UNIVERSIDADE AGOSTINHO NETO
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE MINAS

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

TEMA: ESCOLHA DA TECNOLOGIA DE EXPLORAÇÃO A CÉU ABERTO USANDO MÉTODO DE MÚLTICRITÉRIOS

CASO DE ESTUDO: MINA DO LONGONJO

Autor: Júnero Alberto
Estudante nº123048

Luanda / 2024

UNIVERSIDADE AGOSTINHO NETO
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE MINAS

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

TEMA: A ESCOLHA DA TECNOLOGIA DE EXPLORAÇÃO A CÉU ABERTO USANDO MÉTODO DE MÚLTICRITÉRIOS

CASO DE ESTUDO: MINA DO LONGONJO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Agostinho Neto, como parte de requisitos para obtenção do Grau de licenciatura.

Autor: Júnero Alberto
Orientado por: Prof.Msc. João Cláudio Cabeia

Luanda / 2024

Índice:

-Dedicatória I

- Agradecimento II

- Resumo III

-Abstract IV

- Lista de Figuras V

- Lista de Tabelas VI

-Lista de Abreviatura, Siglas e Símbolos VII

Capítulo I- Generalidade 1

1.1 Introdução 1

1.2 Formulação do Problema 2

1.3 Objectivo Geral 2

1.3.1 Objectivo Específico 2

1.4 Justificativa 2

1.5 Hipotêse 2

1.6 Metodológia do Trabalho 2

1.7 Delimitação e Limitação do Trabalho 3

1.8 Estrutura do Trabalho 3

Capítulo II- Fundamentação Teórica 4

2.1 Definição de termos e conceitos 4

2.2. Estudo para a Escolha do método de exploração 5

2.3 Planejamento de Lavra 9

2.4 Lavra a céu aberto e subterrânea 10

2.4.1. Principais métodos de lavra a céu aberto 10

2.4.1.1 Lavra em cava (Open pit mining) 11

2.4.1.2 Lavra em tiras (strip mining) 14

2.5 Relação Estéril- Mineiro 16

2.6 Terras Raras (TRs) 17

2.6.1 Reservas de terras raras-2018 19

2.7 Componentes do Projecto 21

2.8 Método de mineração 27
2.9 Método de Análise Hierárquica do Processo (AHP) 30
2.10 Limitação e críticas ao uso do AHP 34
2.11 Método de avaliação económica do projecto de investimentos 35
Capítulo III- Caso de Estudo Mina do Longonjo 38
3.1 Localização e Acesso 38
3.2 População 38
3.3 Clima 39
3.4 Topografia 39
3.5 Qualidade do Ar 39
3.6 Geologia e Geomorfologia 39
3.7 Hidrogeologia Regional 41
3.8 Hidrogeologia da área do projecto 41
3.9 Linhas de Escoamento 41
3.10 Modelo conceptual da hidrologia 41
3.11 Motivação do projecto 42
3.11.1 Produtos 42
3.11.2 Uso de NdPr 43
3.12 Comportamento do Mercado Mundial 43
3.13 Procura no Mercado 44
Capítulo IV. Resultado e Discussão 45
4.1 Aplicação do método de análise Hierárquica no Estudo de caso 45
4.2 Definição de critérios e subcritérios 45
4.3 Avaliação da Viabilidade e Aplicabilidade Pratica 45
4.4 Analise Comparativa 50
4.5 Analise de Sensibilidade 51
4.6 Considerações de custos dos locais 52
4.6.1 Escombreira 55
4.6.2 Cronograma de mineração 56
4.7 Operação mineira 58
4.7.1 Filosofia operacional 58

4.7.2 Horário das operações de Mineração 58
4.7.3 Equipamento mineiro 59
Conclusão 60
Recomendação 61
Referencias bibliográfica 62

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a toda comunidade estudantil, ao departamento de Minas da faculdade de engenharia da universidade agostinho Neto, A todos estudante e amantes de leitura.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por me auxiliar com saúde e motivação durante todo período da faculdade.

À meu pai Alberto De Gama, que além de pai é meu mentor, pessoa que me educou e me auxilia na vida pessoal. Sua motivação e confiança foram fundamentais para meu desenvolvimento e crescimento, graças ao seu apoio conquistei vitórias e cheguei onde estou;

A minha mãe em memória Helena Mpaca, muito obrigado pela sua oração;

Aos meus irmãos Kosi Nzau, Liliana Alberto, André Alberto, José Alberto, Madalena Alberto e Lucas Alberto, que sempre estiveram presente em minha vida, me auxiliaram imensamente na vida acadêmica;

Aos meus tios, tias, primos, primas, Sobrinhos e minha âvo Natalia Ernesto especialmente à tia Odilli Coxi Virginia, por todo amor, apoio financeiro para que eu consegue-se terminar a minha formação;

À minha grande companheira de vida Eva Salvador e meu filho Salatiel Alberto, desde que nos conhecemos vem me apoiando e suportando minhas reclamações, aguentando todas as complicações ao meu lado, e também auxiliando em questões profissionais e, principalmente, pessoais;

Ao meu orientador Prof.Msc. Cláudio Cabeia pela atenção é paciência;

Aos meus irmãos e companheiros da casa do camama Ernesto Landu e Pedro Tunga pelo apoio, ao meu colega e amigo Gilberto, Bilengo e Jorge Sebastião pelo companheirismo e encorajamento ao longo de toda a minha caminhada;

A todos os professores e estudantes do departamento de minas, em especial aos colegas da turma 5º ano 2021/ 2022

A Faculdade de Engenharia pela oportunidade; A todos meus amigos e irmão da igreja, e a todos aqueles que contribuíram de forma direta ou indireta para a conclusão da minha licenciatura.

Epigrafe

″ O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculo, no mínimo fará coisas admiráveis ‟

RESUMO

Este trabalho aborda alguns aspectos que precisam ser considerados na escolha da tecnologia de exploração a céu-aberto usando método de multicritérios. A escolha do método é uma das decisões mais importantes que são tomadas durante o estudo de viabilidade econômica.

A utilização do método de análise hierárquica com o apoio na tomada de decisões de critérios usados na exploração do recurso mineral na mina do Longonjo. O Estudo de caso consiste na avaliação baseada em critérios geológico, social, geográfico e ambiental, todavia as condições de segurança e higiene.

Na aplicação do método de análise hierárquica **AHP,** o objetivo principal da hierarquia proposta e de modo a produzir condições adequadas para a execução das operações e ser flexível à infraestrutura disponível, permitindo atingir uma produtividade máxima ao menor custo unitário de produção, e visando à sustentabilidade.

E o método de multicritério adotado foi o AHP (Analytic Hierarchy Process), em função de sua flexibilidade quando aplicado a problemas de tomada de decisão.

Foram analisados os impactos potências da poluição do ar, degradação do solo, fauna e ocupação humana. Os custos foram tratados separadamente. No final foram realizados uma análise técnica do projeto.

Palavras-chave: Seleção, método de lavra, método AHP, Multicritérios, tomada de decisão.

ABSTRACT

This dissertation talks about some aspects that need to be considered in the choice of technology of exploration in the open-pit mining using the method of multicretiriums. The choice is one of the very important decision that take during the economic viability studies.

The use of hierarchic analysis methods as a support in the taking of decisions of criteriums using of exploration of mineral resources in the mining from Longing. The case of studies consists in the appraisal based on the geologic criteriums, social, geographic and environment however the condition of health and security.

In the use of hierarchic analysis methods AHP, The main goal of proposal hierarchy and in order to produce suitable condition to do the operation and be flexible to the available infraestratructure, letting to reach a maximum to minor productivity, and aiming at sustainability.

And the multicriterium method adopted has been the AHP Analytic Hierarchy process, according to the flexibility as applied to the problem of the taking of decisions.

It was analyzed the potential impacts of the air pollution, degradation of ground fauna and human occupation. The costs were treated separately. In the end were made a technical analysis of the project.

KEY WORDS Selection, method of mining, method AHP, multicretiriums, taking of the decision.

Índice de Figuras

Esquema de um empreendimento mineral.....5
Metodo em Bancadas 11
Bancos em uma lavra em cava 12
Operações de lavra no método strip mining 14
Operações unitárias do método de lavra por tiras 15
Posição dos ETR na Tabela periódica de acordo com a IUPAC 18
Ciclo de produção mineira.....28
Estrutura Hierárquica genérica de problemas de decisão 31
O Projecto Longonjo NdPr está localizado na província do Huambo.....38
Mapa simplificado do Carbonatito do Longonjo 41
Modelo hidrogeológico do Complexo de Carbonatito do Longonjo 42
Neodímio e Praseodímio 43
Cronograma de 18 cavas para LOM de aproximadamente 18 anos 54
Desenho da escombreira 56
Movimentaçâo total de saída da Cava 57
Alimentação da planta de processamento por categoria de recurso 57
Tamanho do stock de longa duração por tipo de minério 58

Listas de Tabelas

Principais Países Produtores de Terras Raras – 2018 19

Comércio Exterior: Principais Produtos da Industria Extrativa Mineral em 2018 20

Comércio Exterior: Principais Produtos da Indústria de Transformação Mineral 20

Preços Médios em 2016, 2017 e 2018 21

Resumo dos dados do exercício de estimativa de recursos 23

Estimativa de Recursos Minerais Totais, com teor de corte de 0,1 % NdPr 25

Estimativa de Recursos Minerais, na zona alterada, com teor de corte de 0,2%NdPr ...26

Recomendações Preliminares de Desenho de Taludes nas cavas 27

Escala Fundamental de Saaty para julgamentos comparativos 32

Valores de CA, em função da ordem da Matriz 34

Condições do VLA 36

Condições da TIR 36

Matriz pareada do nível 2 46

Normalização 46

Obtenção de vector 46

Vector 47

Avaliação das alternativas em função dos critérios 47

Matrizes pareadas do subcritério do nível 3 48

Monstra as matrizes pareados do nivel 4 corresponde as alternativas de local 49

Auto-vector da matriz do nivel 2 50

Segunda matriz (nivel subcritérios) 51

Autovetores da matriz do nivel 4 51

Vector final de menor impacto ambiental 51

Taxas de processamento da optimização da mina 52

Parâmetro de desenho da mina 53

Inventário do planeamento da mina 54

Parâmetro de concepção da escombreira de estéreis 55

Requisitos de equipamento 59

Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos

Estimativa de Recurso Minerais (MRE)

Índice de Consistência (IC)

Razão de Consistência (RC)

Índice de Consistência aleatória (C.A)

Taxa Interna de Retorno (TIR)

Índice de Rentabilidade (IR)

Período de Retorno (PR)

Valor Liquido Actualizado (VLA)

Perioridade Média Local (PML)

Fluxo de Caixa (FC)

Cash-Flow (CF_t)

Investimento no ano t (T_t)

Autovalor Máximo ($\lambda_{máximo}$)

Número de ordem da matriz (N)

Número de ano útil do projecto (n)

Período de tempo em ano (t)

Poluição do Ar (PA)

Degração do Solo (DS)

Fauna (F)

Ocupação Humana (OH)

Soma das colunas da matriz (w)

Valor prioridade (v)

Capitulo I . GENERALIDADE

1.1 Introdução

Seleção do método de lavra é um dos principais elementos em qualquer análise econômica de uma mina e sua escolha permite o desenvolvimento da operação. Numa etapa de maior detalhe, pode constituir-se como fator preponderante para uma resposta positiva do projecto. A escolha imprópria tem efeitos negativos na viabilidade da mina.

A maioria das minas utiliza mais de um método de lavra na sua operação. Um dado método pode ser mais apropriado para uma zona do depósito, todavia em outras partes seu emprego pode não ser a melhor opção.

A aplicação de um método de análise formal e rigoroso matemáticamente pode contribuir para a definição objectiva do problema, a possibilidade de comunicação do problema em uma linguagem universal, a contribuição na tomada de decisões coletivas e a possibilidade de realizar análise de sensibilidade, além de indicar os aspectos a serem aperfeiçoados na continuidade do processo de planejamento.

Um dos métodos que tem aceitação nos processos de análise multicritérial é o método de análise hierárquica ou **AHP** (Analytic Hierarchic Process), que tem sido utilizado desde sua criação por Thomas Saaty em 1977 em múltiplos problemas de natureza quantitativa e qualitativa. A nível mundial tem-se conhecimento da aplicação deste método em diversos sector, também na mineração.

O método de análise hierárquica é de fácil aplicação do ponto de vista matemático; por outro lado, a utilização adequada requer um conhecimento profundo do problema e do próprio método, o que justifica o número de pesquisa citadas em diferentes áreas do conhecimento.

Neste trabalho é desenvolvida a aplicação do método de análise hierárquica na seleção de critérios e subcritérios de modo a minimizar os impactos ambientais na exploração mineira.

1.2 Formulação do Problema

- Escolha de um métodos de lavra a céu aberto e identificar os passos para a execução dos mesmos na exploração dos depósitos minerais.

1.3 Objectivos Geral

- Propor um método de multicritérios para a escolha da tecnologia de exploração a céu-aberto na mina do Longonjo .

1.3.1 Objectivos Específicos

- Identificar os critérios relevantes para a escolha da tecnologia de exploração na mina do Longonjo ;
- Coletar e analisar dados pertinentes para cada tecnologia de exploração a céu aberto , e avaliar o desempenho de cada opção em relação aos critérios estabelecidos;
- Propor uma escolha recomendada com base nos resultados de análise comparativa.

1.4 justificativa

Este trabalho é de extrema importância para qualquer indivíduo que o tenha , pois se trata da seleção de método de lavra, é bem sabido que a seleção de um método de lavra ele vem facilitar a extração do bem mineral e com a máxima segura e também garantir menos custo na extração e mais lucro no beneficiamento, diante desta informações sugeriu-se os métodos multicritérios para análise de decisão na adoção de AMT. De acordo com os autores, os modelos decisórios de multicritérios são baseados em: (1) identificar os fatores de capacidade e (2) encontrar modelos matemáticos para descrever ou prescrever a melhor escolha.

Contudo, a pesquisa em torno do tema, será uma mais valia, na medida em que contribuirá para o enriquecimento não só de informações pessoais, sobre o tema, mas também, para acervo bibliográfico, para a comunidade académica.

1.5 Hipótese

- Há necessidade de conhecer , identificar os passos que ocorrem na seleção de métodos de lavra a céu aberto, e identificar os tipos de depósitos de modo a facilitarem na seleção dos métodos, saber quando e onde utilizar tendo em conta os factores econômicos, sociais, geográficos e até mesmo geofísicos.

1.6 Metodologia de Trabalho

Este trabalho envolveu uma pesquisa Bibliográfica. Os dados ou as informações foram objecto de uma ampla busca, em seguida, os textos foram colectados, organizados, analisados, interpretados e acrescentado ao trabalho. A metodologia bibliográfica refere-se á busca de informações suficientes para o desenvolvimento do trabalho. Pesquisas podem ser agrupadas em dois tipos de procedimentos: documentação indirecta e documentação direita. Portanto, neste trabalho adoptou-se a técnica de documentação indireta , através da pesquisa bibliográfica de todos os assuntos discorridos.

1.7 Delimitação e Limitação do trabalho

Para que houvesse facilidades na realização da nossa pesquisa, quando ao tema resolvemos trabalhar apenas com dados adquiridos em bibliográfia e informações de alguns técnicos da indústria.

Quanto a limitações do nosso estudo, tendo em conta as técnicas utilizadas na colheita de dados e na falta de oportunidades por nossa parte em ter contacto directo com região em estudo, aconselhamos aos nossos leitores a não considerarem os resultados como um produto acabado, O trabalho pode servir apenas de aproximação para futuras pesquisas.

1.8 Estrutura do Trabalho

No primeiro capítulo é feita uma breve introdução sobre o trabalho, e é abordado sobe assuntos correspondentes a generalidades deste trabalho.

No segundo capítulo foi feita a revisão bibliográfica referente ao estudo para Escolha do método de Exploração, Método de Lavra a Céu-aberto, Relação Estéril- Minério, Componentes do Projecto, Método de analise Hierárquica do Processo (AHP), Limitações e críticas ao uso do AHP, Métodos de Avaliação Económica dos Projectos de Investimentos.

No terceiro capítulo foi apresentado a mina em estudo, que a mina do longonjo e localização e acesso, Clima, Topografia, Geologia e Gemorfológia, Motivação do projeto.

NO quarto capítulo foi apresentado Resultado e Discussão concerte a Aplicação do Método de Análise Hierárquica no Estudo de Caso, Definição de critérios e subscritérios, Avaliação da Viabilidade e Aplicabilidade Prática, Análise Comparativa, Análise de sensibilidade e Considerações de custos dos locais.

No quinto capítulo foi feita a Conclusões provenientes dos resultados obtidos.

No sexto capítulo foi feita a recomendações acerca do tema em estudo como proposta de futuro próximos.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Definição de termos e conceitos

Depósito: É a ocorrência geológica de minerais em formas relativamente concentradas.

Jazida: Concentração mineral, possível de ser aproveitada economicamente. Este conceito, dada a sua conotação econômica, pode variar no tempo, ou seja, algo que é econômico hoje pode não sê-lo no futuro, e vice-versa;

Mina: Área onde explora um bem mineral. Quando a jazida passa a ser aproveitada, ela se transforma em mina, podendo ser a céu aberto ou subterrânea. As minas a céu aberto podem ainda ser desenvolvidas a meia encosta, cavas, tiras ou em terraço;

Minério: Toda substância ou agregado mineral, rocha ou solo, que pode ser aproveitado tecnicamente;

Estéril: Rocha ou solo que ocorre dentro do corpo de minério ou externamente ao mesmo, sem valor econômico, que é extraído na operação de lavra para aproveitamento do minério. Também neste caso, tal como se aplica aos conceitos de jazida e minério, dada a sua conotação, o que é estéril em uma época pode representar minério em outra;

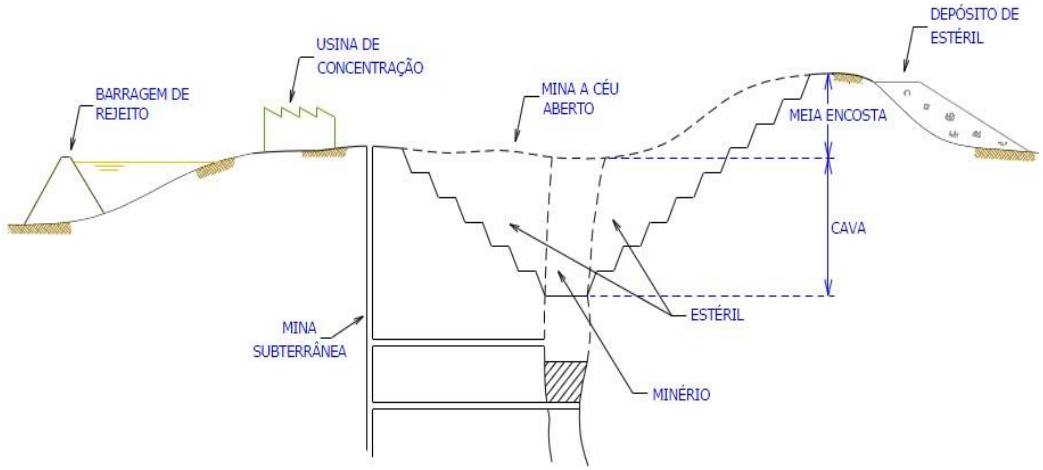
Encaixante: Diz-se das rochas que se situam externamente ao corpo mineral, na quais o mesmo se encaixou. Se a intrusão é inclinada, a rocha do topo é denominada capa e da base, lapa;

Rejeitos: Materiais que resultam como "sem valor econômico" no processo de concentração mineral. Em geral, exibem granulometria de areia até argila, tendo sido britados e moídos no beneficiamento mineral. Normalmente, são descartados das usinas de concentração na forma de polpa, uma mistura de sólido e água por uma barragem ou dique;

Usina: Instalações industriais onde os minérios são cominados e concentrados, onde é realizado o beneficiamento do minério. Nas usinas, os minérios podem ser concentrados por processos gravimétricos, que se valem das diferenças de densidades dos minerais, e/ou químicos, em que os mesmos são dissolvidos e depois precipitados ou recuperados;

Lavra: Diz-se da operação de extrair, da mina, o minério e o estéril, transportando-os para a usina ou para os locais de disposição escolhidos;

Cava: É a escavação a céu aberto em forma de uma cava (abertura no solo), com bancadas descendentes para a extração dos bens minerais;



A Figura 1: Esquema de um empreendimento mineral**, Fonte: (ABRÃO e OLIVEIRA, 1998)**

2.2 Estudo Para a Escolha do método de Exploração

Os métodos de exploração empregados para a lavra do depósito mineral são basicamente determinados pelas características do próprio deposito mineral e pelos limites impostos pela segurança, tecnologia, preocupações ambientais e economia.

