



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



**Trabalho de fim do curso para a obtenção do grau de
licenciatura em Engenharia de Minas**

**Impacto econômico resultante entre o custo de mineração
e o valor do produto**

Estudo de caso: Sociedade Mineira de Catoca

Elaborado por: Eliandro Filemom Borges Ndala

Estudante nº: 124828

Luanda/2025

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

Trabalho de fim do curso para a obtenção do grau de
licenciatura em Engenharia de Minas

**Impacto econômico resultante entre o custo de mineração
e o valor do produto**

Estudo de caso: Sociedade Mineira de Catoca

Nome: Eliandro Filemom Borges Ndala

Nº Estudante: 124828

Curso: Engenharia de Minas

Orientador: Engº José Domingos Dias

Luanda/2025

Projecto de pesquisa apresentado a Faculdade de Engenharia Agostinho Neto, sob a orientação do professor Eng.^º José Domingos Dias.

Aprovado aos: / Fevereiro /2025

Considerações:

DEDICATÓRIA

Ao criador do céu e da terra e a todos meus familiares e conhecidos que serviram de suporte para a realização desta grande obra.

AGRADECIMENTOS

Se não fossem as mãos de Deus, este trabalho não seria realizado, por esta razão é que acima de tudo e todas as coisas, serei eternamente grato a Ele, pois quando faltou força, ânimo, motivação e coragem, Ele esteve lá.

À minha família pelo apoio incondicional em todos os sentidos, antes e durante a elaboração da monografia, pois cada membro desempenhou com zelo e amor esta grande missão.

À minha namorada, confesso, que sem ela e seu apoio, este trabalho ainda não estaria pronto.

Ao meu orientador Eng.^º José Domingos Dias, que aceitou o desafio de orientar-me sem nenhuma objeção, agradeço-lhe por tudo, pelo precioso tempo disponibilizado para receber-me em seu escritório, sempre que eu solicitasse, o senhor fez mais do que deveria ter feito como orientador.

A classe docente da faculdade de Engenharia do Departamento de Minas, pela contribuição com ensinamentos, que jamais serão esquecidos, em especial aos professores Mcs. Nladu kinkela, Prof. Dr. Augusto Cazola, Eng.^º Augusto Paulino de Almeida Neto, Eng.^º João de Carvalho (em memória), Prof. Dr. António P. Alexandre, tenho um grande estima por vocês.

E por último, é claro que não iria esquecer-me dos meus colegas e amigos, que juntos partilhávamos conhecimentos, sofrimentos, apoiando uns aos outros quando necessário, especialmente a “La Criminal Family” o grupo de estudo na qual eu faço parte.

A todos os mencionados e não mencionados o meu muito obrigado!

ÍNDICE

DEDICATÓRIA	III
AGRADECIMENTOS.....	IV
ÍNDICE DE TABELAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
RESUMO	VIII
ABSTRACT	IX
INTRODUÇÃO.....	11
Capítulo I - Fundamentação teórica	16
1.1. Conceitos básicos de mineração	16
1.1.1. Etapas de um projecto de mineração	16
1.1.2. Métodos de mineração	17
1.2. Análise de custos.....	20
1.2.1. Análise económica de custo	21
1.2.2. Estimativas e tipos de custo na mineração.....	27
1.3. Teoria da produção.....	45
1.3.1. Factores de produção.....	46
1.3.2. Função produção.....	47
1.3.3. Produto Total	47
1.3.4. Taxa de produção do minério	48
1.4. Valor económico do bloco.....	50
1.4.1. Maximização dos Lucros	52
1.5. Valor das Commodities minerais	54
1.6. Receita mineral.....	55

1.7. Teor de corte	57
1.8. Indicadores chaves de performance - KPI	58
Capítulo II – Metodologia de investigação	62
2.1. Metodologia	62
2.2. Design Research ou Design Science Research	62
2.2.1. Características da Metodologia DSR	63
2.2.2. Saída do Design Research – Artefatos	63
2.2.3. Estruturação das etapas do método	65
Capítulo III – Estudo de caso da Sociedade mineira de Catoca.....	69
3.1. Caracterização da região em estudo	69
3.2. Apresentação da S.M. Catoca	73
3.2.1. Método de Mineração	74
3.2.2. Classificação da Mina	75
3.2.3. Planificação das Operações	75
3.3. Cálculo de custos detalhados baseando-se no planeamento anual da S.M. Catoca	76
3.4. Cálculo de custos utilizando o estimador de custos O'Hara actualizado	79
3.5. Análise económica	85
CONCLUSÃO	88
RECOMENDAÇÕES	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1.1: Custos fixos, variáveis e totais.....	22
TABELA 1.2: Índices de custo.....	29
TABELA 1.3: Variação do produto total em função da quantidade de trabalho.....	49
TABELA 2.1: Tipos de artefactos.....	64
TABELA 3.1: Indicadores de produção e financeiros.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Configuração do método de lavra.....	20
Figura 1.2: Representação gráfica do custo total.....	22
Figura 1.3: Representação gráfica do custo fixo.....	23
Figura 1.4: Representação gráfica do custo variável.....	24
Figura 1.5: Representação gráfica do custo marginal.....	25
Figura 1.6: Custo de capital do projeto de mina/moinho em função da taxa de moagem.....	31
Figura 1.7: Custos de equipamentos de poço aberto.....	37
Figura 1.8: Custos de serviços de mineração a céu aberto.....	40
Figura 1.9: Representação gráfica do produto total.....	49
Figura 3.1: Localização da S.M. Catoca.....	73

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise aprofundada sobre o impacto econômico decorrente da interação entre os custos de mineração e o valor de mercado dos diamantes, tomando como estudo de caso a Sociedade Mineira de Catoca.

A pesquisa investiga as dificuldades enfrentadas para equilibrar custos crescentes — como aqueles associados ao avanço para áreas mais profundas, aumento de preços de energia, necessidade de mão de obra especializada e aquisição de equipamentos modernos — com a volatilidade dos valores dos diamantes no mercado internacional. Esse cenário de desafios compromete diretamente a rentabilidade e a competitividade global da mina.

A partir de uma abordagem metodológica que combina análises quantitativas e qualitativas, este estudo explora não apenas os determinantes de custos e preços, mas também avalia sua influência na sustentabilidade econômica das operações. Utilizando dados reais obtidos entre 2018 e 2022, foram elaboradas estratégias voltadas à otimização de processos, maximização das margens de lucro e garantia da viabilidade a longo prazo. O estudo busca não apenas solucionar problemas práticos do setor, mas também oferecer contribuições teóricas relevantes para a engenharia e a gestão de recursos minerais.

Palavras-chave: Impacto econômico, custos de mineração, mercado de diamantes, Sociedade Mineira de Catoca, sustentabilidade econômica.

ABSTRACT

This study provides an in-depth analysis of the economic impact resulting from the interplay between mining costs and the market value of diamonds, using Sociedade Mineira de Catoca as a case study.

The research investigates the challenges of balancing rising costs — associated with deeper mining operations, increasing energy prices, specialized labor needs, and modern equipment acquisition — with the volatility of diamond prices in the international market. This challenging scenario directly compromises the profitability and global competitiveness of the mine.

Using a methodological approach that combines quantitative and qualitative analyses, this study not only identifies the determinants of costs and prices but also evaluates their influence on the economic sustainability of operations. Based on real data from 2018 to 2023, strategies were developed to optimize processes, maximize profit margins, and ensure long-term viability. The study seeks not only to solve practical issues within the sector but also to offer theoretical contributions relevant to engineering and resource management.

Keywords: Economic impact, mining costs, diamond market, Sociedade Mineira de Catoca, economic sustainability.

INTRODUÇÃO

A mineração desempenha um papel crucial na economia global, sendo um setor fundamental para o desenvolvimento de diversos setores.

O tema deste trabalho de final de curso, visa explorar o impacto econômico resultante da relação entre o custo de mineração e o valor do produto final, analisando como esses fatores interagem e influenciam as previsões econômicas.

Compreender a dinâmica entre os custos de mineração e os valores dos produtos finais é essencial para as empresas do setor mineiro, pois essa análise pode fornecer insights importantes para a tomada de decisões estratégicas. Além disso, o estudo contribui para a optimização dos processos produtivos, a maximização dos lucros e a sustentabilidade das operações.

É importante ressaltar que este estudo possui algumas limitações, como a dependência de dados precisos e atualizados sobre os custos de mineração e os valores dos produtos finais. Além disso, as conclusões obtidas serão delimitadas pelo escopo da pesquisa, focando em aspectos específicos da Sociedade Mineira de Catoca. A justificativa para este trabalho reside na relevância prática e acadêmica de compreender o impacto econômico resultante da relação entre custo de mineração e valor do produto final, contribuindo para o avanço do conhecimento nesse campo específico da engenharia de minas.

Um dos principais desafios enfrentados pelas empresas mineradoras é encontrar um equilíbrio entre os custos crescentes de extração e processamento mineral e a flutuação dos valores dos produtos finais no mercado global. Essa disparidade pode impactar significativamente a rentabilidade das operações e a competitividade das empresas no cenário internacional.

Para abordar essa questão complexa, este trabalho utilizará métodos analíticos e modelos econômicos para investigar a relação entre os custos de mineração e os valores dos produtos finais, identificando factores-chave que influenciam essa interação. Serão realizadas análises planeadas para propor

estratégias que visam melhorar os custos operacionais e maximizar a margem de lucro das empresas Sociedade Mienira de Catoca.

Problema

Dificuldade em estabelecer um equilíbrio entre a flutuação dos preços dos produtos finais no mercado e os custos crescentes de extração e processamento mineral.

Causa

O problema acima referido é impulsionado por:

- Custos crescentes: Avanço para áreas mais profundas, aumento nos preços de energia, mão de obra especializada e equipamentos.
- Volatilidade de mercado: Oscilações de oferta e demanda globais, alterações em políticas de comércio, crises econômicas e variações cambiais.

Consequência

- Redução da rentabilidade das operações mineiras, comprometendo o funcionamento contínuo da mina;
- Dificuldades em sustentar operações de longo prazo sem comprometer margens de lucro;
- Redução na competitividade global do negócio.

Solução

Integração de tecnologias e estratégias de gestão econômica para equilibrar os custos e os preços.

Justificativa

Este estudo é essencial para fornecer uma compreensão detalhada sobre como custos e preços interagem, determinando a viabilidade econômica das operações mineiras. A relevância reside em:

- Oferecer subsídios para tomadas de decisão baseadas em dados confiáveis.
- Garantir a sustentabilidade econômica da mineração.
- Maximizar a eficiência operacional, especialmente em um mercado volátil.

A pesquisa não só aborda os desafios do sector, mas também propõe soluções práticas, contribuindo tanto para a academia quanto para a indústria.

Objectivo geral

Estudar o comportamento dos custos face a volatilidade do mercado, para garantir o funcionamento sustentável da mina, pretendendo compreender como essa interação influencia as possibilidades econômicas das operações.

Objectivos específicos

- Identificar e analisar os principais componentes de custos associados à mineração a céu aberto em depósitos primários;
- Avaliar como as características físicas e qualitativas dos diamantes influenciam no valor de mercado e estabelecem uma correlação com o potencial de rentabilidade da mina;
- Analisar a dinâmica dos valores dos produtos finais no mercado global e identificar os principais determinantes dessa variação;
- Propôr estratégias e recomendações para otimizar os custos operacionais, maximizar a margem de lucro e garantir a sustentabilidade econômica da empresa, em função do valor estimado dos diamantes extraídos;
- Validar as conclusões obtidas por meio de análises quantitativas e qualitativas, utilizando dados reais e estudos de caso relevantes

Hipóteses

Hipótese 1: A maioria dos custos de mineração a céu aberto está concentrada em energia, mão de obra e manutenção de equipamentos.

Hipótese 2: As características físicas e qualitativas dos diamantes têm impacto significativo no valor de mercado, influenciando diretamente a lucratividade da mina.

Hipótese 3: A flutuação nos preços dos diamantes no mercado global está fortemente ligada a fatores como dinâmica da oferta, qualidade dos produtos e condições econômicas globais.

Hipótese 4: Uma análise integrada dos custos e preços permite identificar estratégias para maximizar a margem de lucro e garantir a sustentabilidade econômica da mineração.

Delimitação da Investigação

Este estudo foca:

Tipo de mineração: Mineração a céu aberto em depósitos primários de diamantes.

Escopo geográfico: Limita-se a um estudo de caso específico, considerando dados de uma mina particular, neste caso é a Sociedade Mineira de Catoca.

Aspectos econômicos: Explora custos operacionais diretos e indiretos, bem como a volatilidade de preços no mercado.

Horizonte temporal: Dados históricos de 2018 a 2023 serão utilizados para análise de tendências e projeções.

Métodos: Utiliza análises quantitativas e qualitativas, baseadas em dados reais, entrevistas e estudos de caso.

CAPÍTULO I

Fundamentação teórica

Capítulo I - Fundamentação teórica

1.1. Conceitos básicos de mineração

De acordo o Código mineiro Angolano (2011) define-se **mineração**, como conjunto de actividades que incluem o reconhecimento, prospecção, pesquisa, avaliação, exploração, beneficiação e comercialização de recursos minerais. O termo mineração segundo o mesmo código também é designado por actividade mineira.

A mineração sempre teve uma relação estreita com a economia do País, é um dos sectores básicos da economia nacional. Atualmente, com previsão de crescimento de 2% para Produto Interno Bruto (Victor, 2024).

1.1.1. Etapas de um projecto de mineração

A vida de uma exploração mineira é composta por um conjunto de etapas que se podem resumir a:

- Pesquisa, para localização da reserva;
- Estimativa dos recursos em termos de extensão e teor do depósito.
- Planeamento, para avaliação da parte do depósito economicamente extraível.
- Estudo de viabilidade, para avaliação global do projeto e tomada de decisão entre iniciar ou abandonar a exploração do depósito.
- Desenvolvimento de acessos ao depósito que se vai explorar.
- Exploração, com vista à extração de minério em grande escala.
- Recuperação da zona afetada pela exploração de forma a que tenha um possível uso futuro.

De notar que entre a fase de pesquisa e o início da exploração podem decorrer vários anos ou mesmo décadas, sendo os investimentos necessários nesta fase muito elevados.

1.1.2. Métodos de mineração

Relativamente ao modo de escavação as minas podem dividir-se em dois tipos principais: minas subterrâneas e minas a céu aberto.

Para a Equipe editorial de conceito (2023) a mineração a céu aberto nada mais é do que uma escavação ampla da superfície do terreno com o propósito de extrair minerais metálicos e não metálicos, em qualquer tipo de rocha. As lavras a céu aberto podem ser desde pequenas, utilizando equipamentos manuais na superfície do terreno, até gigantescas escavações que alcançam centenas de metros em profundidade, podendo ocupar dezenas ou eventualmente até centenas de quilômetros quadrados em superfície.

Já a mineração subterrânea é feita em depósitos minerais que ficam abaixo da superfície da terra. Ela compreende a construção de túneis e galerias a fim de acessar os depósitos minerais. Esse método é muito utilizado quando os minerais se encontram numa grande profundidade ou quando a mineração de superfície não se configura viável (Equipe editorial de conceito, 2023).

Durante o planeamento, a viabilidade econômica é o factor mais importante para a seleção do método de lavra. Porém, aspectos de higiene, segurança, estabilidade da mina, a recuperação do minério e a produtividade máxima também são considerados. A escolha do método de lavra é o factor que possibilita o desenvolvimento da operação de extração do material, se esta fôr feita de forma errada poderá trazer consequências negativas para a viabilidade da mina. A escolha do método de lavra depende também em grande parte da localização e forma do depósito mineral, devendo ser escolhido o método mais seguro e ao mesmo tempo mais econômico, segundo o orientador Eng.^º Dias.

As características físicas do depósito, como a profundidade e sua extensão, limitam as possibilidades de aplicação de alguns métodos de lavra. Como por exemplo, o mergulho de corpo, que é um factor importante não só na escolha do método de lavra, mas também na escolha dos equipamentos que serão utilizados. O

mergulho de corpo pode ser classificado como: subvertical (horizontal a 20°), médio (20° a 50°) e íngreme (50° a vertical). A espessura do depósito também é um factor limitante para a escolha do método, podendo ser classificado como: estreito (<10 m), intermédio (10 m a 30 m), espesso (30 m a 100m) e muito espesso (> 100m) (Nicholas, 1968).

Além desses fatores, há outras considerações que devem ser analisadas como: as águas superficiais e subterrâneas, formas de drenagem e bombeamento, a permeabilidade do maciço rochoso, deformabilidade, resistência, etc. Todas devem ser aliadas as características da geologia estrutural - falhas, dobras, diques – avaliadas no início do projeto.

