017).**

[Aluvião – Wikipédia, a enciclopédia livre \(wikipedia.org\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Aluvi%C3%A3o)

[José Evandro Conchi -Blog NORMALIZA Qando deve-se fazer a Manutenção de Máquinas? – Normatiza NR 12](#)

[Portal - Pá Carregadeira: o que é, para que serve e onde comprar \(tracsul.com\)](http://tracsul.com)

[Products: Camiões basculantes rígidos vs articulados: qual a diferença? | BKT Tires \(bkt-tires.com\)](#)

M. Ambrósio(2010). **Recursos Geológicos- Conceitos gerais e Classificação de jazigos Minerais.**

[Manutenção Industrial: Guia completo para sua empresa. \(abecom.com.br\)](http://abecom.com.br)

www.consuladodeangola.org/www.mindat.org/www.visitangola.com

P. NOGUEIRA (2021) Artgº publ no blog (mineracaobrasil.com).

[CANALA OURO DO LIXO-e - Bing Vídeos](#)

alumer.co.mz/produto/bulldozer/.

[Seleção e produtividade de escavadeiras e caminhões - Bing video](#)

LARCERDA TUTORIAL. **Minerais indicadores de diamantes** [Bing Vídeos](#)

R. SALES, (2019)Artgº. (blog.acoplastbrasil.com.br/gestao-manutencao-beneficios).

J. Willich_ (2022). **Blog Produtivo**.

H. M. BALÃO, TFC,FE-UAN,(2023). **Cálculo de Diluição e Reconciliação de Teores em Massas Mineiras em Minas de Céu Aberto (Caso de Estudo Projecto Mungo-Angola).**

[Manutenção Preditiva: Tipos, Exemplos E Como Aplicar \(proconcept.com.br\)](#)

[Conheça as diferenças entre manutenção preventiva e preditiva \(infraspeak.com\)](#)

[Operador de Máquinas: Profissão, O que faz e Como atua \(querobolsa.com.br\)](#)

[Desenvolvimento de Minas - AULA 14 - SELEÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS \(youtube.com\)](#)

[Aula 10: Dimensionamento de Equipamentos de Perfuração - YouTube](#)

<https://www.youtube.com/@minerarh-escolademinerao>

[COMO CALCULAR O CUSTO DOS EQUIPAMENTOS DO JEITO CERTO | Aprenda o segredo dos especialistas \(youtube.com\)](#)

[Perfuração e Amostragem – Damasco Penna](#)

[Aula 2 - Perfuração de Rochas \(youtube.com\)](#)

[SciELO - Brasil - AVALIAÇÃO DE CUSTOS DA OPERAÇÃO DE EXTRAÇÃO DA MADEIRA COM FORWARDER AVALIAÇÃO DE CUSTOS DA OPERAÇÃO DE EXTRAÇÃO DA MADEIRA COM FORWARDER](#)

[CM20171128-54431-20313 \(scene7.com\)](http://CM20171128-54431-20313 (scene7.com))

[Preço do gasóleo custa a partir de hoje 200 kwanzas- Um aumentou de quase 50% - Valor Económico \(valoreconomico.co.ao\)](#)

[Manual CAT D8T - PDF com especificações do trator de esteira! \(asmaquinaspesadas.com\)](#)

[Large Specalog for 963K Track Loader, AEHQ7454-00 \(scene7.com\)](#)

[Specalog for 349F L Hydraulic Excavator AEHQ7157-01 \(scene7.com\)](#)

[Barloworld Equipamentos | Especificações \(barloworld-equipment.com\)](#)

<https://doi.org/10.1590/S0370-44672002000200012>

Rem: Revista Escola de Minas. **Prospecção aluvionar aplicada a alguns minerais gemológicos de Minas Gerais: diamante, crisoberilo.**

<https://pt.slideshare.net/kelsondaluz/climatologia-da-regio-norte>

[Código Mineiro de Angola](#)