Factores geológicos, como o mergulho, forma e volume do minério e da rocha encaixante, também, desempenham papel importante na escolha do método de exploração.

Do ponto de vista econômico, a exploração de uma jazida visa a retirada sistemática do elemento de interesse pelo método de lavra com maior retorno financeiro dos investimentos empregados.

Deste modo, a exploração de uma jazida envolve conceitos técnicos e econômicos. De forma geral, o método de exploração envolve um conjunto procedimentos e processos utilizados para a remoção da substância mineral útil contida numa fracção da jazida. Este conceito é mais abrangente que o método de desmonte, pois envolve uma série de informações

sobre a jazida, como: domínio dos terrenos; tipo de preparação; posição das vias de transporte; forma, extensão, orientação e sentido de progressão da frente de lavra; formas de escoamentos e transporte do material lavrado; colocação de escoamentos e sustentação das escavações; desenvolvimento na horizontal e na vertical da exploração.

Já o método de desmonte, é definido como o conjunto de processos utilizados para proceder ao arranque do minério do maciço. Trata-se de um conceito mais restrito, pois engloba apenas o conjunto de operações necessárias á extração da substância útil da frente de trabalho.

A seleção do método de lavra pode ser dividida em duas fases:

1) Avaliação das condições Geológicas, sociais e ambientais para permitir a eliminação de alguns métodos que não estejam de acordo com os critérios desejados.

2) Escolha do método que apresente o melhor custo, sujeito ás condições técnicas que garantam uma maior segurança para a exploração de recursos minerais, sendo ele o mais otimizado possível.

Para que se tenha um resultado bem-sucedido de um projeto de mineração, o método de lavra escolhido deverá ser o mais otimizado possível. Os fatores que influenciam na seleção dos métodos de lavra são muitos, tanto quantitativos como qualitativos. Para a avaliação e escolha do melhor método de lavra, alguns critérios devem ser levados em consideração, tais como:

- **Considerações Geológico**

As características físicas do depósito limitam as possibilidades de aplicação de alguns métodos de lavra. A profundidade e a extensão do capeamento fornecem uma indicação preliminar sobre a aplicabilidade de técnicas de lavra a céu aberto.

Os engenheiros de minas costumam distinguir seis tipos de depósitos minerais como mais importantes.

i. Maciços: Corresponde a um depósito de considerável extensão lateral e vertical e cuja mineralização (minério) costuma ser uniformemente distribuída;

ii. Camada ou Tabular: Depósito mineral paralelo à estratificação, geralmente em rochas sedimentares, extensos lateralmente e de espessura limitada. Alguns depósitos dessa natureza são os carvões, evaporitos, fosforitos, as bauxitas amazônicas, etc;
iii. Veios delgados: Correspondem a zonas ou faixas mineralizadas tipicamente extensas, delgadas (abaixo de 3 metros) e geralmente com alto mergulho. Muitas vezes o contacto de minérios com as encaixantes é brusco, outras vezes gradacional. Grande proporção de depósitos de ouro e minerais metálicos constituem-se em veios delgados;
iv. Veios Espessos: Semelhantes aos veios delgados, contínuos com espessura mineralizada superior a 3 metros; Lentes e Bolsões: Correspondem a corpos de minérios isolados que se fazem presentes sob a forma de lentes de várias dimensões ou concentrações localizadas de minerais. Tais corpos podem estar dobrados ou retorcidos. São formas mineralizadas que predominam em depósitos de ferro, chumbo, zinco e, eventualmente em depósitos de cobre e sulfetos polimetálicos, etc;
v. Placer: Depósito mineral na superfície ou próximo da mesma, usualmente tabular e por vezes com expressão razoável, provenientes de erosões de outros minerais, podendo conter partículas de minerais preciosos (ouro, platina, diamante) e minerais resistentes – resistatos – como rutilo, monazita, granada, etc.

O mergulho do corpo mineral é um fator importante que influência tanto na seleção do método como na escolha dos equipamentos, podendo ser definidos como: Suave (Horizontal a 20°); Médio (20° a 50°); Íngreme (50° a Vertical).

A espessura do depósito e a sua forma também permitem a exclusão de determinados métodos, sendo estes classificados como: Estreito (< 10 m); Intermediário (10 m a 30 m); Espesso (30 m a 100 m); Muito Espesso (> 100 m).

- **Considerações Tecnológico**

O método de lavra a ser escolhido também é condicionado pelas características do minério a ser explorado, sendo o teor e a distribuição espacial as principais. De acordo com os limites da mineralização geralmente não são identificáveis, é possível obter várias reservas em função de diferentes teores de corte.

O valor do produto e o custo de extração determinam a quantidade e o teor a ser lavrado. Depósitos com alto teor, estreito e de baixa tonelagem, indicam métodos de baixo investimento e mão de obra intensiva, de forma que, o tamanho do depósito torna-se directamente proporcional à sua mecanização.

Quando o depósito possui contornos irregulares, pode ser necessária a escolha de um método mais flexível, para permitir a implementação de mudanças rápidas, de forma a possibilitar uma melhor disposição das frentes, resultando em uma maior recuperação do minério.

As características de um minério relacionadas com as propriedades permeabilidade, deformabilidade e resistência, constituem a base geotécnica para a seleção do método de lavra, devendo ser consideradas no estágio preliminar do projeto.

Objectivo da avaliação geotécnica é prever o comportamento do terreno quando as escavações são executadas e como elas afetarão a segurança do projecto. Uma avaliação geotécnica pode iniciar-se com a aplicação de métodos geofísicos e o mapeamento regional, no intuito de analisar a distribuição e o posicionamento dos corpos geológicos e suas características físicas e tecnológicas.

- **Segurança**

Uma vez escolhido o método, este deve ser seguro e produzir condições de trabalho adequadas aos funcionários, segurança e estabilidade durante a vida útil da mina, minimizar os impactos causados ao meio ambiente, e ser flexível ás condições geológicas e á infraestrutura disponível, permitindo atingir uma máxima produtividade e um custo unitário reduzido.

- **Presença de Água Superficial ou Subterrânea**

Esta é uma das considerações mais óbvias, pois, em se tratando de estabilidade, sabe se que a água é um potencial “inimigo” de qualquer empreendimento de engenharia. Se lagos e rios que cobrem o corpo do minério não podem ser drenados, os métodos de lavra que resultarão em subsidência na superfície (lavra a céu aberto) devem ser desconsiderados.

Caso haja a presença de água fluindo em uma mina, deve-se prover a drenagem da mesma e, além da drenagem, deve existir o cuidado suplementar no tratamento da água antes do seu esgotamento, visando a não poluição do meio ambiente.

- **Considerações Ambientais**

No setor mineral existem alguns impactos ambientais inerentes a essa actividade, de forma que, tais impactos devem ser absorvidos nas operações de Controle Ambiental e o seu planejamento direcionado a cada caso.

Os impactos ambientais geralmente ocorrem principalmente na fase de lavra dos recursos minerais. Esses efeitos são percebidos na abertura de cavas, na supressão vegetal, escavações, mudança do visual, movimentação de massas, uso de explosivos, ruídos, poeiras. Tais efeitos são geradores de poluição no local e nas regiões vizinhas.

Os métodos de lavra a céu aberto resultam em maiores impactos ambientais, provenientes principalmente do maior volume de material manuseado, que exige a implantação de grandes bota-foras alterando a topografia da região. É essencial que o método de lavra a ser escolhido seja adequado às normas ambientais do país onde será implementado um empreendimento mineral.

- **Considerações Econômicas e Financeiras**

Feitas as considerações dos aspectos técnicos envolvidos no processo de seleção do método de lavra, realiza-se a análise de critérios econômicos e financeiros. A importância destes critérios é fundamental na escolha do método, visto que o mais adequado é aquele que apresente o menor custo unitário.

Os custos de cada método devem ser definidos e a forma de determiná-los é através da apropriação de seus componentes individuais. A decisão final sobre a escolha do melhor método deve ser baseada em mais de um critério de avaliação econômica. Deve também ser considerada a situação financeira da empresa, tendo em vista a necessidade de grande injeção de capital em uma atividade sujeita a riscos elevados.

- **Considerações Sociais e Geográficas**

Os métodos de lavra dependem directamente dos equipamentos disponíveis. Em geral os métodos de alta produtividade necessitam de equipamentos mais sofisticados que requerem mão de obra especializada na sua operação e manutenção. A mineração em regiões remotes raramente desperta o interesse de operários qualificados, além de dificultar a sua permanência.

Isso tem influência directa nos custos e na produtividade. Um outro problema é exigir serviço adequados de assistência técnica dos fabricantes de equipamentos.

A mineração pode produzir um maior bem-estar social em regiões pouco desenvolvidas, empregando trabalhadores menos qualificados. Nesse caso, os métodos de lavra são do tipo trabalho-intensivo utilizando-se equipamentos de fácil operação.

Em situação especiais, os parâmetros sociais podem ser os fatores decivos na forma de lavra a céu aberto.

A localização geográfica do depósito afecta a escolha de operação, já que ela depende do desenvolvimento tecnológico. Uma operação em grande escala exige infraestrutura adicional, enquanto uma de pequena escala pode ser feita por um programa sazonal de operação.

Contudo, independentemente do método escolhido, ele deve possuir as seguintes condições:

- Ser seguro e produzir condições ambientais adequadas ;
- Reduzir os impactos ambientais;
- Permitir condições de estabilidade durante a vida útil;
- Assegurar máxima recuperação do minério;
- Ser flexível a máxima produtividade ;
- Atingir a máxima produtividade, operações de mineração .

As operações de lavra são os processos realizados para extrair o minério do local de seu jazimento e levá-lo para ser beneficiado, estas operações são dividas em:

- Perfuração ;
- Desmonte ;
- Transporte .

2.3 Planejamento de lavra

O planejamento de lavra é o processo de planejar e organizar a extração de minerais de uma mina, de maneira eficiente e segura. Isso inclui a determinação do arranjo geral (layout) da mina, a escolha de equipamentos de mineração apropriados e a programação da produção. O objetivo do planejamento de lavra é garantir que a mina esteja operando de maneira eficiente e rentável, minimizando os riscos para os trabalhadores e o meio ambiente (KUCHTA, 2013).

Pelo motivo de o empreendimento mineiro movimentar consideráveis massas de material e modificar consideravelmente o ecossistema em que está inserido, planejá-lo torna-se um processo complexo que envolve várias etapas e considerações. Algumas das principais etapas envolvidas incluem as seguintes:

1) Estudo de viabilidade: o primeiro passo é avaliar se a mina é viável economicamente e ambientalmente. Isso envolve a análise do tipo de minério presente, a qualidade e a quantidade disponível, os custos de produção e os preços de mercado.

2) Mapeamento do depósito: o próximo passo é mapear o depósito de minério, incluindo a localização, o tamanho e a profundidade. Isso ajuda a determinar a melhor maneira de extrair o minério de maneira eficiente.

3) Seleção de equipamentos: depois de determinar o layout da mina, é necessário escolher os equipamentos de mineração adequados para extrair o minério. Isso inclui escolher equipamentos que sejam adequados para o tipo de minério presente e que atendam às necessidades de produção.

4) Programação da produção: depois de selecionar os equipamentos, é necessário programar a produção para garantir que a mina esteja operando de maneira eficiente e que se atenda às metas de produção. Isso inclui determinar a quantidade de minério a ser extraída a cada dia, semana ou mês.

O planejamento deve envolver ainda considerações de segurança e meio ambiente, para garantir que a mineração seja realizada de maneira responsável e sustentável. Isso deve incluir medidas para proteger os trabalhadores, minimizar o impacto ambiental e garantir a recuperação e reabilitação dos locais de mineração após o término da operação.

O planejamento de lavra baseia-se em planos diferenciados pelas suas finalidades e naturezas e em termos gerais; esses planos se classificam em planos a longo, médio e curto prazos. (CURI, 2014).

1) Plano de longo prazo: é o plano mais estratégico. Segundo CURI (2014), a sua elaboração visa aos objetivos de cubar a reserva tecnicamente lavrável; determinar o estéril a ser removido e, consequentemente, a relação estéril/minério; definir os limites da cava final, impedindo, assim, a construção de obras permanentes dentro desses limites; e prever as vias de

acesso que se fizerem necessárias. Além do cálculo de reservas, o planejamento de longo prazo deve abordar também os projetos de pit final e pilhas de estéril, o sequenciamento de lavra e a seleção dos métodos de lavra com o correspondente dimensionamento da frota de equipamentos.

2) Plano de médio prazo: desenvolve planos que determinam quando cada setor da mina será lavrado e quais os efeitos disso nos resultados anuais (SILVA, 2021). Ainda nesse aspecto, Smith & Wicks (2014) estabelecem que o planejamento de médio prazo é útil para operações ativas que precisam lavrar as camadas de estéril que estão sobrejacentes ao minério, uma vez que este planejamento pode ser utilizado para definir metas de produção anuais, que serão definidas posteriormente de formas trimestrais e mensais.

3) Plano de curto prazo: o planejamento de curto prazo destina-se a definir as ações a serem tomadas no dia-a-dia da mina, de modo que estas ações culminem no cumprimento de metas estabelecidas pelos planos de médio e longo prazo. Ou seja, os esforços de curto prazo são direcionados sob o ponto de vista operacional de mina, compreendendo as condições e necessidades para que equipamentos, geometria de mina, pessoal e sistemas envolvidos no processo produtivo alcancem adequadamente os objetivos preestabelecidos (SILVA, 2021).

2.4 Lavra a Céu Aberto e Lavra Subterrânea

O processo de extração mineral abrange etapas de perfuração e desmonte, a fim de fragmentar a rocha, seguidas do seu carregamento e transporte, muitas vezes também da cominuição do minério para atingir uma granulometria adequada (Nilson, 1982).

Tal atividade pode ser executada de diversas maneiras, convencionalmente há dois métodos básicos, mineração em superfície e subterrânea (Bakhtavar, E., Shahriar, K., & Oraee, K. , 2009). Uma lavra a céu aberto (Open Pit) é uma escavação ou corte feito na superfície do solo com o propósito de extrair o minério, sendo exposta a superfície durante a duração da vida da mina (Fourie, 1 ^{0}02). A exploração mineral na qual as operações são realizadas abaixo da superfície da terra é denominada mineração subterrânea (Hustrulid, ^{1}982).

A lavra a céu aberto, é largamente mais utilizada devido a diversos fatores tais como: recuperação, controle de teor, flexibilidade da operação, segurança e ambiente de trabalho (Fourie, 1992). No entanto existem alguns depósitos que por suas características geológicas.

geográficas e a quantidade de estéril a ser removida torna desvantajoso esse método impondo um método subterrâneo de extração do minério.

2.4.1 Principais Métodos de Lavra a Céu Aberto

A lavra a céu aberto, também chamada de lavra em superfície, apresenta alguns métodos, sendo a cava (open pit) e a lavra em tiras (strip mining) os mais comuns. Para sua definição devem ser levadas em conta a disposição da reserva e a espessura da camada de cobertura.

2.4.1.1 Lavra em Cava (Open pit mining)

Na lavra em cava todo material de cobertura é removido e transportado para uma área de depósito, de maneira a descobrir o minério. Ambos, remoção do material de cobertura e minério de interesse são conduzidos na forma de bancadas. Um depósito profundo ou espesso, típico de minérios metálicos requerem diversas bancadas e assemelha-se (grosseiramente) a um formato piramidal ou cônico invertido, onde cada aprofundamento de bancada possui um raio menor, pois devem ser considerados fatores de estabilidade de taludes que impõem condições de segurança para que haja o aprofundamento da cava. A figura 2 representa a configuração da lavra em cava.

Figura 2: Método em bancadas, **Fonte:** Revista mineração (2018)

De outra maneira, uma única bancada pode ser suficiente para lavrar um depósito de carvão, por exemplo, e seu material de recobrimento. O fato de termos diversas bancadas

expostas garantem também a existência de diversas frentes de lavra permitindo que seja feita uma operação contínua e sustentável, além de permitir flexibilidade de operações. Após o avanço da descobertura para exposição do minério, as operações de remoção de estéril e lavra de minério são coordenadas de maneira que os lucros irão pagar pelos custos, ao mesmo tempo em que os objectivos de longo prazo são respeitados.

As bancadas individuais são projectadas de maneira a acomodar os equipamentos de movimentação de material utilizados para lavrar o depósito. A altura da bancada é limitada pelo alcance da escavadeira. A largura de bancada deve ser suficiente para acomodar o material fragmentado a partir do desmonte além de possuir espaço de manobra suficiente para equipamento de escavação e transporte. Os ângulos de talude são determinados por características intrínsecas do material escavado (mecânica de rochas e mecânica de solos). Pela sua própria natureza, a operação em cava envolve o transporte de quantidades moderadas a grandes de material estéril e minério para fora da cava, a distâncias relativamente longas e a declividades elevadas. Esses requerimentos afetam a configuração da cava, a seleção dos equipamentos e as razões de produção requeridas. Conforme monstra a figura 3.

Figura 3: Bancos em uma lavra em cava, **Fonte:** Revista mineração (2018)

Devido ao fato de teores de minério serem normalmente baixos, a produtividade de equipamentos deve ser elevada e as razões de descobertura devem ser mantidas a níveis modestos (normalmente de 0 a 5 m^3/ton.). O constante desenvolvimento tecnológico dos equipamentos com a redução progressiva dos custos operacionais tem permitido que esse limite tenha sido ultrapassado e cada vez maiores profundidades têm sido atingidas em lavra a céu aberto. Os maiores passos no desenvolvimento do método são os seguintes:

- Limpeza do terreno;
- Locação de pilhas de estéril e barragens de rejeito;
- Estrutura de apoio deve estar locada nas proximidades da cava (ponto de descarga, pilhas de estoque, planta de beneficiamento, etc);
- Seleção e aquisição de equipamentos conforme a necessidade;

- Descobertura inicial para exposição do minério.

Combinação de descobertura com lavra propriamente dita do minério de acordo com os planos de custo e longo prazo definidos.

O estabelecimento da primeira bancada e de cada bancada posterior no estéril ou no minério é sempre uma operação crítica. O ponto de entrada, ou o corte inicial é chamado de corte pioneiro ou corte caixão (do inglês box cut). Em termos de consumo de explosivos, se esse for necessário, o rebaixamento da superfície demanda sempre uma quantidade maior de explosivos do que as quantidades e razões de carga utilizadas para a operação normal de desmonte de rocha em bancada. Dentro do ciclo de operações podemos distinguir três principais:

Remoção de estéril – o processo de remoção de estéril envolve a movimentação de material para exposição do corpo mineralizado bem como a movimentação de material com teores abaixo do teor econômico (teor de corte). As operações unitárias envolvem perfuração e desmonte (se for necessário o uso de explosivos, senão desmonte mecânico pode ser uma alternativa), escavação e carregamento.

Lavra do minério (ou material de interesse) – o ciclo de operações é muito semelhante ao ciclo de operações empregado no processo de remoção de estéril. Quanto mais semelhante for a rocha estéril da rocha hospedeira da mineralização mais será a similaridade das operações de remoção de estéril e lavra de minério, de maneira que possa ser empregada a mesma frota de equipamentos e técnicas de desmonte, escavação e transporte para ambos. Adiciona-se a esta operação, para casos onde a profundidade da cava torna-se fator significativo o transporte vertical ou içamento, para vencer com maior eficiência a grande diferença de nível entre os níveis inferiores da cava e a superfície, onde está instalada a planta de beneficiamento, evitando custos excessivos com a aquisição de equipamentos de transporte (caminhões por exemplo) em excesso para suprir a elevada distância de transporte existente.

Operações auxiliares – dentre as operações auxiliares estão envolvidas uma extensa gama de áreas que demonstram a interação entre as diversas áreas da empresa na complementação das operações de lavra propriamente ditas, conforme apresentadas nos itens anteriores:

- Saúde e segurança;
- Controle e monitoramento do meio ambiente;
- Controle de terreno;
- Abastecimento de energia e água;
- Gerenciamento de águas superficiais e subterrâneas;
- Disposição de estéril;
- Suprimento de material de operação;
- Manutenção e reparo;
- Iluminação;
- Sistema de comunicação e despacho;
- Construção e manutenção de acessos e estradas;
- Transporte de pessoal.

Dependendo da natureza do corpo mineralizado, condições geológicas e geotécnicas e fatores tecnológicos, variações do método são possíveis, com as diferenças sendo principalmente associadas com o projecto de cava e equipamentos de lavra, pois a sequência básica de desenvolvimento e ciclo de operações são muito similares.