O método ideal seria aquele que proporcionasse a lavra mais econômica, segura e menos poluente, segundo Curi (2017). O mesmo ainda afirma que a escolha do método ideal sempre estará ligada aos condicionantes econômicos, procurando o aproveitamento mais lucrativo da reserva mineral, e social, buscando uma extração segura e com o menor impacto ambiental possível.

Em uma análise simplificada descrita em Cavalcanti (2005), demonstra-se que existem três equações fundamentais que são utilizadas para determinar o limite entre os trabalhos de exploração, definindo o melhor método de lavra a ser executado:

$$CM_s > CM_{ca} + R_{EM} * Ce: \text{Lavra a céu aberto} \quad (1)$$

$$CM_s = CM_{ca} + R_{EM} * Ce: \text{Lavra a céu aberto} \quad (2)$$

$$CM_s < CM_{ca} + R_{EM} * Ce: \text{Lavra subterrânea} \quad (3)$$

Onde:

CM_s - Custos de lavra subterrânea de uma tonelada de minério em \$/t;

CM_{ca} - Custos de lavra a céu aberto de uma tonelada de minério em \$/t;

Ce - Custos de lavrar o estéril em $\frac{\$}{m^3}$ e

R_{EM} - Relação estéril/minério em $\frac{m^3}{t}$.

Após selecionado o método de lavra, deve se produzir condições adequadas para os funcionários, reduzir os impactos causados ao meio ambiente e ao mesmo tempo conseguir estabilidade na mina, durante sua vida útil.

1.1.2.1. Lavra em Cava (Open Pit Mining)

Na lavra em cava, também conhecida como lavra por bancadas ou em bancos, o material estéril que recobre o minério é retirado e transportado para um local apropriado para a deposição de estéril, expondo assim o minério e permitindo o acesso a ele (CURI, 2007). Após a exposição do minério, a lavra é realizada em bancadas, configurando uma estrutura semelhante a um cone invertido (PERONI, 2008). Essa forma é adotada devido a questões de estabilidade dos taludes. Para garantir essa estabilidade, cada bancada subsequente deve ser construída com um raio menor do que a bancada imediatamente acima. Dessa forma, trata-se de uma operação de lavra descendente, desenvolvida em uma série de bancadas consecutivas (FIG. 1).

É importante destacar que o dimensionamento das bancadas é feito tendo em conta as características dos equipamentos utilizados e a geometria dos corpos geológicos. Por exemplo, a altura das bancadas é limitada pelo alcance máximo dos equipamentos de escavação, enquanto a largura das bancadas deve ser suficiente para conter a rocha fragmentada durante o desmonte e, ao mesmo tempo, permitir o espaço necessário para as operações e manobras dos equipamentos de carregamento e transporte.



Figura 1.1: Configuração do Método de Lavra em Cava

Fonte: Portal S.M. Catoca

A prática da actividade mineira é acompanhada por um estudo minucioso de todos os custos envolvidos no processo, devido à altos riscos e altos custos inerentes a essa actividade.

1.2. Análise de custos

Onde quer que haja produção, os custos seguem-na como uma sombra. As empresas têm de pagar pelos seus factores produtivos: trabalhadores com conhecimento técnico e habilidades específicas para operar maquinário pesado, engenheiros, equipamentos pesados como escavadeiras, perfuradoras, sistemas de separação para extrair e processar diamantes, etc. As empresas lucrativas como CATOCA, estão bem cientes deste facto quando estabelece a sua estratégia de produção, uma vez que qualquer gasto em custo desnecessário reduz os lucros da empresa em igual montante.

Mas o papel dos custos vai muito além de influenciar a produção. Os custos afectam a escolha dos factores, as decisões de investimento e mesmo a decisão sobre manter ou não, a actividade. As empresas optam sempre em escolher o

método de produção que seja o mais eficiente e que produza ao máximo com custo mínimo (Costa e Saldanha, 2015).

1.2.1. Análise económica de custo

Se considerarmos uma empresa que produz certa quantidade de produto utilizando factores de produção, a empresa adquire esses factores nos respectivos mercados.

Os especialistas da empresa têm a tarefa de calcular a totalidade dos custos monetários suportados para produzir certo nível de produção. Para cada nível de produção há um custo correspondente a actividade, e se quiséssemos aumentar a produção os custos também aumentariam. Isso faz sentido, porque é necessário maior investimento na produção e de outros factores para produzir maior quantidade de um bem; factores adicionais envolvem custos monetários adicionais (Samuelson e Nordhaus, 2005).

Segundo Samuelson e Nordhaus, a parcela maior dos custos de uma empresa são os seus **custos fixos** (que não sofrem qualquer variação, quando a produção varia) e os **custos variáveis** (aumentam com o aumento da produção). Os **custos totais** são iguais aos custos fixos mais os custos variáveis.

A tabela 1.1 mostra o custo total (CT) para cada nível diferente de produção. Observando a coluna de produção e a coluna e a coluna do CT, vimos que CT aumenta quando a produção aumenta. Isto faz sentido, porque é necessária maior quantidade de trabalho e de outros factores para que haja aumento de produção de um bem. O CT é decomposto por custo fixo total (CF) e custo variável total (CV).

TABELA 1.1: Custos fixos, variáveis e totais.

ID	Quntd. prod. (ct)	Custo Fixo (USD)	Custo Variável (USD)	Custo Total (USD)
1	0	55	0	55
2	1	55	30	85
3	2	55	55	110
4	3	55	75	130
5	4	55	105	160
6	5	55	155	210
7	6	55	225	280

Estes conceitos de custos resumem-se assim:

1.2.1.1. Custo total

Representa a menor despesa monetária total para produzir cada nível de produção. O CT aumenta a produção também. Na figura 1.2 temos a representação gráfica do comportamento deste tipo de custo (Manaia et al., 2015).

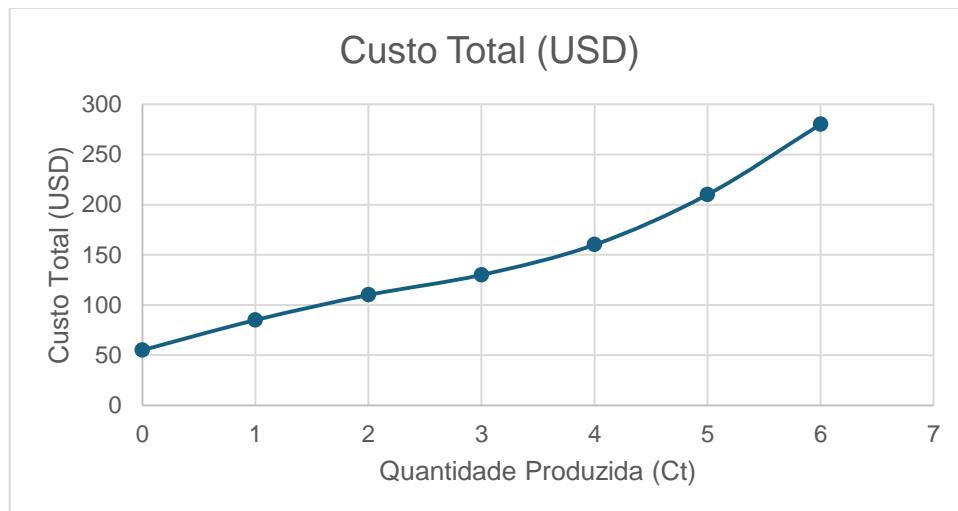


Figura 1.2: Representação gráfica do custo total
Fonte: Microsoft Office Excel

1.2.1.2. Custo fixo

Representa a despesa monetária que é suportada mesmo que não haja qualquer produção, o custo fixo não é afectado por qualquer variação da quantidade produzida (Manaia et al., 2015).

Sendo assim, os custos fixos se referem aos custos que, independentemente da produção existem para assegurar algumas despesas pré-fixadas da empresa (Samuelson e Nordhaus)

A figura 1.3 e representa a forma como os custos fixos se comportam em relação às unidades (toneladas) produzidas dentro de um empreendimento.

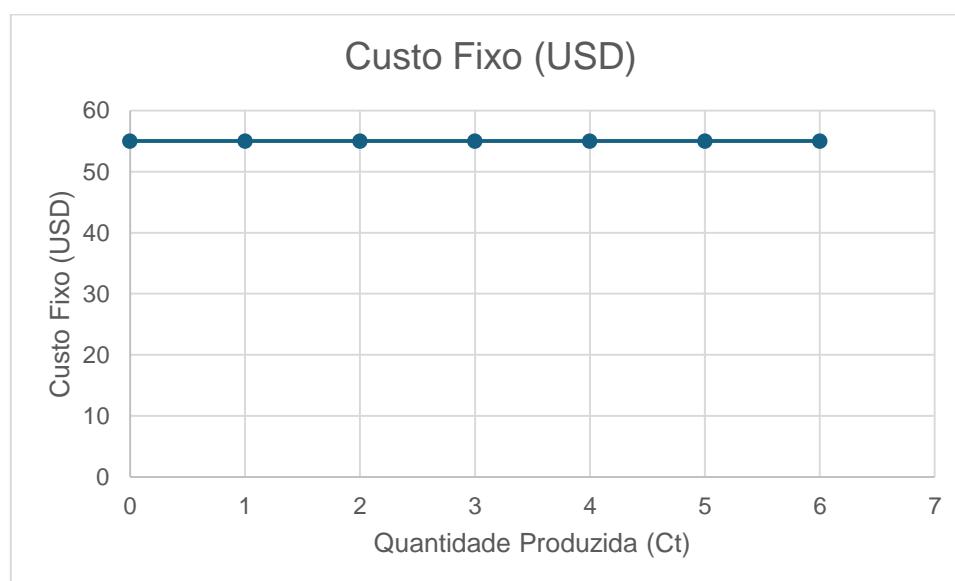


Figura 1.3: Representação gráfica do custo fixo

Fonte: Microsoft Office Excel

De acordo a mesma figura, onde o eixo OX representa a quantidade produzida e o eixo OY o custo fixo, nota-se que o seu comportamento é constante e que por mais que se aumente a quantidade produzida o custo fixo mantém-se constante.

1.2.1.3. Custo variável

Representa a despesa que varia com o nível de produção. Para Martins (2003), define custos variáveis (CV) como sendo aqueles que alteram os seus comportamentos (aumentam ou diminuem), sempre flutuando com o nível de produção. Isto é, os custos mudam com o volume de produção.

Por definição, o CV começa em zero quando a produção é zero. O CV é a parte do CT que aumenta com a produção. A figura 1.4 e representa a forma como os custos variáveis se comportam em relação às unidades (toneladas) produzidas dentro de um empreendimento.

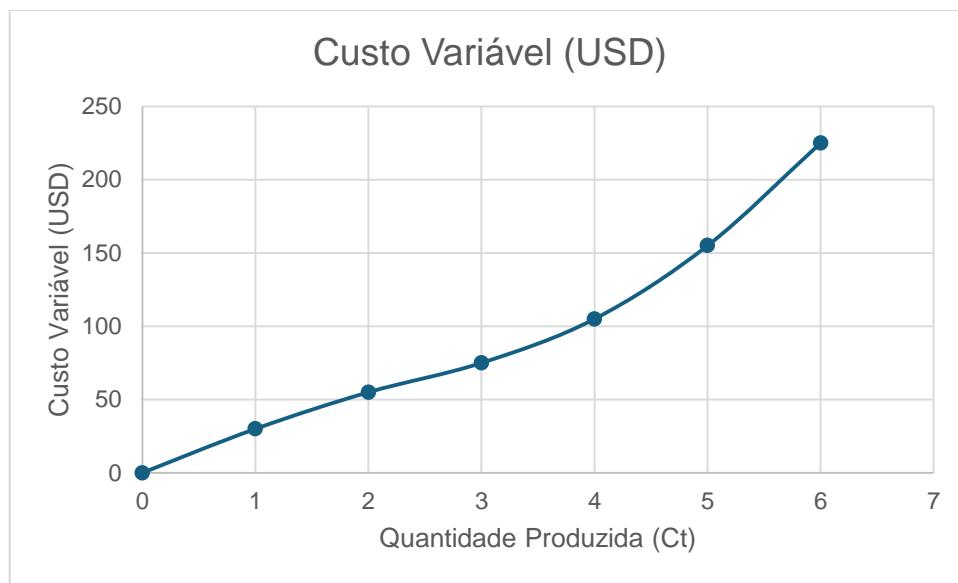


Figura 1.4: Representação gráfica do custo variável

Fonte: Microsoft Office Excel

Como observado na figura 2, os custos variáveis oscilam à medida que as unidades (tonelagens) de produção aumentam durante o desenvolvimento das atividades e isto pode se verificar inversamente com a diminuição da produção.

1.2.1.4. Custo Marginal

Samuelson e Nordhaus afirmam que o custo marginal é um dos conceitos mais importantes de toda a economia. Ele representa a variação no custo total de produção quando se aumenta a quantidade produzida em uma unidade. Para evitar

prejuízos e desperdícios ajudando a decidir se deve-se aumentar ou diminuir a produção, as empresas têm o auxílio do custo marginal. Se o custo marginal fôr menor que a receita marginal (o ganho adicional de vender uma unidade extra), a empresa pode aumentar a produção para maximizar o lucro.

Saber utilizar este cálculo traz benefícios para a empresa, como crescimento de lucro e possivelmente um aumento de produtividade ao perceber que talvez a equipe esteja produzindo menos do que ela é capaz.

A figura abaixo mostra o comportamento gráfico do custo marginal. Exibindo um formato clássico em "U", característico de atividades produtivas. Isso reflete:

- Economias de Escala (Descendente): Nos primeiros estágios, o CM diminui com o aumento da produção devido à diluição de custos fixos e maior eficiência na utilização de recursos.
- Deseconomias de Escala (Ascendente): Em níveis mais altos de produção, o CM cresce devido a fatores como desgaste dos equipamentos, maior dificuldade de extração em profundidades maiores e limitações geológicas.

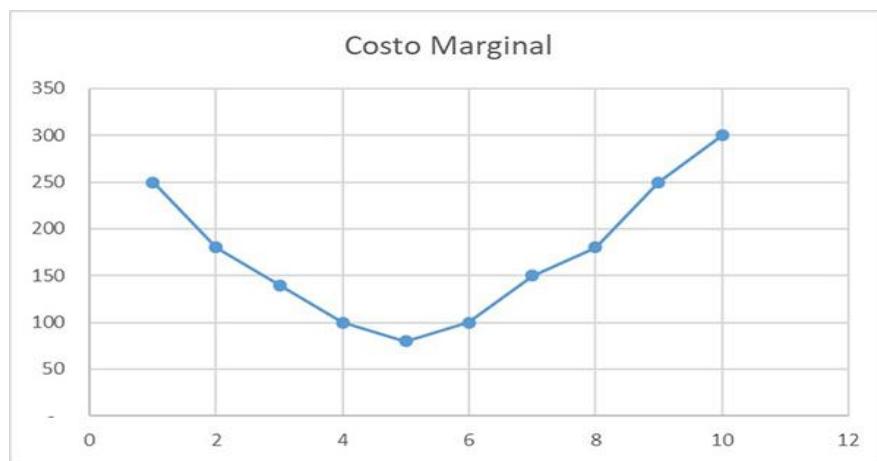


Figura 1.5: Representação gráfica do custo marginal
Fonte: Microsoft Office Excel

Há alguns aspectos relevantes do gráfico, que a seguir serão esmiuçados:

Fase descendente do custo marginal

- No início da operação, as primeiras camadas do kimberlito são mais acessíveis, exigindo menor esforço para remoção de estéril e minério;
- Rendimento operacional alto: Equipamentos e mão de obra trabalham com maior eficiência, reduzindo o CM;
- Economias de escala: Melhor aproveitamento da capacidade instalada e menor desgaste inicial dos ativos.

Ponto de custo marginal mínimo

- Indica o ponto de maior eficiência operacional, onde o custo para produzir uma unidade adicional é o menor possível;
- Na exploração de chaminés kimberlíticas, isso geralmente ocorre antes de alcançar as partes mais profundas do corpo mineralizado.

Fase ascendente do custo marginal

- Dificuldades geológicas: Em profundidades maiores, a extração é mais desafiadora devido à pressão das camadas superiores e maior dureza do kimberlito;
- Aumento do transporte: A logística de movimentação de material torna-se mais cara devido à maior distância vertical;
- Manutenção e desgaste: Equipamentos como perfuratrizes e camiões apresentam custos crescentes de manutenção e substituição de peças.

Decisões gerenciais baseadas no gráfico

- Produção ótima: O ponto de produção ideal ocorre antes dos custos marginais começarem a subir de forma acentuada. Isso garante o melhor equilíbrio entre custo e rendimento;

- Planeamento de investimentos: A fase ascendente do CM, pode indicar a necessidade de investimentos em tecnologias mais avançadas (como automação ou perfuração controlada) para minimizar o aumento de custos;
- Política de cortes: Quando o CM ultrapassa o valor de mercado dos diamantes, a produção deve ser ajustada ou interrompida.