2.4.1.1.1 Vantagens e Desvantagens método de Lavra em cava

Entre as principais vantagens, podemos citar que são métodos de lavra que podem ser aplicados a praticamente qualquer tipo de mineralização e corpo mineral, são métodos que permites elevado nível de mecanização e, portanto, produtividades elevadas podem ser obtidas, principalmente pela escala de produção, apesar dos métodos serem empregados também em operações de pequeno porte.

Os métodos são relativamente flexíveis, podendo variar a escala de produção conforme demanda, ainda que incorra em variação de investimentos no caso de aumento ou imobilização de capital em caso de redução de produção. Em termos de aproveitamento do depósito praticamente a recuperação fica próxima de 100%, à exceção das áreas vizinhas aos limites de cava econômica, com baixa diluição. São métodos que pela sua própria natureza, são menos agressivos que os métodos subterrâneos evitando a exposição aos riscos inerentes à esse tipo de operação.

Como desvantagens dos métodos, podemos citar que é limitado pela profundidade, onde o limite tecnológico estabelece a limitação do equipamento e limites econômicos determinam a relação estéril-minério máxima. Pela característica de mecanização e razão de produção elevada, é um método que exige elevados investimentos de capital. O fato de ser uma operação a céu aberto exige que seja feita uma recuperação da área degradada, o que incide em aumento dos custos operacionais. Para que se justifiquem os baixos custos de produção pelo efeito escala, deve se tratar de depósitos de grandes dimensões ou de elevados teores. A estabilidade de taludes é fundamental para a continuidade das operações ao longo da vida útil da mina, assim manutenção de bancadas e monitoramento periódico dos taludes deve ser uma constante ao longo do projecto. O gerenciamento de águas e drenagem da cava são essenciais para o avanço em profundidade, principalmente em regiões de alta precipitação ou de lavra abaixo do nível freático. Deve ter disponibilidade de áreas para disposição de estéril.

2.4.1.2 Lavra em Tiras (Strip mining)

A lavra por tiras (strip mining) é realizada principalmente em jazidas de camadas horizontais (stratabound), com espessura de minério menor que as grandes dimensões laterais.

O método de lavra por tiras é semelhante às operações de lavra por bancadas, mas se diferenciam principalmente pelo fato de o capeamento não ser transportado para uma pilha de estéril, mas ser depositado diretamente nas áreas adjacentes já lavradas.

As condições para a aplicação do método de lavra por tiras são:

- Resistência do minério e da rocha encaixante: qualquer;
- Forma do depósito: tabular ou em camadas;
- Mergulho do depósito: qualquer, preferencialmente horizontal ou de baixo mergulho;
- Tamanho do depósito: grande extensão lateral, contínuo e de espessura moderada;
- Teor do minério: pode ser baixo se outras condições forem favoráveis;
- Uniformidade do minério: uniforme ou quase uniforme;
- Profundidade: sub-superficial (raso).

A lavra em tiras ocorre por meio de uma série de cortes longos e paralelos com alta relação comprimento/largura. A largura dos cortes é função do tamanho do equipamento usado e pelo fato do manuseio do material estéril ser feito por apenas um tipo de equipamento faz deste método o de maior produtividade e menor custo unitário dentre os de métodos a céu aberto.

A remoção de estéril ocorre sequencialmente até que a camada de minério seja exposta com o volume de material movimentado em cada corte sendo depositado na tira anterior na qual a remoção do minério já foi concluída, como mostra a Figura 4.

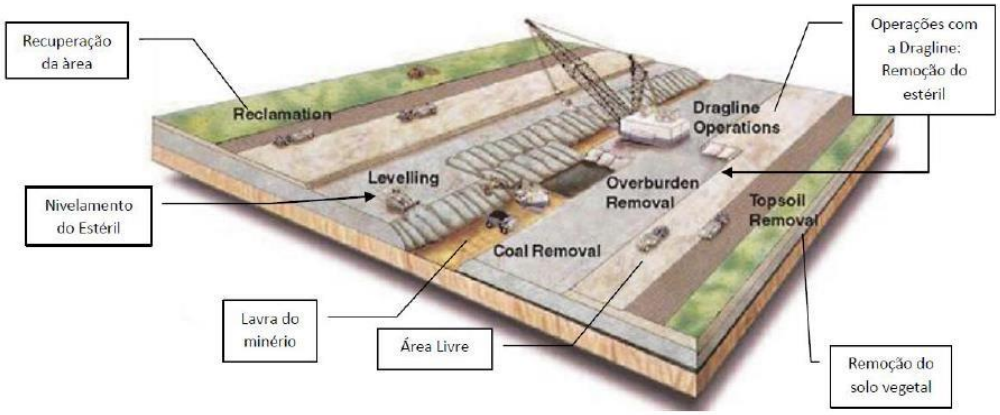


Figura 4: Operações de lavra no método strip mining, **Fonte:** RODOVALHO, 2014

Por conciliar as operações de extração mineral e disposição de estéril evitando a ocupação de novas áreas e os impactos ambientais decorrentes, o método de lavra em tiras é considerado um dos mais corretos sob a óptica ambiental.

As operações unitárias da lavra por tiras são supressão vegetal, remoção do solo orgânico, decapeamento, perfuração, desmonte de rocha (com ou sem explosivo), carregamento e transporte. Não necessariamente todas as jazidas utilizam todas essas etapas. Na Figura 5 podemos ver algumas das operações unitárias da lavra em tiras.

Figura 5: Operações unitárias do método de lavra por tiras**. Fonte:** RODOVALHO, 2014

Algumas vantagens da lavra por tiras são:

- Mais alta produtividade;
- Custo de lavra baixo (custo relativo = 10%);
- Uso de grandes equipamentos;
- Produção em larga escala;
- Pouco intensivo em mão-de-obra;
- Cadência flexível;
- Mão-de-obra não especializada, exceto alguns operadores chaves (perfuratriz, dragline, bucket-weel);
- Permite alta estabilidade dos taludes;
- Não transporta o capeamento;
- Segurança e higiene satisfatórias.

E entre as desvantagens do método é possível citar:

- Limitado pela profundidade (geralmente até 90 m);
- Recuperação ambiental requerida extensa, o que gera grandes despesas;
- Sujeito a condições climáticas;

- Limites maiores para remanuseio;
- Limitado pela relação estéril/minério;
- Grande investimento de capital;
- Produção dependente de um só equipamento;
- Necessita de operações sincronizadas;
- Mais adequado a grandes jazidas.

2.5 Relação Estéril- Minério

O parâmetro conhecido como relação estéril minério é universalmente utilizado e representa a quantidade de material não econômico que deve ser retirado para descobrir uma unidade de minério (Hartnan, 1992).

$$\mathrm{RG} = \frac{\text{Quantidade de Estéril removido}}{\text{Quantidade de minério recuperado}}$$

Normalmente essa relação é expressa em m^3/m^3 ou t/t, com variações para depósitos de carvão que normalmente é expresso em m^3/t.

Para que se obtenha uma relação estéril minério são necessários alguns estudos geotécnicos em que são determinados o ângulo geral de talude em uma cava a céu aberto, ou o desenvolvimento necessário para se liberar um realce em uma mina subterrânea. Tal relação pode ser utilizada como um método de análise da cava ótima em uma mina a céu aberto.

Tendo sido determinada a cava final ótima e a relação estéril-minério, o planejamento de mina pode ser executado. As três formas econômicas básicas aplicando a relação estéril-minério global em mineração a céu aberto de acordo com Curi, (2010) são:

1 .Método de retirada descendente do decapeamento total

Esse método requer que cada banco de minério seja minerado em sequência e que todo o estéril em particular desse banco, seja removido até os limites da cava ótima. As vantagens desse método são: cria espaço suficiente para os trabalhos de lavra, o acesso ao minério é feito pelo banco subsequente, todos os equipamentos estão no mesmo nível. É bastante utilizado na lavra com auxílio de correias em bancadas. Desta forma, reduz-se a diluição do minério nos

bancos, permitindo uma lavra mais seletiva. O posicionamento dos equipamentos é mais estável. A desvantagem primária desse método é que os custos são antecipados nos anos iniciais, praticando-se alta relação estéril-minério, quando benefícios são necessários para o pagamento do investimento ou retorno de capital.

2. Método da diminuição da relação estéril-minério.

Nesse método a remoção do estéril somente é praticada em função da necessidade de liberar o próximo minério a ser lavrado. Os trabalhos nos taludes de estéril podem permanecer conforme os taludes gerais da cava final, ou poderão ser mais suaves. Usualmente podemos inserir as chamadas “recorrências” para se evitar a restrição de áreas da cava, ou dificuldades de desenvolvimento da mina provocada pela existência de bancos a serem retomados. Esse método permite um máximo de benefícios nos primeiros anos reduzindo o risco de investimento em decapeamento antecipado do estéril. A desvantagem deste método é quando não se inserem as “recorrências”, a operação da mina é dificultada pelo grande número de frentes de lavra, em praças de produção estreitas.

3. Método da relação estéril-minério constante

Esse método tenta remover o estéril a uma razão aproximada da relação estéril-minério global. Os trabalhos de remoção de estéril se aprofundam com a evolução da lavra até que a mesma atinja a configuração de cava final. Esse método tem vantagens e desvantagens concomitantes, pois se convive com o compromisso de remover o estéril sem folgas, mantendo-se a média controlável, possibilitando o dimensionamento sem surpresas.

2.6 Terras Raras (TRs)

Os elementos Terras Raras (TRs) fazem parte de um conjunto de componentes químicos do grupo dos lantanídeos na tabela periódica (número atômico 57 a 71), além do escândio (21) e ítrio (39), e que apresentam propriedades físico-químicas semelhantes e podem ser divididos em leves (lantânio, cério, praseodímio e neodímio), médios (promécio, samário, európio e gadolínio) e pesados (térbio, disprósio, hólmio, érbio, túlio, itérbio, lutécio e ítrio). Os TRs

leves são encontrados em minerais de monazita e bastnasita, enquanto os Terras Raras pesados são encontrados na xenotima e nas argilas de adsorção iônica (Antoniassi 2017). Uma das principais características dos TRs é o elevado grau de semelhança, o que dificulta a complica na fragmentação dos lantanídeos para a obtenção dos elementos individuais. Isso se deve ao fenômeno conhecido como contração lantanídica, que mostra a diminuição gradativa dos raios atômicos e iônicos com o aumento do número atômico (Sousa Filho & Serra 2014).

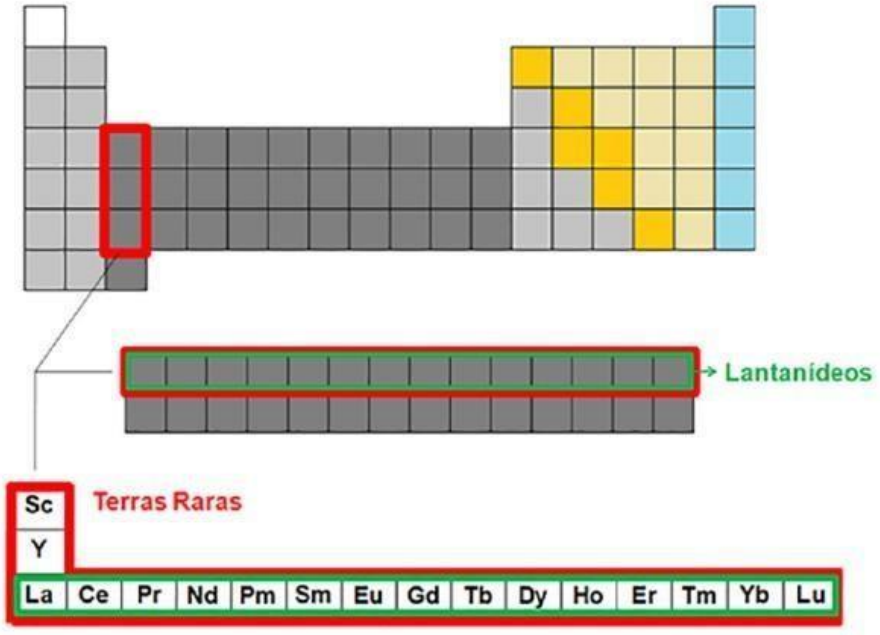


Figura 6 – Posição dos ETR na Tabela periódica de acordo com a IUPAC. **Fonte:** Adaptada de Braga (2014).

Os Terras Raras exercem um papel importante na indústria de produtos de alta tecnologia devido as suas propriedades químicas e físicas sendo utilizados em uma variedade de aplicações tecnológicas e estando intimamente ligadas à economia do país. A necessidade por TRs vem se acentuando devido ao crescimento na demanda dos metais e óxidos para aplicações em alta tecnologia e aproveitamento das propriedades químicas, catalíticas, magnéticas, óticas e elétricas, além de aplicações em setores tradicionais como o de petróleo, têxteis, agricultura e metalúrgico. Os TRs se tornaram imprescindíveis para a indústria de alta tecnologia como carros híbridos, turbinas eólicas, telefone celular, ímãs

permanentes, televisores de tela plana, lâmpadas fluorescentes compactas, lentes de alta refração, catalisadores de gases de escapamento, dentre outros.

Quanto aos Terras Raras, o presente projeto visa estudar o Neodímio Praseodímio (NdPr). Ambos são obtidos por um processo de troca iônica da areia monazítica, e através da eletrólise dos seus haletos. Uma das utilizações mais importantes é na construção dos ímãs, usados em diversos produtos como turbinas eólicas, motores elétricos, geradores e computadores. Os ímãs de neodímio são três vezes mais potentes que os ímãs comuns, e são considerados mais baratos de produzir, no entanto tornou-se um produto quase que cativo da China, pois ela concentra as maiores reservas globais de TRs.

A produção mundial de Elementos de Terras Raras (ETR), em 2018, conforme o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), foi de cerca 170 mil toneladas, correspondendo a uma redução de 27,5% em relação ao ano anterior, e distribuída conforme a tabela .

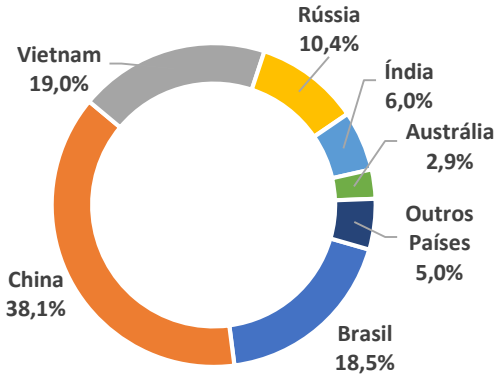
Tabela 1 : Principais Países Produtores de Terras Raras – 2018

País	Produção (kt)[(1)]	Participação (%)
Brasil	800	0,5%
China	120.000	71%
Austrália	20.000	12%
Estados Unidos	15.000	9%
Burma (Myanmar)	5.000	3%
Rússia	2.600	2%
Outros Países	4.400	3%
Total	**167.800**[(2)]	**100%**

Fonte: (1) USGS (excluindo Brasil), Brasil (ANM). (2) valores ajustados com dados do Brasil.

De acordo com o USGS, em 2018 as reservas mundiais de ETR totalizavam 115 milhões de toneladas, assim distribuídas: China (44 Mt), Vietnã (22 Mt), Rússia (12 Mt), Índia (6,9 Mt), Austrália (3,4 Mt) e demais países (5,8 Mt). As reservas do Brasil (contido em reserva medida) correspondem a 21,4 Mt .

2.6 .1 Reservas de Terras Raras – 2018



Em 2018, o saldo do comércio exterior (exportação- importação) do setor mineral (indústria extrativa mineral e indústria de transformação mineral) para produtos de Elementos Terras Raras (ETR) foi deficitário em US$ 9,7 milhões. Os principais produtos exportados e importados de ETR na indústria extrativa mineral e da indústria de transformação mineral são apresentados, respectivamente, nas tabelas 3 e 4. O valor total das exportações do setor mineral para produtos de ETR totalizou US$ 1,6 milhão, uma redução de 7,3% em relação ao ano anterior, distribuídos na Indústria de Extrativa Mineral (IEM), com US$ 400 mil (24,3%), e na Indústria de Transformação Mineral, com US$ 1,2 milhão (75,7%).

Os principais destinos das exportações de produtos de ETR, em relação ao valor total exportado, foram: França (57,5%), China (24,3%) e Espanha (10,4%). As importações de produtos de ETR do setor mineral somaram US$ 11,3 milhões, um aumento de 178,4% em relação ao ano anterior, predominantemente de produtos da Indústria de Transformação Mineral (ITM), sendo que não correram importações de produtos da Indústria de Extrativa Mineral (IEM). Os principais países de origem, em relação ao valor total importado, foram: China com US$ 6,9 milhões (60,8%), França com US$ 2,23 milhão (19,6%) e Japão com US$ 0,96 milhão (8,5%).

Tabela 2 : Comércio Exterior: Principais Produtos da Industria Extrativa Mineral em 2018

Principais Produtos Exportados	NCM	US$ (FOB)	% EXP
Minerais de metais das terras raras	25309030	400.000,00	100%
Principais Produtos Importados	**NCM**	**US$ (FOB)**	**% IMP**
Não ocorreu importação de produtos da IEM	----	----	----

Fonte: MDIC/COMEX STAT, ANM/COMEX MIN

Tabela 3 : Comércio Exterior: Principais Produtos da Indústria de Transformação Mineral em 2018

Principais Produtos Exportados	NCM	US$ (FOB)	% EXP
Ferrocerio e outras ligas pirofosfóricas, artigo de material inflamável	36069000	1.232.226,00	99,6%
Óxido cérico	28461010	4.800,00	0,4%
Principais Produtos Importados	**NCM**	**US$ (FOB)**	**% IMP**
Outros compostos dos metais das terras raras, de ítrio, etc	28469090	4.771.692,00	42,1%
Outras preparações catalíticas, tendo como substância ativa óxidos de terras raras	38159093	3.477.162,00	30,7%

Fonte: MDIC/COMEX STAT; ANM/COMEXMIM

2.6.2 PREÇOS

Os preços médios dos principais produtos de exportação e importação de terras raras do país, em 2018 são apresentados na tabela 4.

Tabela 4: Preços Médios em 2016, 2017 e 2018

Descrição NCM	Código NCM	Unidade	US$/t - 2016	US$/t - 2017	US$/t - 2018
Minerais de metais das terras raras (Exportação)	25309030	US$ 10^3 (FOB)/t	424,00	452,00	500,00
Ferrocerio e outras ligas pirofosfóricas, artigo de material inflamável (Exportação)	36069000	US$ 10^3 (FOB)/t	8.650,93	9.750,00	10.768,00
Outros compostos dos metais das terras raras, de ítrio, etc (Importação)	28469090	US$ 10^3 (FOB)/t	1.989,00	2.542,00	2.747,00
Outras preparações catalíticas, tendo como substância ativa óxidos de terras raras (Importação)	38159093	US$ 10^3 (FOB)/t	nd	nd	24.972,00

Fonte: http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral/103440. Data consulta: 20/02/2024

2.7 Componentes do Projecto

Desde a publicação do PFS, a Ozango tem investigado a viabilidade económica (IFS) de integrar o processamento *downstream* do concentrado de flutuação, em uma mistura de sulfato de terras raras, rica em Neodímio e Praseodímio (NdPr) , na Mina do Longonjo, a fim de fornecer matéria-prima para a Refinaria de Saltend, que irá processar ainda mais este material, transformando-o em o produto final.

Este estudo foi elaborado com base nos resultados:

- Um programa de perfuração de 8.000m resultando na publicação de uma Estimativa de Recursos Minerais (MRE) actualizada, divulgada em 14 de Setembro de 2020;
- Trabalho da planta piloto na amostra a granel de 94t de material que se espera que seja representativa da alimentação da planta do Longonjo nos primeiros anos;
- Trabalho de ensaios metalúrgico no concentrado produzido pelo programa da planta piloto, para investigar a optimização da metodologia de processamento hidrometalúrgico do concentrado em sulfato;
- Trabalho de engenharia de detalhe associado ao ;
- Estimativas actualizadas do capital do projecto e dos custos operacionais.

Com base nos resultados deste Estudo, uma decisão de investimento em relação ao Projecto Longonjo deverá ser tomada pela Administração da Pensana no primeiro semestre de 2022, sujeito a financiamento, iniciar a construção do Projecto Longonjo no segundo semestre de 2022 e atingir a primeira produção de concentrado em meados de 2024.

É proposta uma mina de terra raras (Neodímio - Praseodímio) a céu aberto, pouco profunda, com uma planta de processamento de mineiro e produção de concentrado (lavaria) e de uma Refinaria para o processamento do concentrado, e a infraestrutura associada para a operação da mina. O tempo de vida útil da mina é actualmente estimada em mais de 18 anos a uma taxa de processamento de 1,5 milhões de toneladas secas de minério por ano. Um produto mineral de alta qualidade, até 46 000tpa, deverá ser produzido no local e transportado para o desvio ferroviário do Longonjo, na linha férrea de Benguela, localizada a 4 quilómetros a norte do projecto, seja em estradas existentes ou através de uma estrada nova dedicada. O produto será então transportado por caminho-de-ferro até ao Porto do Lobito para exportação, para a Refinaria de Saltend, sediada em Hull, Reino Unido.

Os principais componentes do projecto incluem:

- Stock de minério ;
- ROM pad (plataforma de minério bruto);
- Escombreira (deposito de rochas não mineralizadas;
- Circuito de britagem e moagem;
- Planta Concentradora (Lavaria) - Instalação de processamento com processo de flutuação para produzir um concentrado mineral de alta qualidade;
- Refinaria MRES - para produzir carbonato NdPr de alta qualidade;
- Barragem de rejeitados para os resíduos da planta de processamento e da planta de ;
- Alojamento e escritórios;
- Campo de furos artesianos;
- Estação de bombagem do rio e tubagem;
- Acesso rodoviário e ferroviário (ramal ferroviário do Longonjo) (*sob investigação*);
- Novo desvio ferroviário do CFB Rail para o local da mina (*sob investigação*);
- Subestação eléctrica (ESIA em separado); e
- Linha eléctrica 220 kv,60MW da subestação da Dango para o local da mina.

2.7.1 Perfuração

As estimativas de Recursos Minerais foram preparadas usando dados adquiridos em campanhas de perfuração RC (Circulação inversa) e DD (Carote) concluídos. O banco de dados compilado para a estimativa de recursos minerais também contém dados derivados de um programa de perfuração a retopercussão realizado em 2014. Os loggs geológicos da perfuração a retopercussão, foram utilizados como referência para auxiliar na construção do modelo geológico, mas os resultados não foram utilizados para estimar o Recurso Mineral.

Tabela 5: Resumo dos dados do exercício de estimativa de recursos

Tipo de perfuração	Datas de perfuração	Número de furos	Metros furados	Profundidade Típica (m)
DD	2017	10	655	50
DD	Abr-2019 a Maio-2019	17	481	30
RC	Ago-2018 a Nov-2018	108	4,208	45
Tipo de perfuração	Datas de perfuração	Número de furos	Metros furados	Profundidade Típica (m)
Rc	Fev-2019 a Mar-2019	66	2,032	30
Rc	Nov-2019 a Mar-2020	195	7,987	40

RAB	2014	22	657	30
Total	2014-Mar-2020	418	16,020	38

Fonte: Ozango Mineira

Programa de perfuração que foi concluído em março de 2020 com a perfuração de 195 furos, num total de 7,987 metros furados.

A campanha de perfuração faz parte do Estudo de Viabilidade Financeira, e tinha como objectivos:

- Preencher área da primeira mineração / exploração planeada, com furos espaçados com $50\ m\ \times 50\ m$, de maneira a fornecer dados para actualizar os Recursos Minerais Indicados, para Medidos , a categoria mais elevada ;
- Preencher com malha de $100\ m\ \times 50\ m$ de espaçamento entre furos para fornecer dados para actualizar o Recurso Mineral actual Inferido para categoria Indicado para permitir a inclusão no plano da mina e prolongar a vida útil da mina ;
- Testar uma área alvo para mineralização de rochas não alteras , até 80 metros de profundidade vertical; e
- Testar para extensões á mineralização conhecida.

2.7.2 Estimativa de Recursos Minerais

Os recursos minerais podem ser definidos como a concentração ou ocorrência de um material sólido de interesse econômico na superfície ou no subsolo, cuja geometria, teor (ou qualidade) e quantidade possuem perspectivas razoáveis para eventual extração econômica (SALDANHA JUNIOR, 2020).

Vale ressaltar que um recurso mineral é apenas uma estimativa aproximada da quantidade de um determinado mineral presente em uma área, e pode ser sujeito a alterações com base em novas informações ou tecnologias disponíveis. Sendo assim, os recursos podem ser classificados como sendo recursos medidos, indicados ou inferidos, de acordo com o grau de conhecimento que se tem a respeito do mesmo. Segundo a Resolução Nº 94, de 7 de fevereiro de 2022 (Brasil, 2022), publicada pelo Ministério de Minas e Energia e Agência Nacional de Mineração (ANM):

1) Recurso medido: parte de um recurso mineral estimado com base em técnicas apropriadas de pesquisa derivadas de exploração, amostragem e testes detalhados e confiáveis o suficiente para confirmar a continuidade geológica, teor ou qualidade, densidade, forma e características físicas do depósito mineral entre os pontos de observação, permitindo a aplicação de fatores modificadores para o planejamento de mina detalhado e a avaliação final da viabilidade econômica do depósito. O recurso medido é aquele que possui nível mais alto de confiabilidade geológica, em que pequenas variações na estimativa não afetam a potencial viabilidade econômica do projeto, podendo ser convertido em reserva provável ou reserva provada.

2) Recurso indicado: parte de um recurso mineral estimado com base em técnicas adequadas de pesquisa derivadas de exploração, amostragem e testes com detalhamento adequado, confiáveis e suficientes para assumir a continuidade geológica, teor ou qualidade, densidade, forma e características físicas do depósito mineral entre os pontos de observação, permitindo a aplicação de fatores modificadores em detalhe suficiente para embasar o planejamento da mina e a avaliação preliminar da viabilidade econômica do depósito. O recurso indicado possui nível de confiabilidade mais baixo que o recurso medido e pode ser convertido apenas em reserva provável.
3) Recurso Inferido: parte de um recurso mineral estimado com base em evidências geológicas, técnicas apropriadas de pesquisa e amostragem limitadas que sugerem, mas não atestam, a continuidade geológica, teor ou qualidade do bem mineral. O recurso inferido possui nível de confiabilidade mais baixo que aquele aplicado ao recurso indicado e não deve ser convertido para reserva mineral.

Já a reserva mineral pode ser definida como a parte economicamente lavrável de um recurso mineral. Saldanha Junior (2020) ainda acrescenta que inclui diluição de material e provisões de perdas, que podem ocorrer quando o material é extraído ou lavrado e é definida por estudos em nível de pré-viabilidade ou viabilidade conforme apropriado, que inclua a aplicação de fatores modificadores.

As reservas podem ser definidas como prováveis e provadas. Reservas prováveis podem ser definidas como a parte economicamente lavrável de um recurso indicado, podendo em alguns casos de recurso medido, enquanto as reservas provadas podem ser definidas como a parte economicamente lavrável de um recurso medido.

A Pensana nomeou a SRK Consulting (Autraliana) Pty Ltd para actualizar e completar a estimativa dos recursos minerais para o Longonjo. A estimativa de Recursos Minerais, reportada em conformidade com o código e Directrizes é:

313 milhões de toneladas com 1.43 % REO que inclui 0,32 % de NdPr que se traduz em 4,470.000 toneladas de Reo, destas 990,000 toneladas são de NdPr.

NdPr = neodímio- óxido de praseodímio. REO= óxidos de terras raras totais. Intersecções com teor de corte de + 0,1 % NdPr. A 14 de setembro foi anunciado um resumo com estimativa numa gama de teores de corte, tipos de materiais, categorias de recursos e teores individuais de óxido de terras raras .

A Estimativa actualizada :

- Contêm mais de 2,3 vezes a estimativa anterior dos recursos Medidos e Indicados utilizados no estudo preliminar de viabilidade;

- Aumentou a proporção dos recursos reportados nas categorias Medidos e Indicados de 31 % para 68 %;
- E aumentou o NdPr global contido em 35 %.

Comparação do NdPr contido na zona de rochas alterada nas categoria de Medido e Indicado com teor de corte de 0,2% NdPr e as novas estimativas de Recursos Minerais.

Comparação do NdPr contido e novas estimativas de Recursos Minerais Longonjo Totais a 0,1 % de NdPr de teor de corte (categorias Medido+Indicado+Inferido).

A tabela 2 , abaixo, fornece um resumo dos Recursos Minerais Medidos , Indicados e Inferidos com teor de corte de 0,1 % NdPr.

Tabela 6: Estimativa de Recursos Minerais Totais, com teor de corte de 0,1 % NdPr,

Recurso minerais	Toneladas (milhões)	Teor REO(%)	Teor NdPr (%)	Contem REO	Recursos Minerais
Medidos	25,7	2,58	0,55	664000	141000
Indicados	165	1,51	0,33	2490000	536000
Inferidos	123	1,08	0,25	1320000	313000
Total	**313**	**1,43**	**0,32**	**4470000**	**990000**

Fonte: Ozango mineira.

O planeamento inicial da mina, será baseado num subconjunto deste recurso-Mineralização da rocha alterada na categoria de Medido e Indicado. Este estilo de mineralização é o mais favorável para mineração e processamento devido aos seus elevados teores desde a superfície e morfologia de um espesso estrato de material macio,tipicamente variando entre os 15 a 75 metros.

Com teor de corte de 0,2 % NdPr, as estimativas da categoria Medido e Indicado para a Zona alterada são:

39,9 milhões de toneladas com 2,38 % REO incluindo 0,52 % NdPr, correspondendo a 948,000 toneladas de REO Incluindo 208,000 toneladas de NdPr

É aplicado um teor de corte de 0,2 % NdPr. Na Zona Alterada apenas as categorias Medido e Indicado, e está contido dentro do subconjunto da estimativa de Recurso Mineral Total. A tabela 3, resume os Recursos Minerais para a Zona de rocha alterada na categoria de Medido, indicado e Inferido, com teor de corte 0,2 %.

Tabela 7: Estimativa de Recursos Minerais, na zona alterada, com teor de corte de 0,2%NdPr

Recurso minerais	Toneladas (milhões)	Teor REO(%)	Teor NdPr (%)	Contem REO	Recursos Minerais
Medidos	15,5	3,13	0,66	485000	102000
Indicados	24,4	1,90	0,44	463000	106000
Inferidos	26,0	1,60	0,39	414000	101000
Total	**65,9**	**2,07**	**0,47**	**1360000**	**310000**

Fonte: Ozango Mineira

2.7.3 Geotécnia

Durante a campanha de perfuração de 2019, foi realizado a exploração geotécnica e alguns testes limitados. O plano de trabalhos da exploração geotécnica concentrou-se nas áreas mineiras a serem exploradas nos anos iniciais da operação. Os dados preliminares foram baseados na exploração geotécnica e estrutural de 16 furos verticais de perfuração de diamante, Comprimento total de 469,05 m, mais um programa inicial de testes laboratoriais geotécnicos.

O Cenário geotécnico é definido:

- O Material residual é tipicamente composto por um material arenoso solto, médio a fino, com espessura variável de 0,0 m a 2,0 m a 3,0 m ;
- O horizonte Saprolite compreende em grande parte um sedimento arenoso macio a firme, de baixa a alta plasticidade, com seções menores ocasionais contendo material arenoso e saibroso. A base deste horizonte varia de 6,46 m a 23,35 m de profundidade abaixo da superfície ;
- O horizonte Saprock compreende rochas muitos húmidas a húmida com finas intersecções de material macio, de plástico sílicioso / argiloso. Isto é interpretado como uma série de rochas

de fragmentos moderadamente meteorizados de tamanho moderado, seperados por características estruturais altamente a completamente meteorizado/ alteradas (com pequenas falhas) . A base deste horizonte varia de 16,3 m a 40,35 m de profundidade abaixo da superfície ; e

- O horizonte primário de rocha húmidas carbonatada compreende um material rochoso médio a forte com frequência moderada de fracturas ; ao longo das estruturas , algum material de enchimento mais húmida e alterado .

Dada a natureza relativamente superficial do depósito e a experiência da equipa de engenharia em materiais rochosos alterados semelhantes, as diretrizes preliminares para a concepção da mina e estudos de optimização foram avaliados como se segue:

Ângulos de inclinação inter rampa:

- ✓ Em Saprolite, o recomendado é de 30^0;
- ✓ Em Saprock, o máximo pode ser aumentado para 45^0.
- ✓ Para o desenho inicial de cava e trabalho de optimização , o ângulo de inclinação máximo global `` médio `` recomendado é de 37,5 ^{0};
- ✓ O Saprolite e as seções mais húmidas do horizonte Saprock serão materiais escaváveis (free-dig), mas as seções de Saprock com menos alteradas e mais competentes podem exigir que sejam ripadas com bulldozer para melhorar as taxas de produção de mineração ;
- ✓ O tráfego não deve ser um problema nos taludes de Saprock, no entanto, estradas de transporte e rampas formadas em Saprolite molhado precisarão de camadas com material de sub-base competente.

O modelo geotécnico e as recomendações de desenho da cava estão resumidos na tabala .

Tabela 8: Recomendações Preliminares de Desenho de Taludes nas cavas

Horizonte	Força de registo	Estimativa da UCS	Código de Litologia	Ângulo de Pit Slope	Comentário
Residual	Solto	Nulo	20(transportado)	30^0	Escavável (free-dig)
Saprolite	Suave/Firme	50-100 Kpa	30,33,36 (óxido)	30^0	Escavável (free-dig)
Saprock	Muito Fraco/fraco	5 Mpa	40 (húmida)	45^0	Zona de transição para a rocha húmida; ripar com dozer
Rocha húmidas	Moderado/Forte	50 Mpa	40 (húmida)	45^0	Ângulo mais alto possivel; ripavel com dozer, possivel uso de explosivos. São necessários mais dados.

Fonte : Ozango Mineira

A natureza tipicamente granulada do Saprolite e dos materiais de enchimento estrutural sugere que os horizontes de Saprolite e Saprock terão baixa permeabilidade e os influxos de água subterrânea serão relativamente menores, embora os materiais possam ter altos teores de umidade in situ.

2. 8 Método de mineração

A mineralização de terras raras é controlada pela litologia que ocorre como uma camada horizontal de rocha alterada desde a superfície, até á rocha não alterada do carbonatito do Longonjo na encosta sul do Monte Chimbilundo. A mineralização é ocorre num material pouco resistente, macio, em que o método de desmonte é a escavação com escavadora, sem recursos ao uso de explosivos, e com uma taxa muito baixa de desperdício (Figura 6).

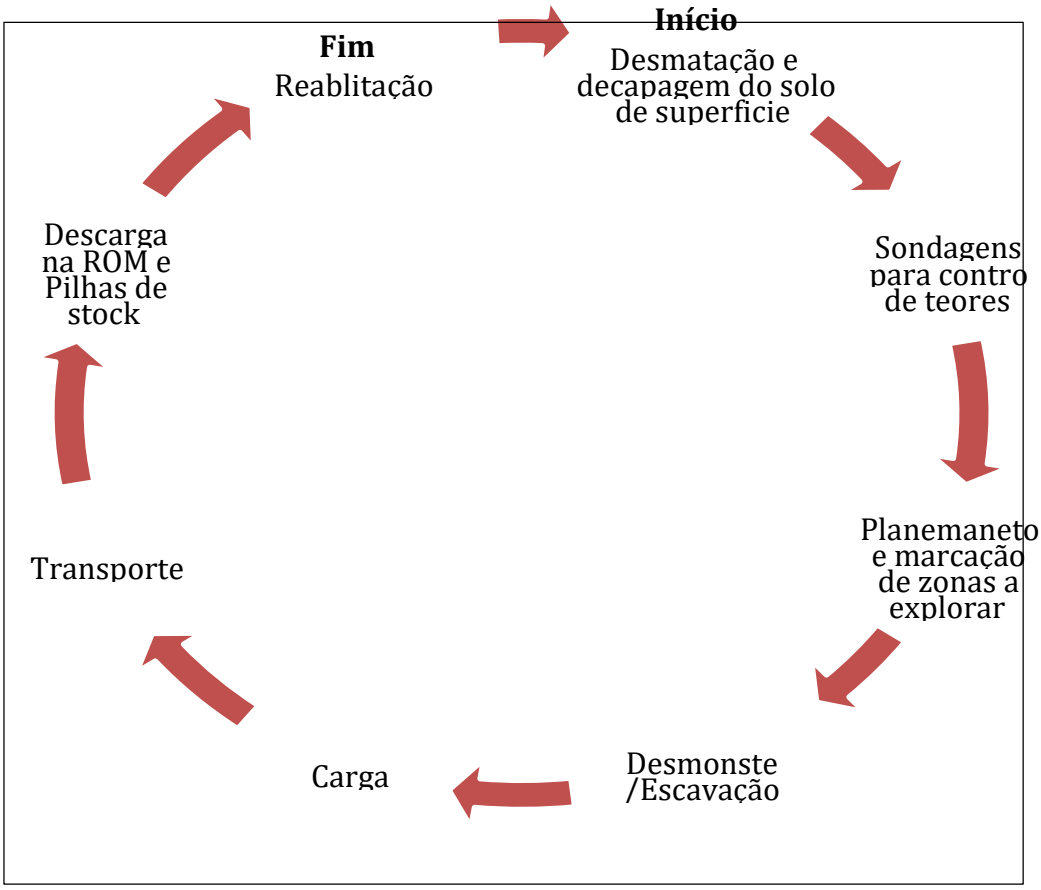


Figura 7: Ciclo de produção mineira, **Fonte:** Ozango Mineira

2.8.1Desmatação e decapagem do solo de superfície

As áreas de mineração serão desobstruídas de vegetação usando buldózeres. A vegetação será armazenada para ser espalhada futuramente em taludes reabilitados. O solo vegetal será removido das áreas desmatadas (com excepção das áreas de stock de solo), a uma profundidade de 300mm.

2.8. 2 Perfuração

2.8.2.1 Controle de teor

A perfuração para controle de teores é realizada usando perfuradoras RC (circulação inversa), perfurando furos de 3" numa malha de 10m por 10m. Os furos serão perfurados verticalmente até a profundidade total onde for prático (geralmente cerca de 30m, embora algumas áreas sejam de até 70m). Serão recolhidas amostras a cada 2m para corresponder à altura prevista para a escavação (bancada).

2.8.2.2 Produção

As perfurações de produção, quando necessárias, serão realizadas apenas em zonas de rocha não alteradas/húmida onde o ripar por bulldozer não é prático, utilizando perfuradoras com rastos, com martelo fundo de furo ou de topo (furos de ~120mm de diâmetro).

2.8.2.3.Guia de Escavação

Em geral, a orientação de escavação envolverá os seguintes passos:

Recolha de dados de controlo de teor e classificação:

- Recolha de amostras de controlo de qualidade ;
- Ensaio de amostras.

Determinação de minério/estéril:

- Modelação de blocos com os teores do minério;
- Criação do plano de escavação ;
- Informações do plano de escavação fornecidas ao engenheiro de planejamento.

Controlo de minério:

- Marcação por topógrafos ;
- Avaliação e ajuste das marcações pelos geólogos, se necessário ;
- Marcação do tipo de minério, se necessário .

Reconciliação:

- Comparação entre mineração e processamento com modelos de blocos para controle de teores.

2.8.2.4 Desmonte com Explosivos

Apenas as zonas de rochas não alteradas/húmidas estão planeadas para serem desmontadas com explosivos. Isto só é previsto, ser necessário nos últimos estágios do tempo de vida da mina e em áreas onde há fenito ou material competente que não pode ser ripado por bulldozer ou desmontado por escavação. Não está planeada a realização de desmonte com explosivos em zonas sensíveis da cava, que são consideradas como zonas limítrofes de áreas sensíveis do ponto de vista ambiental.

2.8.2.5 Carregamento

A maior parte do minério será escavável, sendo o restante necessário ripar ou no caso de rocha húmida, uso de explosivos.

O carregamento está previsto para ser realizado com pequenas escavadoras hidráulicas (escavadoras ~70t) em bancadas de 4m ou com dois patamares intermédios de 2m. Isto está abaixo da altura óptima de escavação de 2,5m a 3,0m das unidades de carregamento (escavadoras) planeadas e pode resultar em produtividades ligeiramente menores e custos de mineração mais altos. Isto deve ser revisto com o empreiteiro de mineração, e potencialmente ter o modelo de recursos minerais actualizado para refletir um incremento de 2,5m no modelo de blocos para que a Mina possa ser planeada em uma bancada de 5m.

2.8.2.6 Transporte

O transporte está planejado para ser realizado com Dumpers articulados (~45t de capacidade). Este tipo de caminhão será mais adequado para o terreno irregular e reduz o risco associado à fraca capacidade de tráfego, devido às características do minério (rocha alterada).