1.2.2. Estimativas e tipos de custo na mineração

Há vários tipos diferentes de custos que são incorridos em uma operação de mineração (Pfleider & Weaton, 1968). Há também muitas maneiras pelas quais eles podem ser relatados. Três categorias de custos podem ser destacadas:

- **Custo primordial ou custo de investimento;**
- **Custo operacional;**
- **Custos gerais e administrativos (G&A).**

O custo de investimento, refere-se ao investimento necessário para a mina e a planta beneficiamento. Os custos operacionais refletiriam os custos de perfuração, detonação, etc. incorridos por tonelada. O custo geral e administrativo pode ser uma cobrança anual.

O custo G&A pode incluir um ou mais dos seguintes: Supervisão de área; Supervisão de minas; Benefícios aos empregados; Horas extras; Despesa de escritório de mina; Despesas da sede; Topografia de minas; Bombeamento; Impostos sobre a folha de pagamento; Impostos estaduais e locais; Seguro; Depreciação da planta de mina.

Segundo Hustrulid e Kuchta (1995) os custos de investimentos e G&A poderiam ser traduzidos em uma base de custo por tonelada, assim como os custos operacionais. As categorias de custo poderiam então se tornar:

- **Custo de propriedade;**

- **Custo de produção;**
- **Custos gerais e administrativos.**

O custo operacional pode ser relatado pelas diferentes operações unitárias:

- **Perfuração;**
- **Desmonte;**
- **Carregamento;**
- **Transporte;**
- **Descarga;**
- **Outro.**

A outra categoria pode ser dividida para incluir escavação, nivelamento, manutenção de estradas, manutenção de despejo, bombeamento, etc. Algumas minas incluem custos de manutenção junto com os custos operacionais. Outras podem incluí-lo em G&A.

O custo operacional poderia ser facilmente dividido, por exemplo, nas seguintes categorias:

- Trabalho;
- Materiais, despesas e energia (MEP);
- Outro.

Em uma dada operação, a despesa de mão de obra pode incluir apenas a mão de obra direta (perfurador e ajudante de perfurador, por exemplo). Em outra, a mão de obra indireta (supervisão, reparo, etc.) também pode ser incluída.

Os custos podem ser cobrados do minério, do estéril ou de ambos.

Para equipamentos, o custo de propriedade é frequentemente dividido em depreciação e um custo de investimento. O custo médio anual de investimento pode

incluir, por exemplo, impostos, seguro e juros (o custo do dinheiro). O ponto principal é que, ao discutir, calcular ou apresentar custos, é preciso ter muito cuidado para definir o que é pretendido e incluído (ou não incluído).

1.2.2.1. Escalada de custos mais antigos

Publicações de anos passados frequentemente contêm informações valiosas sobre custos. Existe alguma técnica simples para atualização para que esses custos possam ser aplicados para estimativas até hoje? A resposta é um sim. O procedimento envolve a escalada de custos por meio da aplicação de vários índices publicados. A tabela 3 é um exemplo de:

– Custo de construção; – Mão de obra qualificada; – Trabalho comum; – Materiais.

TABELA 1.2: Índices de custo enr (engineering news record (enr), 2012).

Ano	Custo de construção	Mão de obra qualificada	Trabalho comum	Materiais
1976	1425	2136	4700	1055
1977	1514	2264	4977	1159
1978	1664	2376	5241	1229
1979	1819	2564	5676	1427
1980	1943	2767	6168	1488
...
...
...
1987	2541	3987	8891	1686
1988	2600	4084	9129	1689
1989	2626	4166	9336	1686
1990	2708	4328	9638	1695

Para ilustrar a aplicação do sistema de índice, suponha que o custo do edifício de manutenção da mina foi de \$ 100.000 em junho de 1978. O custo estimado do mesmo edifício em junho de 1989 seria:

$$Custo \ Jun. \ de \ 1989 = Custo \ Jun. \ de \ 1978 * \frac{\text{Índice de custo de constr. (Junho 1989)}}{\text{Índice de custo de constr. (Junho 1978)}}$$

(4)

Nesse caso:

$$\text{Custo Junho de 1989} = 100.000 * \frac{2626}{1664} = 100.000 * 1.58 = \$ 158.000$$

No contexto de estimação de custo, o índice de custo desempenha várias funções importantes:

- Permite actualizar os custos históricos de um projecto para reflectir as condições actuais do mercado. Isso é essencial quando se planeia futuros projectos utilizando dados de custos passados;
- Ajuda a ajustar os orçamentos para a inflação, garantindo que os custos estimados permaneçam precisos ao longo do tempo;
- Auxilia na elaboração de estimativas robustas e fundamentadas, baseando-se em tendências de custos reais e projectadas.

Utilizar índices de custo correctamente pode contribuir significativamente para uma gestão financeira mais eficaz, minimizando riscos de subestimação ou superestimação de custos em projetos e operações.

O **fator de custo** de 1,58 é a razão dos valores do índice para os anos envolvidos. De forma semelhante, podem-se calcular os fatores de custos para os outros índices ENR ao longo destes períodos.

Segundo Hustrulid e Kuchta um factor de custo é um valor utilizado para ajustar ou converter custos entre diferentes contextos, períodos ou métodos de estimativas. Ele geralmente representa um multiplicador que reflecte as variações nos custos de material, mão de obra, ou outros elementos ao longo do tempo ou em diferentes condições. Utilizar factores de custo corretamente permite uma estimativa mais precisa e realista dos custos ajudando empresas e gerentes a tomar decisões financeiras mais informadas.

1.2.2.2. O estimador de custo original de O'Hara

O estimador original de custo de O'Hara é uma metodologia desenvolvida para estimar os custos de produção em projectos de mineração. Ele foi proposto por O'Hara para fornecer uma estimativa mais precisa e confiável dos custos operacionais e primordiais envolvidos na extração mineral. No entanto, uma de suas curvas originais (Fig. 1.6), que relaciona o custo primordial da mina/usina (C) para taxa de moagem diária T será usado para demonstrar procedimentos de escalonamento de custos.

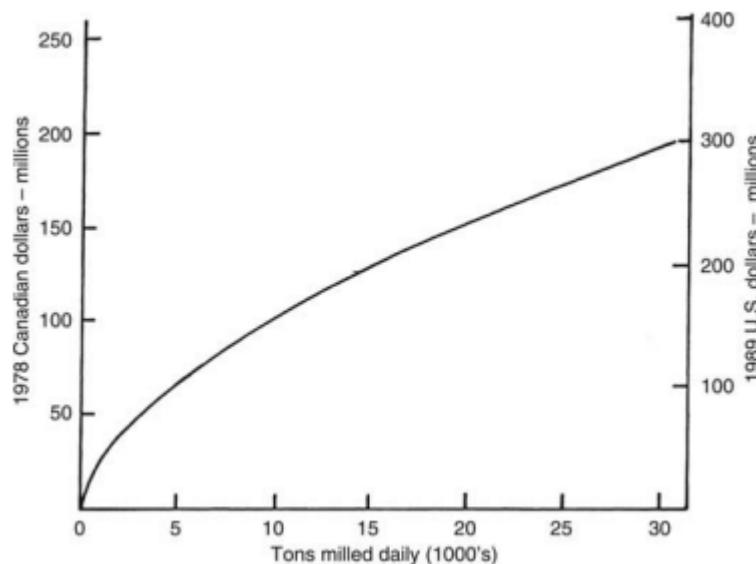


Figura 1.6. Custo de capital do projeto de mina/moinho em função da taxa de moagem
Fonte: O'Hara, 1980

O moinho geralmente tem um custo muito maior por tonelada diária de minério e, portanto, domina a curva. Foi assumido que as operações de mineração funcionam apenas 5 dias/semana, mas que o moinho é operado continuamente 7 dias por semana. Assim, a tonelagem diária de minério extraída e britada (T_o) será 40% maior que a taxa de moagem T:

$$T_o = \frac{7}{5} T = 1.4 T \quad (5)$$

O custo fundamental ou primordial combinado da mina/usina expresso em dólares americanos nos meados de 1989 era:

$$C = \$600.000T^{0.6} \quad (6)$$

1.2.2.3. Estimador de custos O'Hara atualizado

As fórmulas fornecidas para dimensionamento de equipamentos, desmonte de blocos rochosos e instalações de manutenção presumem que o formato e o tipo de mina a céu aberto são semelhantes, exceto na tonelagem diária, a mina a céu aberto "típico".

1.2.2.3.1. Tonelagem diária

O fator mais importante que afeta os custos é o tamanho da mina, britador primário e planta de processamento, conforme expresso em termos de toneladas de material manuseado por dia de operação. Para simplificar a discussão, os seguintes termos serão introduzidos:

T =Toneladas de minério moído/dia

T_o =Toneladas de minério extraído/dia

T_w =Toneladas de resíduos extraídos/dia

T_c =Toneladas de minério passando pelo britador primário/ dia

$T_p = T_o + T_w$ = Total de material extraído/dia

Neste estimador, assume-se que o moinho opera três turnos de 8 horas por dia e 7 dias/semana, independentemente dos turnos trabalhados pela mina a céu aberto. Muitas minas a céu aberto operam 7 dias/semana, mas outras podem operar apenas 5. No caso de uma operação de mineração de 5 dias/semana.

$$T = \frac{5}{7}T_o = 0.71 T_o \quad (7)$$

Os guias de custos nesta seção são baseados na suposição de que a capacidade do moinho é de 71% da tonelagem diária de minério extraído.

A planta de britagem pode operar 5, 6 ou 7 dias por semana, dependendo da programação da mina e se há ou não capacidade de armazenamento de minério fino adequada para manter o moinho abastecido com minério quando o britador estiver desligado para reparos ou manutenção regular.

Supõe-se que a planta de britagem tenha a mesma capacidade diária da mina, mas trabalhará 6 dias por semana para garantir que o moinho seja abastecido com minério britado caso os silos de minério fino não tenham capacidade suficiente para manter o moinho abastecido com minério durante a paralisação de dois dias da mina.

1.2.2.3.2. Números de pessoal

Pode parecer um tanto incomum começar a discussão de custos com o pessoal, mas sua produtividade é extremamente importante para a lucratividade de uma operação e sua remuneração é um item de custo importante.

O número de pessoal da mina (N_{op}) necessário em minas a céu aberto que utilizam pás e camiões para carregar e transportar o minério pode ser estimado a partir das seguintes fórmulas:

$$N_{op} = \begin{cases} 0.034 T_p^{0.8} & \text{Para rochas duras} \\ 0.024 T_p^{0.8} & \text{Para rochas competentes leve} \end{cases} \quad (8)$$

Deve-se notar que as fórmulas não incluem o pessoal necessário para fundições, refinaria, serviços de minas, transporte de concentrados ou sedes externas, uma vez que esses serviços podem não ser necessários para muitos projetos de minas. Sempre que esses serviços puderem ser justificados financeiramente para as circunstâncias do projeto da mina, o pessoal adicional deve ser estimado separadamente.

1.2.2.3.3. Custos de investimento associados à mina

A sobrecarga de rocha acima do minério deve ser removida (remoção de estéril de pré-produção) para expor uma quantidade suficiente de minério para suprir a tonelagem diária planeada de minério por um período de quatro a seis meses. Se minério insuficiente tiver sido exposto pela remoção de estéril de pré-produção, pode se tornar difícil continuar a mineração de minério devido à proximidade de bancadas onde a detonação, o carregamento e o transporte estão ocorrendo.

Devido ao formato cônico final invertido da mina a céu aberto, a relação de tonelagem de estéril/minério em cada bancada horizontal diminui com cada bancada inferior. Normalmente, a bancada de minério mais alta a ser exposta tem uma relação estéril/minério de pelo menos duas vezes a relação de estéril/minério da mina final. Se T_{ws} é a tonelada de estéril que deve ser removida para expor uma quantidade de minério para sustentar quatro a seis meses de produção de minério, então o custo estimado de remoção de resíduos será:

$$\text{Custo de remoção de estéril} = \$ 340 T_{ws}^{0.6} \quad (9)$$

Para rochas que requerem detonação, carregamento e transporte

1.2.2.3.4. Equipamento de mina

a) Brocas

O tamanho, diâmetro do furo e número de brocas necessárias dependem das toneladas de minério e estéril a serem perfurados diariamente. Normalmente, os tamanhos dos furos de perfuração têm diâmetros padrão de $4, 5, 6 \frac{1}{2}, 7 \frac{7}{8}, 9, 9 \frac{7}{8}, 10 \frac{5}{8}, 12 \frac{1}{4}, 13 \frac{3}{4}, 15$ e $17 \frac{1}{2}$ polegadas (ou 102, 125, 165, 200, 229, 250, 270, 310, 350, 380 e 445 mm). Portanto, a seleção da broca será limitada a um desses tamanhos.

As toneladas de minério ou estéril que são extraídas por dia por uma broca com diâmetro de furo(d) em polegadas é:

$$Toneladas\ de\ rocha\ média\ perfurável = 170\ d^2 \quad (10)$$

$$Toneladas\ de\ rocha\ facilmente\ perfurável = 230\ d^2 \quad (11)$$

$$Toneladas\ de\ rocha\ dura\ perfurável = 100\ d^2 \quad (12)$$

Para a rocha definida como 'média' perfurável, a taxa de produção esperada é de cerca de 500 pés por turno.

O número de brocas N_d nunca deve ser menor que duas. Para tonelagens de até 25.000 tpd, duas brocas de diâmetro de furo apropriado devem ser escolhidas. Três brocas devem ser adequadas para até 60.000 tpd e quatro ou mais brocas serão necessárias para tonelagens diárias acima de 60.000.

O custo do equipamento de perfuração é dado por:

$$Custos\ do\ equipamento\ de\ perfuração = N_d * \$20.000\ d^{1.8} \quad (13)$$

Esta fórmula inclui uma dedução de 25% para suprimentos de perfuração e detonação e equipamentos acessórios.

b) Pás

O tamanho ideal da pá (S) expressa em jardas cúbicas de capacidade nominal do dipper em relação à tonelagem diária de minério e estéril (T_p) carregado diariamente é:

$$S = 0.145\ T_p^{0.4} \quad (14)$$

O número de pás (N_s) com tamanho de balde (S) que será necessário para carregar um total de T_p (toneladas de minério e resíduos) serão diariamente:

$$N_s = 0.011 \frac{T_p^{0.8}}{S} \quad (15)$$

Na prática, o tamanho da pá escolhida será uma com um balde padrão próxima ao tamanho calculado pela Equação (14). O número calculado de pás, N_s , geralmente não é um número inteiro, deve ser arredondado para baixo. O número fraccionário omitido expressa a necessidade de uma pá menor ou de uma carregadeira frontal para serviço de carregamento suplementar. Esta pá menor ou carregadeira frontal deve, é claro, ser capaz de carregar camiões de um tamanho apropriado para as pás com tamanho de caçamba S.

Os custos totais da frota de pás-carregadeiras complementada por bulldozers auxiliares e carregadores frontais serão:

$$Custo do equipamento de carregamento = N_s * \$510.000 S^{0.8} \quad (16)$$

c) Camiões

O tamanho ideal do camião (t) em toneladas que combina bem com pás do tamanho de balde S (jardas cúbicas) é:

$$Tamanho do caminhão t (toneladas) = 9.0 S^{1.1} \quad (17)$$

O número total de camiões N_t de capacidade de toneladas t, necessária para a frota de camiões a céu aberto, mais uma provisão para camiões em reparação, é aproximada pela seguinte fórmula:

$$N_t (Número de camiões necessários) = 0.25 \frac{T_p^{0.8}}{t} \quad (18)$$

A fórmula para N_t determina o tamanho da frota de camiões sob as condições típicas em que a distância média de transporte e o gradiente fora da periferia da mina são menores do que a distância média de transporte e o gradiente dentro da periferia da mina. Se a estrada de transporte além da mina tiver um gradiente íngreme, pode

ser necessário aumentar o tamanho da frota de camiões para permitir um tempo de viagem maior por carga.

O custo do equipamento de transporte, incluindo o equipamento acessório de manutenção de estradas, é dado por:

$$\text{Custo do equipamento de transporte} = N_t * \$20.000 t^{0.9} \quad (19)$$

Na figura abaixo temos a representação gráfica dos custos de investimento para a frota de produção.

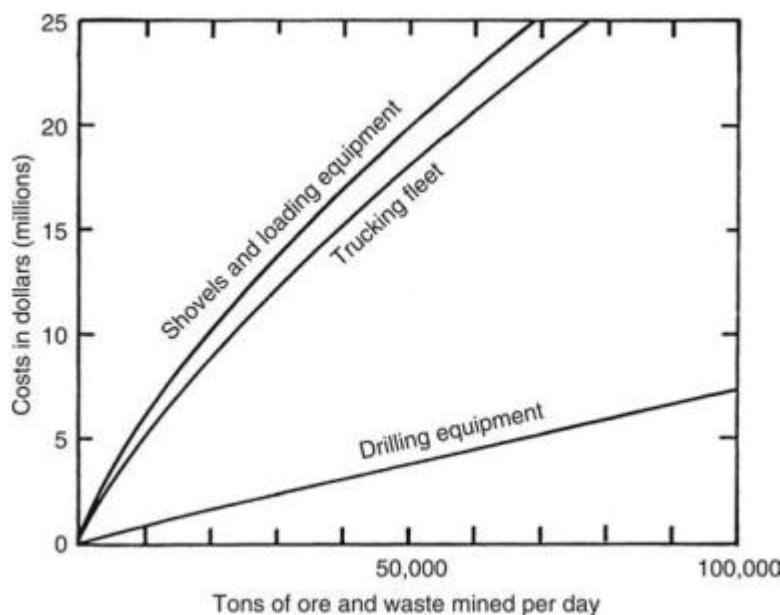


Figura 1.7: Custos de equipamentos para mina a céu aberto.

Fonte: O'Hara & Suboleski, 1992.

A figura a cima mostra os custos de diferentes tipos de equipamentos de mineração com base na quantidade de minério e resíduos minerados por dia. Sitando-se os pontos principais:

➤ Eixos

O eixo x representa as toneladas de minério e estéril minerados por dia, variando de 0 a 100.000.

O eixo y representa os custos em dólares (milhões), variando de 0 a 25.

➤ **Curvas**

Existem três curvas, cada uma representando os custos de diferentes equipamentos:

1. Equipamento de perfuração: Este tem o custo mais baixo e aumenta gradualmente;
2. Frota de camiões: Os custos aumentam de forma mais acentuada em comparação com o equipamento de perfuração à medida que o volume de mineração aumenta.
3. Equipamento de escavação e carregamento: Esta curva tem o custo mais alto, aumentando significativamente com a quantidade minerada por dia.

Desta feita conclui-se que a medida que as toneladas mineradas por dia aumentam, todos os custos dos equipamentos aumentam, sendo o equipamento de escavação e carga o mais caro.

O gráfico fornece uma comparação visual de como os custos escalam com as operações de mineração para cada tipo de equipamento.

1.2.2.3.5. Serviços de cava

a) Instalações de manutenção

O tamanho das instalações de manutenção para reparação e manutenção de equipamentos de mina a céu aberto, depende principalmente do número e tamanho dos camiões de transporte da mina, que por sua vez dependem da tonelagem diária de minério e estéril a serem transportados. A reparação e a manutenção das pás e perfuratrizes são normalmente realizadas no local, por veículos de reparo móveis.

A área em pés quadrados exigida pela oficina de manutenção de mina a céu aberto (que deve estar localizada perto da mina) é a seguinte:

$$\text{Área de reparo a céu aberto} = 360 T_p^{0.4} \quad (20)$$

Assim o custo de manutenção da mina é dado por:

$$\text{Custos das instalações de manutenção} = \$6000 A^{0.6} t^{0.1} \quad (21)$$

b) Comunicação e distribuição eléctrica

Este custo inclui os custos de instalação para um sistema telefônico, com unidades de rádio móveis e um ou mais repetidores, dependendo do tamanho da mina. A distribuição eléctrica inclui os custos instalados de subestações primárias, linhas de transmissão, transformadores portáteis e cabos de reboque, todos os quais dependem do tamanho da mina a céu aberto, conforme medido pelas toneladas diárias (T_p) de minério e estéril extraídos.

$$\text{Custo de comunicações e eletricidade} = \$250 T_p^{0.7} \quad (22)$$

c) Sistema de abastecimento

Este custo inclui o armazenamento e serviços para óleo diesel, gasolina, lubrificantes e refrigerantes para a frota de camiões de transporte e veículos de serviço móvel.

$$\text{Custo do sistema de reabastecimento} = \$28 T_p^{0.7} \quad (23)$$

Os custos dos serviços de mineração a céu aberto são mostrados na fig. 1.8.

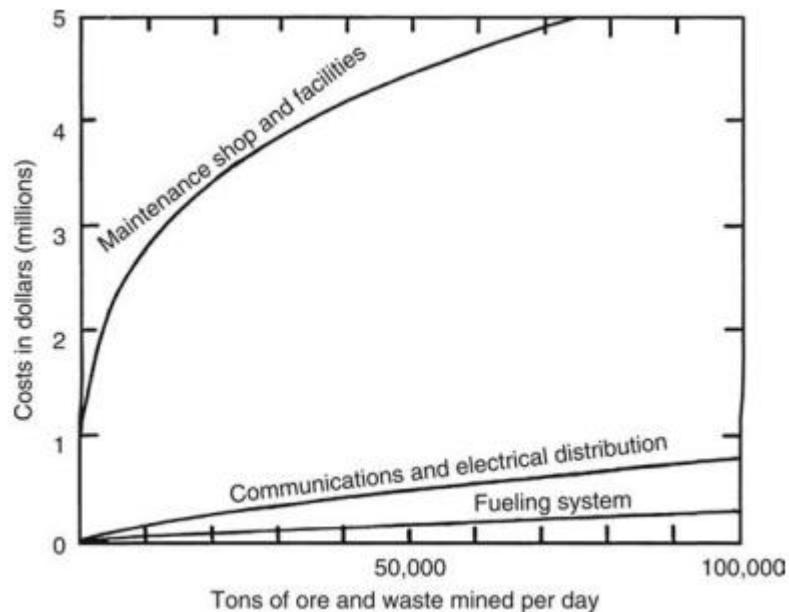


Figura 1.8: Custos de serviços de mineração a céu aberto.
Fonte: O'Hara & Suboleski, 1992.

A figura a cima representa o comportamento gráfico dos custos de serviços em mina a céu aberto com base nas toneladas de minério e estéril minerados por dia. Destacando-se os seguintes pontos principais:

➤ **Eixos**

O eixo x representa as toneladas de minério e estéril minerados por dia, variando de 0 a 100.000.

O eixo y representa o custo em dólares (milhões), variando de 0 a 5.

➤ **Curvas**

Existem três curvas, cada uma representando diferentes custos de serviços:

Manutenção e instalações: Tem um custo inicial mais alto, mas estabiliza rapidamente à medida que a produção aumenta.

Comunicações e distribuição eléctrica: A curva é mais suave, com custos menores e aumento gradual.

Sistema de abastecimento: Também começa com custos menores e aumenta de forma mais constante, mas menos acentuada.

➤ **Interpretação**

A manutenção e instalações representam o custo mais significativo inicialmente, mas estabilizam conforme a escala de operação aumenta.

Os sistemas de comunicações e abastecimento têm custos iniciais mais baixos, aumentando de forma linear.

1.2.2.3.6. Custo de investimento associados à estação de tratamento de ninério

Antes da instalação da usina existe uma série de custo que devem ser estudados, como o custo de limpeza do local da fábrica, preparação da fundação, custo de construção das estradas para fornecer acesso a estação, bacia de rejeitos e fonte do suprimento de água, que não serão aprofundados neste trabalho por não serem o nosso objecto de estudo. Focaremos-nos apenas naqueles que são importantes para importantes para o nosso estudo, sendo os seguintes:

a) Planta de britagem primária

As minas a céu aberto geralmente colocam o britador primário na superfície, fora da mina, dentro de uma distância de transporte conveniente para o grosso ou estoque e a planta de britagem de minério fino.

O custo do britador primário depende do tamanho e da capacidade do britador selecionado para britar toneladas de minério diariamente (T_c):

$$\text{Custo do britador} = \$63 T_c^{0.9} \quad (24)$$

b) Seção de moagem e armazenamento de minério fino

O tamanho e o custo dos moinhos dependem das toneladas de minério a serem moídas diariamente, mas também dependem da dureza do minério medida pelo índice de trabalho e granulometria da moagem que é necessária para atingir a concentração desejada e a recuperação de valiosos minerais.

$$Custo\ de\ moagem\ e\ silos\ = \begin{cases} \$18.700\ T^{0.7} \text{ para minério de dureza média, com um índice de trabalho de 15, com 70% de passante a 200mesh;} \\ \$12.500\ T^{0.7} \text{ para minério de dureza leve, com 55% de passante a 200mesh;} \\ \$22.500\ T^{0.7} \text{ para minério duro com um índice de trabalho superior a 17, com 85% de passante a 200mesh} \end{cases} \quad (25)$$

C) Armazenamento inicial de rejeitos

Há muitos aspectos de armazenamento de rejeitos, como a distância da usina ao local de rejeitos, preocupações ambientais localizadas, etc., que podem alterar drasticamente os custos do armazenamento de rejeitos. Se, no entanto, todos os aspectos adversos estiverem ausentes, e um local de rejeitos adequado estiver disponível a duas milhas da usina, e a natureza dos rejeitos não tiver efeitos ambientais adversos, o custo mínimo do armazenamento de rejeitos pode ser:

$$\text{Custo mínimo de armazenamento de rejeitos} = \$20.000\ T^{0.5} \quad (26)$$

1.2.2.3.7. Custos operacionais diários

Os custos operacionais por dia para cada atividade serão apresentados na forma:

$$Custo\ operacional = K T_I^x$$

O custo operacional por tonelada pode ser derivado da fórmula dada simplesmente dividindo o custo operacional por dia pelas toneladas mineradas (ou processadas) por dia. Se, por exemplo,

$$Custo\ operacional\ por\ dia = 100 T_I^{0.7} \quad (27)$$

O custo operacional por tonelada é:

$$Custo\ operacional\ por\ tonelada = 100 \frac{T_I^{0.7}}{T_I} = 100 T_I^{-0.3} \quad (28)$$

1.2.2.3.7.1. Custos operacionais da mina

Os custos operacionais de minas a céu aberto dependem do tamanho e do número de perfuratrizes, pás e camiões, que por sua vez dependem das toneladas por dia de minério e estéril.

Os custos operacionais diários são:

$$Custo\ de\ perfuração\ por\ dia = \$1.90 T_p^{0.7} \quad (29)$$

$$Custo\ de\ detonação\ por\ dia = \$3.17 T_p^{0.7} \quad (30)$$

$$Custo\ de\ carregamento\ por\ dia = \$2.67 T_p^{0.7} \quad (31)$$

$$Custo\ de\ transporte\ por\ dia = \$18.07 T_p^{0.7} \quad (32)$$

$$Custo\ dos\ serviços\ gerais\ por\ dia = \$6.65 T_p^{0.7} \quad (33)$$

1.2.2.3.7.2. Custos operacionais da estação de tratamento

Os guias de custos a seguir são oferecidos como estimativas aproximadas dos custos de britagem e concentração por dia.

a) Britagem primária

Este custo inclui, britagem primária, o custo de transporte do minério britado para o estoque de minério grosso, mais os custos operacionais do estoque de minério grosso.

$$Custo\ de\ britagem\ por\ dia = \$7.90\ T^{0.6} \quad (34)$$

b) Moagem

$$Custo\ de\ secção\ de\ moagem\ por\ dia = \$12.60\ T^{0.6} \quad (35)$$

1.2.2.3.7.3. Outros custos operacionais

a) Energia elétrica

Expressões para a carga de pico e as necessidades diárias de energia para a mina a céu aberto, foram dadas anteriormente. O custo de energia para minas a céu aberto e plantas de processamento de toneladas de minério (T) por dia é:

$$Custo\ de\ energia\ elétrica = \$145\ T^{0.56} \quad (36)$$

1.2.2.4. Cálculos de custos detalhados

Para calcular os custos detalhados de um empreendimento mineiro na forma tradicional, eles são agrupados de várias maneiras para mostrar a dependência da prática contábil. O processo geral é o seguinte:

Passo 1: Considerando as necessidades anuais de produção de minério e estéril, além do cronograma operacional, determina-se a taxa de produção diária.

Passo 2: Selecionar uma frota de equipamentos básicos.

Passo 3: Calcular a taxa de produção esperada para cada tipo de equipamento. Calcule o número de máquinas necessárias. Determine a quantidade de equipamento de suporte necessário.

Passo 4: Determinar o número de funcionários de produção necessários. Determine o número de funcionários de suporte.

Passo 5: Calcular os custos de propriedade e operação do equipamento.

Passo 6: Calcular os outros custos.

Passo 7: Calcular o custo total por tonelada.

A produtividade é um aspecto muito importante, ela lida com a taxa na qual uma determinada tarefa pode ser realizada. Se, por exemplo, a produção diária para uma operação de mineração de um turno por dia é de 20.000 toneladas com 100 funcionários, então uma maneira de expressar a produtividade é:

$$\text{Produtividade} = \frac{20.000}{100} = 200 \frac{\text{toneladas}}{\text{funcionários}} \quad (39)$$

Quando se faz um estudo minucioso sobre custos de empreendimento mineiro, este deve ser feito com algum cuidado. Uma das principais razões para isso é a mudança na produtividade do trabalho que ocorre ao longo do tempo. Se através de algum tipo de mudança, a produção diária pudesse ser elevada para 30.000 toneladas, com os mesmos funcionários, então a produtividade seria de 300 toneladas/funcionários. Se essa produtividade tiver ocorrido por meio da compra de equipamentos novos e maiores, então a diminuição no custo unitário de mão de obra será acompanhada por um aumento em outros custos.

1.3. Teoria da produção

É de extrema importância trazer para este estudo os conceitos essenciais de produção, para os fundamentos da teoria da produção, mostrando como as empresas utilizam os factores de produção para obter um determinado produto. E

geralmente as empresas decidem quais os factores de produção a utilizar com base no custo e na produtividade dos vários factores.

1.3.1. Factores de produção

Como referem Hustrulid & Kuchta (2005), são considerados factores de produção na mineração os recursos necessários para realizar a extração e o processamento de minerais. Esses fatores são essenciais para garantir que a mineração seja realizada de maneira eficiente, segura e sustentável.

Para Dias (2024) produção de diamantes envolve vários fatores de produção, que podem ser agrupados em quatro categorias principais:

- a) Recursos Naturais:** Incluem os depósitos de diamantes, que podem ser primários (em rochas kimberlíticas) ou secundários (em depósitos aluviais).
- b) Capital:** Refere-se ao investimento em infraestrutura, equipamentos de mineração, tecnologia de extração e processamento, e instalações de segurança. A mineração de diamantes requer equipamentos especializados para escavação, transporte e processamento.
- c) Trabalho:** Envolve a mão-de-obra qualificada e não qualificada necessária para a exploração, extração, processamento e comercialização dos diamantes. Isso inclui geólogos, engenheiros de minas, operadores de máquinas, e trabalhadores de campo.
- d) Tecnologia:** A tecnologia desempenha um papel vital na eficiência e eficácia da produção de diamantes. Isso inclui técnicas avançadas de prospecção, métodos de extração, e tecnologias de processamento para separar os diamantes do minério.

Esses fatores combinados determinam a viabilidade e a rentabilidade da produção de diamantes. A nossa análise pressupõe que a exploração diamantífera diligencirá sempre para produzir eficientemente, isto é, ao mais baixo custo. Por

outras palavras, tentarão sempre produzir o nível máximo de produção com uma dada quantidade de factores, evitando sempre o desperdício.

1.3.2. Função produção

Temos falado de factores de produção e de produtos, para tentar entender o conceito de função produção, questiona-se: Se tiver uma quantidade fixa de factores de factores, que quantidade de produto poderá obter? Na prática a resposta depende do estado da tecnologia e do conhecimento tecnológico. Em qualquer momento, dados os conhecimento tecnológico, infraestuturas, maquinaria,etc., apenas pode ser obtido uma certa quantidade de diamantes apartir de uma determinada quantidade de trabalho. A relação entre a quantidade necessária de factores de produção e a quantidade de produto que pode ser obtida é designada por **função produção**.

A **função produção** determina a quantidade máxima de produto que pode ser produzida com uma dada quantidade de factores de produção. É definida para um dado estado da tecnologia e do conhecimento tecnológico (Samuelson e Nordhaus).

1.3.3. Produto Total

A partir da função produção de uma empresa pode-se calcular um conceito de produção importante, o produto total. O quadro abaixo mostra o produto total que pode ser produzido com diferentes quantidades de trabalho.

TABELA 1.3: Variação do produto total em função da quantidade de trabalho.

ID	Un. de trabalho	Produto total
2	0	0
3	1	2000
4	2	3000
5	3	3500
6	4	3800
7	5	3900

O **produto total**, que designa a quantidade total produzida, em unidades físicas tais como toneladas, quilates, etc, a baixo temos o gráfico que ilustra o comportamento do produto total em relação as unidades de trabalho.