2.8.3. Descarga e empilhamento

2.8.3.1 Estéril

As cavas não se destinam a ser preenchidas devido ao potencial processamento futuro do saprock e rocha húmidas subjacentes. Como tal, todos os estéreis serão despejados em escombreira externas (estes serão predominantemente rochas mineralizadas abaixo do teor de corte).

Alguns dos estéreis da mina serão utilizados na construção das estradas de transporte da mina (corte/enchimento) e das paredes da barragem de rejeitados, no entanto, esta opção ainda não foi avaliada, pela equipa de planejamento/projecto da mina.

2.8.3.2 Minério

O minério de menor teor ou o minério necessário para a mistura posterior, serão depositados em stocks estratégicos de longo prazo para aumentar a economia do projecto. O minério remanescente será depositado na plataforma de minério bruto (ROM) em pilhas para ser misturado e alimentar a planta de processamento.

2.8.3.3 Mistura do Minério

Será feita a mistura de minério proveniente das diversas pilhas na ROM para se obter a composição química ideal, e essa mistura será usada para alimentar a britagem com uma pá carregadora (FEL). Presumiu-se que as pilhas de stock de longo prazo seriam desmontadas e carregadas para as pilhas na ROM para posterior mistura e alimentação da britagem.

2.8.3.4 Recuperação Ambiental e Paisagística

A reabilitação progressiva ocorrerá com a descarga e empilhamento do solo, sobre as zonas mineiras já exploradas, espalhado sobre os taludes o solo buldózer e escavadoras.

No fim do tempo de vida da mina a escombreira e barragem de rejeitados serão reabilitados juntamente com quaisquer outras áreas perturbadas pela mineração. O solo de superfície em zonas perturbadas que confinam com áreas ambientalmente sensíveis será reabilitado de imediato, para permitir a continuação das actividades mineiras.

2.9 Método de analise Hierárquica do Processo (AHP)

A introdução de novas tecnologias de manufatura representa um impacto considerável na posição estratégica das empresas no mercado. O resultado da inovação geralmente é distribuído em longo prazo, tornando o processo de decisão um fator crucial no sucesso do investimento. Nesse momento, é necessário um adequado sistema de suporte a decisão para facilitar a seleção e avaliação de novas tecnologias que melhor se ajuste as metas e objetivos organizacionais (JAGANATHAN, ERINJERI E KER, 2007).

Sugerem os métodos multicritérios para análise de decisão na adoção de AMT. De acordo com os autores, os modelos decisórios de multicritérios são baseados em: (1) identificar os fatores de capacidade e (2) encontrar modelos matemáticos para descrever ou prescrever a melhor escolha. As técnicas utilizam uma combinação de suposições subjetivas e qualitativas com técnicas de modelagem matemática. Os métodos apresentados e adotados em indústrias e pesquisas provaram ser ferramentas funcionais e poderosas.

Dos métodos multicritérios, o método de Análise Hierárquica de Processos (AHP) é o mais popular e foi aplicado para resolver vários problemas complexos de decisão. A vantagem principal do AHP é a habilidade inerente ao método de manipular fatores intangíveis, fatores esses determinantes no processo de decisões. Também os cálculos matemáticos são mais

simplificados e compreensíveis, fazendo dessa técnica ideal para ser empregada no processo de avaliação proposto.

O método de Análise Hierárquica está baseado em três princípios do pensamento analítico, que sintetizam as etapas para a construção do modelo multicritério:

1) Princípio - Construção de hierarquias

No AHP, o problema é estruturado em níveis hierárquicos, como forma de buscar uma melhor compreensão e avaliação do mesmo. Uma hierarquia, segundo Saaty (1991), "é uma abstração da estrutura de um sistema para estudar as interações funcionais de seus componentes e seus impactos no sistema total". A construção de hierarquias é uma etapa fundamental do processo de raciocínio humano. Os elementos chaves de uma hierarquia são (figura 7): a) Foco principal (objetivo global), b) Conjunto de alternativas viáveis (representam a possibilidade de decisão) e c) Conjunto de critérios (quesitos à luz dos quais deve-se avaliar a alternativa). Dependendo da complexidade do problema, podem ser utilizadas múltiplas camadas de critérios, a partir da estruturação destes em subcritérios.

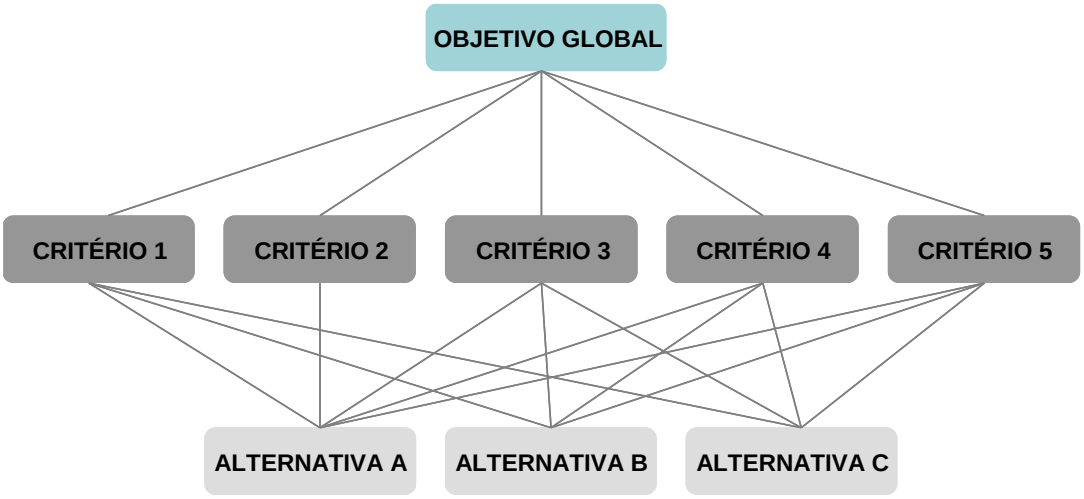


Figura 8 : Estrutura Hierárquica genérica de problemas de decisão,**Fonte :** (Martins, Souza , Barros, 2009).

Na construção de Hierarquias são identificados: o foco principal (Objectivo geral), critérios, subcritérios (quando houverem) e as alternativas. E de síntese dos dados obtidos dos julgamentos por especialistas (avaliadores), nas matrizes paritárias dos critérios é calculado a prioridade de cada alternativa em relação ao foco principal, e terminando em uma análise de consistência.

2) Princípio – Definição de Prioridades e Julgamentos

O ajuste das prioridades no AHP fundamenta-se na habilidade do ser humano de perceber o relacionamento entre objectos e situações observadas, comparando pares à luz de um determinado foco ou critério (julgamentos paritários).

Portanto, o método baseia-se na comparação entre pares de critérios e subcritérios, se existirem, e na construção de uma série de matrizes quadradas.

As comparações par a par, expressas em termos linguísticos/verbais, são convertidas em valores numéricos usando a Escala Fundamental de Saaty para julgamentos comparativos, sendo essa escala de valores, que varia de 1 a 9, demonstrada na tabela 05. Mede-se, então, o grau de importância do elemento de um determinado nível sobre os elementos de um nível inferior.

Tabela 9: Escala Fundamental de Saaty para julgamentos comparativos

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra.

5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação a outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática
9	Importância absoluta	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
2,4,6,8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição entre duas definições

Fonte: Saaty (1991)

a) A comparação par a par, gera matrizes quadradas, onde o número na linha i e na coluna j dá a importância do critério Ci em relação à Cj, como se observa na forma matricial indicada abaixo:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{ij} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{2i} \\ 1/a_{ij} & 1/a_{2j} & 1 \end{bmatrix}$$

Os elementos aij indicam o julgamento do par de critérios (Ci, Cj) e α o valor da intensidade de importância. Saaty (1991) define as seguintes regras para cada elemento aij da matriz:

- ❖ Se $a_{ij} = \alpha$, então $a_{ij} = 1/\alpha$, $\alpha \neq 0$.
- ➢ Se C_i é julgado como de igual importância relativa a C_j, então $a_{ij} = 1$, $a_{ji} = 1$ e $a_{ii} = 1$, para todo *i*.

b) Normalização da matriz, o que constitui na divisão de cada elemento da matriz pela soma da coluna a que pertence.

c) Obtenção da média de cada critério (prioridade média local, PML), chamado de aritmética de cada linha. Para Martins e Coelho (2011), o resultado será um vector representando um dado critério.

d) Geração da matriz de prioridades, através dos vectores encontrados, onde as linhas consistem em as alternativas e as colunas, os critérios.

e) Construção da matriz de comparação dos critérios, repetindo os passos b) e c) e se terá como resultado um vector que contém a média das preferências de cada critério.

f) Obtenção do resultado (prioridade média Global, PMG), multiplicando as duas matriz (de prioridades e de critérios), que será um vector com a quantificação final de cada alternativa.

3) Princípio – Consistência Lógica

No AHP, é possível avaliar o modelo de priorização construído quanto a sua consistência. No método AHP, verifica-se a coerência dos julgamentos, com uma análise do autovalor, λ , da matriz de julgamentos (Martins e Coelho , 2012) . Ainda para mesmos autores, caso todos os julgamentos sejam coerentes entre si, o autovalor máximo, $\lambda_{máximo}$, será igual á ordem da matriz.

O método AHP, admite que a inconsistência é inerente ao comportamento humano, e de acordo com os autores Martina e Coelho (2012), é proposto o cálculo do índice de inconsistência para testar a consistência da resposta, o que indica a relação lógica dos dados. Para o cálculo da razão de consistência (RC), a estimação do autovalor e as demais variáveis podem ser realizadas pelas seguintes equações, Martins e Coelho (2012).

$$\lambda_{máximo} = W.V = W_1 \times V_1 + W_2 \times V_2 + \cdots + W_n.V_n$$

Onde : w é calculado pela soma das colunas da matriz de preferência e o valor prioridade v.

Índice de Consistência (IC)

O índice de consistência (IC), é calculado através da seguinte expressão:

$(\mathbf{IC}) = (\lambda_{\mathbf{máximo}} - \mathbf{N}) / (\mathbf{N} - \mathbf{1})$; em que N é a ordem da matriz.

Razão de Consistência (RC)

Ainda para Martins e Coelho (2012), calculado o IC, pode-se também, calcular a razão de consistência RC pela expressão:

(RC) = IC/CA

Onde :

CA – índice de consistência Aleatória

O índice CA, apresentado na tabela 06, é proveniente de uma amostra de 500 matriz recíprocas positivas , geradas aleatoriamente, de tamanho até 15 por 15 (Martins, Coelho, 2012).

Tabela 10 : Valores de CA, em função da ordem da Matriz

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CA	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Fonte : Martins, Coelho (2012 apud Saaty 1992)

Considera-se aceitável uma razão de consistência menor que 0,10, isto é, quando o valor de IC for 10 % ou menos do que o respectivo índice aleatório. No caso do índice de consistência de monstra insatisfatório, as comparações referentes a esta matriz deverão ser revista novamente (Martins; Coelho, 2012).

2.10 Limitações e críticas ao uso do AHP

Apesar de seu amplo e crescente espectro de aplicações, o AHP apresenta alguns problemas e limitações que devem ser levados em conta.

Dentre as críticas ao AHP, a reversão de ordem (rank reversal) tem sido a mais citada e polêmica. Bana e Costa e Vainsnick (2001) e Silva e Belderrain (2007) mostraram alguns exemplos onde a inclusão ou exclusão de alternativas ou critérios gera o efeito da reversão de ordem das relações de dominância. A reversão de ordem é atribuída pelos pesquisadores como o "efeito colateral" do cálculo que normaliza o vetor de prioridades.

Outras críticas são levantadas por Goodwin e Wright apud Thomas (2006):

a) Conversão da escala verbal para numérica: Devido ao uso de um método verbal de comparação, este converte automaticamente os julgamentos para uma escala numérica, no entanto, a correspondência entre as escalas é baseada em pressupostos não testados;

b) A realização das comparações par a par em uma escala restrita de 1 a 9 pode causar inconsistência nos julgamentos. Por exemplo, se A é considerado cinco vezes mais importante que B e B, cinco vezes mais importante que C, então, para termos consistência, A teria que ser 25 vezes mais importante que C, o que não é possível por causa do limite de escala. Lootsma apud Silva e Belderrain (2007) propõe como uma variação do AHP clássico, o AHP multiplicativo, onde ao invés da escala linear é utilizada uma escala geométrica e multiplicativa;

c) Dificuldade dos decisores em escolher uma opção verbal que represente fielmente a sua preferência, podendo gerar comparações redundantes e inconsistentes, reduzindo a atratividade para os usuários;

d) Número grande de comparações e alternativas eleva o trabalho computacional e a dificuldade de manter a consistência nos julgamentos.

2.11 Métodos de Avaliação Económica dos Projectos de Investimentos

Geralmente, utilizam-se para avaliação de projectos de investimentos um conjunto de métodos tradicionais de análise de viabilidade, tais como: O Valor Líquido Actualizado (VLA), a Taxa interna de Retorno (TIR), o Período de Investimento e o índice de Rentabilidade (IR). Apesar de considerarem o valor temporal do dinheiro e o custo de oportunidade, estes métodos apresentam a característica de analizarem os projectos sob ponto de vista da incerteza económica associada aos investimentos para sua implantação.

Um projecto de investimento, pode ser resumido em um documento básico, o Fluxo de Caixa (FC) do projecto. O fluxo de caixa refere-se á períodos, geralmente anos, que abragem a vida útil da mina. Os registos em cada período são referêntes apôs valores líquidos acumulados durante um período são referentes aos valores líquidos acumulados durante um período, resultados da diferença entre as entradas do caixa e as saídas de caixa, incluindo impostos, que ocorrem durante o período em análise (Dala, 2014). Ainda para o mesmo Autor, o Fluxo de caixa pode ser simples ou descontado (actualizado).

O fluxo de caixa simples representa o capital que uma empresa pode gerar após o investimento necessário para a criação da empresa, ou de um projecto que a empresa tenha (como ampliação das suas instalações). O fluxo de caixa simples é importante porque permite que a empresa busque oportunidades que aumentem o valor dos acionistas. O Fluxo de caixa actualizado é um método de avaliação usado para permitir a atractividade de uma oportunidade de investimento. Essa análise usa projecções de fluxo de caixa simples futuros e actualiza-as (geralmente utilizando o custo médio ponderado de capital), para se chegar ao VLA do projecto, que é utilizado para avaliar o potencial do investimento (Dala, 2014).

É possível, definir os indicadores de investimento com o método de fluxo de caixa actualizado, cujos princípais são: VLA, TIR, PR e IR (Dala, 2014).

2.11.1 Valor Líquido Actualizado (VLA)

Para Azevedo (2015), o VLA resulta da comparação, através de uma diferença, entre os benefícios e os custos de uma mina. Abaixo segue a expressão matemática que calcula o mesmo.

$$VLA = \sum_{i=0}^{n} \frac{CF_t - I_t}{(1+i)^t}$$

Onde :
n- número de anos útil do projecto
t- período de tempo em anos
$CF_t - Cash - flow\ no\ ano\ t$

$I_t - investimento\ no\ ano\ t$

i-taxa de actualização em %

Para decidir em investir ou não em um projecto mineiro, com base ao critério de VLA, é necessário avaliar as seguintes condições :

Tabela 11 : Condições do VLA

Regra	Decisão	Explicação
VLA> 0	Aceitar	O projecto é viável e gerará benefícios
VLA<0	Rejeitar	O projecto não é viável
VLA= 0	Indiferença	O projecto é viável, mas não haverá benefícios

Fonte : Adaptado de Dala (2014)

2.11.2 Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)

Segundo Dala (2014), a TIR é a taxa de actualização para o qual um projecto tem o seu VLA nulo. A TIR significa que o saldo do fluxo de caixa total actualizado á uma determinada taxa é igual á zero. A expressão matemática da TIR se apresenta a seguir.

VLA=0 , o que implica $\sum_{i=0}^{n} \frac{CF_t - I_t}{(1+TIR)^t} = 0$

A TIR exige sempre uma taxa de referência `` i ``, que representa o custo de oportunidade de capital (COC). A tabela 08 a seguir apresenta as condições para a análise da TIR.

Tabela 8: Condições da TIR

Regra	Decisão	Explicação
TIR>i	Aceitar	Indica o máximo de custo de capital para financiar o projecto sem prejudicar os sócios
TIR<i	Recusar	Haverá prejuízos na Empresa
TIR=i	Indeferença	Não heverá prejuízos nem lucros

Fonte: Adaptado de Cabenguele (2010)

2.11.3 Período de Retorno ou Recuperação do Capital (PR)

O período de retorno (PR) indica o período de tempo através do qual com Cash-flow de exploração (CFE) gerados pelo projecto num intervalo de tempo, t, a empresa recupera o capital investido, como monstra a fórmula :

$$PR = t + \frac{I - \sum_{i=1}^{t} CFE_i}{CFE_{t+1}}$$

2.11.4 Índice de Rentabilidade (IR)

Mede a relação entre o valor líquido actual dos fluxos positivos do investimento e o valor actual dos capitais investidos.

$$IR = \sum_{t=o}^{n} \frac{\frac{CFE_t}{(1+i)^t}}{I}$$

A regra de decisão é :

- Aprova-se o projecto quando IR>1 ;

- Entre projecto concorrentes, opta-se pelo que tiver maior IR .

A quando de conclusões sobre a viabilidade da mina do Longonjo , o IR , é um parente próximo da TIR, visto que ambos medem a rentabilidade de uma unidade investida (Dala , 2014).

CAPÍTULO III: CASO DE ESTUDO – MINA DO LONGONJO

3.1 Localização e Acesso

O Projecto Mineiro Longonjo NdPr está localizado no município de Longonjo, Província do Huambo, Angola (Figura 9). A cidade do Huambo fica a aproximadamente 600 km a sudeste da capital nacional, Luanda.

Figura 9: O Projecto Longonjo NdPr está localizado na província do Huambo**, Fonte:** Revista do Ozango mineira

O projecto longonjo NdPr está dentro da licença de prospecção concedida que cobre uma área de terreno de 3,670 Km^2.

O projecto está favoravelmente localizado, próximo à infraestrutura existente que inclui uma rodovia e ferrovia nacional que liga o projecto longonjo ao porto do Lobito, e à capital provincial do huambo, 60 km a este.

3.2 População

O município de Longonjo acolhe uma população de aproximadamente 90.000 pessoas e tem quatro distritos incluindo Longonjo (composto por 60 aldeias), Catabola, Chilata e Lépi.

3.3 Clima

As diversas zonas climáticas de Angola são influenciadas por correntes marítimas e pela geografia. A região costeira estreita e semiárida tem uma precipitação média anual de 600 mm, com maior precipitação no Norte e menor no Sul. O planalto interior de Angola é subdividido em três grandes áreas ecológicas:

- Área Norte - quente e húmida, com precipitação elevada (> 1.500 mm p.a.) e temperaturas elevadas (média anual > 22 ° C)
- A área central (planalto) - clima tropical moderado por altitudes de 1.000 - 2.500 manm17. Precipitação anual de 1.250 a 1.500 mm p.a. e temperaturas moderadas (média anual de 18°C a 20°C); e
- Área Sudoeste - semi-árido, uma estação quente amena, influenciada pela corrente fria de Benguela e pelas massas de ar continentais tropicais.

Os dados meteorológicos foram obtidos na estação meteorológica do Huambo (antiga Nova Lisboa), a cerca de 60 km da área do Projecto (altitude 1.701 m). Longonjo tem uma altitude de 1.300/1.400m.

O clima na área central / planalto é diferente do clima das áreas do oeste inferior, mais perto da costa. O Projecto está na zona tropical, mas devido à altitude e ao efeito das correntes frias do Oceano Atlântico, as temperaturas máximas variam entre 17-28°C.

3.4 Topografia

A topografia da região do Longonjo, revela que o Projecto está localizado no lado Oeste de uma bacia, com faixas de elevação de cerca de 1.300 a pouco mais de 1.500 masl. A bacia em si mostra um carácter ondulado em grande parte plano, com poucas colinas proeminentes, com excepção do carbonatito de Longonjo. A bacia é cercada por cumes mais resistentes às

intempéries, com a elevação subindo acentuadamente de 1.600 para mais de 2.500 masl. A bacia abre-se em direcção a Noroeste com o rio Cuiva e o canal de drenagem passando por aqui.

3.5 Qualidade do Ar

As únicas fontes de poluição do ar incluem a queima de madeira para fins domésticos, como cozinhar em comunidades locais, queima de resíduos, emissões do tráfego nas estradas e poeira levantada pelo tráfego e pela actividade agrícola. Geralmente, o ar é limpo, como é típico das áreas rurais.

3.6 Geologia e Gemorfológia

A geológia de Angola incluí grande áreas de rochas da idade pré-cambriana, sendo o oeste do país caracterizado por rochas meta-sedimentares da idade proterozóica. Sobrepondo-se a estes, existe uma espessa camada de calcários e outros sedimentos marinhos depositados durante as eras Mesozóica e Cenozóica.

Os diamantes são obtidos tanto de depósitos aluviais como das centenas de chaminés de kimberlito que se encontram espalhados ao longo de uma linha nordeste - sudoeste através de Angola. O país é também produtor de ouro, sendo a fonte mais importante a aluvião originária de rochas verdes arqueanas, predominantemente localizado em torno de Cabinda. Angola possui ainda, em grande parte inexploradas, reservas de cobre, gesso, fosfato, minério de ferro, manganês e outros metais de base.

Em todos os complexos carbonatíticos, a presença de uma auréola de metassomatismo em torno dos mesmos é comum, resultado da transformação da rocha encaixante sujeita à interacção com fluidos residuais do processo de cristalização do carbonatito. As rochas metassomáticas são designadas fenitos e o processo fenitização.

O complexo carbonatítico do Longojo está associado à estrutura transcontinental de Lucapa, um rifte do Cretácico Inferior. O carbonatito, tem dique concêntrico ao redor do núcleo, correspondendo a uma intrusão sub-vulcânica, que está rodeado por granitos do Arqueano, exibindo uma fenitização profunda.

A mineralização de terras raras NdPr encontra-se hospedada no Carbonatito do Longonjo, parcialmente erodido, com um diâmetro sub-circular vertical (chaminé vulcânica) de 2,2 km de diâmetro. (ver Figura).

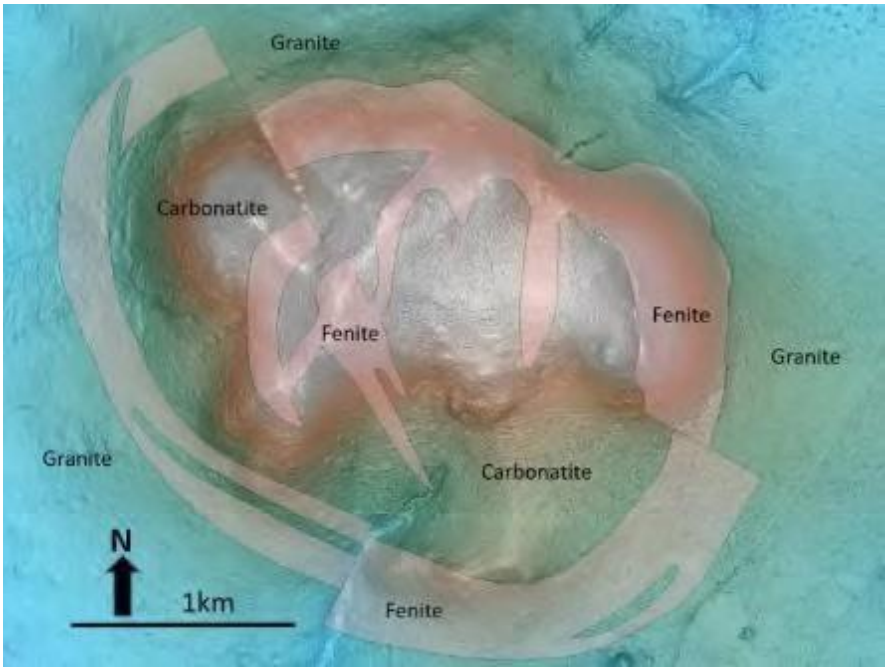


Figura 10: Mapa simplificado do Carbonatito do Longonjo**, Fonte:** Revista Ozango Mineira

Nota: A figura acima ilustra os ajustes da circular do carbonatito do Longonjo e do aro de fenito associado, sobre a imagem topográfica.

A porção norte do carbonatito é topograficamente elevada. A mineralização de terras raras NdPr é particularmente enriquecida na zona alterada do carbonatito e do coluvião associado, próximo da superfície. Os processos meteorológicos removeram os minerais carbonatados originais, deixando para trás uma zona mineralizada, enriquecida em terras raras NdPr. A mineralização também ocorre em rochas não alteradas, na zona central orientada a norte-sul e em diques circulares periféricos.

As zonas de carbonatito alterado,coluvião e brechas transportadas localmente, variam normalmente entre 20 m a 30 m de espessura, podendo atingir os 70 m em algumas áreas.

2.7 Hidrogeológia Regional

Há poucos dados sobre as características hidrogeolócas e o potencial hídrico dos aquíferos angolanos e a maior parte da informação está disponível para as províncias do sudoeste de Huíla, Namibe e Cunene. Muitos furos foram perfurados e registados nestas áreas, mas muitos poucos foram perfurados noutras província e por isso a informação sobre aquíferos nestas áreas é escassa.

3.8 Hidrogeologia da área do projecto

Os furos de prospecção na área de projecto fornecem dados valiosos para caracterizar as condições hidrogeologias da Área de Projecto. A informação limitada sobre a água subterrânea está disponível em toda a área ocupada pela concessão da mina, principalmente porque as águas subterrâneas não são utilizadas pela população local fora da cidade de Longonjo. É altamente provável que a cidade de Longonjo tenha sido inicialmente estabelecida devido ao fácil acesso aos recursos de água de superfície e subterrânea. Estima-se que a cidade tenha pelo menos 100 poços e furos escavados manualmente. Na sua maioria privados, a partir dos quais a maioria das pessoas obtém o seu abastecimento de água potável e doméstica.

Assim, a descrição das condições hidrogeologias de linhas de base é limitada a uma área de aproximadamente 1 km em torno da área proposta para concessão da mina.

3.9 Linhas de escoamento

Pequenas linhas de escoamento correm do meio da Área de Projecto em todas as direções, uma vez que este é um ponto topográfico alto. As principais linhas de escoamento secundário correm em direção aos principais rios perenes a norte e sul da Área de Projecto. Estes pequenos escoamentos são na sua maioria sazonais e espera-se que se tornem activos tanto durante os eventos de grande pluviosidade como durante a estação chuvosa. Estão secos durante a metade do ano da estação seca.

3.10 Modelo conceptual da hidrologia

Esta secção baseia-se em toda a informação hidrogeologia disponível da Área de Projecto reunida num modelo hidro geológico conceptual (CHM - *conceptual hydrogeological model*). Tipicamente, o CHM é uma interpretação da geologia e hidrogeologia da área que é actualizada regularmente à medida que mais informação se torna disponível e melhorias são feitas no que diz respeito ao conhecimento das águas subterrâneas dentro da área de investigação.

Conceptualmente foram identificados quatro sistemas aquíferos na Área de Projecto, definidos como:

- Aquífero de cota elevada de carbonatito alterado;
- Aquífero sedeado em fenito fracturado;
- Aquífero em granítico cistalino fracturado semi-confinado, ; e
- Aquífero de laterite raso, não confinado.

Foi também demonstrado que, à escala local, estes sistemas de aquíferos têm cotas de águas subterrâneas ou de lençóis freáticos ímpares, sendo o aquífero de laterite o mais raso e o granítico o mais profundo (**Figura**).

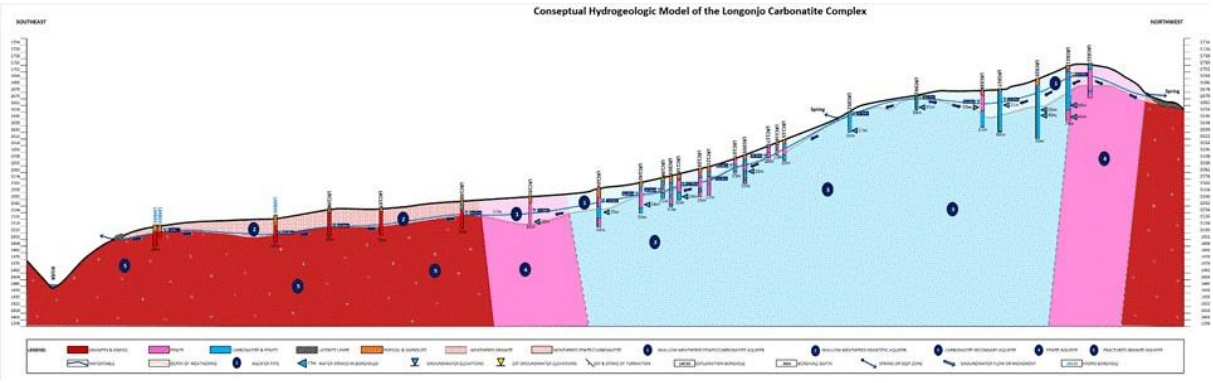


Figura 11 : Modelo hidrogeológico do Complexo de Carbonatito do Longonjo**. Fonte :** Ozango Mineira

3.11 Motivação do projeto

Procura estabelecer, sujeito a financiamento, uma cadeia de fornecimento de classe mundial, independente e sustentável de metais de terras raras vitais para veículos eléctricos, turbinas eólicas e outras indústrias estratégicas.

Este Estudo de Projecto delineia os planos para estabelecer a primeira instalação de separação de terras raras sustentável do mundo no Saltend Chemicals Park em Humber, Reino Unido, processando principalmente o minério proveniente da exploração mineira e processamento na Mina do Longonjo, Angola.

Existe um impulso internacional significativo no sentido de alternativas energéticas mais ecológicas. Consequentemente, a procura de metais de terras raras está a aumentar exponencialmente. As terras raras apresentam propriedades e benefícios únicos e o neodímio (Nd)7 e o praseodímio (Pr)7 são dois elementos de terras raras em foco para este projecto.

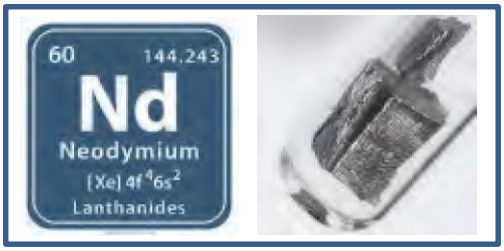
3.11.1 Produtos

Neodímio

O neodímio é um elemento químico com símbolo Nd e número atómico 60. É um metal prateado macio que mancha no ar. O neodímio foi descoberto em 1885 pelo químico austríaco Carl Auer von Welsbach.

Praseodímio

Praseodímio é um elemento químico com símbolo Pr e número atómico 59. O praseodímio é um metal macio, prateado, maleável e dúctil, valorizado por suas propriedades magnéticas, eléctricas, químicas e ópticas.



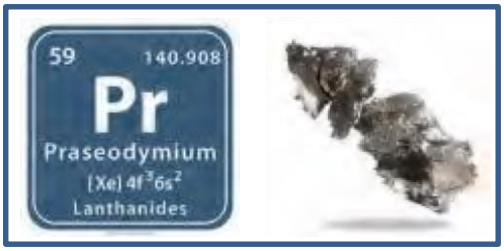


Figura 12 : Neodímio e Praseodímio **, Fonte :** A Ozango/Pensana

3.11.2 Uso de NdPr

Neodímio e praseodímio são comumente referidos como 'NdPr' e são elementos utilizados na criação de ímãs permanentes de alta resistência. Os materiais NdPr estão conduzindo a mudança que alimenta veículos eléctricos , turbinas eólicas, outras aplicações de transporte, militares e eletrodomésticos.

3.12 Procura no mercado

Os analistas de commodities prevêem que o mercado de óxido de NdPr se tornará deficitário nos próximos anos à medida que a procura aumente para ímãs em EVs e outras formas de transporte, turbinas eólicas offshore, aplicações militares e um universo crescente de aplicações de energia verde.

Adamas Intelligence8 observou em seu relatório Elementos Terras Raros: Market Issues and Outlook Adamas Intelligence Q2 2019 que "A procura por óxido de Neodímio excederá substancialmente a produção média global até 2030 levando à escassez desses metais magnéticos críticos, se não forem desenvolvidas fontes adicionais de fornecimento".

O processamento de terras raras é dominado por um pequeno número de empresas chinesas que controlam quase 90% do mercado. Espera-se que o mercado de concentrados de terras raras cresça de forma sustentável à medida que os produtores sofrem pressão do governo chinês e os fornecedores de ímãs são pressionados por clientes automotivos internacionais diversificar o fornecimento de concentrados, afastando-se de fontes locais (chinesas) insustentáveis.

Além disso, devido à importância estratégica das terras raras em geral e do neodímio em particular, vários governos e empresas em todo o mundo estão procurando desenvolver a capacidade de processamento local. Estes são futuros potenciais clientes para a mina de Longonjo.

Capítulo IV. RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 Aplicação do Método de Análise Hierárquica no Estudo Caso- Mina do Longonjo

Neste capítulo será aplicado o método de análise hierárquica para auxiliar na tomada de decisões sobre o local mais apropriado para a construção de uma escombreira para o transporte de estéril, bem como a construção de uma barragem de rejeitos na área de estudo localizado no município do Longonjo província do Huambo.

A aplicação do AHP não só sugere um local para construção de uma escombreira para o transporte de estéril , bem como a construção de uma da barragem de rejeitos, como também permite uma visão geral do problema para o tomador de decisões. Os pesos da alternativa obtida pelo AHP são a seguir confrontados como os custos.

4.1.1 A aplicação da AHP é dívida em três passos:

1º) representar um problema através de uma estrutura hierárquica, onde o primeiro nível da hierarquia representa o objetivo, seguindo de critérios, subcritérios nos níveis intermediários e, finalmente, as alternativas disponíveis;

2º) fazer comparação par a par;

3º) derivar a prioridade ou valor de preferência para as alternativas.

A escolha do método de multicritério, AHP (*Analytic Hierarchy Process*), como o método mais apropriado ao desenvolvimento da pesquisa, bem a construção de escombreira, barragem de rejeitos foi respaldada nos seguintes aspectos:

- Consistência, lógica, transparência, facilidade de uso;
- Quantidade de aplicações práticas em vários campos de estudo.

4.2 Definição de critérios e subscritérios

No estudo de caso, são dois os elementos que vão ser avaliados segundo a quantidade de informações disponíveis sobre os locais, quais sejam: custos e menor impacto ambiental.

O objectivo da estrutura hierárquica é avaliar o local que gera o menor impacto ambiental na zona, assim o resultado da avaliação gera um vetor de peso de importância, onde o maior valor é o local que gera menor impacto ambiental. Os custos são avaliados fora da estrutura hierárquica e confrontados com ela posteriormente.

Os critérios avaliados, que são as ocorrências que geram potencialmente impacto ambiental, foram definidos como: Geológico, Tecnológico e geográfico e ambiental. Esses critérios estão divididos em subcritérios, que são os elementos de meio ambiente que recebem potencialmente impacto: fauna, flora, ocupação humana, água, ar e solo.

4.3 Avaliação da Viabilidade e Aplicabilidade Prática

Nesta etapa são feitos os julgamentos entre critérios subcritérios e atribuindo os valores de julgamentos relativos propostos por Saaty (1980). As matrizes pareadas são construídos comparando-se a preferências de um elemento em relação ao outro.

A tabela 09, representa a matriz pareada do nível 2, composto pelos seguintes critérios: Geológico, tecnológico e geográfico e ambiental. Na tabela 14, são apresentadas as matrizes pereados do nível 3 compostos pelo su-critérios: Fauna (F), ocupação humana (OH), água (A), e solo (S), nas tabelas estão também apresentados os autovector e o produtos da matriz pareada pelo auto-vector.

O procedimento a seguir é a construção do modelo, podendo ser dividido nas seguintes etapas:

1) Construção da matriz de preferência e formulação da matriz três (3);

Tabela 09: Matriz pareada do Nível 2.

Tabela 12: Matriz pareada do nível 2

Critérios	**C1**	**C2**	**C3**	**Soma**
C1	1	1/7	1/3	-
C2	7	1	5	-
C3	3	1/5	1	-
Somatório (w)	**11**	**1,34**	**6,33**	

Fonte: contribuição do autor

2. Normalização da Matriz

A normalização da matriz de preferência, consiste na divisão de cada elemento da matriz pela soma da coluna a que pertence.

Tabela 13: Normalização

Critêrios	C1	C2	C3	Soma
C1	0,09	0,10	0,05	0,24
C2	0,63	0,74	0,78	2,15
C3	0,27	0,14	0,15	0,56
Somatório (w)	1,00	1,00	1,00	2,95

Fonte: Contribuição do autor.

3. Obtenção do Vector (V)

A obtenção do vector da média de cada critério, chamado do vector, resultado do cálculo da média aritmética de cada linha da matriz normalizado (PML ` S). O resultado será um vector representando um dado critérios (ver na tabela 11).

Tabela 14: Obtenção de vector

Critérios	C1	C2	C3	Soma
C1	0,09	0,10	0,05	0,09
C2	0,63	0,74	0,78	0,72
C3	0,27	0,14	0,15	0,19
Somatório (w)	1,00	1,00	1,00	1,00

Fonte: Contribuição do autor

Tabela 15: Vector

Critérios	Vector de Prioridade (PML`S)			
	C1	C2	C3	Soma
	0,09	0,72	0,19	1,00

Fonte: Contribuição do autor

Após a obtenção do vector de prioridade, com o julgamento dos engenherios da mina do Longonjo, procede a avaliação das alternativas (A e B) em função dos critérios em uma escala 1 a 6 (ver na tabela 13).

Tabela 16: Avaliação das alternativas em função dos critérios

Alternativa	Critérios		
	C1	C2	C3
A	Peso 5	Peso 6	Peso 4
B	Peso 6	Peso 5	Peso 5

Fonte: Contribuição do autor

Agora procede-se-á á aplicação dos pesos do modelo simples AHP e obter-se-á a pontuação total (Prioridade Média Global PMG`s) de cada alternativa,aquela que tiver maior valor será a melhor decisão.

4. Obtenção do resultado, multiplicando as duas (2) matrizes (do vector de prioridade e dos pesos avaliados, respectivamente).

$$\text{Alternativa (A)} = (0{,}09 \times \text{Peso } 5) + (0{,}72 \times \text{Peso } 6) + (0{,}19 \times \text{Peso } 4)$$

$$\text{Alternativa (A)} = 5{,}38$$

$$\text{Alternativa (B)} = (0{,}09 \times \text{Peso } 6) + (0{,}72 \times \text{Peso } 5) + (0{,}19 \times \text{Peso } 5)$$

$$\text{Alternativa (B)} = 4{,}93$$

Logo, conclui-se em função dos cálculos realizados quanto as alternativas , que a alternativa (A) tem preferência maior valor, ou seja 5,38 em relação a alternativa (B).

5. Verifição da coerência (Consistência)

Estimação do autovalor ($\lambda_{máximo}$).

A estimação do auto-Valor pode ser realizado pela seguintes equação :

$\lambda_{máximo} = W.V = W_1 \cdot V_1 + W_2 \cdot V_2 + W_3 \cdot V_3$

$\lambda_{máximo} = (11 \times 0{,}09 + 1{,}34 \times 0{,}72 + 6{,}33 \times 0{,}19)$

$\lambda_{máximo} = 3{,}07$

Indice de Consistência (IC)

É calculado através da seguinte expressão :

$(IC) = \frac{(\lambda_{máximo} - N)}{(N-1)}$, em que N é a ordem da matriz (N=3)

$(IC) = \frac{(3{,}07-3)}{(3-1)} \Rightarrow$ IC = 0,03

Razão de Consistência

$RC = \frac{IC}{CA}$, em que CA = Indice da consistência aleátoria (CA=0,60).

$RC = \frac{0{,}03}{0{,}60} \Rightarrow$ RC = 0,06

Considerando o autovalor é a ordem da matriz igual a três (3), os julgamento estão coerentes . E ainda , como o IC é menor que a RC, e ambos menor que 0,10 ou 10 %, logo a matriz considera-se consistente e os resultado são aceitáveis.

Uma vez validado o projecto, com a escolha da tecnologia de exploração a céu-aberto usando método de multicritérios , com o recurso a aplicação do método AHP, o método escolhido para implantação da escombreiras, ruptura da barragem de rejeitos bem como o transporte de estéreis, em função dos critérios estabelecidos nos capítulos anterior como.