Figura 1.9: Representação gráfica do produto total.

Fonte: Microsoft Office Excel

A figura 1.9 e a tabela 1.3, ilustram o conceito de produto total. Neste exemplo, mostram como o produto total responde a um aumento do trabalho utilizado. O produto total começa em zero, não se utilizando qualquer trabalho, e depois aumenta com a utilização de unidades de trabalho adicionais, atingindo um máximo de 3900 unidades quando são utilizadas 5 unidades de trabalho.

1.3.4. Taxa de produção do minério

Segundo descrito em Miranda Júnior (2011), a taxa de produção está associada a capacidade de produção do bem mineral ao longo de um determinado tempo. A sua estimativa depende de muitos factores tais como: distribuição espacial da jazida mineral, reservas lavráveis, técnica de lavra, valor das commodities e mercado de venda ou consumidor.

Desta forma, estes factores entram diretamente na determinação da produção. Os custos de produção também são tomados em conta na determinação da capacidade de produção.

De acordo com Ferreira e Andrade (2004), a escolha do tamanho ótimo da mina é feita com base na combinação entre o nível de produção do bem mineral e o teor de corte (cut-off grade). O nível ou taxa de produção de um projeto de mineração está associado ao mercado de venda e o volume de reservas lavráveis do depósito mineral. Os mesmos autores comentam ainda que em relação ao mercado de venda poderá haver três hipóteses para as quais se define a capacidade de produção de um empreendimento mineiro:

- O mercado está saturado e, portanto, não oferece mais possibilidades para a entrada de novos fornecedores;
- O mercado existe, contudo, é limitado a um determinado nível ou taxa de produção;
- O mercado não oferece restrição quanto ao nível de produção máxima que poderá ser ofertado pelo empreendimento.

Baurens (2010), afirma que na avaliação de uma mina já existente, as taxas futuras de produção geralmente são previstas de forma confiável com base na experiência operacional histórica, ao contrário, a avaliação deve ser baseada em uma taxa de produção do projeto.

Para estimar a taxa de produção e vida ótima de exploração mineira, fórmulas empíricas desenvolvidas e bastante difundidas são utilizadas, objetivando avaliações preliminares de projetos de mineração (MIRANDA JÚNIOR, 2011). Para o citado autor, a primeira fórmula é a denominada Regra de Taylor, que é aplicável, em princípio, a qualquer tipo de jazida mineral e não depende do método de lavra segundo mostra a equação:

$$VOE = 6,5 * (R_{el})^{0,25} * (1 \pm 0,2) \quad (40)$$

Onde:

VOE- Vida óptima de exploração em anos;

R_{el} - Reserva lavrável em toneladas.

Para Orche Garcia (1999), a fórmula de Taylor para o cálculo de produção anual pode ser apresentada por:

$$P_a = 0,25 * (R_{el})^{0,75} * (1 \pm 0,2) \quad (41)$$

1.4. Valor econômico do bloco

Na mineração um bloco de exploração refere-se a uma área definida, dentro de um depósito mineral, que é delimitada para exploração e extração de recursos. A exploração de um bloco em uma chaminé kimberlítica segue as seguintes etapas:

➤ **Prospecção geológica e geofísica**

Antes de definir um bloco para exploração, são feitos estudos geológicos e geofísicos para identificar a localização e a extensão da chaminé. Isso inclui a perfuração exploratória e a amostragem do material extraído para análise do teor de diamantes (quilates por tonelada).

➤ **Delimitação do bloco**

Uma vez identificado o corpo kimberlítico, os blocos são delimitados com base na profundidade e na extensão horizontal da chaminé. Cada bloco pode representar um volume específico da chaminé, que é analisado individualmente para avaliar seu potencial de extração.

➤ **Perfuração e desmonte**

Para acessar o bloco, são utilizados métodos de perfuração e desmonte (geralmente com explosivos) para retirar a rocha kimberlítica. O material extraído é

transportado para uma planta de processamento, onde os diamantes são separados da rocha.

➤ **Processamento e recuperação**

O material kimberlítico é triturado e submetido a processos de separação gravimétrica, magnética e de fluorescência, para separar os diamantes do restante do minério. Isso permite avaliar a quantidade de quilates de diamantes recuperados por toneladas de material processado.

O valor econômico do bloco de mineração (VEB) no modelo de blocos, segundo descrito em Wright (1990), pode ser caracterizado pelos seguintes componentes:

1. Receitas (R) – corresponde ao valor da parte recuperável e vendável do bloco em \$/t.

2. Custos diretos (Cd) – são as despesas atribuídas diretamente ao bloco, como por exemplo, gastos nas operações de perfuração, detonação, carregamento e transporte em \$/t.

3. Custos indiretos (Ci) – são despesas gerais que não podem ser imputados diretamente aos blocos individuais, esses custos são dependentes do tempo.

Hartman & Mutmansky (2002) afirmam que, a soma de todos os custos associados com o início de produção mineira através dos estágios de prospecção, desenvolvimento, exploração e beneficiamento é chamada de custos diretos de mineração.

Para os autores citados, os custos indiretos de mineração são aqueles que usualmente inclui 5 a 10% para administração, engenharia e outros serviços associados a produção mineira. Constituem ainda custos indiretos na mineração, os investimentos ou custos de capital, custos de infraestruturas, salários, aquisição e depreciação dos equipamentos.

Dados os conceitos de custos (diretos e indiretos) de mineração, a expressão que determina os custos totais de lavra é dada pela formulação de Hartman & Mutmansky (2002):

$$C_t = C_d + C_i \quad (41)$$

Onde:

C_i – Representa o custo indireto de produção mineira;

C_d – É o custo direto de mineração;

C_t – Representa o custo total de lavra.

A partir da descrição dos parâmetros receitas e custos de produção, o valor econômico do bloco de mineração pode ser calculado usando a equação 2 (WRIGHT, 1990):

$$V_{EB} = R - C_d \quad (42)$$

O valor econômico do bloco não é o mesmo que lucro ou prejuízo, sendo lucro o resultado da diferença do valor econômico do bloco (V_{EB}) pelos custos indiretos (C_i) segundo mostra a equação (43) dada por:

$$Lucro = \sum(V_{EB}) - C_i \quad (43)$$

Para Cândido (2012), no modelo de blocos a cada bloco de material são atribuídos valores econômicos que podem ser calculados a partir de uma função benefício, esta função representa o valor líquido que pode ser positivo (benefício) ou negativo (prejuízo) dos blocos, considerando as receitas e descontando os custos.

1.4.1. Maximização dos Lucros

Considerando a maximização do lucro como objetivo principal de qualquer projeto ou empreendimento de mineração, Bhattacharya (2003) assume que:

$$L = p * Q - C_t \quad (44)$$

Onde:

L – é o lucro anual em $(\$/t)$;

p – é o valor de venda do bem mineral $(\$/t)$;

Q – é a taxa de produção anual da mina.

C_t – é o custo total anual da mina em $\$/t$, que é dado pela equação:

$$C_t = C_f + C_v Q + C_{va} Q^2 \quad (45)$$

Substituindo a expressão (45) em (44), poderemos ter a equação:

$$L = pQ - (C_f + C_v Q + C_{va} Q^2) \quad (46)$$

Para maximizar o lucro desejado de um projeto, a derivada deste em função da taxa de produção deve ser igual a zero, segundo a equação:

$$\frac{dL}{dQ} = 0 \rightarrow p - C_v - 2C_{va}Q = 0 \quad (46)$$

A taxa de produção em função da maximização do lucro é determinada segundo a expressão:

$$Q = \frac{p - C_v}{2 * C_{va}} \quad (47)$$

Onde:

C_f - Custos fixos (principalmente custos de infraestruturas);

C_v - Custos variáveis, proporcionais à capacidade da mina;

C_{va} - Custos variáveis acrescentados que são proporcionais ao quadrado da capacidade da mina.

Conforme se pode observar na equação 8, a determinação da taxa de produção em função da maximização do lucro depende dos custos variáveis e dos custos variáveis acrescentados.

1.5. Valor das Commodities minerais

O valor do bem mineral é o fator chave na estabilidade econômica de qualquer empreendimento assim como de um projeto mineiro a partir de uma perspectiva de avaliação técnico – econômica e o planeamento de mineração.

O valor das commodities é uma variável mais complexa de ser estimada, isto é, quando superestimado pode indicar um retorno favorável para um projecto duvidoso e de forma semelhante, quando subestimado pode provocar a rejeição de um projecto que, a rigor, pode ser um bom investimento perdendo assim uma oportunidade lucrativa (FERREIRA & ANDRADE, 2004).

Em relação à previsão dos preços das commodities minerais para avaliação de projectos de mineração, Wellmer et al. (2008), afirmam que o desenvolvimento histórico de preço de um mineral específico (ou das commodities em geral) deve ser aplicado como referência para projeções futuras.

O preço dos bens minerais, assim como de quaisquer outros bens e serviços corresponde ao acordo entre os produtores e compradores ou consumidores ao abrigo da lei do mercado, estando sujeito às influências da oferta e da demanda, às intervenções por parte dos diversos agentes econômicos e às restrições legais.

Geralmente, o operador de minas por si só não é capaz de controlar o preço de venda das commodities minerais, pois, o valor é controlado também pelo mercado internacional através da lei da oferta e demanda. De modo que quando o valor de uma substância sobe, a mineradora tenderá a aumentar a sua oferta. Quando o valor cai, reduzirá a sua oferta. A oferta do mercado responderá da mesma forma. Como a indústria mineral é muito internacionalizada e os preços das commodities são

normalmente cotados em dólar, variações na taxa de câmbio terão efeitos semelhantes à mundaças no valor. (MAXWELL, 2006, P.52)

De acordo com Miranda Júnior (2011), os preços das commodities minerais são formados pela lei da procura e oferta, mas existem outros fatores envolvidos, como a escassez do produto, a natureza de um dado bem mineral, o custo de obtenção desse bem mineral e a existência de outros produtos concorrentes e substitutos.

Para Mobtaker & Osanloo (2015), o teor de corte, a reserva mineral, a capacidade de produção da mina e custos de mina (custo de investimento inicial e operacional) são juntos tratados em um ciclo e todos dependem do preço de minério. Os mesmos autores afirmam ainda que a flutuação do valor afeta o planeamento e produção da mina.

Baurens (2010) afirma ser verdade que, os preços futuros das commodities minerais são difíceis de prever com exatidão, mas ele salienta ainda que, isso não quer dizer que não existe nenhuma outra forma que deve ser utilizada para prevê-los. Portanto, uma completa previsão de preço, bem fundamentada de oferta e demanda é uma parte importante de qualquer avaliação do projeto.

Existe sempre uma grande incerteza e risco inerente a qualquer previsão do preço das commodities dentro das atividades de mineração, todavia, existem disponíveis trabalhos de simulação de valor de vendas de minério que, segundo Assis (2016), passam de simulação gaussiana e outros métodos para tentar predizer o preço do mineral com maior grau de certeza.

1.6. Receita mineral

A receita é o elemento mais importante que qualquer empreendimento deseja obter, para melhor definir os seus lucros. Na mineração, este elemento é obtido pela venda das commodities minerais.

Para Gentry & O’Nell (1984), a receita mineral anual é determinada multiplicando as quantidades de materiais produzidos e vendidos durante o ano pelo valor de venda por cada unidade do produto.

Definido o nível de produção e o preço unitário do bem mineral a ser aproveitado, a estimativa da receita mineral é obtida mediante uma simples multiplicação entre a quantidade de venda prevista e o valor estimado (FERREIRA & ANDRADE, 2004).

Para além da quantidade e valor de venda do produto mineral, a receita está associada a outros fatores como é o caso do teor do minério, que influencia o seu aumento ou diminuição.

Para Mackenzie e Doggett (2000) citados por Miranda Júnior (2011), a estimativa da receita anual para o desenvolvimento de um projeto de mineração deve levar em consideração os seguintes fatores:

- Reservas geológicas de minério;
- Fator de diluição;
- Capacidade da estação de tratamento;
- Preço do bem mineral;
- O mercado de venda ou consumidor.

Vários conceitos da receita mineral abordados por diferentes autores (Miranda Júnior (2011), Baurens (2010), Dimitrakopoulos & Godoy (2014) e Verly (2005)) incorporam fatores que influenciam a sua determinação ou estimativa. Estes fatores são resumidos em preços das commodities minerais, teor do minério, e as capacidades de produção do bem mineral.

1.7. Teor de corte

O teor de corte é um dos parâmetros mais importantes na exploração de bens minerais devido a sua influência sobre o benefício econômico total dos empreendimentos de mineração. Uma pequena diferença ou alteração no teor de corte pode ter um grande impacto sobre a lucratividade do empreendimento mineiro, por isso a sua importância neste trabalho.

Para Thompson e Barr (2014) na engenharia de minas, os engenheiros de minas definem-no como o teor mínimo que é requerido numa dada massa rochosa para que este se considere minério.

Em muitas operações de minas, o teor de corte é o critério principal por meio do qual os especialistas de mineração tomam decisões daquilo que será considerado minério e estéril. A escolha do teor de corte pode afetar diretamente a lucratividade de uma empresa mineira. Na ordem de maximizar a média dos objetivos econômicos a partir de operações mineiras, a escolha do teor de corte pode considerar dois aspectos importantes: o valor do dinheiro no tempo e a variação da distribuição espacial de teor no depósito (GU et al. 2010).

O teor de corte ótimo varia com o tempo e lugar dentro de um depósito mineral e estes fatores constituem um problema na tomada de decisão dentro de processos de planejamento do projeto devido a incertezas relacionadas a este elemento. Yasrebi et al. (2015), afirmam que um dos grandes problemas em muitas atividades de mineração é como definir o teor de corte ótimo, o qual determine o teor que diferencia aquilo que é minério e estéril num depósito ou jazida mineral.

É de fundamental importância optimizar o teor de corte em empreendimentos mineiros, para determinar o valor máximo de um determinado projeto de mineração, a fim de facilitar uma melhor concepção, avaliação e operação de ativos da empresa.

A modificação ou alteração do teor de corte na mineração poderá impactar não somente a quantidade do material (estéril ou minério) produzido por uma operação mineira e consequentemente a receita, mas também poderá impactar nos custos de operação por unidade do produto.

No entender de Barr (2012), a variação do teor de corte tem impactos profundos sobre a economia e o desenvolvimento do projeto, isto é, o aumento do teor de corte implicará uma redução da porção do minério dentro do depósito ou jazida mineral, enquanto que o teor médio do minério irá aumentar. A sua redução terá um impacto contrário, ou seja, a diminuição do teor de corte implicará o aumento da fração do depósito, o teor médio irá diminuir.

Contudo, aumentando o teor de corte, por um lado, pode resultar no aumento da quantidade de material estéril que tem de ser removido e, consequentemente, esta remoção de grandes volumes de material sem valor econômico envolve custos adicionais, estes custos podem diminuir significativamente o benefício do projeto mineiro.

1.8. Indicadores chaves de performance - KPI

KPI é uma sigla que vem do Inglês “Key Performance Indicator”, o que significa Indicador-Chave de performance, sendo ela uma ferramenta de gestão para analisar os indicadores mais importantes de uma empresa ou de uma operação, em determinado processo, estratégia ou acção específica. As suas principais características são:

- **Relevância:** Deve estar diretamente relacionado ao objetivo estratégico que se deseja alcançar.
- **Mensurável:** Deve ser baseado em dados quantitativos ou qualitativos que possam ser monitorados de maneira confiável.
- **Específico:** Um KPI eficaz foca em um aspecto específico do desempenho, evitando considerações muito abrangentes.

- **Temporal:** Deve ser medido em um período de tempo definido, como semanal, mensal ou anual.
- **Alcançável:** O KPI precisa ser realista e viável dentro do contexto e dos recursos disponíveis.
- **Comparável:** Deve permitir análises comparativas ao longo do tempo ou entre diferentes setores.

Os KPI's em uma organização desempenham um papel fundamental, pois ajudam a monitorar o progresso em relação aos objetivos propostos, identificar áreas de melhoria, garantir que os recursos sejam utilizados de forma eficiente, promover uma cultura voltada para resultados. A escolha dos KPI's certos é crucial, pois indicadores mal definidos podem levar a interpretações equivocadas e decisões mal definidas. Eles devem ser revisados periodicamente para garantir o alinhamento com as metas e o contexto atual.

Na indústria diamantífera, os **KPIs para controle de custos** são fundamentais para garantir as previsões econômicas da operação, dado o alto custo associado à exploração, extração e beneficiamento dos diamantes. Os itens de custos e preços discutidos a cima são utilizados como KPIs, para controle de custos e previsão do mercado. Esses KPIs trabalham em conjunto para oferecer uma visão abrangente de eficiência operacional e financeira. Eles são monitorados regularmente por meio de sistemas integrados, como software de mineração ou dashboards personalizados, para permitir uma resposta rápida a desvios e optimização contínua dos processos.