A tabela 17: Matrizes pareadas do sub-critérios do nivel 3

	Nivel 2				
Geológico	**(1)**	**(2)**	**(3)**	**Autovector**	**AC**

Poluição do ar (P.A)	1	1	$^1/_2$	0,23	0,71
Degração do solo (D.S)	1	1	$^1/_4$	0,19	0,51
Ocupação Humana (O.H)	2	4	1	0,58	1,79

Fonte: Contribuição do Autor

$\lambda_{máxima} = 3{,}05$, IC=0,03 , RC=0,06

Tecnologico	**Nivel 2**				
	(1)	**(2)**	**(3)**	**Autovector**	**AC**
Poluição do ar (P.A)	1	$^1/_3$	3	0,23	0,79
Degração do solo (D.S)	3	1	5	0,63	1,95
Ocupação Humana (O.H)	$^1/_3$	$^1/_5$	1	0,11	0,32

$\lambda_{máxima} = 3{,}04$, IC=0,02 , RC=0,03

Ambiental	**Nivel 2**				
	(1)	**(2)**	**(3)**	**Autovector**	**AC**
Poluição do ar (P.A)	1	$^1/_5$	$^1/_7$	0,08	0,22
Degração do solo (D.S)	5	1	$^1/_3$	0,28	0,87
Ocupação Humana (O.H)	7	3	1	0,64	2,01

$\lambda_{máxima} = 3{,}07$, IC=0,03 , RC=0,06

A tabela 18: Monstra as matrizes pareados do nivel 4 corresponde as alternativas de local.

Nivel 3 Fauna					
	(1)	**(2)**	**(3)**	**Autovector**	**AC**
Local (L1)	1	1	1	0,33	1,00
Local (L2)	1	1	1	0,33	1,00
Local (L3)	1	1	1	0,33	1,00

Fonte: Contribuição do Autor

$\lambda_{máxima} = 3{,}00$, IC=0,00 , RC=0,00

Nivel 3 Ocupação Humana					
	(1)	**(2)**	**(3)**	**Autovector**	**AC**
Local (L1)	1	4	5	0,67	2,11
Local (L2)	$1/4$	1	3	0,23	0,71
Local (L3)	$1/5$	$1/3$	1	0,10	0,31

$\lambda_{máxima} = 3{,}09$, IC=0,04 , RC=0,07

Nivel 3 Poluição do Ar					
	(1)	**(2)**	**(3)**	**Autovector**	**AC**
Local (L1)	1	$1/3$	3	0,27	0,83
Local (L2)	3	1	4	0,61	1,90
Local (L3)	$1/3$	$1/4$	1	0,12	0,36

$\lambda_{máxima} = 3{,}07$, IC=0,04, RC=0,06

Nivel 3 Degradação do Solo					
	(1)	**(2)**	**(3)**	**Autovector**	**AC**
Local (L1)	1	2	$^1/_5$	0,19	0,59
Local (L2)	$^1/_2$	1	$^1/_4$	0,13	0,40
Local (L3)	5	4	1	0,68	0,16

$\lambda_{máxima} = 3{,}10$, IC=0,05 , RC=0,08

4.4 Análise Comparativa

Os autovectores gerados para cada matrizes são agrupados até obter os pesos finais para cada uma das alternativas, onde o maior peso corresponde á alternativa que gera o menor impacto ambiental. O autovector da primeira matriz (nivel critérios) encontra-se na tabela 16.

Tabela 19: Autovector da matriz do nivel 2.

C1	0,08
C2	0,72
C3	0,19

Os autovector da segunda matriz (nivel sub-critérios) estão apresentados na tabela 20 .

Tabela 20: Segunda matriz (nivel sub-criérios)

	C1	**C2**	**C3**
F	0,23	0,00	0,00
OH	0,19	0,26	0,07
PA	0,58	0,63	0,28
DS	0,00	0,11	0,64

Fonte: Contribuição do Autor

Os autovector da terceira matriz (alternativas) estão apresentados na tabela 21.

Tabela 21: Autovetores da matriz do nivel 4

	F	OH	PA	DS
L1	0,33	0,67	0,27	0,19
L2	0,33	0,23	0,61	0,13
L3	0,33	0,10	0,12	0,68

Fonte : Contribuição do Autor

O vector final de menor impacto ambiental obtido pelo produto matricial dos componentes das alternativas – sub- critérios- critérios é dado pela tabela 22.

Tabela 22: Vector final de menor impacto ambiental

Local 1	0,34
Local 2	0,42
Local 3	0,23

Fonte : Contribuição do Autor

Segundo esta escala de peso, ao Local 2 corresponderia o menor impacto e que uma lavra em cava assegura que as frentes de remoção de estéril ocorram simultâneo com as frentes em avanço de minério, permitindo uma produção elevada e ininterrupta.

4.5 Análise de sensibilidade

A sensibilidade da estrutura é analisada modificando-se os pesos de alguns elementos da estrutura hierárquica e agregando-se critérios e sub-critériso.

Avaliou-se a alteração dos julgamentos paritários relativos ao sub-critério de poluição do ar em cada um dos critérios,considerando-o mais vulnerável aos impactos, considerando que a lavra a céu-aberto tem a necessidade de movimentação de uma grande massa de material estéril , para simular uma situação de pressão de organismos ambientais fiscalizadores dos recursos hídricos, ou organizações não governamentais ambientalistas, ou mesmo a comunidade local. A hierárquia foi recalculada colocando peso menor para a poluição do ar nas comparações paritárias, ou seja , maior impacto.

Para o critério Geológico, nenhuma alteração nos pesos dos julgamentos paritários resultou numa mudança de pesos finais das alternativas, mesmo quando os julgamento

paritáriso entre a Fauna e Poluição do ar e ocupação humana passaram de , respectivamente, importância pequeno e importância forte , da primeira sobre a segunda , para importância absoluta da segunda em relação á primeira.

Para o critério Tecnologico , alterações nos julgamentos causaram uma preferência pelo local 1 , que passou a ser o de menor impacto ambiental, mostra o caso em que os pesos finais dos locais 1 a 2 se igualam , pela simples modificação do julgamento paritário entre ocupação humana e poluição do ar , esse se mostrou o julgamento que mais influi neste critério, e em toda a hierarquia .

Par o critério Ambiental, nenhum alteração nos pesos dos julgamentos paritários resultou numa mudança de peso finais das alternativas, mesmo quando os julgamentos paritários entre Poluição do ar e Fauna e poluição do ar e ocupação humana, importa referir que no setor mineral existem alguns impactos ambientais inerentes a essa actividade, de forma que , tais impactos devem ser absorvidos nas operações de controle ambiental e o seu planejamento direcionado a cada caso.

A análise de sensibilidade neste exemplo revela que , independentemente do método escolhido,este deve ser seguro e produzir condições ambientais adequadas , ser flexível para se adaptar as condições geologicas , atingir a máxima produtividade e permitir condições de estabilidade durante a vida útil da mina .

4.6 Considerações de custos dos locais

Com base nos novos dados dos recursos mineiras , uma nova optimização de mineração da mina foi realizada com ,resultado na ampliação do tempo de vida útil da mina (LOM) dos iniciais 9 anos , para 18 anos, (com potencial para mais, com o minério da rocha húmida e as novas áreas que permanecem abertas para a prospecção) . Ao final dos 18 anos de LOM a planta de processamento continua a funcionar por mais dois anos, sendo alimentada através dos stock de minério. O plano da mina prevê o inicio da exploração mineira nas áreas do depósito lateralmente extenso, com base na zona de rocha alterada e com categoria de Recurso Minerais Medidos e Indicados.

Somente Recursos Medidos e Indicados seram utilizados na optimização base da mina. Foi executado um cenário testando a inclusão de Recursos Inferidos.Áreas que requerem atenção especial em termos de medidas de prevenção ambiental e social foram identificadas nos estudos de base . As áreas ao redor das ruínas da capela e cavernas de morcegos foram excluídas da optimização da mina . A tabela 23 resume as taxas de processamento utilizada na optimização da mina .

Tabela 23 : Taxas de processamento da optimização da mina

Tipo de material	Unidade	Taxa

Alimentação de minério na lavraria	Kdtpa	1,500
Alimentação de concentrado na refinaria	Kdtpa	107

Fonte: Ozango Mineira

A Snowdem utilizou os critérios de desenho fornecidos na Tabela 21 , para planeamento da mina

Tabela 24: Parâmetro de desenho da mina

Parãmetro	Unidades	Transportado/Saprolite	Sparock/ húmida
Altura da bancada	M	4	4
Largura de bermas	M	4	2.5
Ângulo face do talude	-	54	69
Ângulo global	-	30	45

Fonte : Ozango Mineira

Os parâmetro da rampa foram projectados com 13,5 m de largura .A largura miníma para todos os estágios foi de 20 m com uma largura miníma de mineraçâo de 13,5 m . A figura 13 ,monstra o desenho das várias cavas. As cavas foram ordenadas com base em vários factores concoreentes :

- Acesso antecipado ao minério de alto teor ;
- Atrasar a mineraçâo na colina a norte ;
- Atrasar em áreas mais ingremes ;
- Minimizar a distância de ciclos de transporte ; e
- Minimizar rácio de estéril /minério .

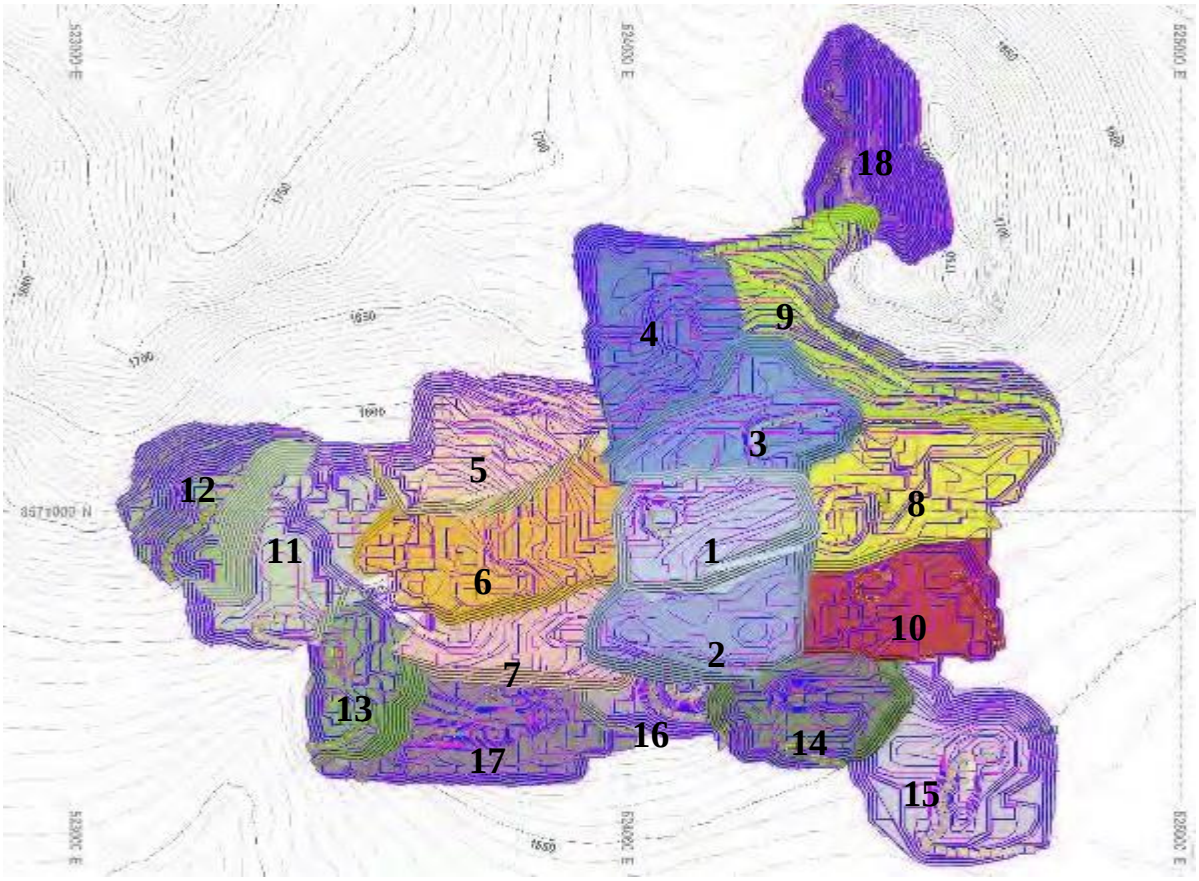


Figura 13 : Cronograma de 18 cavas para LOM de aproximadamente 18 anos,**Fonte :** Ozango Mineira

As etapas 9 e 18 foram desviadas para excluir as cavernas de morcegos e as ruínas de uma capela, identificadas nos estudos de avaliação de impacto ambiental. A **Tabela 25** resume o inventário do planeamento da mina. A maior parte da massa de minério está contida na litologia do óxido (saprolite). A alimentação das plantas de processamento de minério é restrita ao óxido e às litologias transportadas. Em média, os teores são mais elevados nas litologias de mineiro transportado, que representa 13% do minério por massa seca.

Quase 34% do material húmida ocorre no estágio 16, com os estágios 1, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 17 e 18 contendo menos de 10% cada um.

Tabela 25:Inventário do planeamento da mina

Item	Quantidade
Total (Mwt)	53.2
Estéril (Mwt)	11.7
Minério (Mwt)	41.6
Minério (Mdt)	30.0
NdPr (%)	0.57
TREO (%)	2.62

Fonte : Ozango mineira

4.6.1 Escombreira

A tabela 26, resume os parâmetros de desenho da escombreira. As rampas da escombreira foram projectadas a uma inclinação de 10 % com uma largura de 13,5 m . Foi assumido um factor de empolamento de 20 %, uma vez que a maior parte do material é oxidado e será de escavável , pelo que não deverá empolar significativamente.

Tabela 26: Parâmetro de concepção da escombreira de estéreis

Parâmetro	Unidades	Durante a deposição de estéril	Final/ Reabilitado
Altura da bancada	M	10	10
Largura de bermas	M	27.5	10
Ângulo face do talude	-	37	18
Ângulo global	-	13.8	13.8

Fonte : Ozango Mineira

A figura 14 , monstra o desenho da escombreira que está localizada ao sul de poço. A escombreira tem uma altura máxima de 50 m e o nível superior de 1,546 Mrl. O desenho evita as linhas de drenagem e tem uma capacidade de 13 Mlcm (Loose Cubic metres). Isto é mais do que necessário, o que atenuará quaisquer riscos associados a factores de empolamento superiores ao esperado e permitirá que os estéreis mineralizados sejam despejados separadamente.

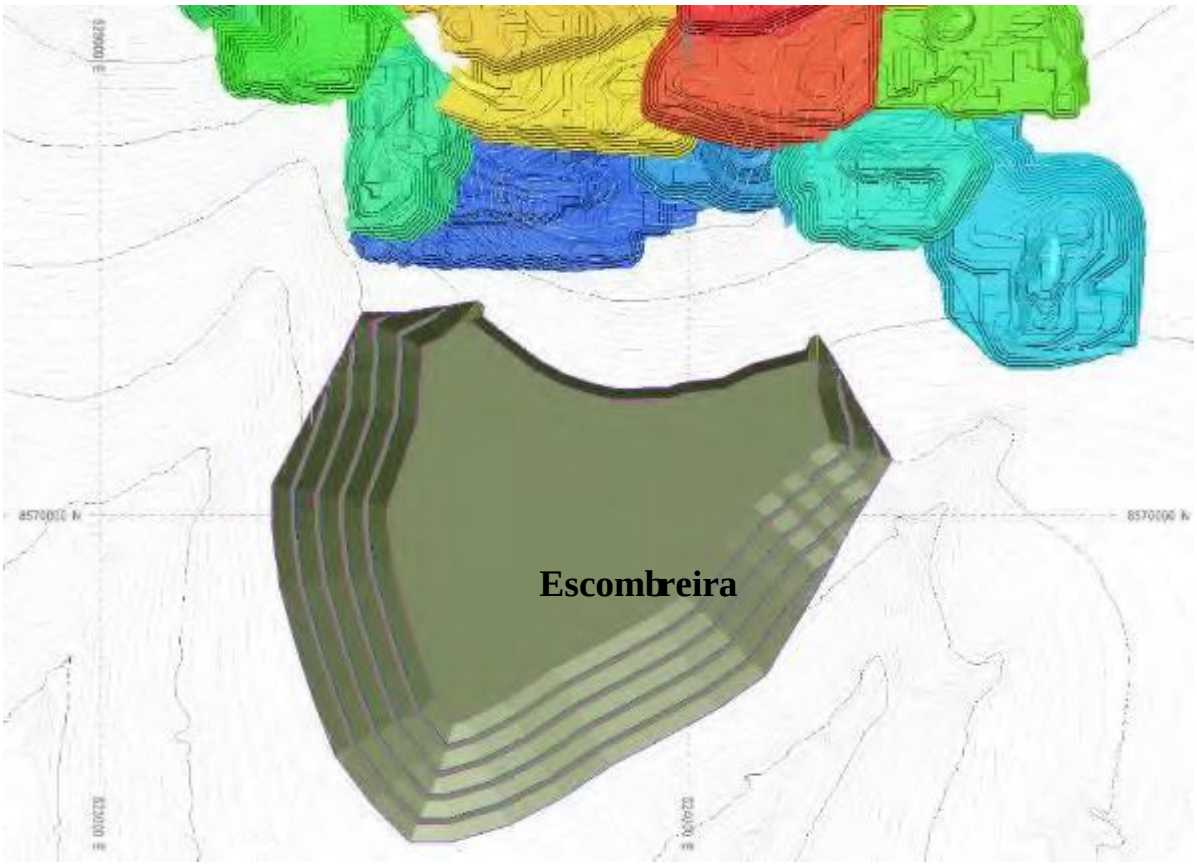


Figura 14: Desenho da escombreira , **Fonte :** Ozango Mineira

4.6.2 Cronograma de mineraçâo

O Cronograma foi completado em incrementos anuais ao longo da vida do projecto, excepto para o periodo de pré-produçâo, que foi de apenas quatros meses .

A figura 14, monstra o movimento da saída por cava. Picos de mineraçâo a 3,4 Mwtp/a durante os primeiros quatro anos, e depois de reduz para cerca de 3Mwtpa durante a maior parte do tempo de vida da mina.

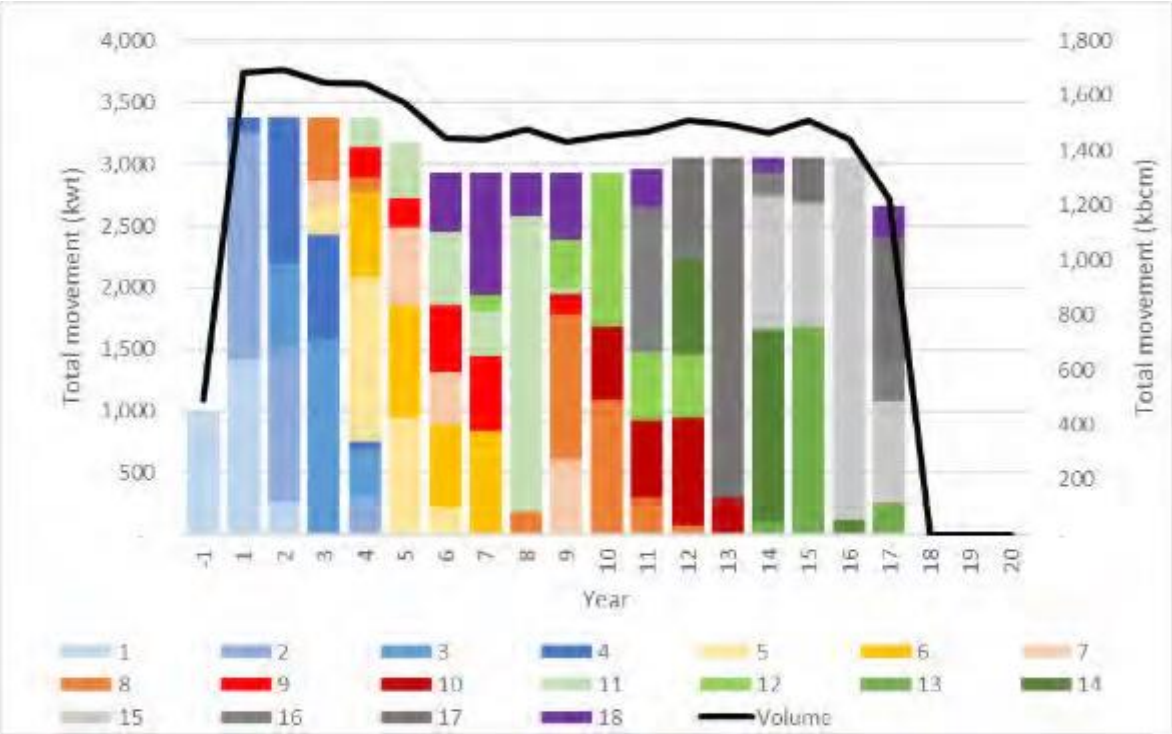


Figura 15: Movimentaçâo total de saída da Cava, **Fonte :**Ozango Mineira

A Figura15 mostra a alimentação de minério para a planta de processamento por categoria de recurso e a percentagem de capacidade que é utilizada. Os períodos iniciais são obtidos predominantemente de recursos medidos, o que reduzirá o risco dos recursos. A planta de processamento de minério está a trabalhar em capacidade máxima durante a maior parte do cronograma.