Os **softwares de mineração** usados para controle de custos por meio de KPIs são plataformas especializadas que integram dados operacionais, financeiros e logísticos para fornecer análises em tempo real sobre o desempenho de uma operação mineira. Eles funcionam como sistemas de gestão que coletam, processam e analisam dados de diversas etapas do ciclo de mineração, permitindo que os gestores monitorem e ajustem os processos com base nos KPIs apresentados.

CAPÍTULO II

METODOLOGIA

2. Capítulo II – Metodologia de investigação

2.1. Metodologia

A metodologia utilizada para este trabalho foi baseada na abordagem Design Science Research (DSR), que se destaca por sua aplicação pragmática e orientada à resolução de problemas.

A discussão realizada por Simon (1996) sobre a diferenciação entre ciência natural e ciência artificial é necessária para a compreensão do Design Research.

A ciência natural tradicional é de natureza descritiva e tenta compreender e explicar os fenômenos que ocorrem naturalmente. Simon (1996) define os fenômenos naturais como aqueles que ocorrem “naturalmente” no mundo, tais como terremotos, doenças e comportamento humano.

Entretanto, os fenômenos artificiais são aqueles criados pelo homem, com o propósito de satisfazer seus desejos e como forma de alcançar seus objetivos. Vaishnavi e Kuechler (2005) mencionam que a Ciência do Artificial se preocupa com os fenômenos artificiais criados pelo homem, e que o Design Research é um método que pode ajudar a pesquisa para entender esses fenômenos.

Assim, o método Design Research estuda fenômenos artificiais ao invés dos naturais e é composto por duas atividades básicas, ou seja, de construção e de avaliação, ocorrendo a partir de um processo criativo que resulta em novos artefatos.

2.2. Design Research ou Design Science Research

Para HEVNER (2004) trata-se de um processo rigoroso para projetar artefatos, resolver os problemas observados, fazer contribuições à pesquisa, avaliar os projetos e comunicar os resultados para o público adequado. Cria e avalia artefatos e destina-se a resolver os problemas de organização identificados.

2.2.1. Características da Metodologia DSR

A DSR é caracterizada por sua natureza pragmática, que foca na criação de soluções práticas para problemas reais. Nesse sentido, o método é fundamentado em dois pilares principais:

- **Relevância:** Garante que os resultados gerados sejam aplicáveis e eficazes no contexto do problema abordado, auxiliando na resolução de desafios organizacionais.
- **Rigor:** Confere confiabilidade ao processo, integrando revisões sistemáticas da literatura e avaliações detalhadas dos artefactos desenvolvidos.

A pesquisa em DSR também se destaca por gerar conhecimento aplicado, promovendo melhorias nos sistemas existentes e fortalecendo a base de conhecimentos em áreas específicas.

Entretanto, Design Research é uma nova perspectiva de investigação à pesquisa, ou uma maneira de olhar e pensar sobre a pesquisa. É mais do que uma metodologia, ainda que inclua certas metodologias e defina um conjunto de técnicas de análise e perspectivas positivistas e as perspectivas de interpretação para a realização de pesquisas em sistemas de informação. Assim, o conceito compreendido é “como um processo contínuo, com erros e acertos e ajustes ao longo de todo o processo”.

2.2.2. Saída do Design Research – Artefatos

Se o Design é “inventar e trazer à existência”, o que é que está sendo “trazido à existência?”. Para responder a essa pergunta, subsidia-se no estudo de Simon (1996) que denota que os resultados de Design são as criações de artefatos, normalmente concebidos para satisfazer uma necessidade ou para atender a um objetivo. Esses artefatos, em algumas vezes, têm caráter extensionista, são

normalmente concebidos para atender a uma necessidade, ou para alcançar algum objetivo. Takeda et al. (1990) mencionam que os artefatos são a interface entre o ambiente externo, a situação em que devem funcionar, incluindo todas as leis naturais que regem o seu funcionamento, o ambiente interno, a substância e a organização do próprio artefato.

Para Manson (2006), as saídas (resultados) do Design Research ou Design Science Research são os artefatos, ou seja, um construto, um modelo, um método. No quadro abaixo constam as definições de cada tipo de artefatos:

TABELA 2.1: Tipos de artefactos

ID	Tipos de artefactos	Conceito
1	Constructos	Constructos ou conceitos formam o vocabulário de um domínio. Eles constituem uma conceituação utilizada para descrever os problemas dentro do domínio e para especificar as respectivas soluções.
2	Modelo	É um conjunto de declarações que expressam relação entre os construtos. Em pesquisas de planejamento, por exemplo, modelos representam situações como problema e declarações de soluções. Ele pode ser visto como uma descrição, ou seja, como uma representação de como as coisas são
3	Método	É um conjunto de passos, um algoritmo ou guia para desempenhar uma tarefa específica. Esses passos são baseados em um conjunto de construto e um modelo do espaço de soluções.

Design Research é um processo de utilização de conhecimentos para concepção e criação de artefatos úteis que, em seguida, utiliza-se de vários métodos

rigorosos para analisar por que razão ou por que não, um artefato é eficaz. Esse método contribui ainda para análise e construção de artefatos, com intuito de compreender e explicar o comportamento e os aspectos de um determinado sistema. Está relacionado basicamente com duas atividades específicas, construção e avaliação de artefacto.

2.2.3. Estruturação das etapas do método

O processo de aplicação da DSR foi adaptado à problemática deste estudo, com as seguintes etapas principais:

a) Identificação e consciencialização do problema

O processo do método Design Research inicia quando o pesquisador busca solucionar um problema, é a condição inicial de pesquisa. E, para isso, é necessário entender a natureza do problema, o contexto, as potencialidades e as limitações para que seja possível compreender o ambiente em que o problema está inserido. Essa fase denomina-se de consciência do problema. Manson (2006) entende que é nesse momento que se inicia a construção formal ou informal do processo de investigação. Nessa etapa, é requerida a análise de um conjunto de conceitos, teorias e relações verificadas e experimentalmente, sendo úteis para explicar processos e resultados organizacionais. Peffers (2004) explica que a consciência do problema é a identificação de problemas e a motivação, é o momento em que se define o problema e justifica-se o valor da solução.

Para o nosso caso o problema central é a dificuldade em ajustar os custos crescentes de mineração com a volatilidade do mercado. Este desafio foi contextualizado a partir de uma análise detalhada das operações mineiras e do mercado global de diamantes.

b) Revisão sistemática da literatura

Foi realizada uma revisão de estudos académicos, com livros, trabalhos de fim de curso, publicações em sites da internet, artigos científicos, relatórios da empresa, e práticas da indústria, conduzida por entrevistas, para identificar soluções existentes e compreender os principais determinantes dos custos e valores no sector mineral.

c) Desenvolvimento e avaliação dos artefactos

A etapa do desenvolvimento é a efetiva construção do artefacto pelo pesquisador, podendo ser um ou um conjunto de artefactos para solucionar o problema proposto e, para isso, dependerá da utilização de várias técnicas em conformidade com o objeto que se está estudando. Para Peffers (2004) e Vaishnavi e Kuechler (2005), o artefacto é desenvolvido e implementado nessa fase.

Na fase de avaliação do artefacto, Peffers (2004), Vaishnavi e Kuechler (2005) e Manson (2006) explicam que deve ser analisado e testado de acordo com as condições estabelecidas para validação; essa etapa contribui ao processo de melhoria do artefacto construído. A avaliação é definida como o processo rigoroso de verificação do comportamento do artefacto no ambiente para o qual foi projetado, em relação às soluções que se propôs alcançar. Uma série de procedimentos é necessária para verificar o desempenho do artefacto.

d) Conclusão

A última fase de conclusão pode ser apenas o fim de um ciclo de pesquisa; no entanto, Vaishnavi e Kuechler (2005) mencionam que não são apenas os resultados do esforço de consolidação e a “escrita” nessa fase, mas o conhecimento adquirido pelo esforço é frequentemente categorizado como “firmes”, fatos que foram aprendidos. Essa etapa pode ser aplicada repetidamente ou os comportamentos podem ser repetidos.

Assim, um novo conhecimento é produzido. Conforme Peffers (2004), Vaishnavi e Kuechler (2005) e Manson (2006), isso significa que o pesquisador aprende algo novo e, caso as coisas não funcionem de acordo com a teoria, o pesquisador deve analisar o que está acontecendo, e por que isso se sucedeu. O insucesso pode ter ocorrido devido a uma compreensão incompleta da teoria pelo investigador, porém é mais frequentemente devido ao caráter necessariamente incompleto de qualquer teoria. Quando as coisas não funcionam, o pesquisador é forçado a voltar para a etapa de consciência, quando novos conhecimentos são adquiridos para que se refinem os limites da incompleta teoria que foi usada para criar o artefacto em primeiro lugar. Se o investigador é capaz de resolver o problema, também pode levar a uma nova compreensão que vai modificar e melhorar a teoria original.

e) Apresentação e comunicação dos resultados

Os resultados serão compartilhados de forma clara e estruturada, destacando como os artefactos desenvolvidos contribuíram para abordar o problema identificado e quais foram os avanços obtidos em termos de equilíbrio económico e operacional.

CAPÍTULO III

ESTUDO DE CASO - SOCIEDADE MINEIRA DE CATOCA

3. Capítulo III – Estudo de caso - Sociedade mineira de Catoca

3.1. Caracterização da região em estudo

a) Localização Geográfica

A mina de Catoca está localizada na província de Lunda Sul, no nordeste de Angola, cerca de 35 km da cidade de Saurimo e a aproximadamente 800 km da capital, Luanda. A área de concessão cobre 340 km², delimitada pelas seguintes coordenadas:

- Longitudes: 20°15'00" a 20°24'15" Leste.
- Latitudes: 9°18'00" a 9°29'20" Sul.

Essa localização estratégica coloca a mina em uma região rica em recursos minerais, com fácil acesso a importantes rotas logísticas.

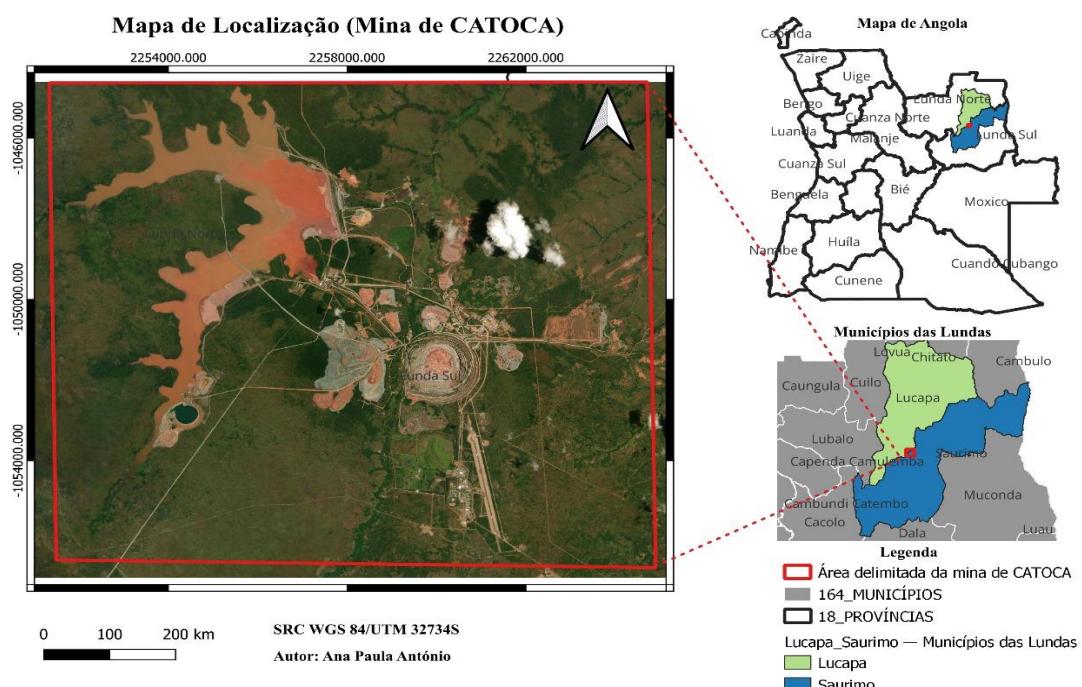


Figura 3.1: Localização da S.M. Catoca

Fonte: Arcgis

b) Condições Climáticas

O clima da região é tropical úmido, caracterizado por duas estações:

- Chuvosa: De agosto a Maio, com maior intensidade entre Novembro e Março.
- Seca: De Maio a agosto.

Temperaturas médias anuais variam entre 22,5°C e 22,8°C. Ventos predominam nas direcções Norte-Nordeste e Sul-Sudoeste, com velocidades médias de 2 a 2,5 m/s. A estação chuvosa, embora benéfica para os recursos hídricos, exige planeamento adicional para evitar interrupções nas operações devido à erosão do solo.

c) Relevo e geologia

A região é caracterizada por uma planície suavemente inclinada, com altitudes entre 900 e 1078 metros. A mina localiza-se no centro de uma estrutura geológica anelar, formada por fracturas abissais que modelaram o campo kimberlítico. Esse ambiente geológico contribui para a alta concentração de diamantes na área.

d) Morfologia da região

A região onde se encontra a mina de Catoca é caracterizada por uma topografia variada, com relevo que alterna entre áreas de planícies suaves, vales largos em forma de "U" e "V", e formações naturais esculpidas por rios e riachos. Esses vales amplos reflectem processos erosivos ao longo do tempo, influenciados pelo fluxo dos cursos d'água que cortam a região, como os rios Chicapa e Lova.

A presença de pedregais nos rios indica que a área possui exposição significativa de rochas no leito, sugerindo terrenos de substrato rochoso com uma composição que pode incluir basaltos, granitos e formações sedimentares. Essas características também contribuem para a dificuldade de navegação nos rios da região, mas garantem recursos hídricos fundamentais.

A chaminé de Catoca situa-se numa depressão erosiva natural, associada ao riacho Catoca, que esculpiu o terreno ao longo de milhares de anos. Essa depressão se insere em um contexto de terrenos que apresentam declives moderados e encostas suaves, típicos de formações interflúvios.

e) Aspectos geomorfológicos

- **Altitudes:** A região provavelmente apresenta altitudes moderadas, compatíveis com áreas de savanas e florestas de transição. Essas altitudes proporcionam um gradiente suave em direção ao norte, seguindo a orientação dos cursos d'água.
- **Solo e Erosão:** Os solos são característicos de áreas tropicais, com uma combinação de solos lateríticos (ricos em ferro) e áreas mais arenosas nas margens dos rios. A erosão tem papel crucial na formação dos vales amplos, moldando o relevo e criando depressões naturais.
- **Drenagem:** A rede hidrográfica com cursos subparalelos reflete uma drenagem bem estabelecida, com rios correndo de sul para norte, acompanhando a declividade natural do terreno.
- **Formações Naturais:** A morfologia inclui afloramentos rochosos, depressões e encostas suavemente inclinadas, que são típicas de terrenos de transição entre savanas e florestas. A interação da chaminé de Catoca com o rio Lova evidencia a ação contínua de processos erosivos, bem como a adaptação do relevo às condições climáticas locais.
- **Depressões Fluviais:** A depressão em torno da chaminé de Catoca é resultado de longos períodos de erosão fluvial, com o riacho Catoca desempenhando um papel central na conformação dessa área específica.

f) Hidrografia

A rede hidrográfica da região integra a bacia do rio Congo, com cursos d'água predominantemente orientados para o norte. Os principais rios, como o Luembe,

Chicapa, Luachimo, Chiumbe, e Luxico, apresentam um padrão de drenagem subparalelo, fluindo de sul para norte. Seus vales têm formatos variados, predominando perfis em “U” e “V”, que são amplos e abertos. Esses rios, embora de extensão moderada, apresentam trechos com pedregais, o que os torna inadequados para navegação, mas oferecem recursos hídricos significativos.

O rio de maior destaque é o Chicapa, que percorre o limite oriental da área de concessão da Catoca. Sua importância é reforçada pela presença de uma Central Hidroeléctrica construída para atender às demandas de energia eléctrica da Sociedade Mineira de Catoca (SMC) e também da cidade de Saurimo, localizada na província da Lunda Sul. A chaminé de Catoca encontra-se situada na margem direita do curso médio do rio Lova, um afluente do Chicapa, em uma depressão natural de erosão moldada pelo riacho Catoca, que atravessa a própria chaminé.

g) Flora e fauna

Angola é reconhecida mundialmente pela sua impressionante biodiversidade, que reflecte a riqueza dos diversos biomas presentes no território. Essa diversidade é influenciada por factores como a localização intertropical, a variação de altitudes e a multiplicidade geológica do país. Esses elementos, em conjunto com condições climáticas e de solo favoráveis, criaram uma ampla variedade de ecossistemas, desde densas florestas tropicais até regiões áridas.

A vegetação da área é dominada por savanas, caracterizadas por estepes tropicais cobertas por gramíneas e arbustos espaçados, com maior concentração de árvores ao longo de rios e vales. A fauna é igualmente rica e diversa, abrigando uma ampla gama de espécies de mamíferos, aves, répteis, anfíbios, peixes e uma grande variedade de invertebrados. Entre os vertebrados e invertebrados, destacam-se felinos, antílopes, coleópteros e espécies adaptadas ao solo.

A região de Saurimo, onde está situada a Catoca, localiza-se em uma zona de transição entre a savana, que predomina ao sul, e a floresta tropical, que se estende

ao norte, em direcção à República Democrática do Congo. Essa condição geográfica confere à área uma biodiversidade particularmente notável.

Entre os animais encontrados na região, destacam-se espécies emblemáticas como o hipopótamo (*Hippopotamus amphibius*), a palanca-vermelha (*Hippotragus equinus*), a pacaça (*Syncerus caffer*), o kudu (*Tragelaphus strepsiceros*), a quissema (*Kobus defassa*), o leão (*Panthera leo*), a cabra-de-leque (*Antidorcas marsupialis*), o sacara (*Otocyon megalotis*), os mabecos (*Lycaon pictus*), a geneta (*Genetta angolensis*), o gato-bravo (*Felis silvestris*), o guepardo (*Acinonyx jubatus*), a hiena-castanha (*Parahyaena brunnea*), a galinha-do-mato (*Numida meleagris*), além de diversas espécies de serpentes e outros animais.

h) Infraestrutura de acesso

O transporte para a mina é realizado por vias terrestres e aéreas. Equipamentos e cargas chegam inicialmente a Luanda, de onde são transferidos para Catoca por estradas ou transporte aéreo. Internamente, a mina conta com uma malha viária que conecta as áreas de operação e os alojamentos dos trabalhadores.

3.2. Apresentação da S.M. Catoca

A Sociedade Mineira de Catoca é uma entidade mista concebida para actuar na prospecção, extracção, processamento e comercialização de diamantes. Fundada por iniciativa do governo angolano, a empresa teve como objectivo principal explorar o primeiro kimberlito sob controle nacional. Sua estrutura acionaria é composta por três principais sócios:

- **Endiama (Empresa Nacional de Diamantes de Angola):** detém 41% das acções.
- **Alrosa (empresa russa de mineração de diamantes):** também com 41%.
- **LLI Holding Bv:** controla os 18% restantes.

Catoca é reconhecida mundialmente pela sua relevância no sector de mineração, ocupando a quarta posição no ranking global de produção e facturamento de diamantes (Manual da Função de Integridade e Conformidade, 2019). Essa posição de destaque é fruto de um modelo de gestão voltado para a eficiência operacional, aliado à aplicação de tecnologias avançadas nos processos de mineração.

3.2.1. Método de Mineração

A exploração da mina de Catoca é conduzida por mineração a céu aberto, um método amplamente utilizado em projectos de grande escala devido à sua viabilidade económica e eficiência na remoção de grandes volumes de material. O fluxo operacional envolve:

- a) **Remoção do estéril:** Esta etapa inicial consiste em retirar as camadas de material sem valor económico que recobrem o minério. Esse processo é essencial para expor os depósitos de kimberlito, que são a principal fonte de diamantes.
- b) **Extracção do minério:** Utilizam-se escavadeiras de grande porte para remover o kimberlito.
- c) **Transporte:** Camiões com capacidades variando de 40 a 135 toneladas são empregados para transportar o minério até as plantas de processamento.
- d) **Processos especiais:** Em áreas onde o kimberlito apresenta características mais resistentes, é necessário realizar uma etapa adicional de escarificação com bulldozers. Já nas formações de gnaisse presentes nas zonas norte, sul e oeste da mina, são utilizadas técnicas de perfuração e detonação.

Esse modelo de operação permite uma exploração eficiente, garantindo altos índices de produtividade e reduzindo o custo por tonelada extraída.

3.2.2. Classificação da Mina

A classificação das minas é realizada com base no volume de minério extraído anualmente. De acordo com os critérios estabelecidos, as minas podem ser categorizadas como:

- **Pequeno porte:** menos de 1.000.000 toneladas por ano.
- **Médio porte:** entre 1.000.000 e 5.000.000 toneladas por ano.
- **Porte normal:** entre 5.000.000 e 25.000.000 toneladas por ano.
- **Grande porte:** entre 25.000.000 e 100.000.000 toneladas por ano.
- **Gigante:** mais de 100.000.000 toneladas por ano.

Com uma produção anual de aproximadamente **40 milhões de toneladas por ano**, a mina de Catoca enquadra-se na categoria de **grande porte**, sendo uma das mais relevantes do sector no contexto africano e global.

3.2.3. Planificação das Operações

O planeamento mineiro desempenha um papel central na gestão eficiente dos recursos e no alcance das metas de produção. Na Catoca, esse processo é conduzido de forma sistemática, envolvendo:

- Avaliação de alternativas: análise de diferentes cenários para identificar as melhores estratégias de extracção e remoção de estéril.
- Definição de metas: estabelecimento de objectivos anuais com base na capacidade produtiva da mina.
- Gestão de recursos: alocação de equipamentos, força de trabalho e insumos de forma optimizada.
- Revisão constante: adaptação dos planos às mudanças nas condições de mercado, disponibilidade de equipamentos e desafios operacionais.

3.3. Cálculo de custos detalhados baseando-se no planeamento anual da S.M. Catoca.

➤ Determinação da taxa de produção diária.

Foi decidido que a taxa de produção anual, segundo o planeamento anual da S.M. Catoca será:

- 9.737.800 Estéril removido (m^3)

- 6.458.500 Minério extraído (m^3)

Considerando que o regime de trabalho da mina são de 3 turnos, cada turno com duração de 8h. Portanto a taxa de produção diária de estéril removido e de minério extraído será:

$$Taxa\ de\ produção\ diária\ de\ minério = \frac{6.458.500\ (m^3)}{365\ (dias)}$$

$$Taxa\ de\ produção\ diária\ de\ minério = 17.694,52m^3/dia$$

Analogamente ao passo anterior, a taxa de produção de estéril removido será de $26.678,36m^3/dia$.

➤ Seleção de equipamentos básicos

Selecionaremos equipamentos com base na produção diária.

Escavadeiras (remoção de estéril e carregamento de minério)

- Modelo: Caterpillar 6015B.
- Capacidade nominal: $8,1m^3/ciclo$.
- Ciclos por hora: 30
- Produção por hora:

$$P_{he} = 8,1 * 30 = 243m^3/h$$

- Horas por turno: 8h
- Eficiência operacional: 85%.

$$P_{diária} = 3 * 8 * P_h * E$$

$$P_{diária} = 3 * 8 * 243 * 0,85 = 4\,959m^3/dia$$

➤ **Número de escavadeiras necessárias (estéril e minério)**

- Para estéril:

$$N = \frac{\text{Produção diária de estéril}}{\text{Produção por equipamento}}$$

$$N = \frac{26\,678,36}{4\,959} \approx 6 \text{ escavadeiras}$$

- Para minério

$$N = \frac{17\,694,52}{4\,959} \approx 4 \text{ escavadeiras}$$

Camiões basculantes (transporte de estéril e minério)

- Modelo: Caterpillar 777G.
- Capacidade nominal 93,0 ton/carga.
- Velocidade média: 25km/h.
- Distância média de transporte: 2,0 km.
- Tempo de ciclo (carregamento, transporte e descarregamento): 12 min (5ciclos/h).
- Produção por camião/hora:

$$P_{hc} = 93 * 5 = 465 \text{ ton/h}$$

- Horas por turno 8h.
- Eficiência operacional 80%

$$P_{diária\ c} = 465 * 8 * 3 * 0,8 = 8\ 928\ ton/dia$$

➤ **Número de camiões necessários**

- Para estéril (considerando a densidade média de 2,5 ton/m³)

$$Taxa\ diária\ de\ estéril\ (ton) = 26\ 678,36 * 2,5 = 66\ 695,9\ ton/dia$$

$$N_{ce} = \frac{66\ 695,9}{8\ 928} \approx 8\ caminhões$$

- Para minério (densidade de 2,7 ton/m³)

$$Taxa\ diária\ de\ minério\ (ton) = 17\ 694,52 * 2,7 = 47\ 775,52\ ton/dia$$

$$N_{cm} = \frac{47\ 775,2}{8\ 928} \approx 6\ caminhões$$

➤ **Custos de operação**

Escavadeiras

- Consumo de combustível (gasóleo): 180 L/h
- Horas operacionais por ano: $8 * 3 * 365 = 8\ 760\ h/ano$

$$Custo\ anual\ por\ escavadeira = 180 * 8\ 760 * 0,2 = 315\ 360\ USD$$

Camiões basculantes

- Consumo de combustível (gasóleo): 50L/h

$$Custo\ anual\ por\ caminhão = 50 * 8\ 760 * 0,2 = 87\ 600\ USD$$

➤ **Custos totais**

Equipamentos principais

Escavadeiras (6+4):

$$C_{escavadeiras} = 10 * 315\ 360 = 3\ 153\ 600 \text{ USD/ano}$$

Camiões (8+6):

$$C_{caminhões} = 14 * 87\ 600 = 1\ 226\ 400 \text{ USD/ano}$$

➤ **Outros custos**

Outros custos incluem:

- Infraestrutura (manutenção de vias, drenagem, escritórios): 10% dos custos totais operacionais;
- Gestão ambiental (manejo de rejeitos, revegetação): 5%;
- Segurança e saúde (EPIs, treinamentos): 2%.

$$Custo \ total \ anual = 3\ 153\ 600 + 1\ 226\ 400 = 4\ 380\ 000 \text{ USD}$$

➤ **Custo por tonelada**

$$Produção \ anual \ total = 12\ 369\ 500 \text{ ton}$$

$$Custo \ por \ tonelada = \frac{C_{total}}{P_{anual}} = \frac{4\ 380\ 000}{12\ 369\ 500} \approx 0,35 \text{ USD/ton}$$

Nota: Este valor do custo por tonelada, não foi incluído outras deduções de custo como: a manutenção, pneus, lubrificantes e peças de reposição, foi considerado apenas o custo de combustível devido a escassez de informações.

3.4. Cálculo de custos utilizando o estimador de custos O'Hara actualizado

Diferetemente do cálculo de custo detalhados, o modelo atualizado de O'Hara apresenta-se ser mais completo apresentando caminhos que nos permite dosear todo o custo inerente actividade mineira, de minas a céu aberto em depósitos primários, como é o caso da S.M. Catoca, desde os capitais aos operacionais.

As fórmulas e os passos utilizados nesta secção foram descrito no capítulo 1, limitaremos-nos apenas em encontrar os custos estimados de cada operação. Lembrando que estes valores serão estimados consoante o planeamento anual fornecido pela S.M. CATOCA.

Como as fórmulas de O'Hara as unidades da taxa de produção de minério e estéril estão em toneladas, então converteremos para esta unidade as taxas de produção que Catoca forneceu-nos em m^3 para toneladas, usando a fórmula da densidade:

$$\delta \left(\frac{T}{m^3} \right) = \frac{m(T)}{V(m^3)}$$

Como:

$$\delta_m = 2,7 \text{ ton/m}^3$$

$$\delta_e = 2,5 \text{ ton/m}^3$$

$$V_m = 6\,458\,500 \text{ m}^3$$

$$V_e = 9\,737\,800 \text{ m}^3$$

Substituindo os valores na equação da densidade teremos:

$$m_m = T_o = 17\,437\,950 \text{ ton}$$

$$m_e = T_w = 24\,344\,500 \text{ ton}$$

Como:

$$T_p = T_o + T_w = 41\,782\,450 \text{ ton}$$

Dividindo este valor por 365, nos dará total de material extraído por dia

$$T_p = 114\,472,47 \text{ ton/dia}$$

➤ **Número de pessoal**

Como o maciço rochoso da S.M. Catoca é caracterizado com rocha dura, a estimação do N_{op} para esta condição é:

$$N_{op} = 0.034 T_p^{0.8} = 0.034 * (114\,472,47)^{0.8} = 3\,788 \text{ funcionários}$$

➤ **Custos de investimento associados à mina**

Para a remoção de estéril a mina de Catoca requer desmonte, carregamento, transporte e descarga, para minas que operam segundo este ciclo de operações o custo estimado de remoção de estéril é:

$$\text{Custo de remoção de resíduos} = \$ 340 T_{ws}^{0.6} = 340 * (24\,344\,500)^{0.6} = 9\,190\,082,98 \$$$

➤ **Equipamento de mina**

a) Brocas

Dependendo das toneladas de minério e estéril que são perfuradas diariamente, a mina de catoca usa brocas com diâmetros de 203mm. Mas este valor deve ser convertido para polegadas, bastando apenas dividir por 25,4.

Como a rocha é dura teremos:

$$\text{Toneladas de rocha dura perfuráveis} = 100 d^2 = 100 * (203/25,4)^2 = 6\,387,41 \text{ ton}$$

ID	Tonelagens perfuradas	Número de brocas (N_d)
1	Até 25 000 ton/dia	2
2	25 000 á 60 000 ton/dia	3
3	Acima de 60 000 ton/dia	4 ou mais brocas

Em função das toneladas perfuráveis por dia o número de brocas selecionadas são 2.

$$\begin{aligned} \text{Cust. do equip. de perf.} &= N_d * \$20000 d^{1.8} = 2 * 20000 * (203/25,4)^{1.8} \\ &= 1\ 685\ 579,03 \$ \end{aligned}$$

b) Pás

$$\begin{aligned} S &= 0.145 T_p^{0.4} = 0.145 * (114\ 472,47)^{0.4} = \\ &15,3 \text{ jardas cúbicas (tamanho ideal da pá)} \end{aligned}$$

$$N_s = 0.011 \frac{T_p^{0.8}}{S} = 0.011 \frac{(114\ 472,47)^{0.8}}{S} = 8,01 \approx 8 \text{ pás (Número de pás)}$$

$$\begin{aligned} \text{Cust. do equip. de carregam.} &= N_s * \$510.000 S^{0.8} = 8 * 510.000 (15,3)^{0.8} \\ &= 36\ 175\ 397,15 \$ \end{aligned}$$

c) Camiões

$$\text{Tamanho do camião (t)} = 9.0 S^{1.1} = 9.0 (15,3)^{1.1} = 180,88 \approx 180 \text{ toneladas}$$

$$\begin{aligned} N_t (\text{Núm. de camiões necessários}) &= 0.25 \frac{T_p^{0.8}}{t} = 0.25 \frac{(114\ 472,47)^{0.8}}{180} = 15,4 \\ &\approx 15 \text{ camiões} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cust. do equip. de transp.} &= N_t * \$20.000 t^{0.9} = 15 * 20.000 (180)^{0.9} \\ &= 32\ 268\ 052,07 \$ \end{aligned}$$

➤ **Serviços de cava**

a) Instalações de manutenção

$$\text{Área de reparo a céu aberto} = 360 T_p^{0.4} = 360 * (114\ 472,47)^{0.4} = 37\ 999,94 \text{ pés}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Cust. das instal. de manuten.} &= \$6000 A^{0.6} t^{0.1} = 6000(37\ 999,94)^{0.6} (180)^{0.1} \\ &= 5\ 646\ 249,42 \$ \end{aligned}$$

b) Comunicação e distribuição eléctrica

$$\begin{aligned}\text{Cust. de comunicações e eletricidade} &= \$250 T_p^{0.7} = 250 * (114\ 472,47)^{0.7} \\ &= 869\ 021,95 \$\end{aligned}$$

c) Sistema de abastecimento

$$\begin{aligned}\text{Custo do sistema de reabastecimento} &= \$28 T_p^{0.7} = 28 * (114\ 472,47)^{0.7} = \\ &97\ 330,46 \$\end{aligned}$$

➤ **Custos operacionais diários**

$$\text{Custo de perfuração por dia} = \$1.90 T_p^{0.7} = 1.90 * (114\ 472,47)^{0.7} = 6\ 604,57 \$$$

$$\text{Custo de detonação por dia} = \$3.17 T_p^{0.7} = 3.17 * (114\ 472,47)^{0.7} = 11\ 019,20 \$$$

$$\text{Custo de carregamento por dia} = \$2.67 T_p^{0.7} = 2.67 * (114\ 472,47)^{0.7} = 9\ 281,15 \$$$

$$\text{Custo de transporte por dia} = \$18.07 T_p^{0.7} = 18.07 * (114\ 472,47)^{0.7} = 62\ 812,91 \$$$

$$\text{Custo dos serviços gerais por dia} = \$6.65 T_p^{0.7} = 6.65 * (114\ 472,47)^{0.7} = 23\ 115,98 \$$$

$$\begin{aligned}\text{Cust. de brit. por dia} &= \$7,90 T^{0.6} = 7,90 * (0,71 T_o)^{0.6} = 7,90 * (0,71 * 47\ 775,20)^{0.6} \\ &= 4\ 129,56 \$\end{aligned}$$

$$\text{Cust. de secção de moagem por dia} = \$12.60 T^{0.6} = 12.60 * (0,71 T_o)^{0.6} = 6\ 586,38 \$$$

A S.M. Catoca utiliza os dados operacionais calculados a cima em softwares de mineração, para controle de custos por meios de KPIs, ajudando a fornecer análises em tempo real sobre o desempenho de uma operação mineira. Eles funcionam como sistemas de gestão que coletam, processam, e analisam dados de

diversas etapas do ciclo de mineração, permitindo que os gestores monitorem e ajustem os processos com base nos KPIs estabelecidos.