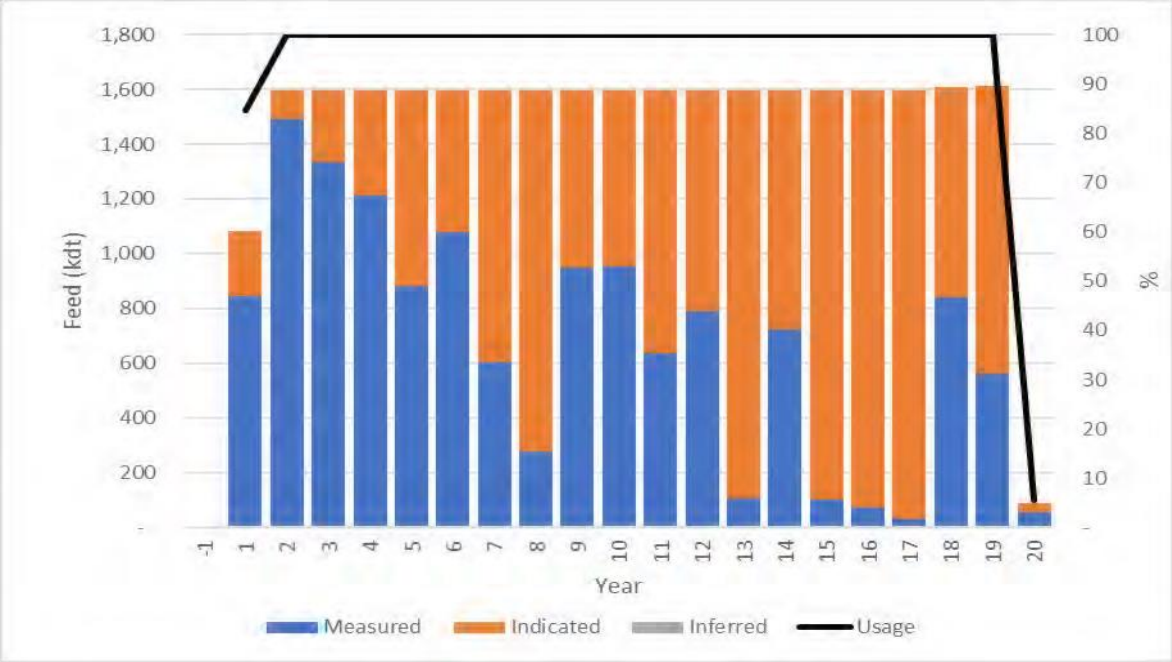


Figura 16: Alimentação da planta de processamento por categoria de recurso , **Fonte :**Ozango Mineira

A Figura 17 mostra o tamanho do stock por tipo de minério. O stock está com capacidade de 4,4Mdt do ano 7 ao 11. Inicialmente é armazenado minério com teor mais elevado, o que indica que pode ser possível baixar as taxas iniciais de mineração antes de aumentá-las a médio prazo, ao contrário de manter uma taxa relativamente consistente entre 3,2 e 3,5Mwtpa. Isso também reduziria potencialmente a quantidade de armazenamento com um total de 12Mdt que actualmente passa pelo stock ao longo do cronograma.

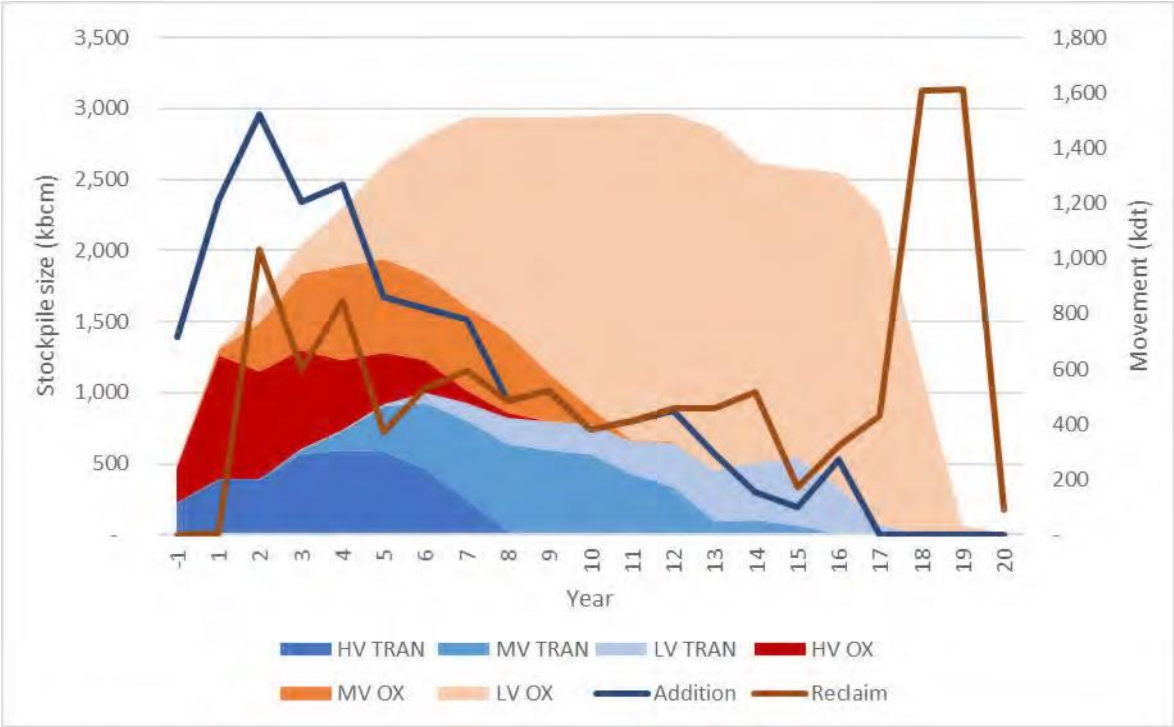


Figura 17: Tamanho da stock de longa duração por tipo de minério,**Fonte :** Ozango Mineira

4.7 Operações mineiras

4.7.1 Filosofia operacional

Está previsto que sejam usados empreiteiros nas operações de mineração. Espera-se que o empreiteiro seja quase completamente auto-suficiente, realizando todas as operações de mineração, inclusive:

- Perfuração de controle de teor ;
- Perfuração e desmonte ;
- Carga e transporte ;
- Manuseio e mistura de minérios armazenados na e para a ROM.

A Ozango manterá o controle sobre a gestão da operação de mineração através da supervisão da operação do empreiteiro, planeamento da mina, controle de teores, geologia e serviços de mineração e supervisão sobre a gestão operacional higiene e segurança no trabalho.

4.7.2 Horário das Operações de Mineração

As operações de mineração irão decorrer em único turno de 8 horas por dia, cinco (5) dias por semana, durante todo o ano. Isso permitirá que a mineração ocorra durante o dia e reduzirá o impacto do ruído nas aldeias vizinhas.

A mistura do minério em stock e a alimentação da planta de processamento mineral será realizada usando uma pá carregadora em operação contínua de 24 horas.

4.7.3 Equipamento Mineiro

A Tabela 27 ,resume o equipamento necessário com base nas cotações do empreendimento. Como serâ utilizados , o equipamento é representativo e a frota final será influenciada pelo equipamento que o empreiteiro seleccionado tiver disponivel . O empreiteiro irá operar caminhões de água para controlar a geraçâo de poeiras resultantes do movimento dos veículos em todas as estradas da mina, escombreira, e pilhas de armazenamento e utilizará uma motoniveladoraa par manter os acessos.

Tabela 27: Requisitos de equipamento

Tipo	Tamanho	Quantidade
Escavador primária	70 t de peso operacional	2 a 3
Escavadora de reserva	30 t de peso operacional	1
Dumper articulado	Capacidade de 45 t	8 a 12
Pá carregadora frontal	30 t de peso operacional	1 a 2
Motoniveladora	22 t de peso operacional	1
Bulldozer	40 t de peso operacional	2
Cilindro compactador	17 t de peso operacional	1
Camiâo de água	Capacidade do site 35 k l	2
Camiâo de serviço	20 kl capacidade	1
Perfuradora	16 t de peso operacional	0 a 1

Fonte : Ozango Mineira

CONCLUSÃO

O método é sinônimo de técnica de extração de material é o projecto da mina é uma função da seleção da técnica de extração. Essa técnica deve ser selecionada para depositos índividuais, fazendo-se considerações as situações existentes durante o estudo de viabilidade.

O projecto da mina deve ser flexível para permitir o desenvolvimento do sistema de extração. O uso de novos equipamentos ou a mudança para um outro método devem ser desconsiderados se caso o mesmo não permita modificações estruturais.

Na seleção de alternativas de localização de escombreira, a geoquimica e a geologia jogam um papel muito importante na eliminação de áreas imprópria para o transporte de estéril. Os trabalhos de prospecção são registrados historicamente e podem ser sistematizados. Recomenda-se fortemente a utilização dessas informações regionais antes da definição das alternativas de local e coleta de dados correspondentes.

O método de análise hierárquica (**AHP**) permite considerar muitos atributos e suas interações, é de fácil execução , minimiza a subjectividade, organiza o trabalho melhorando sua visualização e fornece uma ordenação por peso globais.

Uma das concluisões mais importantes desta pesquisa é que a experiência joga um papel importantissimo na tomada de decisões. A utilização do método de análise hierárquica não se limita na definir o problema (no casdo, escolha da tecnologia de exploração a céu-aberto usando método de multicritérios) , realizar uma revisão crítica com base na experiência própria do tomador de decisão.

Grande parte da dificuldade na utilização do método de análise hierárquica não está na fase de avaliação, isto é, no preenchimento e cálculo das matrizes , mas sim na fase da definição e estruturação dos critérios e sub-critérios, ou seja , na elaboração da hierárquia . Comparem-se as tabelas de indicadores elaboradas por vários profissionais, a partir do conhecimento técnico pré-existente, é necessário elaborar o problema do ponto de vista dos objectivos , trabalhando-o de acordo com aspectos fundamentais , os quais podem ser compreendidos por todos atores envolvidos, incluive na área da engenharia de minas .

RECOMENDAÇÕES

Os resultados alcançados neste trabalho deixam sugerir as seguintes recomendações :

1. Escolha do método de lavra tanto a céu-aberto como subterrâneo , baseando os critérios ;
2. Sugere-se o uso do método de análise hierárquica **AHP** na tomada de decisão ;
3. A escolha do método de multicritério, AHP (*Analytic Hierarchy Process*), como o método mais apropriado ao desenvolvimento da pesquisa.
4. A aplicação do AHP não só sugere um local para construção de uma escombreira para o transporte de estéril , bem como a construção de uma da barragem de rejeitos, como também permite uma visão geral do problema para o tomador de decisões.

REFERENCIA BIBIOGRÁFICA

Adler, L. et al. Mining Exploitation. In: Hartman, H. L. (ed.) Mining Engineering Handbook. 2nd ed. Littleton: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 1992. pp. 529-675.

Arai, M. Chapadas: relict of mid-Cretaceous interior seas in Brazil. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 436-438, dezembro de 2006. Disponível em:

ARANGO,J.C. Escogencia de blancos para exploracióon regional de acuerdo al análise y procesamiento sistematizado de informacion e imágenes de sensores remotos en la región del Carmen Atrato (Chocó).Medillín , Ant, : MINER S:A 2003.

ASSIS, Alexandre Henrique de. Teores de corte: uma análise da influência no resultado econômico de um empreendimento mineiro. 2016.

Barros, Magno da Silva; Cunha, Vicente de Almeida. Aplicação do método ahp para problemas gerencias: um estudo de caso. Monograifa (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Cândido Mendes. Campos dos Goytacazes, 2008.

Governo Provincial do Huambo - Administração Municipal do Longonjo, 2018. Perfil Dinâmico do Município do Longonjo. Relatório Final. Administração Municipal do Longonjo.

Huntley BJ. 2019. Angola in Outline: physiography, Climate and Patterns of Biodiversity. Biodiversity of Angola.

MARQUES, N.G. Seleção de áreas para aterros sanitários baseada em mapeamento geotécnico e analytic hierarchy process-AHP.2002.

Marins, C. S., Souza, Daniela De Oliveira, Freitas, André Luis Policani. A metodologia de multicritério como ferramenta para a tomada de decisões gerenciais: um estudo de caso. GEPROS, 2006.

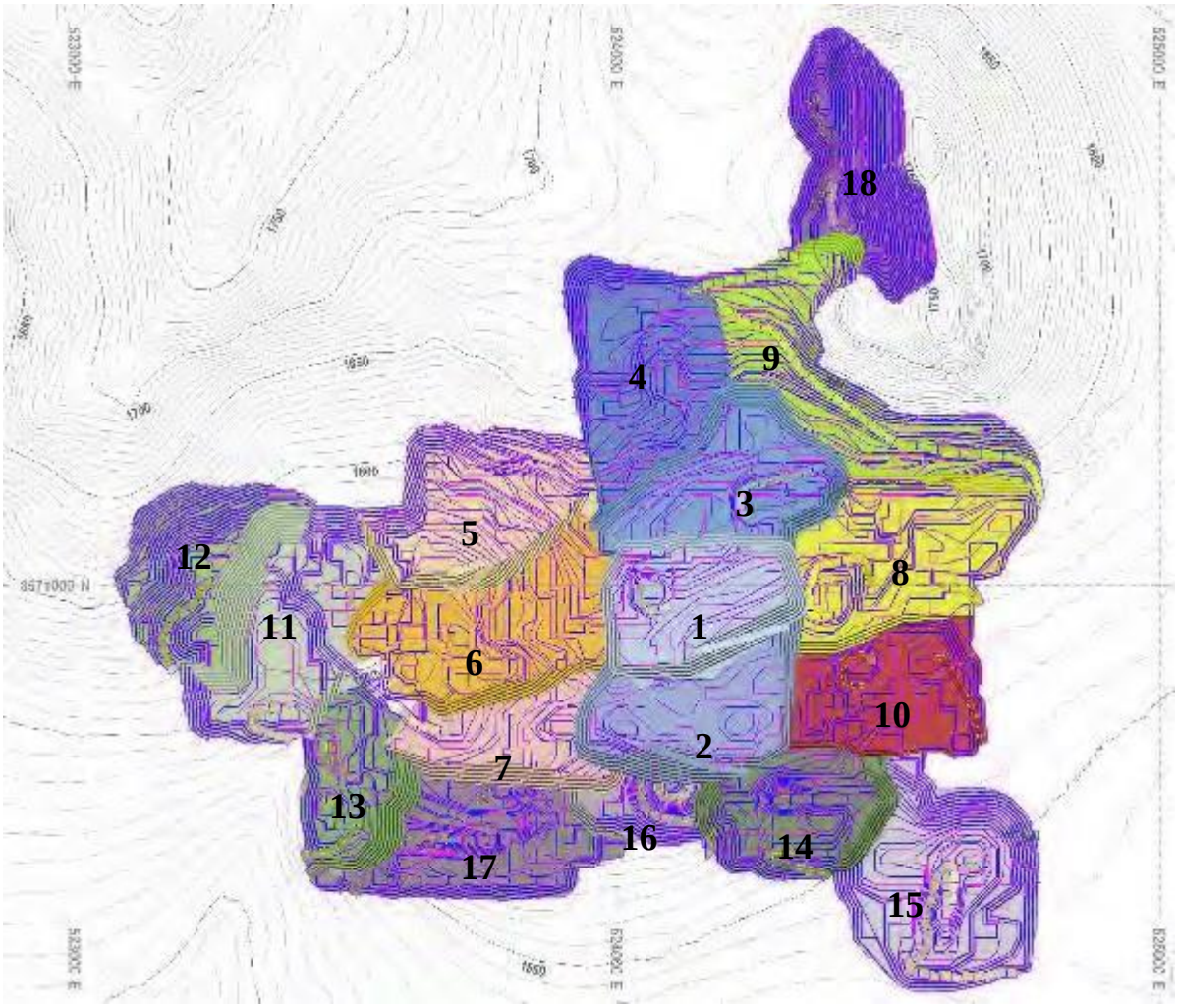
NPI. (2011). Emission Estimation Technique Manual for Mining. Version 3. Australian Government Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities.

Roche, H.; Vejo, C. Analisis multicriterio em la toma de deciosiones. Métodos Cuantitativos aplicados a la administración. Analisis multicritério – AHP. 2004. Material apoyo AHP, 11 f.

Saaty, T.L. Decision making for leaders. Pitts burg, USA: WS. Publications, 2000.

Trabalho de fim de curso com tema : Escolha do Itenerário Óptimo para a Implantação de caminho-de-ferro entre o Porto de Buba e as Minas de Bauxite de Boé/Guiné-Bissau , Universidade Agostinho Neto-Faculdade de Engenharia , Departamento de Minas.

ANEXOS



Cronograma de 18 cavas para LOM de aproximadamente 18 anos

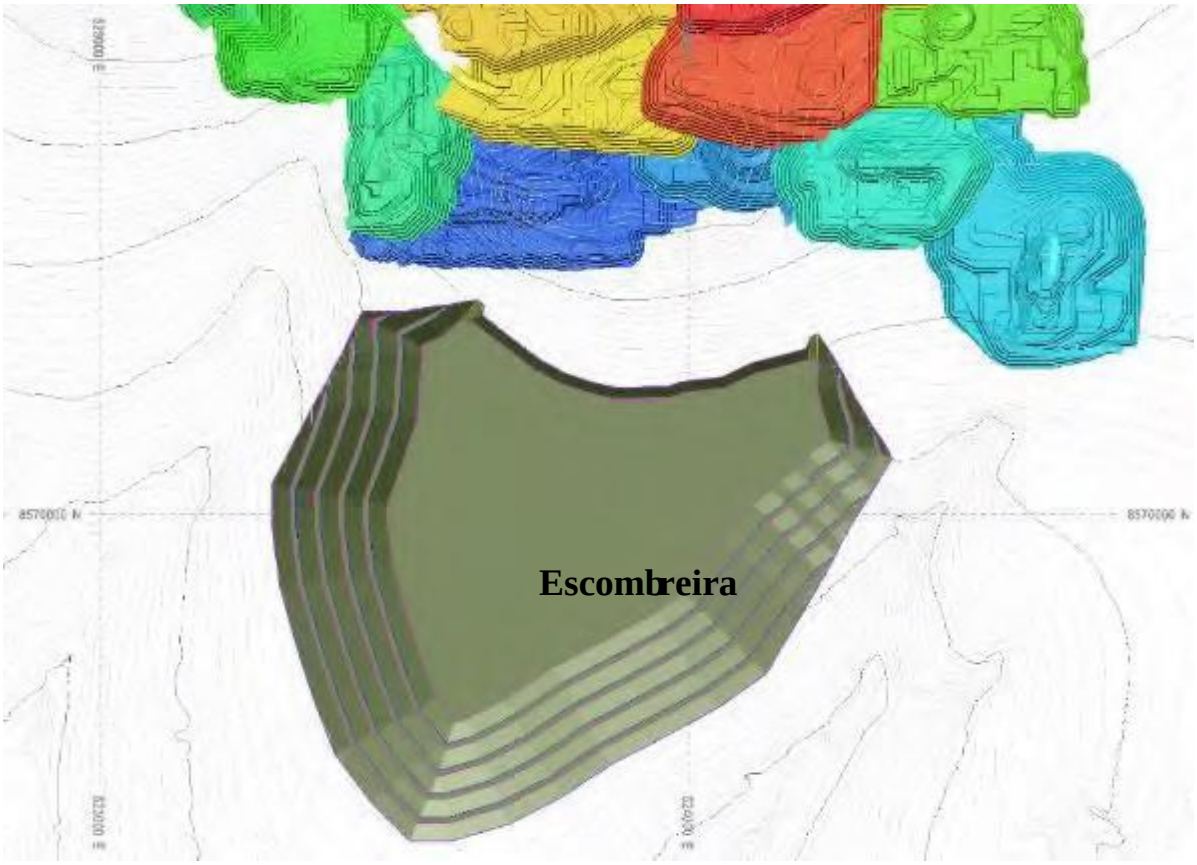


Figura 14: Desenho da escombreira ,