Na referida mina, do nosso caso de estudo, estes softwares funcionam da seguinte forma:

1. Coleta de dados:

Os dados são coletados em tempo real, por meio de sensores e sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) instalados em equipamentos, como camiões, britadores e plantas de beneficiamento.

Dados financeiros, como custos de manutenção, energia e mão de obra, são inseridos manualmente ou importados de sistemas de ERP (Enterprise Resource Planning).

2. Centralização e armazenamento:

Os dados são armazenados em bancos de dados centrais ou em nuvem, garantindo fácil acesso para análise histórica e comparativa.

3. Cálculo automático de KPIs:

Os KPIs são pré-definidos no software e calculados automaticamente a partir dos dados inseridos. Por exemplo, o custo por tonelada processada pode ser gerado com base nos custos operacionais e na quantidade de minério processado.

4. Análise e visualização:

Oferecem dashboards interativos e relatórios detalhados que permitem a visualização em tempo real de métricas de desempenho.

Alarmes e notificações são configurados para alertar quando os KPIs ultrapassam limites aceitáveis.

5. Automação e previsão:

Usam algoritmos de machine learning para prever tendências, como aumento de custos ou falhas de equipamentos, permitindo uma abordagem proativa na gestão de custos.

3.5. Análise económica

TABELA 3.1: INDICADORES DE PRODUÇÃO E FINANCEIROS

ID	Ano	Teor	Extr.e rem. da massa min. (m ³)	Qlts recuperados	Custo (milhões de USD)	Preço (USD/Qlts)	Venda (Qlts)
1	2018	0,63	16 121 300	7 351 354	399,2	110,11	6 712 883
2	2019	0,6	16 196 300	7 466 147	390,7	99,88	7 948 115
3	2020	0,61	10 667 300	6 509 004	320,18	93,75	6 522 318
4	2021	0,58	12 671 500	5 712 929	340,37	131,15	5 662 084
5	2022	0,49	16 407 200	5 576 300	449,4		5 608 464

A tabela acima apresenta-nos dados reais de alguns indicadores (daqueles que interessam para o nosso estudo) da Sociedade mineira de Catoca, referentes aos anos 2018 à 2022, período escolhido devido a grandes variações de factores que importa analisar. Essas variações foram motivadas pelo aparecimento do Covid-19, que levou a alterações e adaptações por parte da empresa.

A seguir faremos uma análise dos anos em que essas variações são acentuadas:

➤ Ano 2020

Neste ano as empresas do sector viram-se incapazes de usar 100% do seu capital humano e activos fixos, e muitas tiveram que paralisar totalmente as operações. No nosso caso foi necessário refazer o plano de produção, de forma a adaptá-lo à nova realidade, optando por reduzir o volume de extração da massa mineira, paralisar a Central de Tratamento número 1 e canalizar todo o processo de tratamento para a Central de Tratamento número 2.

Quanto aos custos operacionais, em termos absolutos, diminuíram em USD 70,11 milhões, face ao ano de 2019. Como principais factores temos a destacar:

- A paralisação da Central de Tratamento nº1 que influenciou a redução do volume de tratamento e em contrapartida a baixa do custo de produção;
- A baixa considerável no consumo de materiais, originada pela baixa utilização dos equipamentos mineiros móveis, a redução das horas de trabalho;
- O baixo custo com a mão-de-obra, derivado da redução das remunerações adicionais, prémios e outros subsídios que foram suspensos.

Diante dos desafios impostos, foi desenvolvido um plano de acção focado num conjunto de acções, tais como: (i) renegociação de contratos, (ii) definição de uma equipa para o controlo e monitoramento do estado de biossegurança da empresa contra a COVID-19, (iii) implantação de um novo regime de operação de mão-de-obra, (iv) realização de treinamentos por meio de plataformas digitais para a capacitação dos funcionários em confinamento,(v) aproveitamento máximo das oportunidades de comercialização de diamantes.

O conjunto de acções realizadas permitiu à empresa extrair 10,67 milhões de m^3 de massa mineira (redução de 5 529 000 face a 2019), tendo recuperado 6,51 milhões de quilates (redução de 957 mil quilates face a 2019).

➤ Ano 2021

Para Catoca, a resiliência de não paralisar as operações na totalidade foi um grande desafio, especialmente em garantir a produtividade de forma a conseguir e atingir a meta da produção, uma vez que o valor médio do quilate crescia no mercado. A recuperação foi de 5 712 929 quilates de diamantes menos 796 075 de diamantes que 2020. É de salientar que a baixa recuperação de diamantes, face ao ano de 2020, é fruto do não funcionamento da Central nº1 no processo de tratamento e da baixa de teor médio de 0,61 em 2020 para 0,58 em 2021.

Os Custos operacionais registaram um valor de USD 340,37 milhões (mais 20,19 milhões que em 2020), derivado, essencialmente, do: (i) aumento dos serviços de perfuração e detonação devido ao aprofundamento da mina, bem como maior necessidade de carregamento e transportação da massa minera, (ii) aumento do consumo de combustíveis e lubrificantes, (iii) subida dos valores dos insumos para a reposição nos equipamentos e na fábrica, (iv) aumento das despesas com o pessoal (hospedagem e alimentação), devido ao cumprimento das mediadas de biossegurança para a rotatividade do pessoal na vila residencial de Catoca.

Dos resultados obtidos com as receitas, face aos custos realizados, a empresa obteve o resultado líquido do exercício na ordem de 270,60 milhões de USD (mais 66%) que no ano anterior, sendo o maior resultado na história da empresa, devido ao elevado valor de mercado, causado pela forte procura de diamantes brutos, provocada pelo segmento midstream (corte e lapidação). A expectativa é de que, com a forte procura de diamantes e a escassez de produção, esses factores venham a aportar a solidez do aumento dos valores no mercado.

➤ **Ano 2022**

No domínio dos custos verificou-se um aumento, derivado essencialmente do aumento da remoção da massa mineira, para recuperar atrasos proveniente dos anos anteriores, gerando o aumento dos serviços de perfuração e detonação, maior necessidade de carregamento e transportação aumentando assim os custos com o pessoal.

Quanto a recuperação de diamantes: Apesar de serem utilizadas as duas centrais de tratamento, desta actividade gerou-se a recuperação de diamantes de menos 137mil Qlts do que em 2021, devido além das condições técnicas e tecnológicas das centrais de tratamento, das condições geológicas do miério (ninério e rochas com baixo teor), situações combinadas que resultaram na redução do teor face ao ano de 2021, e que consequentemente com impacto negativo sobre a recuperação de diamantes.

CONCLUSÃO

A pesquisa demonstrou que o equilíbrio entre custos operacionais e valores de mercado no setor de mineração é um dos principais desafios enfrentados por empresas como a Sociedade Mineira de Catoca. O aumento exponencial nos custos de exploração, aliado à instabilidade dos valores globais dos diamantes, tem colocado em risco a competitividade e a rentabilidade das operações. Contudo, os resultados obtidos indicam que a adoção de soluções tecnológicas de ponta, combinada com uma gestão eficiente e planeada, pode mitigar significativamente esses impactos.

Uma análise dos dados da Sociedade Mineira de Catoca, no período entre 2018 e 2022, revelou importantes tendências e desafios econômicos associados à mineração de diamantes. Observa-se uma queda contínua no teor de minérios, de 0,63% em 2018 para 0,49% em 2022, refletindo talvez o esgotamento gradual das camadas mais acessíveis e de alta qualidade. Essa redução impactou diretamente o volume de quilates recuperados, que impediu de 7.351.354 em 2018 para cifra dos 5 milhões.

A quantidade de massa mineral extraída e removida aumentou significativamente no último ano dedicado (16.407.200 m³ em 2022), proporcionando maior esforço para compensar a baixa concentração de minerais. Esse esforço resultou em um aumento substancial dos custos operacionais, que atingiram 449,4 milhões de USD em 2022, o maior custo registrado no período. Essa elevação nos custos reflete fatores como aumento da massa mineira extraída motivando o aumento de insumos, maior complexidade das operações, inflação nos valores de insumos e aumento na demanda por tecnologia e mão de obra especializada.

Além disso, a volatilidade do valor dos diamantes no mercado global adicionou outra camada de complexidade às operações. O valor do quilate varia de 93,75 USD/ct em 2020 a um pico de 131,15 USD/ct em 2021, havendo uma queda subsequente no volume de venda.

Além disso, o crescimento na quantidade de massa mineral extraída e removida, aliado à redução do teor de minerais, sugere um esgotamento progressivo das reservas de maior qualidade, o que poderá exigir, no futuro, investimentos mais intensivos em tecnologias de prospecção e processamento. Essa mudança estrutural na base de recursos minerais apresenta um desafio para a operação: equilibrar a eficiência das extrações com o controle de custos e a sustentabilidade ambiental.

Portanto, a conclusão geral da pesquisa indica que o impacto econômico resultante da interação entre custos de mineração e valores de mercado exige uma abordagem multidimensional, que combine estratégias tecnológicas, econômicas e sustentáveis.

RECOMENDAÇÕES

Para pesquisadores e estudantes:

- A continuação da pesquisa, acompanhando as novas tecnologias de controle de custos para optimizar processos.
- Atenção aos factores responsáveis pela alteração das condições de mercado, por estarem em constante evolução e por dependerem em grande parte do aumento dos custos e a volatilidade do valor do diamante.
- Analisar e debater os indicadores económicos publicados por Catoca e propôr melhoria, caso necessário.

Para classe de docentes do curso de minas:

- Implementar e ensinar aos estudantes modelos de estimação de custos nas disciplinas em que fôr necessário.

Para a Sociedade Mineira de Catoca:

- Introduzir tecnologias automatizadas para reduzir custos de mão de obra e melhorar a eficiência operacional.
- Reavaliar os KPI's selecionados para controle de custo

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARR, D. **Stochastic Dynamic Optimization of Cut-off Grade in Open Pit Mines.** Department of Mining Engineering, Queen's University. Kingston, Ontario, Canada. 2012.
2. BAURENS, S. **Valuation of Metals and Mining Companies.** University of Zurich. Zurich. 2010.
3. BHATTACHARYA, J. **Principles of Mine Planning.** Department of Mining Engineering Indian Institute of Technology Kharagpur – 721302: Allied Publishers PVT. Limited. 2003.
4. CANDIDO, M. T. **Impacto de Diferentes Algoritmos e Geometria de Depósitos Minerais no Planejamento de Longo Prazo.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. 2012.
5. CARARETO, E. S., JAYME, G., TAVARES, M. P. Z, VALE, V. P. **Gestão Estratégica de Custos: custos na tomada de decisão.** Revista de Economia da UEG, Anápolis (GO), v. 2, nº 2. 2006.
6. Código mineiro angolano, https://dw.angonet.org/wp-content/uploads/20110719-lei_n.o_31-11 - codigo mineira.pdf [5 de Abril de 2024]
7. DIMITRAKOPoulos, M. & GODOY, M. **Grade Control Based on Economic Ore/Waste Classification Functions and Stochastic SimulationS:** examples, comparisons and applications. Mining Technology. 2014.
8. DIMITRAKOPoulos, R. **Strategic Mine Planning under Uncertainty: Stochastic Optimization for Strategic Mine Planning: A decade of developments.** Journal of Mining Science, Vol. 47, No. 2. McGill University, Canada. 2011.
9. FERREIRA, G. E. & ANDRADE, J. G. **Elaboração e Avaliação Econômica de Projetos de Mineração.** CETEM – Centro de Tecnologia Mineral, Ministério de Ciências e Tecnologia. Rio de Janeiro. 2004. Disponível em: www.docplayer.com.br, [30 de Julhode 2024].

10. GENTRY, D. W. & O'NELL, T. J. **Mine Investment Analysis**. Society of Mining Engineers of American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc. New York. 1984.
11. GU, X., WANG, Q., CHU, D., ZHANG, B. **Dynamic Optimization of Cut-off Grade in Underground Metal Mining**. College of Resource and Civil Engineering, Northeastern University, China. 2010.
12. HARTMAN, H. L & Mutmansky. J. M. **Introductory Mining Engineering**. Second Edition United States of America. 2002.
13. HARTMAN, H. L. **Introductory Mining Engineering**. Second Edition United States of America. 1987.
14. HEVNER, Alan R; RAM, Sudha; MARCH, Salvatore T. Design Science In Information Systems Research. **Mis Quartely**, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.
15. HUSTRULID, W. & KUCHTA, M. **Open Pit Mining Planning & Design: fundamentals**. A. A. Balkema. 1995.
16. HUSTRULID, W. & KUCHTA, M. **Open pit planning & Design: fundamentals**. 2nd Edition, Volume 1, London. 2006.
17. HUSTRULID, W., KUCHTA, M. **Open Pit Mine Planning & Design. Volume 1- Fundamentals**. 2^a Edição. Editora A. A. Balkema, Rotterdam. 1998.
18. <https://conceito.de/exploracao-mineira> [7 de Abril de 2024].
19. <https://pt.wikipedia.org/wiki/Minera%C3%A7%C3%A3o>.
20. Jornal o país, <https://www.opais.ao/economia/sector-mineiro-projecta-contribuir-com-mais-de-2-no-pib-angolano/> [5 de Abril de 2024].
21. LANE, K. F. **Choosing the Optimum Cut-off grade**. Quarterly of the Colorado School of Mines. 1964.
22. MAIANA, A. et al. **Contabilidade Para Empresários e gestores**. 2^a Edição. Edições Cosmos 2015.
23. MANSON, N. J. *Is operations research really research? Operations Research Society of South Africa*. v. 22, n. 2, p. 155–180, 2006.
24. MIRANDA JÚNIOR, I. S. **Diretrizes Fundamentais para um Estudo de Avaliação Econômica de Empreendimentos de Mineração: Um Estudo**

- Bibliográfico.** Ouro Preto: Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mineral. 2011.
25. MOBTARER, M. M. & OSANLOO, M. **Chaos in Iron Ore Price Prediction.** Iran. 2015.
26. PEFFERS, K. et al. **A Design Science Research Methodology for Information Systems Research.** *Journal of Management Information Systems*, v. 24, n. 3, p. 45-77, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302> [07 nov. 2024].
27. SAMUELSON, P. & NORDHAUS, W. **Samuelson Nordhaus economia.** 18^a Edição. McGraw-Hill Interamericana de Espanha 2005.
28. SIMON, H. A. **The Sciences of the Artificial.** 3rd ed. Cambridge: MIT Press, 1996.
29. TAKEDA, H. et al. Modeling Design Process. *AI Magazine*, v. 11, n. 4, p. 37-48, 1990.
30. THOMPSON, M. & Barr, D. **Cut-off Grade: A Real Options Analysis. Resources Policy.** Elsevier. 2014.
31. VAISHNAVI, V.; KUECHLER, W. **Design Research in Information Systems.** 2005. Disponível em: <http://desrist.org/design-research-in-information-systems> [Acesso em: 18 out. 2024].
32. WELLMER, F. DALHEIMER, M. & WAGNER, M. **Economic Evaluation in Exploration.** 2 nd ed. Berlin. 2008.
33. WRIGHT, E. A. **Open Pit Mine Design Models: an Introduction with Fortran/77 programs.** Clausthal-Zellerfeld: Trans Tech. 1990.
34. YASREBI, A. B., WETHERELT, A., FOSTER, P., KENNEDY, G., AHANGARAN, D. K., AFZAL, P. & ASADI, A. **Determination of Optimised Cut-off Grade Utilising Non-Linear Programming.** Saudi Society for Geosciences, Saudi Arab. 2015.